فورمولاسیون و بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی فورمولای انترال پلی مریک حاوی پروتئین کازئینات سدیم

هیلدا مقدم کیا [a]، افشین جوادی [b*]، علی طریقت اسفنجانی [c]، اکرم پزشکی نجف آبادی [d]

[a] دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع غذایی، گروه صنایع غذایی، واحد ممقان، دانشگاه آزاد اسلامی، ممقان، ایران
[b] دانشیار گروه بهداشت مواد غذایی و آبزیان، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
[c] استادیار گروه بیوشیمی و رژیم درمانی، مرکز تحقیقات علوم تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران
[d] استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۳/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۱

چکیده

مقدمه: انسداد سوند، اسهال و ریفلاکس بسته به نوع فورمولای مورد استفاده، از مشکلات معمول تغذیه انترال در بیماران است. اهداف این مطالعه طراحی فورمولای انترال مناسب، بررسی و مقایسه ویژگی‌های رئولوژیک آن با نوعی از فورمولای تجاری موجود تعیین شده بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه کاربردی فورمولای انترال از مواد غذایی موجود و طبیعی با چگالی انرژی ۱ kcal/mL، تهیه شد. سپس ویژگی‌های رئولوژیکی پایا و نوسانی آن و فورمولای آماده هر کدام در سه تکرار با استفاده از دستگاه رئومتر Physica Anton Paar مدل MCR 301 اندازه گیری شدند. اطلاعات بدست آمده با استفاده از نرم افزار MATLAB به منظور تعیین مدل ریاضی مناسب مورد برازش قرار گرفت. تحلیل داده‌ها به روش آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و آزمون مقایسه میانگین‌های دانکن در سطح ۵٪ با نرم افزار آماری SPSS مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان دادند که در فورمولای تهیه شده با استفاده از کازئینات سدیم و پوره مرغ ویسکوزیته وابسته به سرعت برشی بود و با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته فورمولا کاهش یافت در حالی که در فورمولای آماده مستقل از سرعت برشی بود. اختلاف معنی‌دار بین ویسکوزیته دو نوع فورمولا مشاهد نشد. ضریب تبیین R^2 مدل هرشل بالکلی برای هر دو فورمولا، بالای ۹۸٪ و بهترین مدل برای توصیف خصوصیات جریانی فورمولاها مدل هرشل بالکلی بود. مقادیر مدول‌های ویسکوالاستیک فورمولای طراحی شده بیشتر از نمونه فورمولای تجاری بود.

نتیجه‌گیری: با تغییر نوع پروتئین فورمولا (استفاده از مخلوط کازئینات سدیم و پوره مرغ) ویژگی‌های رئولوژیکی آن در مقایسه با فرمولای آماده (حاوی مخلوط کازئینات سدیم و ایزوله سویا) تغییر یافته و با توجه به ارزش تغذیه‌ای بالا و خصوصیات رئولوژیکی مناسب فورمولای تهیه شده، می‌توان استفاده از آن را در حمایت تغذیه‌ای بیماران بستری نیازمند تغذیه انترال لوله‌ای توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: *پروتئین، رئولوژی، فورمولای انترال، کازئینات سدیم*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: javadi@iaut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

تغذیه انترال (روده‌ای) از روش‌های تغذیه در افرادی است که قادر به مصرف کافی غذا از راه دهان نیستند (Nilesh *et al*., 2011). تغذیه با لوله در اشکال مختلف از چهار صد سال پیش رایج بوده و نوآوری های فنی منجر به تولید محصولات مقبول تر و کم هزینه‌تر نسبت به تغذیه وریدی برای بیماران گردیده است (Kirby *et al*., 1995). پس از سال ۱۹۷۰ صنعت، تولید رژیم‌های مایع را آغاز کرد (Jonkers-Schuitema, 2009). در کشورهای توسعه یافته تنوع فورمولاهای انترال تجاری قابل دسترس بصورت روز افزونی برای استفاده افزایش یافته است. گزارش شده است که بیش از یکصد فورمولای انترال در دسترس بوده و بیشترین رقابت در ساختن فورمولاها صورت می‌گیرد (Parrish, 2005). فورمولاهای تجاری که در صنعت تولید می‌شوند به صورت مایعاتی با ویسکوزیته‌های مختلف و استریل یا به شکل پودر می‌باشند. فورمولاهای انترال مایع شامل انواع پلی‌مریک (استاندارد)، المنتال (فورمولای تهیه شده از مواد مغذی هیدرولیز شده)، اختصاصی، فورمولاهای حاوی فیبر می‌باشند. فورمولاهای پلی‌مریک از لحاظ تغذیه‌ای کامل و از مواد مغذی دست نخورده (کامل) تهیه شده و برای استفاده در بیمارستان‌ها و مراقبت در خانه مناسب می‌باشند. کربوهیدرات ۶۰-۴۰٪، پروتئین ۲۵-۱۵٪ و چربی ۴۰- ۲۵٪ کل انرژی فورمولای پلی‌مریک را تأمین می‌کند (Zadak & Kent- Smith, 2009).

تغذیه انترال دارای مشکلات متعددی از جمله انسداد سوند، اسهال و رفلاکس مری- معده است. اسهال و ریفلاکس مری- معده می‌تواند مربوط به عوامل مختلف از جمله ترکیب فورمولا و سرعت تزریق آن باشد (Augustench & Salvad, 2009). بروز اسهال در ۹۵-۲٪ و شیوع انسداد لوله ناشی از تجویز داروها یا فورمولاهای مختلف در ۹-۲٪ بیماران تغذیه شده با فورمولاهای انترال گزارش شده است (Nilesh *et al*., 2011).

