تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۲۱/ شماره ۷۳/پاییز و زمستان ۱۴۰۱ /ص ۳۰-۱۵
سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

بررسی تأثیر هم‌زمان مالتودکسترین و باکتری‌های پروبیوتیک بر ویژگی‌های رئولوژیکی خامه‌ترش

فریال خادمی[۱]، علی معتمدزادگان[۲]، شهرام نقی زاده رئیسی[۳*] و سید احمد شهیدی[۴]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۳ و ۴- به ترتیب: استادیار و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت اله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.
تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۶/۵ ؛ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۷/۲۲

چکیده

خامه‌ترش حاوی ۲۰ تا ۳۰ درصد چربی است که به آن باکتری‌های مولد عطروطعم (اسیدلاکتیک) اضافه می‌شوند تا بو و طعم خاصی ایجاد کنند. این نوع خامه قبل از توزیع حداقل به مدت ۲٤ ساعت در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شود و سپس به بازار عرضه می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی امکان تولید خامه‌ترش پروبیوتیک با افزودن باکتری‌های پروبیوتیک و مالتودکسترین است. در این تحقیق باکتری‌های پروبیوتیکی (*لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس، لاکتوباسیلوس کازئی، بیفیدوباکتریوم بیفیدیوم*) به فرمولاسیون خامه‌ترش با ۲۰ درصد چربی افزوده شد و ویژگی‌های رئولوژیکی خامه بررسی گردید. بالاترین ویسکوزیته (۱۲۰۰ Pa.s) مربوط به تیمار T2 (خامه‌ترش حاوی ۲ درصد مالتودکسترین) بود درصورتی‌که کمترین مقدار ویسکوزیته (معادل ۰/۱ Pa.s) در نمونهٔ شاهد (بدون مالتودکسترین و باکتری) دیده شد. نتایج آزمون رفتار جریان نشان داد که تمام نمونه‌ها رفتار رقیق شونده با برش داشتند. مدل رئولوژیکی کارئا به‌خوبی داده‌های رفتار جریان خامه‌ترش را برازش کرد. ازنظر ویژگی‌های ویسکوالاستیک نیز در تمامی نمونه‌های شامل باکتری و مالتودکسترین، مدول ذخیره بیشتر از مدول افت بود. بین میزان افزودن مالتودکسترین و نوع باکتری‌ها تفاوت معنی‌داری (P>0.05) ازلحاظ ویژگی‌های رئولوژیکی مشاهده نشد. نتایج آزمون روبش دما نشان داد که با افزایش دما مدول‌های ذخیره و افت کاهش می‌یابند.

واژه‌های کلیدی

پروبیوتیک، خامه‌ترش، مالتودکسترین، مدل رئولوژیکی کارئا

مقدمه

در گذشته، غذا تنها برای تأمین نیازهای غذایی انسان و رفع گرسنگی استفاده می‌شد، اما امروزه مفهوم غذا تغییر کرده است. در حال حاضر یکی از دغدغه‌های مهم تولید مواد غذایی، جلوگیری از بیماری‌های مربوط به تغذیه، بهبود عملکرد ذهنی و جسمانی مصرف‌کنندگان است. چنین خصوصیاتی را در گروه جدیدی از غذاها تحت عنوان غذاهای

* نگارنده مسئول: Email: Sh.Naghizadeh@iau.ac.ir
http://doi: 10.22092/fooder.2023.355534.1312
© 2022,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

عملگرا می‌توان پیدا کرد که حاوی محصولات پروبیوتیک هستند (Williams, 2010, Raeisi *et al.*, 2018). بر اساس تعریف ارائه‌شده توسط دانشمندان و محققان، باکتری‌های پروبیوتیک میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که پس از مصرف، در روده ساکن می‌شوند و اثرهای مفیدی بر سلامتی انسان بر جای می‌گذارند. اکثر باکتری‌های پروبیوتیک شامل *لاکتوباسیلوس‌ها* و *بیفیدوباکتریوم‌ها* هستند (Raeisi, 2012). *لاکتوباسیلوس* و *بیفیدوباکتریوم‌ها* باکتری‌های گرم مثبت تولیدکنندهٔ اسیدلاکتیک هستند که بخش عمده‌ای از فلور طبیعی رودهٔ انسان و حیوانات را تشکیل می‌دهند (Fuller, 2012). مطالعات نشان داده است که این باکتری‌ها موجب کاهش لاکتوز، کلسترول و فشارخون می‌شود (Afshar *et al.*, 2020). این باکتری‌ها از سرطان رودهٔ بزرگ، رودهٔ کوچک و کبد و از التهابات روده‌ای، عفونت‌ها، اسهال حاد و از رشد و تکثیر باکتری‌های مضر جلوگیری می‌کنند و موجب بهبود و تقویت سامانهٔ ایمنی می‌شوند و به گوارش، جذب مواد معدنی و ویتامین‌ها کمک می‌کنند (Rao & Rao, 2016).

اغلب فراورده‌های پروبیوتیک موجود در بازار را گروه لبنیات تشکیل می‌دهند و مصرف‌کنندگان آگاه به این حقیقت هستند که با افزودن پروبیوتیک‌ها به محصولات تخمیری شیر، به‌طور هم‌زمان می‌توانند از خواص سلامتی بخش پروبیوتیک‌ها و اثر مثبت تخمیر بهره‌مند شوند (Amirbozorgi *et al.*, 2016, Quigley, 2019). عوامل متعددی از مادهٔ غذایی نظیر میزان چربی، غلظت و نوع پروتئین، میزان کربوهیدرات و pH می‌توانند بر فعالیت و بازدهی پروبیوتیک‌ها تأثیرگذار باشند. محصولات تخمیری شیر مثل پنیر، دوغ، ماست نوشیدنی، ماست سفت و هم زده، بستنی، خامه‌ترش، شیر بدون چربی و نوشیدنی‌های به‌دست‌آمده از دوغ و کره بهترین گزینه برای افزودن پروبیوتیک هستند (Charalampopoulos & Rastall, 2009, Shafizadeh *et al.*, 2020).

خامه‌ترش فراورده‌ای لبنی است که از تخمیر خامهٔ معمولی، توسط باکتری‌های تولیدکننده اسیدلاکتیک در خامه (معمولی) تولید می‌شود. طعم و مزه این نوع خامه، ترش ملایم است. این نوع خامه حاوی ۳۰-۲۰ درصد چربی است (Jervis *et al.*, 2014). در تولید خامه‌ترش، از ماده نگه‌دارنده استفاده نمی‌شود و دلیل ماندگاری این محصول، نوع بسته‌بندی آن است. از این خامه می‌توان در تهیهٔ انواع پیش‌غذا، اردور و میان‌وعده استفاده کرد و آن را به همه شیرینی‌هایی افزود که با پنیر خامه‌ای تهیه می‌شوند. افزودن خامه‌ترش به انواع سوپ، سالاد، شیرینی و دسر، طعمی متفاوت به آنها می‌دهد. خامه ترش در صورت باز نشدن بسته‌بندی، تا شش ماه بعد از تاریخ تولید و در دمای محیط یا یخچال قابل نگهداری است. پس از باز شدن بسته‌بندی خامه‌ترش، بهتر است که این محصول ظرف سه روز مصرف شود.

