تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۲۱/ شماره ۷۲/بهار و تابستان ۱۴۰۱ /ص ۱۶۴-۱۵۱

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

بررسی تأثیر آغازگرهای تجاری تولید کننده پلی‌ساکارید خارج سلولی بر ویژگی‌های رئولوژیک ماست همزده

صحرا فرهادی*

دکتری فناوری مواد غذایی، گروه صنایع غذایی و تبدیلی، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۱۲/۶ ؛ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۰/۲۰

چکیده

ماست یکی از مهمترین فرآورده‌های لبنی است که در جوامع بشری مصرف می‌شود. بنابراین بالا بردن سطح کیفی این محصول اهمیت ویژه‌ای دارد. برخی از سویه‌های باکتری اسید لاکتیک که در تهیه ماست تخمیری به عنوان آغازگر به کار می‌روند، پلی‌ساکارید خارج سلولی تولید می‌کنند که می‌تواند ویژگی‌های بافتی محصول را بهبود بخشد و جایگزین مناسبی برای قوام دهنده‌ها در تولید ماست به شمار آیند.

در این پژوهش، اثر سه نوع آغازگر تجاری تولیدکننده پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی ساکو (Saco)، هانسن (Hansen)، فرمنتوتک (Fermentotec) بر ویژگی‌های فیزیکی (آب‌اندازی)، رئولوژیکی (گرانروی و سفتی) و حسی نمونه‌های ماست تهیه شده با آغازگرهای تجاری گفته شده در دوره‌ای ۲۱ روزه ارزیابی شد.

در پایان دوره معلوم شد نمونه‌های تهیه شده با آغازگر شرکت فرمنتوتک پایدارترند و گرانروی و سفتی بیشتری نسبت به نمونه‌های تهیه شده با آغازگر شرکت‌های هانسن و ساکو دارند. نمونه‌های تهیه شده با آغازگر فرمنتوتک سفت‌ترند و پیوستگی و چسبندگی بیشتری نسبت به دو نمونه تهیه‌شده با آغازگر دیگر دارند. ماست‌های ساخته شده با آغازگر پلی‌ساکارید خارج سلولی فرمنتوتک آب‌اندازی کمتری نسبت به ماست تولید شده با آغازگر پلی‌ساکارید خارج سلولی ساکو و هانسن دارد. نتایج پژوهش همچنین نشان می‌دهد که مدل کراس بهترین برازش را برای هر سه محصول دارد. استفاده از آغازگر فرمنتوتک می‌تواند در بهبود کیفیت ماست همزده مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی

آغازگرهای تجاری، بافت، قوام دهنده، ماست همزده، پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی

مقدمه

در دهه‌های اخیر از پلی‌ساکاریدهای میکروبی که به مقدار فراوان و با درجه خلوص بالاتری به دست می‌آیند، به عنوان جایگزین پلی‌ساکاریدهای گیاهی استفاده می‌شود. پلی‌ساکاریدهای میکروبی پلیمرهایی طبیعی هستند که باکتری‌های مختلف آنها را تولید می‌کنند و به دلیل کاربردهایی مانند قوام دهندگی و کاهش آب اندازی، در صنعت استفاده فراوان دارند (Ayala-Hernandez *et al.*, 2009). امروزه مصرف کنندگان تمایل دارند که از

* نگارنده مسئول: Email: golshan_ta@yahoo.com

http://doi: 10.22092/fooder.2020.126377.1221

© 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/).

محصولات بدون قوام دهنده استفاده کنند. یکی از کاربردهای مهم پلی‌ساکارید خارج سلولی اثر افزایش قوام بر محصولات لبنی است (Duboc, 2001 & Mollet).

در بین تمام فرآورده‌های تخمیری شیر، ماست شناخته شده‌تر از سایر فرآورده‌هاست و پذیرش بیشتری در دنیا دارد. ماست در کشورهای اطراف دریای مدیترانه، آسیا و اروپای مرکزی مصرف بالایی دارد. این فرآورده از بلغارستان منشأ گرفته است و بسیاری از کشورها نامی خاص برای آن دارند و در سالیان اخیر به عنوان یک محصول سلامتی بخش شناخته شده است (Awad *et al.*, 2005).