پروتئین یکی از درشت مغذی‌های مورد نیاز در رژیم غذایی روزانه بوده و در ترکیب فورمولاهای تغذیه لوله ای نیز با توجه به وضعیت تغذیه ای و شرایط بیماری موجود می‌باشد. پروتئین‌ها علاوه بر اهمیت تغذیه‌ای‌شان، بدلیل ساختار و وزن مولکولی و برهمکنش با سایر درشت مغذی ها و ریزمغذی های موجود در فورمولا طی فرآیند تولید نقش بسزایی در ویژگی های رئولوژیکی فورمولای تغذیه با لوله ایفاء می‌کنند. بدلیل محدودیت دسترسی به انواع مختلف فورمولا در کشور ما، به منظور کاهش مشکلات تغذیه انترال و افزایش اطمینان از تأمین انرژی و مواد مغذی مورد نیاز بیماران، نیاز به فورمولاسیون‌های تغذیه انترال با استفاده از مواد غذایی در دسترس بیش از پیش احساس می‌شود. لذا در این تحقیق با تغییر نوع پروتئین موجود در فورمولا به مقایسه ویژگی‌های رئولوژیکی فورمولای انترال پلی مریک حاوی پروتئین کازئینات سدیم و پوره مرغ با ویژگی‌های رئولوژیکی فورمولای انترال پلی‌مریک موجود در بازار (حاوی مخلوط کازئینات سدیم و ایزوله سویا) پرداخته شد تا بتوان به یک فرمولاسیون بهینه از فورمولا با ویسکوزیته مناسب دست پیدا کرد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه کاربردی فورمولای انترال با استفاده از مواد غذایی موجود و طبیعی از جمله کازئینات، مالتودکسترین، پوره مرغ، هویج، گوجه فرنگی، آبمیوه زغال اخته، روغن، پکتین، مولتی ویتامین مینرال و آب ترکیبی حاوی مقادیر توصیه شده‌ای از درشت مغذی‌ها و ریز مغذی‌ها با چگالی انرژی ۱ kcal/mL، تهیه شد (جدول ۱). فورمولای تجاری موجود (فورمولای انترال فیبردار با نام تجاری میلاتک) خریداری شده از نظر درصد درشت مغذی‌ها و ریزمغذی‌ها مشابه فورمولای تهیه شده بود (جدول ۲).

- **تهیه پوره‌های مرغ، هویج و گوجه فرنگی**

پس از پخت (آب‌پز کردن) گوشت مرغ، هویج و گوجه‌فرنگی بطور جداگانه، هر یک از مواد مذکور بوسیله دستگاه آسیاب یا مخلوط‌کن به شکل پوره درآورده شد و با عبور از صافی، صاف گردید.

- **تهیه فورمولاها**

کربوهیدرات: ۵۵٪ انرژی فورمولا از کربوهیدرات بود که ۵/۳۳٪ آن از پوره گوجه فرنگی، هویج و کنسانتره زغال‌اخته و ۹۴/۶۶٪ از مالتو دکسترین تأمین گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

پروتئین: ۱۵٪ انرژی فورمولا از پروتئین بود که ۵ ٪ پروتئین در فورمولا از پوره مرغ و ۱۰ ٪ از پروتئین کازئینات سدیم، تامین گردید.

چربی: ۳۰ ٪ انرژی فورمولا از چربی بود که از روغن کلزا برای تأمین چربی فورمولا استفاده شد.

فیبر: محتوای فیبر فورمولا ۶/۷۷ گرم در لیتر بود که از پکتین و پوره سبزیجات تأمین گردید.

ویتامین و مواد معدنی: فورمولا حاوی ویتامین و مواد معدنی مورد نیاز بوده و از یک عدد قرص مولتی ویتامین- مینرال برای هر لیتر فورمولا استفاده شد.

لسیتین سویا: بعنوان امولسیفایر استفاده شد.

آب: با توجه به اینکه دانسیته انرژی فورمولاها یک کیلو کالری به ازای هر میلی‌لیتر شده بود، لذا تمامی فورمولاها حاوی ۸۵ ٪ آب بودند.

پس از توزین مواد اولیه در ابتدا پروتئین کازئینات سدیم بتدریج داخل بشر حاوی آب مقطر که بر روی همزن مغناطیسی قرار دارد (در دمای ۵۰-۴۵ درجه سلسیوس) اضافه گردید و اجازه داده شد تا پروتئین کاملا حل شود (پس از انحلال کامل پروتئین بقیه مواد در دمای اتاق به محلول آب و پروتئین اضافه شد). سپس به ترکیب آب و پروتئین لسیتین را افزوده و در حین همزدن پکتین هم تدریجاً به مخلوط اضافه گردید و بعد از آن مالتو دکسترین به محلول مذکور افزوده شد. پوره هویج، گوجه‌فرنگی و مرغ را وزن کرده و داخل بشر حاوی مقداری آب ریخته و قبل از افزودن به محلول آماده بخوبی مخلوط کرده و آبمیوه زغال اخته را نیز داخل بشر حاوی پوره‌ها ریخته و سپس به محلول حاوی پروتئین، مالتودکسترین و لسیتین اضافه گردید و پس از آن در حال همزدن محلول و در حالیکه روغن کانولا قطره قطره بوسیله سرنگ به فورمولا اضافه شد ویتامین‌ها و مواد معدنی (قرص مولتی ویتامین مینرال) نیز اضافه گردید و بخوبی هم زده شد. فورمولا را با آب به حجم رسانده و بمدت ۲۰ دقیقه با هموژنایزر با دور ۲۰۰۰۰ rpm هموژن کرده و سپس فورمولا در اتوکلاو با دمای ۱۱۸ درجه سلسیوس بمدت ۹ دقیقه استریل گردید.