مالتودکسترین پودری است جذب کنندهٔ رطوبت، سفید و بی‌مزه که محصول هیدرولیز اسیدی یا آنزیم نشاسته با عدد دکستروز[1] (DE) معمولاً کمتر از ۳۰ است. مالتودکسترین به‌طورکلی ماده‌ای قوام دهنده یا پرکننده است و برای افزایش حجم مواد غذایی فرآوری شده استفاده می‌شود (Eliasson, 2004). قدرت قوام دهندگی مالتودکسترین‌ها ناشی از ایجاد شبکه‌ای است که توسط پیوندهای هیدروژنی بین زنجیره‌های هیدروکربنی حفظ می‌شود و قادراست مواد را به دام اندازد و درنتیجه منجر به حفظ آنها در برابر شرایط

1- Dextrose Equivalent

نامساعد شود. به سبب ویژگی‌های ذکرشده و نیز به دلیل قیمت پایین، امروزه مالتودکسترین به‌طور گسترده به‌منظور قوام دهندگی و پر کردن در فناوری‌های مختلف استفاده می‌شود (Hadnađev *et al.*, 2011).

ایلماز-ارسان با افزودن باکتری‌های *بیفیدوباکتریوم لاکتیس*، *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *لاکتوباسیلوس رامنوسوس* به خامهٔ تخمیر شده به این نتیجه رسیدند که *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* باعث تغییر بافت و ویژگی‌های رئولوژی در خامهٔ تخمیر شده می‌شود (Yilmaz-Ersan, 2013). علاوه بر این، مطالعات قبلی نشان داده است که پروبیوتیک قادر به تغییر مشخصات بافتی و حسی اسیدهای چرب می‌شود (Eliasson, 2004, Hadnađev *et al.*, 2011, Long *et al.*, 2012)؛ بنابراین، تولید محصولات پروبیوتیک به دلیل خواص مفید ازجمله میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک و پری‌بیوتیک‌های طبیعی و همچنین کاهش چربی خامه اهمیت ویژه‌ای دارد (Biglarian *et al.*, 2021). مقالات زیادی در مورداستفاده از پروبیوتیک در غذاهای لبنی وجود دارد (Musiy *et al.*, 2021, Dawod *et al.*, 2021)، اما در مورد خامه‌ترش و ویژگی‌های رئولوژیکی آن، مطالعات محدود است. هدف از این مطالعه، تولید خامه‌ترش پروبیوتیک کم‌چرب تهیه‌شده با مالتودکسترین و بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی موردنظر برای تهیهٔ محصولی باارزش غذایی بالا برای مصرف‌کنندگان است.

مواد و روش‌ها

روش تهیه و تولید خامه

برای تولید خامهٔ ۲۰ درصد، شیر ۱/۵ درصد (شرکت پگاه، ایران) با خامهٔ ۳۰ درصد (شرکت پگاه، ایران) مخلوط شد. ویژگی‌های خامهٔ مصرفی به این صورت بود: میزان چربی ۳۰ درصد، اسیدیتهٔ قابل تیترکردن ۰/۱۰ درصد برحسب اسیدلاکتیک و pH=۶/۷. مخلوط حاصل برای حذف آلودگی‌های احتمالی در دمای ۹۰-۹۵ درجه سانتی‌گراد پاستوریزه و پس از آن به‌منظور افزودن باکتری‌ها به مدت ۲۰ دقیقه تا دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد خنک شد. برای تهیهٔ خامه‌ترش، ابتدا مخلوط باکتری *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* با *لاکتوباسیلوس کازئی* و *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* با *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* (شرکت دانش‌بنیان زیست تخمیر، ایران) به خامهٔ تهیه‌شده از مرحله قبل تلقیح شد. برای افزودن باکتری‌ها، ابتدا باکتری‌های استارتر ماست که به‌عنوان ترش کننده هستند اضافه و در یخچال قرار داده شد تا دمای آن به ۴ درجه سانتی‌گراد برسد. سپس مخلوط باکتری‌ها به خامه تلقیح و در انکوباتور در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۳ ساعت نگهداری شد تا pH به 4.6-4.8 برسد. به‌منظور جلوگیری از پایین‌تر آمدن pH، خامه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال قرار داده شد. مقدار افزودن مخلوط پروبیوتیک ۱ گرم و حاوی ۵×۱۰^{۸} کلنی (Log CFU/gr) بود. در مرحله بعد، مقادیر مختلفی از پایدارکنندهٔ مالتو دکسترین (پیشگامان شیمی، ایران) به خامه‌ترش اضافه و هم زده شد (در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد توسط بن ماری) تا پایدارکننده در آن به خوبی حل شود. هوموژنیزاسیون خامه در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد پس از پاستوریزاسیون، تحت‌فشار ۱۰۰ بار با هوموژنایزر (شرکت APV، دانمارک) اجرا شد. در انتها، آزمون‌های رئولوژیکی به شرح زیر دنبال شدند. متغیرهای موردبررسی در این پژوهش در جدول ۱ نشان داده‌شده اند.

جدول ۱- تیمارهای خامه‌ترش موردبررسی در این پژوهش

Table 1- Sour cream treatments studied in this research

کد تیمارها Treatment Code	تیمارهای خامه‌ترش Sour cream treatments
C	خامه‌ترش فاقد مالتودکسترین و باکتری (شاهد) Sour cream free of maltodextrin and bacteria (control)
T1	خامه‌ترش حاوی ۱ درصد مالتودکسترین Sour cream contains 1% maltodextrin
T2	خامه‌ترش حاوی ۲ درصد مالتودکسترین Sour cream contains 2% maltodextrin
T3	خامه‌ترش حاوی ترکیب *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* با *لاکتوباسیلوس کازئی* Sour cream contains a combination of *Lactobacillus acidophilus* with *Lactobacillus casei*
T4	خامه‌ترش حاوی ترکیب *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* با *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* Sour cream contains a combination of *Lactobacillus acidophilus* with *Bifidobacterium bifidum*
T5	خامه‌ترش حاوی ۱ درصد مالتودکسترین و ترکیب *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* با *لاکتوباسیلوس کازئی* Sour creamai contning 1% maltodextrin and a combination of *Lactobacillus acidophilus* with *Lactobacillus casei*
T6	خامه‌ترش حاوی ۲ درصد مالتودکسترین و ترکیب *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* با *لاکتوباسیلوس کازئی* Sour cream contains 2% maltodextrin and a combination of *Lactobacillus acidophilus* with *Lactobacillus casei*
T7	خامه‌ترش حاوی ۱ درصد مالتودکسترین و ترکیب *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* با *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* Sour cream contains 1% maltodextrin and a combination of *Lactobacillus acidophilus* with *Bifidobacterium bifidum*
T8	خامه‌ترش حاوی ۲ درصد مالتودکسترین و ترکیب *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* با *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* Sour cream contains 2% maltodextrin and a combination of *Lactobacillus acidophilus* with *Bifidobacterium bifidum*

آزمون‌های رئولوژیکی

آزمون‌های رئولوژیکی توسط دستگاه رئومتر MCR301 ساخت شرکت Anton Paar اتریش، با استفاده از دو صفحه موازی[1] در دمای ۲۰ اجرا شد. این آزمون‌ها شامل آزمون رئولوژیکی پایا (آزمون رفتار جریان) و آزمون‌های نوسانی (روبش کرنش،[2] روبش فرکانس[3]، و روبش دما[4]) بودند (Long *et al.*, 2012).