باکتری‌های اسیدلاکتیک مزوفیل در شیر تخمیر شده سنتی و در صنایع لبنی به عنوان آغازگر استفاده می‌شوند. برخی از آنها اسید لاکتیک، ترکیبات طعم دار و باکتریوسین تولید می‌کنند و چندین سویه هم توانایی ترشح پلی‌ساکارید خارج سلولی دارند (Ahmed *et al.* 2005). ترشح پلی‌ساکارید خارج سلولی[1] در ماست می‌تواند به عنوان بهبوددهنده بافت و نیز پایدارکننده عمل کند. به این صورت که ابتدا گرانروی محصول نهایی تخمیری شیر را افزایش می‌دهد و پس از آن با متصل کردن آب و واکنش با اجزای شیر، مثل پروتئین‌ها و میسل‌ها، موجب افزایش استحکام شبکه کازئینی می‌شود. در نتیجه، پلی‌ساکارید خارج سلولی می‌تواند آب‌اندازی را کاهش و پایداری را افزایش دهد (Sutherland, 1972). این ویژگی در دیگر محصولات لبنی مثل پنیر نیز می‌تواند مفید واقع شود. بیشترین کاربرد پلی‌ساکارید خارج سلولی در صنعت پنیرسازی در تولید پنیرهای کم‌چرب است (Girard *et al.*, 2007) پلی‌ساکارید خارج سلولی باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب شبکه پروتئینی و تولید پنیر نرم‌تر می‌شوند و با استفاده از آنها می‌توان پنیرهای کم‌چرب را با ویژگی‌های مشابه با نوع پرچرب تولید کرد. پلی‌ساکارید خارج سلولی، پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا هستند که از واحدهای قندی تشکیل شده‌اند و توسط میکروارگانیسم‌ها به محیط اطراف ترشح می‌شوند. پلی‌ساکارید خارج سلولی تولید شده از باکتری‌های اسید لاکتیک اثر ضد سرطانی دارند؛ این ترکیبات، سیستم ایمنی را تحریک می‌کنند و کلسترول خون را کاهش می‌دهند. بنابراین، پلی‌ساکارید خارج سلولی حاصل از باکتری‌های اسید لاکتیک، این پتانسیل را دارند تا به عنوان افزودنی غذایی با اثر سلامتی بخش مصرف شوند؛ این مواد ممکن است مانند کپسول باشند که به شدت به دیواره سلولی متصل هستند یا حالت طنابی داشته باشند که به درون محیط کشت آزاد می‌شوند (Perry *et al.*, 1997). به علت تولید مقادیر متفاوت پلی‌ساکارید خارج سلولی، ویژگی‌های شیمیایی، اندازه مولکولی و زنجیره‌های جانبی ویژگی‌های متفاوتی به محصول می‌دهند. پلی ساکاریدهای خارج سلولی به دلیل ایجاد بار منفی و برهم‌کنش با کازئین، موجب ایجاد مقاومت در برش[2] می‌شوند. بنابراین انتظار می‌رود شیرهای تخمیر شده با آغازگرهای تولیدکننده پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی مثبت ویژگی‌های رئولوژیک متفاوتی با آغازگرهای پلی‌ساکارید خارج سلولی منفی داشته باشند (Girard *et al.*, 2007)

باکتری‌های لاکتیکی توانایی تولید پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی را در مدت زمانی طولانی دارند و باعث بهبود بافت محصولات تخمیرشده مانند خمیرترش، ماست و دسرهای لبنی می‌شوند. برای ماست و محصولات تخمیری حاصل از شیر مزایای اصلی پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی

1- Exo poly saccharides
2- Shear

توانایی اتصال به آب، افزایش ویسکوزیته و حالت خامه‌ای است. پلی ساکارید خارج سلولی تولید شده، در شرایط کنترلی به مقدار ۶۰۰-۴۵ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است (Purohit *et al.*, 2009).