جدول ۱- درصد ترکیبات مواد مغذی و فیبر فورمولاهای انترال پلی مریک حاوی کازئینات سدیم

مواد اولیه		مقادیر مورد نیاز (درصد)	مقادیر مورد نیاز (گرم)
کربوهیدرات ۵۵٪	مالتو دکسترین	٪ ۵۲/۱۱	۱۴۰ گرم در لیتر
	هویج	٪ ۱/۴۹	۵۰ گرم در لیتر
	گوجه فرنگی	٪ ۰/۷۴	۵۰ گرم در لیتر
	آبمیوه زغال اخته	٪ ۰/۶۶	۱۵گرم در لیتر
پروتئین ۱۵٪	مرغ	٪۵	۴۱/۰۸ گرم در لیتر
	کازئینات سدیم	٪۱۰	۲۸/۶۶ گرم در لیتر
چربی ۳۰٪	روغن کلزا	٪۳۰	۳۰ گرم در لیتر
فیبر	پکتین	۴ گرم در لیتر فورمولا	
	ویتامین و مواد معدنی	RDA ٪۱۰۰	

جدول ۲- درصد ترکیبات مواد مغذی و فیبر فورمولای انترال موجود در بازار با نام میلاتک

مقدار	مواد تشکیل دهنده
کربوهیدرات ۵۵٪	مالتو دکسترین
چربی۳۰٪	کلزا، سویا، روغن ماهی، **TG** با زنجیره متوسط
پروتئین ۱۵٪	کازئینات سدیم- ایزوله سویا
فیبر ۱۵ گرم در لیتر	اینولین
ویتامین و مواد معدنی	**RDA** ٪۱۰۰

Archive of SID
www.SID.ir

- آزمون رئولوژیکی

اندازه‌گیری ویژگی‌های رئولوژیکی پایا و نوسانی فورمولاها یک روز پس از آماده سازی نمونه‌ها و نیز فورمولای انترال فیبردار موجود در بازار با نام تجاری میلاتک هر یک با سه بار تکرار جمعاً به تعداد ۶ نمونه، در دمای ۲۵°C و با استفاده از دستگاه رئومتر Physica Anton Paar مدل MCR 301، ساخت اتریش، مجهز به رئومتری استوانه‌ای هم مرکز با قطر پروب‌های ۲/۵ سانتیمتر برای استوانه داخلی و ۲/۷ سانتیمتر برای استوانه خارجی انجام شد. برای اندازه‌گیری تنش برشی و گرانروی به صورت تابعی از سرعت برشی و تعیین نوع رفتار جریانی نمونه‌ها، در محدوده ناحیه خطی ویسکوالاستیک در یک فاصله زمانی ۱۰ دقیقه‌ای، سرعت برشی از $2S^{-1}$ به $100S^{-1}$ رسید. دو مدل رئولوژیکی قانون توان و هرشل بالکلی به منظور تعیین بهترین مدل در توصیف خصوصیات جریانی فورمولاها بررسی شد. به منظور تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی نوسانی نمونه‌های آزمایشی (تعیین $\acute{G}$ و"G) بایستی قبل از انجام آزمون نوسانی، محدوده ناحیه خطی ویسکوالاستیک تعیین شود. برای این منظور، تغییرات مدول ذخیره ($\acute{G}$) و مدول افت ("G) با افزایش کرنش در فرکانس ثابت ۱۰ هرتز اندازه‌گیری گردید. مدول‌های ویسکوالاستیک ($\acute{G}$ وG'') تا حد کرنش معینی ثابت باقی مانده و در بالاتر از کرنش بحرانی کاهش پیدا کردند. محدوده خطی در کرنش کمتر از ۱٪ قرار داشت. آزمون‌های رئولوژیکی نوسانی در محدوده خطی، در فرکانس‌های متغیر ۰/۰۱ تا ۲۰ هرتز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، صورت پذیرفت.

- تجزیه و تحلیل آماری

اطلاعات بدست آمده از آزمایش‌های رئولوژیکی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB (۲۰۰۸) به منظور تعیین مدل ریاضی مناسب مورد برازش قرار گرفت و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel و تحلیل داده‌ها به روش آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون مقایسه میانگین‌های دانکن در سطح ۵٪ انجام یافت. نرم افزار آماری SPSS ۱۶ در تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها

- بررسی خواص رئولوژیکی پایا

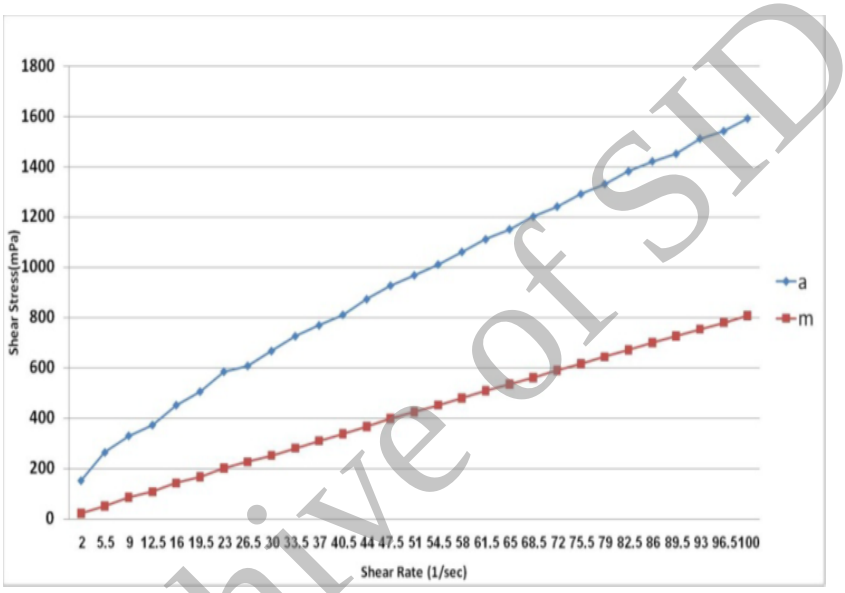
در آزمون رئولوژیکی پایا، رفتار جریانی فورمولای انترال حاوی پروتئین کازئینات سدیم و فیبر پکتین و همچنین فورمولای انترال فیبردار موجود در بازار با نام تجاری میلاتک حاوی پروتئین کازئینات و سویا و فیبر اینولین مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای این منظور، ارتباط تنش برشی و ویسکوزیته به صورت تابعی از سرعت برشی، برای تعیین نوع رفتار جریانی نمونه‌ها در فاصله زمانی ۱۰ دقیقه و سرعت برشی (S^{-1})۱۰۰-۲ اندازه‌گیری شد. همانطور که در شکل ۱ ارائه شده است، بین تنش برشی و سرعت برشی فورمولای حاوی کازئینات رابطه غیر خطی و فورمولای آماده رابطه خطی وجود دارد. در این سیالات، شیب خط نمودار تنش برشی ـ سرعت برشی، ویسکوزیته را نشان می‌دهد، بطوری که با افزایش ویسکوزیته فورمولای تهیه شده، شیب منحنی نیز افزایش یافته است. در حالی که در فورمولای آماده ویسکوزیته تغییر نکرده و شیب منحنی نیز ثابت بود. با توجه به شکل ۲ در فورمولای حاوی کازئینات با افزایش سرعت برشی ویسکوزیته کاهش یافت در حالی که در فورمولای آماده افزایش سرعت برشی تأثیری بر ویسکوزیته نداشت.