شرایط اجرای آزمون رفتار جریان

در این آزمون فاصلهٔ صفحات ۱ میلی‌متر و محدوده سرعت برش s^{-1} ۰/۰۵-۴۵۰ بود. این آزمون‌ها برای رسم نمودارهای جریانی (ویسکوزیته ظاهری[5] در برابر سرعت برش) و مشخص کردن تغییرات ویسکوزیته ظاهری اجرا شدند. به‌منظور تعیین مدل مناسب برای توصیف رفتار جریانی، مدل‌های هرشل بالکلی[6]، قانون توان[7] و کارئا[8] بر داده‌های تجربی برازش داده شد و پارامترهای مدل مذکور برای کلیهٔ نمونه‌ها تعیین گردید.

مدل قانون توان

مدل قانون توان رایج‌ترین مدل پیش‌گویی رفتار سیالات غیر نیوتنی است و سایر مدل‌ها به‌نوعی از این مدل مشتق شده‌اند. در این مدل، رابطهٔ بین تنش برشی و سرعت برشی به‌صورت زیر بیان می‌شود (رابطه ۱).

$$\tau = K\dot{\gamma}^{n} \qquad (۱)$$

که در آن،

τ = تنش برشی (Pa)، γ = سرعت برشی (s^{-1})، K=

1- Parallel plate
2- Strain sweep
3- Frequency sweep
4- Temperature sweep
5- Apparent viscosity
6- Herschel- Bulkley
7- Power law
8- Carreau

ضریب قوام ($Pa.s^n$)؛ و n = شاخص رفتار جریان (بدون بعد). K، بزرگی ویسکوزیتهٔ سیال و n میزان نزدیکی رفتار سیال به سیال نیوتنی را نشان می‌دهد. در سیالات نیوتنی، n برابر با ۱ است و درنتیجه، K بیانگر ویسکوزیتهٔ واقعی سیال خواهد بود، درحالی‌که در مورد سیالات غیر نیوتونی، اگر n کمتر از ۱ باشد، سیال رقیق شونده با برش (سودوپلاستیک) و چنانچه بیشتر از ۱ باشد، سیال غلیظ شونده با برش (دایلاتانت) گفته می‌شود. در این سیالات، شیب منحنی تنش برش در برابر سرعت برش ثابت نیست و در سرعت‌های برشی مختلف، مقادیر متفاوتی از ویسکوزیته به دست می‌آید؛ بنابراین، برای سیالات غیر نیوتونی از اصطلاح لزوجت ظاهری یا قوام استفاده می‌شود (Norton *et al.*, 2010, Razi *et al.*, 2019).

مدل هرشل بالکلی

در سیالاتی که رفتار سودوپلاستیک از خود نشان می‌دهند، شاخص جریان (n) بین صفر و یک است. رابطه کلی‌تری که علاوه بر رفتار سیالات ویسکوز مستقل از زمان (سودوپلاستیک و دایلاتانت) رفتار سیالات پلاستیک را نیز نشان می‌دهد، مدل هرشل بالکلی (رابطه ۲) است که در آن شاخص تنش تسلیم (τ_0) به رابطه قانون توان (رابطه ۱) افزوده می‌شود:

$$\tau = k\dot{\gamma}^n + \tau_0 \qquad (۲)$$

که در آن،

τ_0 = تنش اولیه یا تنش تسلیم (Pa) (Fischer & Windhab, 2011, Razi *et al.*, 2020).

مدل کارئا

این مدل بیشتر در خصوص سیالاتی استفاده می‌شود که در دامنهٔ برشی کم و زیاد، خصوصیات آنها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و رابطه آن به شرح زیر است (رابطه ۳):

$$\eta a=\eta\infty + (\eta 0-\eta\infty/(1+(\lambda c\gamma)\ 2)^{m}) \qquad (۳)$$

که درآن،

λc= ثابت‌های زمانی مرتبط با زمان استراحت پلیمر در محلول، m= توان بدون بعد؛ و $\eta\infty$ و $\eta 0$ = ویسکوزیته محلول در سرعت‌های برشی بی‌نهایت و صفر هستند (Mandala *et al.*, 2004).

شرایط اجرای آزمون‌های نوسانی

آزمون روبش کرنش در محدودهٔ کرنش ۱۰۰۰-۰/۰۰۵ درصد به‌منظور تعیین محدودهٔ ویسکوالاستیک خطی صورت گرفت، زیرا آزمون‌های ویسکوالاستیک زمانی ارزشمند و قابل تفسیر خواهند بود که در محدودهٔ ویسکوالاستیک خطی اجرا شوند (Shabani *et al.*, 2018). آزمون روبش فرکانس در محدودهٔ فرکانس ۱۰۰-۰/۰۰۱ هرتز و با اعمال کرنش ثابت ۰/۵ درصد در محدوده ویسکوالاستیک خطی اجرا شد.

آزمون روبش دما در محدودهٔ دمایی ۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد، در فرکانس ۱ هرتز و ناحیه خطی ویسکوالاستیک انجام پذیرفت و تغییرات مدول‌ها الاستیک و ویسکوز تحت تأثیر دما گزارش شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

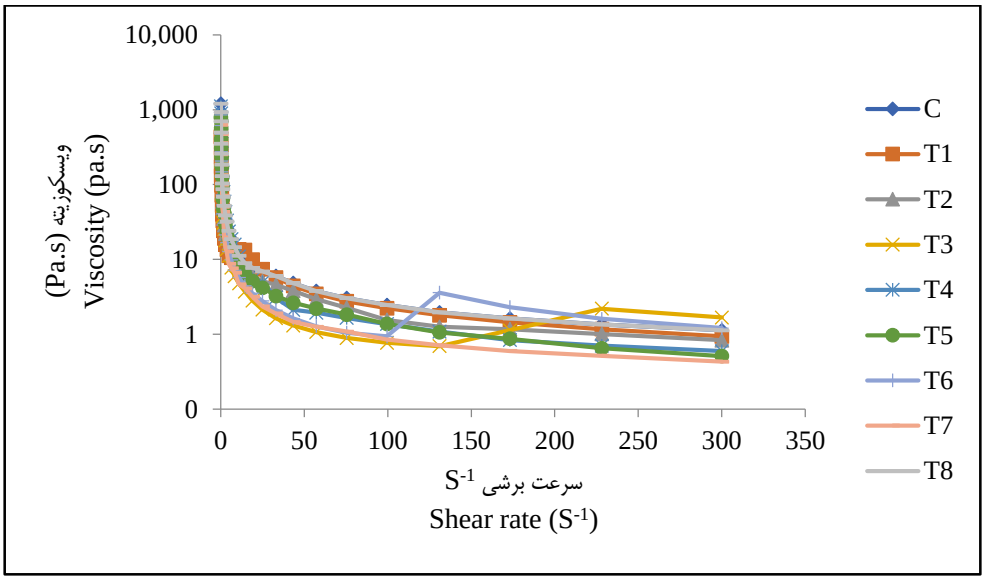
نتایج بر اساس میانگین ± انحراف استاندارد گزارش شد. تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها با استفاده از آنالیز واریانس دوطرفه (ANOVA) در نرم‌افزار SPSS 18 در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ (سطح اطمینان ۹۵ درصد) اعلام شد. آزمون چند دامنه‌ای دانکن به‌منظور تعیین معنی‌دار بودن تفاوت بین تیمارها به‌کارگرفته شد. تمامی آزمون‌ها در سه تکرار اجرا شدند.