شیر تخمیر شده با سویه‌های تولید کننده پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی مقاومت بالایی در برش دارند که می‌تواند به دلیل بار منفی ایجاد شده بر اثر پلی‌ساکارید خارج سلولی و تعامل مناسب با کازئین باشد (Abbasi *et al.*, 2009). در بررسی دیگری در خصوص نقش پلی‌ساکارید خارج سلولی در ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی در شیر تخمیر شده نشان داده شد که در تمام محیط‌های حاوی پلی‌ساکارید خارج سلولی، مقدار آب‌پنیر و مدول ویسکوالاستیک کاهش یافته است (Hassan *et al.*, 2008). میزان تولید پلی‌ساکارید خارج سلولی بستگی به دما، pH، میزان و ترکیب کربن، نیتروژن، مواد معدنی و ویتامین موجود در محیط دارد. تأثیر دماهای مختلف گرمخانه‌گذاری در ماست کم‌چرب نشان داد که گرمخانه گذاری در دمای ۴۲ و ۴۵ درجه سلسیوس خلل و فرج‌های بزرگ با شبکه تا حدودی نامنظم در ماست ایجاد می‌کند، اما در دمای ۳۷ درجه سلسیوس، شبکه ماتریکس تشکیل شده همگن‌تر است و با خلل و فرج کوچک‌تر تشکیل می‌شود، توان نگهداری آب و مدول ذخیره در ۴۲ درجه سلسیوس نتایج مطلوب‌تری دارد (De Kruif *et al.*, 2001). ماست ساخته شده با آغازگر تولید کننده پلی‌ساکارید خارج سلولی آب‌اندازی کمتری دارد و گرانروی آن نسبت به ماست تولید شده با سویه‌های غیر تولید کننده پلی‌ساکارید خارج سلولی بیشتر است. تعامل بین پلی‌ساکارید خارج سلولی و پروتئین‌ها می‌تواند به عنوان پرکننده و افزاینده مدول ویسکوز الاستیک باشد. حضور پلی‌ساکارید خارج سلولی در شیر قبل از ژله‌ای شدن منافذ بزرگی ایجاد می‌کند که مدول ویسکوالاستیک را کاهش می‌دهد (Nasirpour *et al.*, 2012). اثر پلی‌ساکارید خارج سلولی بر ویژگی‌های رئولوژیک ماست به نوع و مقدار آنها بستگی دارد. تولید مقادیر فراوان آن در ماست ممکن است به دلیل ممانعت از همجوشی میسل‌های کازئین و جلوگیری از تشکیل پیوندهای پروتئین-پروتئین موجب سستی ژل شود. برخی از انواع پلی‌ساکارید خارج سلولی موجب کاهش گرانروی، ایجاد لطافت و یکدستی محصول نهایی می‌شوند. حتی ممکن است عامل ایجاد گره‌های بزرگ در ماست همزده باشند. کاهش ضریب همگنی شبکه ژل در اثر تولید پلی‌ساکارید خارج سلولی نیز گزارش شده است. ماستی که از آغازگرهای ویسکوز به دست آمده بود $\tan\delta$ بیشتر و مدول افت کمتری داشت.

امیری عقدایی و همکاران (Amiri Aghdai *et al.*, 2010) با استفاده از کشت‌های تولید کننده پلی‌ساکارید خارج سلولی نسبت به کشت‌های غیر تولید کننده پلی‌ساکارید خارج سلولی کمتر بودن هر دو مدول افت و ذخیره را در ناحیه ویسکوالاستیک خطی نشان می‌دهند که این پدیده بر ضعیف‌تر بودن ساختار ژل دلالت دارد.

هدف از پژوهش حاضر بررسی توانایی تولید پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی در سه نوع آغازگر تجاری ساکو، فرمنتوتک، هانسن و مقایسه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیک ماست همزده حاصل توسط آغازگرهای مذکور است.