دو مدل رئولوژیکی قانون توان و هرشل بالکلی به منظور تعیین بهترین مدل در توصیف خصوصیات جریانی فورمولاها بررسی شد. ضریب تبیین R^2 و جذر میانگین مربعات خطاها RMSE برای مدل‌های قانون توان، هرشل بالکلی برای دو فورمولای ارزیابی شده در جدول ۳ ارائه شده است که ضریب تبیین R^2 برای هر دو مدل بالای ۹۸٪ بود. همچنان که جدول ۳ نشان می‌دهد جهت تعیین مناسب‌ترین مدل برای توصیف خصوصیات جریانی فورمولاها با توجه به اینکه مدل‌های قانون توان و هرشل بالکلی در فورمولای حاوی کازئینات سدیم و فورمولای آماده دارای R^2 بالای ۹۸٪ بود از جذر میانگین مربعات خطاها RMSE استفاده کرده و با در نظر گرفتن بالاترین R^2 و پایین‌ترین RMSE مدل هرشل بالکلی مناسب‌ترین مدل برای هر دو فورمولا بود و فورمولای حاوی کازئینات سدیم رفتار پلاستیک هرشل بالکلی و فورمولای آماده رفتار پلاستیک بینگهام نشان داد. در این مدل‌ها، هر چه n به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشانه‌ی تمایل سیال به رفتار

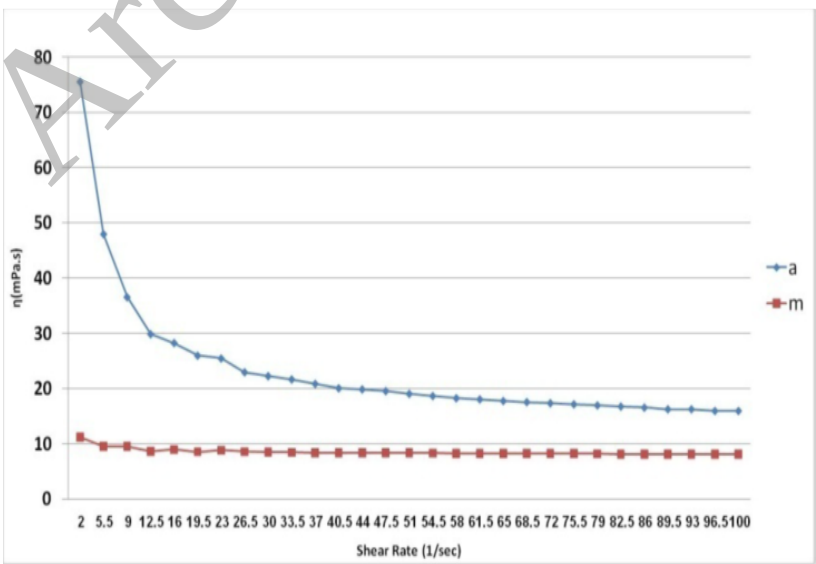
Archive of SID

www.SID.ir

نیوتنی و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، نشانه تمایل سیال به رفتار سودوپلاستیک است. جدول ۴ مقادیر شاخص رفتار جریانی (n)، ضریب قوام و تنش تسلیم مدل‌های قانون توان و هرشل بالکلی را برای فورمولای تولیدی و فورمولای آماده نشان می‌دهد که در مدل‌های قانون توان و هرشل بالکلی مقادیر شاخص رفتار جریانی (n) برای فورمولای حاوی کازئینات پایین‌تر از ۰/۹ است که دلالت بر رفتار سودوپلاستیک دارد و برای فورمولای موجود حاوی کازئینات و سویا مقدار شاخص رفتار جریانی بالاتر از ۰/۹ است که دلالت بر رفتار نزدیک به نیوتنی دارد. کمترین ضریب قوام و تنش تسلیم مربوط به فورمولای بازار بود. جدول ۴ نشان می‌دهد در فورمولای آماده که حاوی کازئینات و ایزوله سویا و فاقد پوره مرغ، پوره هویج وگوجه فرنگی بوده و فیبر استفاده شده در ترکیب آن اینولین بود ترکیب فوق سبب افزایش در شاخص جریان و کاهش ضریب قوام گردید. با توجه به شکل ۳، نمونه حاوی کازئینات سدیم اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ در میزان ویسکوزیته نسبت به نمونه موجود نشان نداد. ولی فورمولای آماده (m) ویسکوزیته کمتری نسبت به فورمولای حاوی کازئینات داشت.



شکل ۱- نمودار تنش برشی- سرعت برشی فورمولاهای حاوی کازئینات (a) و فورمولای آماده (m)



شکل۲- نمودار ویسکوزیته ـ سرعت برشی فورمولاهای حاوی کازئینات (a) و فورمولای آماده (m)

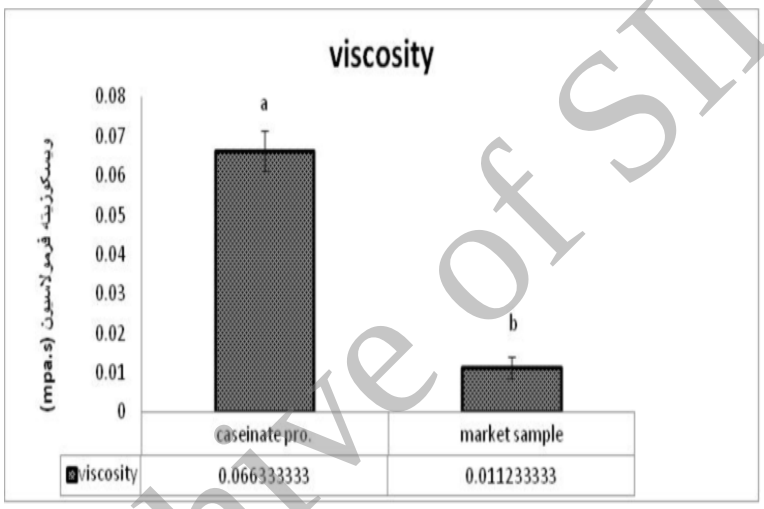
Archive of SID
www.SID.ir

جدول۳- نتایج رتبه بندی جهت تعیین بهترین مدل در فورمولای حاوی کازئینات (a) و فورمولای آماده (m)