نتایج و بحث

رئولوژی مواد غذایی از دیدگاه کیفیت مواد غذایی و دیدگاه مهندسی فرایند مواد غذایی اهمیت دارد. از ارزیابی رئولوژی می‌توان در ارزیابی کیفیت بافتی مواد غذایی تازه و فرموله شده، ارزیابی ماندگاری مواد غذایی و تعیین اثر افزودنی‌های مختلف مانند قوام دهنده‌ها و امولسیفایرها بر بهبود کیفیت و دلپذیری مواد غذایی استفاده کرد. علاوه بر این، پایداری مادهٔ غذایی طی نگهداری طولانی‌مدت و احساسی که بافت مواد غذایی دردهان ایجاد می‌کند، تحت تأثیر رفتار رئولوژیکی فراورده قرار دارد و برای پذیرش مشتری اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت (Kasapis & Bannikova, 2017, Fischer *et al.*, 2009). در مطالعهٔ حاضر، به‌منظور بررسی تأثیر افزودن مالتودکسترین و پروبیوتیک‌ها بر کیفیت بافتی و رئولوژیکی نمونه‌های خامه‌ترش حاصل، ویژگی‌های رئولوژی نمونه‌ها بررسی شد.

ارتباط بین ویسکوزیتهٔ ظاهری و سرعت برشی نمونه‌های مایونز در شکل ۱ نشان داده‌شده است. با افزایش سرعت برش، ویسکوزیتهٔ ظاهری تمامی نمونه‌ها کاهش یافته است و تمام نمونه‌ها رفتار رقیق شونده با برش[1] نشان داده‌اند. میزان کاهش ویسکوزیته با افزایش سرعت برشی رابطه مستقیم دارد. در امولسیون غلیظ، به هم‌پیوستگی ذرات منجر به شکل‌گیری شبکه سه‌بعدی از ذرات تجمع یافته می‌شود. با ایجاد نیروی برشی روی امولسیون، ذرات تجمع یافته به‌صورت پیش‌رونده تخریب می‌شوند و مقاومت امولسیون به جریان کاهش می‌یابد. این امر موجب کاهش ویسکوزیتهٔ ظاهری امولسیون طی زمان می‌شود (Korhonen *et al.*, 2000). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در سرعت‌های برشی پایین، ویسکوزیتهٔ ظاهری به‌سرعت کاهش می‌یابد، درحالی‌که در سرعت‌های بالاتر روند کاهش ویسکوزیته آهسته است. دلیل این امر آن است که با افزایش سرعت برشی به میزان موردنیاز برای غلبه بر حرکت براونی، ذرات امولسیون بیشتر در جهت حرکت جریان قرار می‌گیرند و مقاومت کمتری نسبت به جریان یافتن خواهند داشت که این مسئله سبب کاهش ویسکوزیته می‌شود (Chanamai & McClements, 2000, Ghorbani-HasanSaraei *et al.*, 2019). اثر رقیق شوندگی نمونه‌های خامه‌ترش با افزایش سرعت برشی در افزایش کارایی پمپ‌ها در کارخانه‌ها اهمیت دارد. ابوالفضلی و همکاران (Aboulfazli *et al.*, 2015) در بررسی بستنی پروبیوتیک تولید شده توسط زانتان و *بیفیدوباکتریوم* گزارش دادند که با افزایش سرعت برش، ویسکوزیته ظاهری تمامی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. ماندالا و همکاران (Mandala *et al.*, 2004) در بررسی افزودن صمغ زانتان و دانه خرنوب به سس سفید حاوی باکتری‌های پروبیوتیک مشاهده کردند که با افزایش سرعت برش، ویسکوزیتهٔ ظاهری سس سفید کاهش می‌یابد. نتایج بررسی‌ها نشان داد تیمارهای حاوی مالتودکسترین ویسکوزیتهٔ بالاتری به‌دست می‌دهند در صورتی که نوع باکتری‌ها اثر معنی‌داری بر میزان ویسکوزیته نشان نمی‌دهد. بالاترین ویسکوزیته (Pa.s ۱۲۰۰) مربوط به تیمار T2 (خامه‌ترش حاوی ۲ درصد مالتودکسترین) است در صورتی که کمترین مقدار ویسکوزیته در نمونهٔ شاهد (بدون مالتودکسترین و باکتری) و معادل Pa.s ۰/۱ دیده شده است.

1- Shear thinning



شکل ۱- تغییرات ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های خامه‌ترش با افزایش سرعت برشی

Figure 1 - Changes in the apparent viscosity of sour cream samples with increasing shear rate

همان‌طور که مشاهده می‌شود، رابطهٔ تنش برشی- سرعت برشی غیرخطی است و بنابراین نمونه‌های خامه‌ترش در گروه سیالات غیر نیوتونی طبقه‌بندی می‌شوند. از طرفی، به دلیل کاهش ویسکوزیتهٔ ظاهری با افزایش سرعت برشی، نمونه‌های خامه‌ترش رفتار رقیق شونده با برش دارند. به‌منظور تعیین رفتار جریان نمونه‌های خامه‌ترش، مدل‌های قانون توان یا استوالد و هرشل بالکلی برای برازش داده‌های تنش برشی در مقابل سرعت برشی مقایسه شدند. مدل کارئا توان به دلیل دارا بودن ضریب همبستگی (R^2) بالاتر، به‌طور مناسب‌تری قادر به پیش‌گویی رفتار جریان نمونه‌های خامه‌ترش بود.

شاخص رفتار جریان، شاخصی است که چگونگی رفتار ماده غذایی را مشخص می‌کند و مقادیر آن در محدودهٔ صفر تا ۱ است. در سیالات نیوتنی n =۱، در سیالات سودو پلاستیک (رقیق شونده با برش) $0 < n < 1$ و در سیالات دایلاتانت (غلیظ شونده با برش)، $n > 1$ است. با محاسبه از طریق داده‌ها، شاخص رفتار جریان همه نمونه‌ها کمتر از یک است و بنابراین نمونه‌های خامه‌ترش رفتار سودوپلاستیک دارند. در تمامی نمونه‌ها اندیس رفتار جریان پایین‌تر از یک بود که نشان‌دهندهٔ رفتار رقیق شوندگی با برش است. ویسکوزیتهٔ برشی صفر مهم‌ترین پارامتر در مدول کارئا است. مطابق نتایج گزارش‌شده در جدول ۲، نمونهٔ شاهد به دلیل فقدان مالتودکسترین و باکتری، بالاترین مقدار ویسکوزیته را در سرعت برشی صفر داشت (۲۶/۸۵pa.s). این نتایج بیانگر مقاومت بالای نمونهٔ شاهد در سرعت‌های برشی پایین است. اثر نوع باکتری اثر معنی‌داری بر ویسکوزیتهٔ برشی نشان نداد. بین باکتری‌های گوناگون، اختلاف معنی‌داری ازلحاظ ویسکوزیته برشی مشاهده نشد درصورتی‌که افزودن مالتودکسترین باعث کاهش ویسکوزیتهٔ برشی شد.