مدل رئولوژیکی	ضریب تبیین R^2		RMSE(جذر میانگین مربعات خطاها)	
	فورمولای a	فورمولای m	فورمولای a	فورمولای m
قانون توان	۰/۹۹۷۸	۰/۹۹۹۹	۰/۰۲۰۱	۰/۰۰۲
هرشل بالکلی	۰/۹۹۹۶	۰/۹۹۹۹	۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۱۸

جدول ٤- پارامترهای محاسبه شده مربوط به مدل‌های قانون توان و هرشل بالکلی برای فورمولاها، شامل اندیس جریان، ضریب قوام و تنش تسلیم

مدل رئولوژیکی	شاخص جریان n		ضریب قوام k (Pa.s)		تنش تسلیم (Pa)	
	فورمولای a	فورمولای m	فورمولای a	فورمولای m	فورمولای a	فورمولای m
مدل قانون توان	۰/۶۹۵۷	۰/۹۵۵۷	۰/۰۶۳۶	۰/۰۰۹۹	----	----
مدل هرشل بالکلی	۰/۷۹۸۷	۰/۹۶۵۴	۰/۰۳۷۴	۰/۰۰۹۴	۰/۱۰۲۴	۰/۰۰۳۷



شکل ۳- نمودار ویسکوزیته فورمولاهای انترال حاوی کازئینات (a) و فورمولای آماده (m)در سرعت برشی۲(1/s)

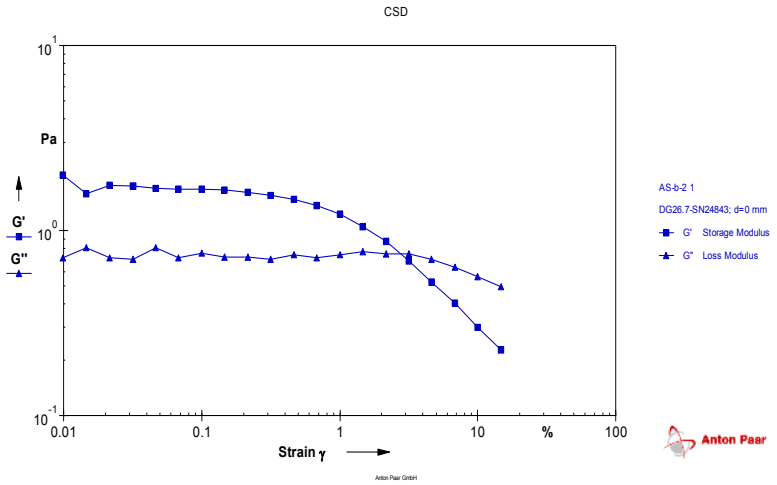
- بررسی خواص رئولوژیکی نوسانی

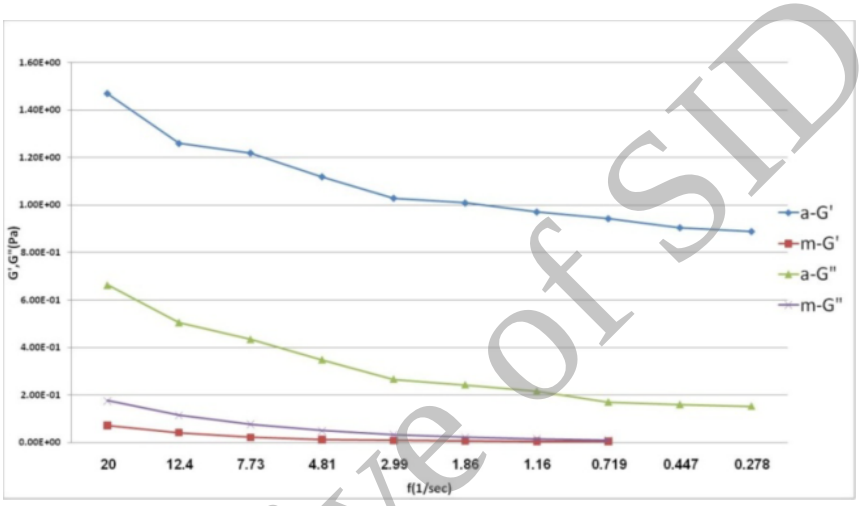
Ǵ معیاری از مدول ذخیره یا الاستیک و نشانگر میزان جامد بودن یک مخلوط است و G˝ مدول افت یا ویسکوز را نشان می‌دهد و بیانگر میزان سیالیت یک سیستم ویسکوالاستیک است. قبل از انجام آزمون نوسانی، محدوده ناحیه خطی ویسکوالاستیک تعیین شد. برای این منظور، تغییرات مدول ذخیره (Ǵ) و مدول افت ("G) با افزایش کرنش در فرکانس ثابت۱۰ هرتز اندازه‌گیری گردید. همچنان‌که در شکل نشان داده شده است، مدول‌های ویسکوالاستیک (Ǵ و G˝) تا حد کرنش معینی ثابت باقی مانده و در بالاتر از کرنش بحرانی کاهش پیدا می‌کنند. محدوده خطی در کرنش کمتر از ۱٪ قرار داشت. آزمون‌های رئولوژیکی در محدوده خطی، در فرکانس‌های متغیر ۰/۰۱ تا ۲۰ هرتز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، صورت پذیرفت.

در شکل ۴، تأثیر تغییر نوع پروتئین، بر مدول‌های ویسکوالاستیک فورمولاهای انترال نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود در آزمون روبش فرکانس دو فورمولا، با تغییر نوع پروتئین و نیز با افزایش فرکانس مقادیر مدول‌های ویسکوالاستیک (Ǵ و G˝) افزایش می‌یابند. در فورمولای حاوی کازئینات سدیم برخلاف فورمولای آماده، مدول ذخیره (Ǵ) از مدول افت (G˝) بالاتر است. در مقایسه فورمولای حاوی کازئینات سدیم با فورمولای موجود مقدار مدول ذخیره و افت فورمولای موجود کمتر از فورمولای حاوی کازئینات بود.

Archive of SID

www.SID.ir





شکل ٤- اثر تغییر نوع پروتئین بر مدول‌های ذخیره و افت

بحث

شاخص جریان (n) مدل‌های قانون توان و هرشل بالکلی در فورمولای حاوی کازئینات پایین‌تر از ۰/۹ بود که دلالت بر رفتار سودوپلاستیک یا رقیق شونده با برش داشت. باتوجه به نتایج بدست آمده و با در نظر گرفتن بیشترین مقدار ضریب تبیین R^2 و کمترین مقدار RMSE[1] مناسب‌ترین مدل برای توصیف خصوصیات جریانی هر دو فورمولا مدل هرشل بالکلی بود که مدل مذکور تعمیمی از مدل قانون توان با دارا بودن تنش تسلیم است (جداول ۳ و ۴).

در بررسی خواص رئولوژیکی نوسانی با توجه به نتایج بدست آمده در هر دو فورمولا با افزایش فرکانس مقادیر مدول‌های ویسکوالاستیک افزایش یافت. در فورمولای حاوی کازئینات مدول ذخیره G' بالاتر از مدول افت G" بود که بیانگر الاستیک بودن آن نسبت به ویسکوز بودنش است. در تفسیر آن اینطور می‌توان گفت که حضور پکتین در سیستم‌های مخلوط پروتئین و پلی‌ساکارید، تجمع پروتئین‌های کروی را در نزدیکی نقطه ایزوالکتریکشان کاهش می‌دهد که می‌تواند احتمالاً مرتبط با توانایی پکتین در تشکیل کمپلکس مولکولی با پروتئین باشد. این کمپلکس نسبت به پروتئین تنها، از بار منفی بیشتری برخوردار است و در نتیجه کاهش ویسکوزیته را به همراه دارد (Jones *et al.*, 2010). یکی دیگر از دلایلی که فورمولای حاوی کازئینات دارای رفتار رقیق شونده با برش و مدول ذخیره G' بالاتر از مدول افت G" است احتمالاً وجود پوره مرغ در ترکیب آن است. در مطالعه‌ای مشابه

[1] Root Mean Square Error

Archive of SID

www.SID.ir

Ahmed و Ramaswamy در سال ۲۰۰۷ خصوصیات رئولوژیکی غذاهای کودک بر پایه‌ی گوشت (مرغ، بره و گاو) را بررسی کردند و مدل هرشل بالکلی را بهترین مدل برای توصیف رفتار جریانی غذاهای کودک بر پایه‌ی گوشت دانستند. در مطالعه‌ی آنها با توجه به شاخص جریان بین ۰/۳ و ۰/۸، رفتار جریانی فورمولاهای کودک بر پایه‌ی گوشت، سودوپلاستیک رقیق شونده با برش و مقادیر مدول ذخیره نسبت به مدول افت در تمامی محدوده‌های فرکانس بالاتر بود (Ahmed & Ramaswamy, 2007). گزارش شده است که مقادیر 'G و "G در غذای کودک بر پایه پوره مرغ با افزایش درجه حرارت تا حد ۵۰ درجه سلسیوس کاهش می‌یابند در حالیکه در ۶۵ درجه سلسیوس و بالاتر افزایش نشان می‌دهند.

از دلایلی که فورمولای حاوی کازئینات رفتار رقیق شونده با برش و مدول ذخیره 'G بالاتر از مدول افت "G داشت، ممکن است برهمکنش پروتئین- پلی‌ساکارید و گلیکاسیون کازئینات باشد. Martinez و همکاران در سال ۲۰۱۰ در تحقیق خود به بررسی اثر گلیکوزیلاسیون غیر آنزیمی با گالاکتوز، لاکتوز و دکستران در خواص رئولوژیکی کازیئنات سدیم پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که گلیکاسیون ویسکوزیته‌ی کازئینات را افزایش داده و خصوصیات جریانی را از نیوتنی به رقیق شونده به برش تغییر می‌دهد و همچنین مدول‌های الاستیک ('G) بالایی در گلیکوکونژوگه‌ها در مقایسه با کازئینات غیرگلیکوزیله در آن مطالعه مشاهده شد (Martinez *et al.*, 2010). از طرفی با توجه به اینکه در فورمولای تولیدی مطالعه حاضر از پکتین با درجه متیلاسیون بالا (پکتین پراستر) استفاده شد لذا حضور یون کلسیم تأثیر اساسی روی برهمکنش‌های سیستم پکتین - کازئینات ندارد که مطالعه Matia-Merino و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی تأثیر پکتین LMA[1] در غلظت‌های ۰/۰۲w/v- ۰/۰۱ ٪ روی خصوصیات رئولوژیکی و ساختاری کازئینات سدیم (۲w/v ٪) حاکی از این مساله می‌باشد. آنها اظهار داشتند با توجه به حساسیت هر دو بیوپلیمر به یون‌های کلسیم، افزایش کلرید کلسیم به میزان ۲ مول یون کلسیم به ازای هر مول کازئینات، تأثیر اساسی روی برهمکنش‌های سیستم پکتین - کازئینات دارد. با کاهش pH، آزاد شدن تدریجی یون‌های کلسیم از توده‌های کازئینات بر توازن برهمکنش‌های کازئین-کازئین، پکتین-پکتین و کازئین- پکتین و ساختار نهایی ژل تأثیر گذار است. در سیستم‌های محتوی کلسیم با افزایش میزان پکتین سینرسیس شدیدی روی می‌دهد. آنها بیان کردند خاصیت قوام‌دهندگی پکتین به بافت محصول، نه تنها ناشی از ژلاتاسیون فاز آبی و الحاق آن به فاز پراکنده است، بلکه با کاهش بار موثر ذرات فاز پراکنده (انواع کازئین و پروتئین‌های آب پنیر)، موجب افزایش تمایل آنها به تشکیل ژل می‌شود. یکی دیگر از دلایل احتمالی افزایش ویسکوزیته و هر دو مدول افت و ذخیره، می‌تواند وجود پوره هویج در ترکیب فورمولای تولیدی حاوی کازئینات باشد. در مطالعه مشابه ساختار میکروسکوپی، رئولوژی و پایداری در مدت زمان انبارش ماست کم چرب تولید شده بوسیله ذرات دیواره سلولی هویج (فیبر هویج) توسط Mc Cann و همکاران مورد بررسی قرار گرفت. این محققین بیان کردند که افزودن ذرات دیواره سلولی هویج (فیبر هویج) سرعت کاهش pH را افزایش داده و ژله‌ای شدن را تحریک می‌کند. همچنین نتایج مطالعه آنها حاکی از افزایش خصوصیات ویسکوالاستیک ژل با افزایش غلظت فیبر هویج و همچنین افزایش در هر دو مدول افت و ذخیره با افزودن فیبر هویج حتی در غلظت کمتر از ۰/۵٪ بدلیل شرکت ذرات فیبر در تشکیل شبکه ژل بود (Mc Cann *et al.*, 2011).