جدول ۲- ضریب تبیین حاصل از برازش داده‌های رفتار جریان با مدل‌های مختلف؛ پارامترهای به‌دست‌آمده حاصل از برازش داده‌های رفتار جریان با مدل کارئا

Table 2- Coefficient of correlation obtained from fitting flow behavior data with different models; Parameters obtained from fitting flow behavior data with Carreau model

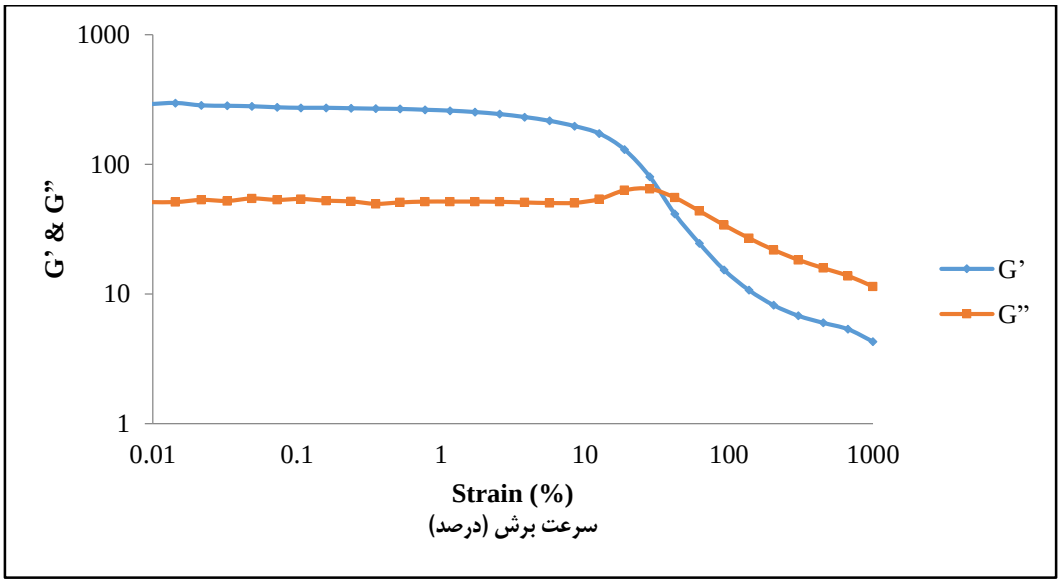
پارامترهای مربوط به مدل کارئا Parameters related to the Carreau model		مدل‌های مختلف رئولوژیکی برازش شده Different fitted rheological models			تیمارها Treatments
M	μ_0 (Pa.s)	کارئا Carreau	هرشل بالکلی Herschel–Bulkley	استوالد Ostwald	
0.403	23.865	0.998	0.997	0.997	C
0.344	1.036	0.834	0.805	0.903	T1
0.435	1.641	0.991	0.871	0.154	T2
0.537	10.282	0.990	0.527	0.028	T3
0.365	4.789	0.892	0.884	0.683	T4
0.411	2.443	0.937	0.805	0.229	T5
0.502	3.538	0.987	0.805	0.721	T6
0.342	7.252	0.921	0.914	0.495	T7
0.464	9.239	0.950	0.956	0.797	T8

به‌منظور تعیین ویژگی‌های ویسکوالاستیک نمونه‌های خامه‌ترش تهیه‌شده در این تحقیق، از آزمون نوسانی روبش فرکانس استفاده شد (شکل ۲). ابتدا در آزمون روبش کرنش، کرنش ۰/۰۵ به‌عنوان بهترین کرنش متناظر با محدودهٔ ویسکوالاستیک خطی مشخص شد. آزمون روبش فرکانس رایج‌ترین آزمون نوسانی است که با ثابت نگه‌داشتن دامنهٔ نوسان تنش یا کرنش ورودی و افزایش فرکانس اجرا می‌شود و تغییر رفتار ویسکوالاستیک مواد را مشخص می‌کند. منحنی‌هایی که از این آزمون به دست می‌آیند ممکن است برحسب فرکانس (با واحد هرتز) یا فرکانس زاویه‌ای (با واحد Rad/s) رسم شوند. دو پارامتر مهم که از این آزمون نتیجه می‌شوند، مدول ذخیره یا مدول الاستیک (G')[1] و مدول افت یا مدول ویسکوز (G'')[2] هستند. در آزمون روبش فرکانس چنانچه G' بزرگ‌تر از G'' باشد، نمونه رفتار مواد ویسکوالاستیک جامد را از خود نشان می‌دهد و چنانچه G'' بزرگ‌تر از G' باشد، مادهٔ مورد آزمایش ویسکوالاستیک مایع است. به‌طورکلی با افزایش فرکانس، مواد ویسکوالاستیک خصوصیات شبه جامد بیشتری نشان می‌دهند (Hege *et al.*, 2021). همان‌طور که در شکل ۳ و ۴ نشان داده‌شده است، در همهٔ نمونه‌ها G' بیشتر از G'' است و نمونه‌ها رفتار الاستیک بیشتری دارند و در ردیف مواد ویسکوالاستیک جامد طبقه‌بندی می‌شوند. میشکوا و همکاران (Míšková *et al.*, 2021) و آدیه و همکاران (Adeyeye *et al.*, 2002) نیز با بررسی ویژگی‌های ویسکوالاستیک خامه، نتایج مشابهی گزارش کرده‌اند. در محدودهٔ فرکانس‌های اعمال‌شده در این آزمون، $G'>G''$ است، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نمونه‌های خامه‌ترش ساختار ضعیف و ژل‌مانند دارند و ویژگی‌های ژل ضعیف را نشان می‌دهند. در مطالعات مختلف نیز گزارش شده است که خامه در فرکانس‌های ۱۰-۰/۱ هرتز، ویژگی‌های ژل ضعیف را نشان می‌دهد (Hege *et al.*, 2021).