در فورمولای تهیه شده علاوه بر حضور کربوهیدرات‌ها (مالتودکسترین، فیبر هویج و پکتین) فاز روغنی به همراه امولسیفایر و همچنین ماده معدنی کلسیم نیز حضور دارند که هرکدام می‌تواند به‌نحوی همراه با پروتئین در رفتار جریانی سیستم موثر باشد. توانایی‌های امولسیونی پروتئین‌های شیر و امولسیون‌های مربوطه تحت تاثیر عوامل مختلف از جمله چگونگی تجمع کازئین، فرآیند پیش‌حرارتی پروتئین و محتوای کلسیم است. حرارت‌دهی مقدماتی پروتئین قبل از امولسیفیکاسیون در امولسیون‌های کنسانتره پروتئین شیر (امولسیون روغن در آب) تثبیت شده که در آنها فرآیند حرارتی ثانویه مطرح می‌شود اثرات جزئی مفیدی را نشان داد که ناشی از کاهش ویسکوزیته است (Liang *et al.*, 2013). Thomar و همکاران (۲۰۱۴)

[1] Low Methoxyl Amidated

Archive of SID

www.SID.ir

گزارش کردند با افزایش غلظت پروتئین بعلت نزدیکی و تراکم ذرات کازئینات ویسکوزیته سوسپانسیون‌های کازئینات سدیم تغلیظ شده افزایش و با افزایش درجه حرارت کاهش یافت. سوسپانسیون‌های کازئینات تغلیظ شده (غلظت پروتئین بیش از ۷۰ گرم در لیتر) مایعات ویسکوالاستیک با مدول‌های الاستیک نوسانی بالا هستند که با غلظت پروتئین شدیدا افزایش نشان دادند اما وابستگی پایینی به غلظت نمک داشتند (Dickinson *et al.*, 2003).

- بررسی ویسکوزیته و رفتار رئولوژیکی فورمولای انترال فیبردار موجود با نام تجاری میلاتک

ویژگی‌های رئولوژیکی پایا و نوسانی فورمولای آماده اندازه‌گیری و با فورمولای تهیه شده در این مطالعه مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی پایا در فورمولای آماده بر خلاف فورمولای تولیدی ویسکوزیته وابسته به سرعت برشی نبود و با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته تغییری نکرد (شکل ۲). فورمولای آماده با ویسکوزیته‌ی ۰/۰۱۱ pa.s دارای کمترین ویسکوزیته بود (شکل۳). همچنین شاخص جریان (n) مدل‌های قانون توان و هرشل بالکلی در فورمولای مذکور بالاتر از ۰/۹ بود که دلالت بر رفتار نیوتنی داشت. با توجه به نتایج بدست آمده و با در نظر گرفتن بیشترین مقدار ضریب تبیین R^2 و کمترین مقدار RMSE مناسب‌ترین مدل برای توصیف خصوصیات جریانی فورمولای انترال میلاتک مدل هرشل بالکلی بود (جدول ۳). فورمولای آماده موجود در مقایسه با فورمولای تهیه شده دارای کمترین تنش تسلیم و ضریب قوام بود. تنش تسلیم جزئی فورمولای میلاتک احتمالاً بدلیل وجود پروتئین ایزوله سویا و اینولین در ترکیب آن می‌باشد. با توجه به نتایج آزمون رئولوژیکی نوسانی در فورمولای آماده بر خلاف فورمولای تهیه شده مدول افت "G بالاتر از مدول ذخیره 'G بود که بیانگر ویسکوز بودن فورمولای میلاتک نسبت به الاستیک بودنش است. همچنین فورمولای میلاتک دارای کمترین مدول ویسکوالاستیک در مقایسه با فورمولای تهیه شده بود. با توجه به اینکه دانسیته‌ی انرژی و درصد انرژی حاصل از درشت مغذی‌های (کربوهیدرات، پروتئین و چربی) فورمولای آماده مشابه فورمولای تولید شده بود دلیل احتمالی رفتار نیوتنی و پایین بودن ویسکوزیته و مدول ویسکوالاستیک و بالاتر بودن مدول افت "G نسبت به مدول ذخیره 'G ممکن است نوع پروتئین فورمولای میلاتک (ترکیب کازئینات – ایزوله‌ی سویا)، باشد. همچنین این سیستم (فورمولای آماده) فاقد پوره‌ی مرغ است که احتمالا باعث شده است فورمولای آماده پس از تنش تسلیم رفتار نیوتنی داشته و ویسکوزیته آن تغییر نکرده و در واقع رفتار پلاستیک بینگهام نشان دهد بر خلاف فورمولای تولیدی حاوی کازئینات که پس از تنش تسلیم رفتار سودوپلاستیک داشته و ویسکوزیته آن تغییر کرده و رفتار آن رفتار سیال پلاستیک هرشل بالکلی می‌باشد. از طرفی با اینکه مقدار فیبر موجود در یک لیتر فورمولای آماده ۱۵ گرم و در یک لیتر از هریک از سه فورمولای تهیه شده ۶ گرم است دلیل پایین بودن ویسکوزیته فورمولای میلاتک را احتمالا می‌توان به وجود اینولین بجای پکتین و عدم وجود پوره هویج در ترکیب آن نسبت داد.

محدودیت مطالعه کاربردی حاضر عدم بررسی تأثیر مدت زمان نگهداری بر ویژگی‌های رئولوژیکی فورمولا بود که بایستی در مطالعات آتی بررسی گردد، اما با توجه به این که در فورمولاسیون تهیه شده از مواد غذایی طبیعی مثل پوره مرغ، پوره هویج، پوره گوجه فرنگی، آبمیوه زغال اخته استفاده شد که علاوه بر تأمین احتیاجات درشت مغذی‌ها و ریز مغذی‌ها حاوی فیتوکمیکال‌های بیشتری بود، می‌توان در بیماران نیازمند حمایت تغذیه‌ای از آن استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در فورمولای حاوی کازئینات سدیم با افزایش سرعت برشی مقادیر ویسکوزیته کاهش یافت در حالی که ویسکوزیته نمونه آماده وابسته به سرعت برشی نبود. فورمولای حاوی کازئینات سدیم رفتار سودوپلاستیک یا رقیق شونده با برش و فورمولای آماده رفتار نیوتنی نشان داد و مناسب‌ترین مدل برای توصیف خصوصیات جریانی هر دو فورمولا مدل هرشل بالکلی بود و فورمولای حاوی کازئینات سدیم رفتار پلاستیک هرشل بالکلی و فورمولای آماده رفتار پلاستیک بینگهام نشان داد. تنش تسلیم و ضریب قوام فورمولای حاوی پروتئین کازئینات سدیم بیشتر از فورمولای موجود بود. در هر دو فورمولا با افزایش

Archive of SID
www.SID.ir

فرکانس مقادیر مدول‌های ویسکوالاستیک افزایش یافت. در فورمولای حاوی کازئینات سدیم مدول ذخیره 'G بالاتر از مدول افت "G بود که بیانگر الاستیک بودن آن نسبت به ویسکوز بودنش است در حالیکه در فورمولای موجود مدول افت "G بالاتر از مدول ذخیره 'G بود که بیانگر ویسکوز بودن آن نسبت به الاستیک بودنش است. با توجه به بررسی‌های رئولوژیکی انجام یافته فورمولای حاوی پروتئین کازئینات سدیم بدلیل خواص رئولوژیکی (ویسکوزیته، رفتار جریانی و ...) مناسب و ارزش تغذیه‌ای بالا بدلیل دارا بودن مواد غذایی واقعی و فیتوکیمیکال‌ها قابل استفاده در حمایت تغذیه‌ای بیماران بستری نیازمند تغذیه انترال لوله‌ای است.

منابع

Ahmed, J. & Ramaswamy, H. (2007). Dynamic rheology and thermal transitions in meat-based strained baby foods. Journal of Food Engineering, 78, 1274–1284.

Augustench, P. C. & Salvad, J. S. (2009). Viscosity and flow-rate of three high-energy, high-fibre enteral nutrition formulas. Nutr Hosp, 24(4), 492-497.

Dickinson, E., Radford, S. & Golding, M. (2003). Stability and rheology of emulsions containing sodium caseinate: combined effects of ionic calcium and non-ionic surfactant. Food Hydrocolloids, 17, 211-220.

Jones, W., Decker. E. A. & McClements, D. J. (2010). Thermal analysis of beta-lactoglobulin complexes with pectins or carrageenan for production of stable biopolymer particles. Food Hydrocolloids, 24, 239–248.

Jonkers-Schuitema, C. (2009). Basics in clinical nutrition: Diets for enteral nutrition home made diets. e-SPEN, the European e-Journal of Clinical Nutrition and Metabolism, 4 , e168–e169.

Kirby, D. F., Delegge, M. H. & Fleming, C. R. (1995). American gastroenterological association technical review on tube feeding for enteral nutrition. American Gastroenterological Association, 108(4), 1282-1301.

Liang, Y., Gillies, G., Patel, H., Matia-Merino, L., Ye, A. & Golding, M. (2014). Physical stability, microstructure and rheology of sodium-caseinat estabilized emulsions as influenced by protein concentration and nonadsorbing polysaccharides. Food Hydrocolloids, 36, 245-255.

Liang, Y., Patel, H., Matia-Merino, L., Ye, A. & Golding, M. (2013). Effect of pre- and post-heat treatments on the physicochemical, microstructural and rheological properties of milk protein concentrate-stabilised oil-in-water emulsions. International Dairy Journal, 32, 184-191.

Martinez, M. C., Moreno, F. J., Villamiel, M. & Harte, F. (2010). Characterization and improvement of rheological properties of sodium caseinate glycated with galactose, lactose and dextran. Food Hydrocolloids, 24, 88-97.

Matia-Merino, L., Lau, K. & Dickinson, E. (2004). Effects of low-methoxyl amidated pectin and ionic calcium on rheology and microstructure of acid-induced sodium caseinate gels. Food Hydrocolloids, 18, 271-281.

Mc Cann, T., Fabre, F. & Day, L. (2011). Microstructure, rheology and storage stability of low-fat yoghurt structured by carrot cell wall particles. Food Research International, 44, 884-892.

Nilesh, M. R., Vilas, P. A., Ambadas, J. S. & Sharadchandra, M. N. (2011). Formulation development of enteral nutrition products. International Research Journal of Pharmacy, 2(3), 19-28.

Parrish, C. (2005). Enteral Formula Selection: A Review of Selected Product Categories. Practical Gastroenterology, 44-74

Thomar, P., Benyahia, L., Durand, D. & Nicolai, T. (2014). The influence of adding monovalent salt on the rheology of concentrated sodium caseinate suspensions and the solubility of calcium caseinate. International Dairy Journal, 37, 48-54.

Zadak, Z. & Kent-Smith, L. (2009). Basics in clinical nutrition: Commercially prepared formulas. e-SPEN, the European e-Journal of Clinical Nutrition and Metabolism, 4, e212–e215.

Archive of SID

www.SID.ir