1- Storage modulus

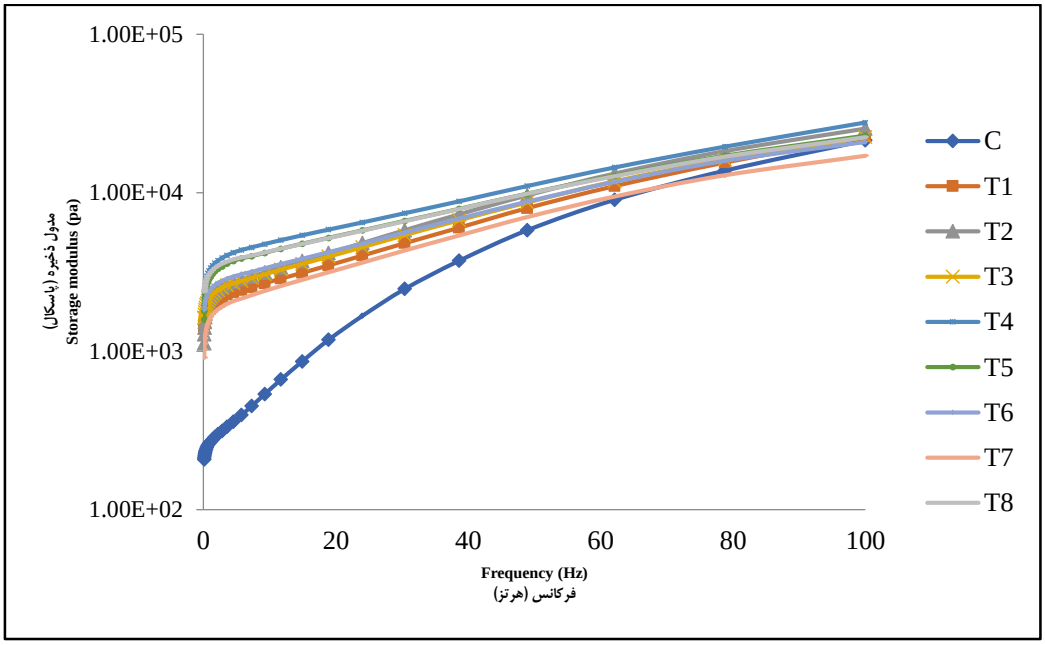
2- Loss modulus

مدول ذخیره میزان رفتار الاستیک و مقدار انرژی بازیابی شده در واحد حجم و در هر سیکل کامل موج کرنش را نشان می‌دهد. درواقع، این پارامتر نمایانگر خاصیت الاستیک مادهٔ غذایی ویسکوالاستیک و میزان انرژی ذخیره‌شده در هر دوره تغییر شکل است. با افزایش تدریجی فرکانس، افزایش تدریجی در مدول ذخیره مشاهده شد.



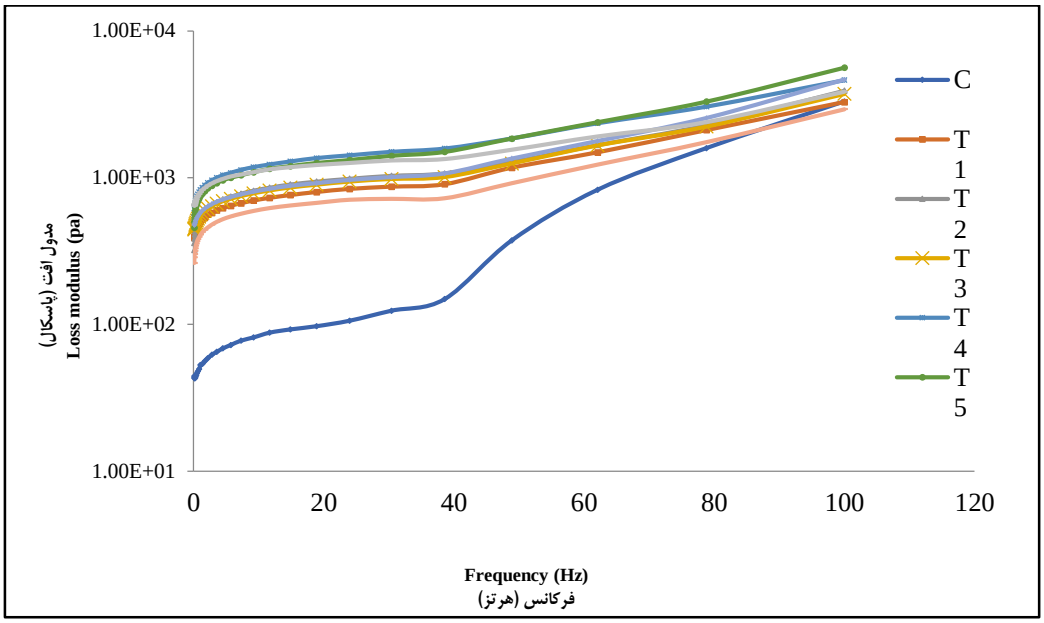
شکل ۲- نتایج آزمون نوسانی نمونه‌های خامه‌ترش

Figure 2 - Oscillation test results of sour cream samples



شکل ۳- مقایسهٔ مدول ذخیرهٔ نمونه‌های خامه‌ترش

Figure 3 - Comparison of the storage modulus of sour cream samples



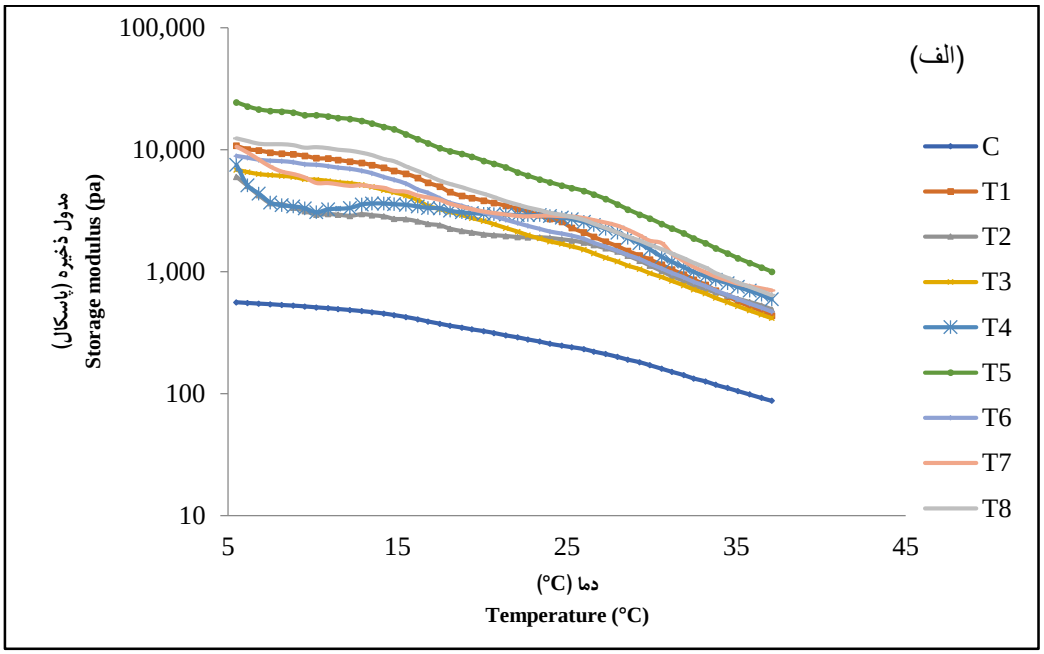
شکل ٤- مقایسهٔ مدول افت نمونه‌های خامه‌ترش

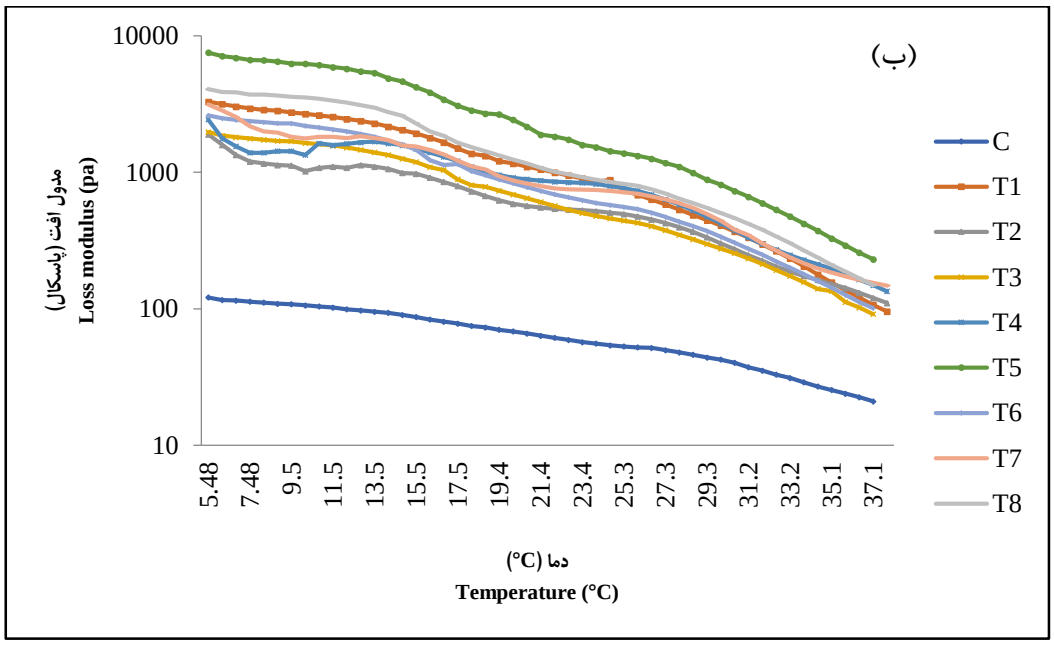
Figure 4- Comparison of loss modulus of sour cream samples

مدول افت برشی یا مدول ویسکوز (G'')، میزان رفتار جریانی و نیز مقدار انرژی به هدررفته در واحد حجم و در هر سیکل کامل موج کرنش را نمایش می‌دهد. مدول ویسکوز نشانگر خاصیت ویسکوز جسم ویسکوالاستیک است و میزان انرژی تلف‌شده در هر دوره تغییر شکل را بیان می‌کند. افزایش این مدول ذلالت دارد بر افزایش رفتار ویسکوز، در مقایسه با رفتار ویسکوالاستیک (Daubert & Foegeding, 2010). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، تیمار شاهد کمترین مدول افت و تیمار حاوی *کازئی* بالاترین مدول افت را نشان می‌دهند. به‌طورکلی، تیمارهای حاوی باکتری‌ها، مدول ذخیره و مدول افت بیشتری نشان داده‌اند. بین باکتری‌های مختلف اختلاف معنی‌داری ($P>0.05$) مشاهده نمی‌شود در صورتی که با افزایش غلظت مالتودکسترین مدول افت به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرده‌است.

آزمون روبش دما به‌منظور درک تغییرات ساختاری هنگام حرارت دهی است. خصوصیات ویسکوالاستیک از ۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد بررسی شد و منحنی‌های آزمایش روبش دما از نمونه‌ها در شکل ۵ ارائه‌شده است. در کلیهٔ تیمارها با افزایش دما، کاهش در مدول ذخیره و مدول افت مشاهده شد که مربوط به ذوب چربی، کاهش ویسکوزیتهٔ فاز مایع، فعال‌سازی حرارتی مولکول‌ها، و جذب انرژی توسط مولکول‌هاست. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما تیمار شاهد کمترین میزان مدول ذخیره و مدول افت را طی حرارت دهی نشان داد. افزودن مالتودکسترین منجر به کاهش مدول ذخیره و درنهایت موجب افزایش سختی نمونه‌ها می‌شود که تا حدی برای بافت خامه‌ترش مطلوب و سبب کاهش سرم‌دهی خامه می‌گردد. تغییرات ایجادشده در نمونهٔ تیمارها و نمونهٔ شاهد مربوط به مالتودکسترین است

و ظـــــاهراً گروه‌هـــــای باکتریـــــایی نقشـــــی در تغییـــــرات رئولـــــوژیکی ندارنـــــد. در مطالعـــــات پیشـــین نیـــز نقـــش مالتودکســـترین در کـــاهش میـــزان مدول ذخیره و مدول افـت بـا افـزایش دمـا گـزارش شـده اسـت (Vardin & Yasar, 2012, Wang *et al.*, 2018).





شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف خامه‌ترش بر آزمون روبش دما، الف- مدول ذخیره و ب- مدول افت

Figure 5 - The effect of different sour cream treatments on temperature sweep test, a- storage module and b- loss modulus

نتیجه‌گیری

در این مطالعه باکتری‌های پروبیوتیک مختلف و مالتودکسترین به خامه‌ترش اضافه و ویژگی‌های رئولوژی آن بررسی شد. نتایج آزمون رفتار جریانی نشان داد که همهٔ نمونه‌ها رفتار شل شونده با برش دارند و مدل کارئا به‌خوبی داده‌های رفتار جریان را برازش کرد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، همهٔ تیمارها مدول ذخیره و افت بالاتری نسبت به نمونهٔ شاهد داشته‌اند. بااین‌حال، مقادیر مختلف مالتودکسترین و گروه‌های مختلف باکتریایی اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های رئولوژیکی خامه‌ترش نداشته‌است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که با افزودن مالتودکسترین و باکتری‌ها بافت خامه‌ترش سفت تر می‌شود و می‌تواند به عنوان محصول فراسودمند با ویژگی‌های رئولوژیکی مناسب مصرف گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بابت فراهم آوردن امکانات این پژوهش قدردانی می‌نمایند.

تعارض منافع

نویسندگان در رابطه با انتشار مقاله ارائه‌شده به‌طور کامل از اخلاق نشر تبعیت کرده و از موارد سوء اخلاق ازجمله سرقت ادبی، سو رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Aboulfazli, F., Baba, A. S., & Misran, M. 2015. Effects of fermentation by *Bifidobacterium bifidum* on the rheology and physical properties of ice cream mixes made with cow and vegetable milks. International Journal of Food Science & Technology. 50(4): 942-949.

Adeyeye, M. C., Jain, A. C., Ghorab, M. K., and Reilly, W. J. 2002. Viscoelastic evaluation of topical creams containing microcrystalline cellulose/sodium carboxymethyl cellulose as stabilizer. AAPS pharmscitech. 3, 16-25.

Afshar, P., Nasiraie, L. R., Shokrzadeh, M., HasanSaraei, A. G., and Raeisi, S. N. 2020. Bio-protective effects of Lactobacillus plantarum subsp. plantarum against aflatoxin b1 genotoxicity on human blood lymphocytes: a native probiotic strain isolated from Iranian camel milk. Current Medical Mycology. 6(4): 54-61.

Amirbozorgi, G., Samadlouie, H., and Shahidi, A. 2016. Identification and characterization of lactic acid bacteria isolated from Iranian traditional dairy products. International Biological and Biomedical Journal. 2(1): 47-52.

Biglarian, N., Rafe, A., and Shahidi, S. A. 2021. Effect of basil seed gum and κ-carrageenan on the rheological, textural, and structural properties of whipped cream. Journal of the Science of Food and Agriculture. 101(14): 65-69.

Chanamai, R., and McClements, D. J. 2000. Dependence of creaming and rheology of monodisperse oil-in-water emulsions on droplet size and concentration. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 172(1-3): 79-86.

Charalampopoulos, D. and Rastall, R.A (Eds.). 2009. Prebiotics and Probiotics Science and Technology. Vol 1. New York. Springer Science & Business Media.

Daubert, C. R., and Foegeding, E. A. 2010. Rheological principles for food analysis. In Food analysis. Springer, Boston, MA.

Dawod, H. and Shalabi, M., 2021. The effect of supplement sour cream by addition L. casei on characteristics of sour cream during shelf life. Probiotics. 14, 12-14.

Eliasson, A. C. 2004. Starch in Food: Structure, Function and Applications. CRC press.

Fischer, P. and Windhab, E. J. 2011. Rheology of food materials. Current Opinion in Colloid & Interface Science. 16(1): 36-40.

Fischer, P., Pollard, M., Erni, P., Marti, I., and Padar, S. 2009. Rheological approaches to food systems. Comptes Renus Physique. 10(8): 740-750.

Fuller, R. 2012. Probiotics: The Scientific Basis. Springer Netherlands.

Ghorbani-HasanSaraei, A., Rafe, A., Shahidi, S. A., and Atashzar, A. 2019. Microstructure and chemorheological behavior of whipped cream as affected by rice bran protein addition. Food Science & Nutrition. 7(2): 875-881.

Hadnađev, M., Hadnađev, T. D., Torbica, A., Dokić, L., Pajin, B., & Krstonošić, V. 2011. Rheological properties of maltodextrin based fat-reduced confectionery spread systems. Procedia Food Science. 1, 62-67.

Hege, J., Ghebremedhin, M., Joshi, B. L., Schreiber, C., Gill, H. C., and Vilgis, T. A. 2021. Dairy: Milk Gels–a Gastrophysics View. In Handbook of Molecular Gastronomy. CRC Press.

Jervis, S. M., Gerard, P., Drake, S., Lopetcharat, K., and Drake, M. A. 2014. The perception of creaminess in sour cream. Journal of Sensory Studies. 29(4): 248-257.

Kasapis, S., and Bannikova, A. 2017. Rheology and food microstructure. In Advances in Food Rheology and its Applications. Woodhead Publishing.

Korhonen, M., Niskanen, H., Kiesvaara, J., and Yliruusi, J. 2000. Determination of optimal combination of surfactants in creams using rheology measurements. International Journal of Pharmaceutics. 197(1-2): 143-151.

Long, Z., Zhao, M., Zhao, Q., Yang, B., and Liu, L. 2012. Effect of homogenisation and storage time on surface and rheology properties of whipping cream. Food Chemistry. 131(3): 748-753.

Mandala, I.G., Savvas, T. P., and Kostaropoulos, A. E. 2004. Xanthan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model-sauce. Journal of Food Engineering. 64(3): 335-342.

Mísková, Z., Salek, R. N., Křenková, B., Kůrová, V., Němečková, I., Pachlová, V., and Buňka, F. 2021. The effect of κ-and ι-carrageenan concentrations on the viscoelastic and sensory properties of cream desserts during storage. LWT. 145, 111539.

Musiy, L., Tsisaryk, O., Slyvka, I., Mykhaylytska, O. and Gutyj, B. 2017. Study of keeping probiotic properties of sour-cream butter at storage. EUREKA: Life Sciences. 31(2): 27-33.

Norton, I. T., Spyropoulos, F., and Cox, P. 2010. Practical Food Rheology: An Interpretive Approach. John Wiley & Sons.

Quigley, E. M. 2019. Prebiotics and probiotics in digestive health. Clinical Gastroenterology and Hepatology. 17(2): 333-344.

Raeisi, S. N. 2012. Probiotic characterization of *Bifidobacterium* spp. isolated from commercial fermented milk in the UK. PhD Thesis. London Metropolitan University. England.

Raeisi, S. N., Ghoddusi, H. B., Boll, E. J., Farahmand, N., Stuer-Lauridsen, B., Johansen, E., Sutherland, J. P. and Ouoba, L. I. I. 2018. Antimicrobial susceptibility of bifidobacteria from probiotic milk products and determination of the genetic basis of tetracycline resistance in Enterococcus species after in vitro conjugation with *Bifidobacterium animalis* subsp. lactis. Food Control. 94, 205-211.

Rao, V., and Rao, L. 2016. Probiotics and Prebiotics in Human Nutrition and Health. Wiley.

Razi, S. M., Motamedzadegan, A., Seyed-Ahmad, S., and Rashidinejad, A. 2020. Steady and dynamic shear rheology as a toolfor evaluation of the interactions between egg white albumin and basil seed gum. Rheologica Acta. 59, 317-331.

Razi, S. M., Motamedzadegan, A., Matia-Merino, L., Shahidi, S. A., and Rashidinejad, A. 2019. The effect of pH and high-pressure processing (HPP) on the rheological properties of egg white albumin and basil seed gum mixtures. Food Hydrocolloids. 94: 399-410.

Shabani, R., Shahidi, S. A., and Rafe, A. 2018. Rheological and structural properties of enzyme-induced gelation of milk proteins by ficin and Polyporus badius. Food Science & Nutrition. 6(2): 287-294.

Shafizadeh, A., Golestan, L., Ahmadi, M., Darjani, P., and Ghorbani-HasanSaraei, A. 2020. Encapsulation of *Lactobacillus casei* in alginate microcapsules: improvement of the bacterial viability under simulated gastrointestinal conditions using flaxseed mucilage. Journal of food measurement and characterization. 14, 1901-1908.

Vardin, H., and Yasar, M. 2012. Optimisation of pomegranate (Punica Granatum L.) juice spray-drying as affected by temperature and maltodextrin content. International Journal of Food Science & Technology. 47(1): 167-176.

Wang, Y., Truong, T., Wang, B., Prakash, S., and Bhandari, B. 2018. Effects of maltodextrin powder addition on the rheological and thermal properties of molasses. Sugar Technology. 20, 574-584.

Williams, N. T. 2010. Probiotics. American Journal of Health-System Pharmacy. 67(6): 449-458.

Yilmaz-Ersan, L. 2013. Fatty acid composition of cream fermented by probiotic bacteria. Mljekarstvo/Dairy. 63(3): 132-139.

Food Engineering Research/Vol.21/No.73/Autumn & Winter 2022/P: 15-30

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

Effect of Probiotic Bacteria and Maltodextrin on Rheological Properties of Sour Cream

F. Khademi, A. Motamedzadegan, Sh. Naghizadeh-Raeisi*, S. A. Shahidi

* Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran. Email: Sh.Naghizadeh@iau.ac.ir
Received: 22 May 2019, Accepted: 12 February 2020
http://doi: 10.22092/fooder.2023.355534.1312

Abstract

Sour cream contains 20-30% fat, to which aroma-producing bacteria (lactic acid) were added in order to create a special odor and taste. This type of cream is stored at 4 °C for at least 24 hours before distribution and then marketed. The aim of this study was to investigate the possibility of producing probiotic sour cream by adding probiotic bacteria and maltodextrin. In this study, the addition of probiotic bacteria (*Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, and *Bifidobacterium bifidum*) in the formulation of sour cream with 20% fat was used and the rheological properties of the cream were investigated. The results showed that all samples showed shear-thinning behavior under shear strain. The rheological Carreau model fits the sour cream flow behavior data well. In terms of viscoelastic properties, in all samples, including bacteria and maltodextrin, the storage modulus was higher than the loss modulus. Also, no significant difference was observed between the amount of maltodextrin addition and the type of bacteria in terms of rheological properties ($P< 0.05$).

Keywords: Probiotic, Maltodextrin, Rheological Carreau Model, Sour Cream.