مواد و روش‌ها

ماست در کارخانه شیر پاستوریزه پگاه تهران تولید شد. شیر (چربی ۲/۵ درصد و پروتئین ۳/۵

درصد) پس از طی عملیات مکانیکی همگن‌سازی (هوموژنیزاسیون) (فشار ۱۸۰ بار در دمای ۶۵ درجه سلسیوس) و فرآیند حرارتی پاستوریزاسیون (۸۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه)، تا دمای ۴۵-۴۲ درجه سلسیوس سرد شد. عملیات تلقیح آغازگر ماست (۳ درصد) حاوی *لاکتوباسیلوس بلگاریکوس* و *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* ساکو (TY-458) ساخت کشور فرانسه، فرمنتوتک (SLBO2) ساخت کشور آلمان و شرکت هانسن (Express) ساخت کشور دانمارک (به عنوان شاهد) دنبال شد؛ نمونه‌ها بلافاصله در دمای ۴۵ درجه سلسیوس تا کاهش pH آن‌ها به حدود ۴/۲ – ۴/۱ گرمخانه گذاری و سپس به سردخانه با دمای ۶-۴ درجه سلسیوس منتقل شدند (Nikolic *et al.*, 2012).

اندازه‌گیری pH

pH نمونه‌ها با استفاده از دستگاه pH متر (Metter Toledo، آلمان) اندازه‌گیری شد (Saija *et al.*, 2010).

اندازه‌گیری آب اندازی

به منظور تعیین میزان پایداری، ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه درون استوانه‌ها ریخته و دهانه استوانه با ورق آلومینیم بسته شد. میزان آب اندازی آن بر حسب درصد با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد.

$$\text{آب اندازی (٪)} = \frac{\text{حجم سرم} - \text{حجم اولیه نمونه}}{\text{حجم اولیه ماست}} \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

اندازه‌گیری پلی ساکارید خارج سلولی

نمونه منجمد شده تا ۴ درجه سلسیوس در دمای محیط گرم و سپس همگن (هموژن) شد. pH نمونه به ۷ رسانده و ۱۰۰ میکرولیتر از فلیورزیم[1] ده درصد به ۱۰ میلی‌لیتر نمونه اضافه شد. به مدت ۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شد و نمونه‌ها مدام ورتکس شدند. مقدار ۲/۹ میلی‌لیتر آب مقطر و ۷ میلی‌لیتر الکل اتانول به نمونه‌ها اضافه و نمونه‌ها به مدت یک شب در ۴ درجه سلسیوس قرار داده شدند. نمونه‌ها به مدت ۴۰ دقیقه در ۴ درجه سلسیوس با شتاب g ۲۷۰۰۰ سانتریفوژ شدند و سپس مایع رویی دور ریخته شد. مقدار ۲/۹ میلی‌لیتر آب مقطر و ۷ میلی‌لیتر الکل اتانول مطلق به نمونه اضافه و دوباره به مدت ۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شد و مراحل بعد از آن تکرار گردید. سپس ۳ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و آزمون فنول سولفوریک اسید اجرا شد. یک میلی‌لیتر محلول فنول ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر سولفوریک اسید به نمونه اضافه و نمونه به مدت نیم ساعت به همان حال رها شد. میزان جذب با اسپکتروفتومتر در ۴۸۵ نانومتر خوانده شد (Purohit *et al.*,2009).

آزمون‌های رئولوژیک

در تعیین ویژگی‌های رئولوژیک از دستگاه رئومتر (MCR ۳۰۱، Anton paar، اتریش) با سیستم تنظیم دمای با حساسیت ۰/۰۱°C± مجهز به سیستم چرخش آب با به‌کارگیری ژئومتر سنباده‌ای صفحه- صفحه با قطر ۴۰ سانتی‌متر استفاده شد. در بخش رئولوژی پایا، نمودار ویسکوزیته در مقابل سرعت برش در محدوده سرعت برش، ۵۰۰-۰/۱ بر ثانیه به دست آمد. فاصله بین دو صفحه برابر با ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شد. پس از آزمون‌های رئولوژی پایا، تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی ویسکوالاستیک با آزمون روبش کرنش در محدوده کرنش (درصد) ۱۰۰۰-۰/۱ آغاز شد. در این آزمون، محدوده خطی ویسکوالاستیک تعیین شد. پس از تعیین محدوده خطی ویسکوالاستیک در آزمون روبش کرنش، به منظور بررسی رفتار ویسکوالاستیک

1- Flavourzyme

نمونه در فرکانس‌های مختلف آزمون روبش فرکانس و در محدوده سرعت زاویه‌ای ۹۲/۴-۰/۰۶ رادیان بر ثانیه معادل با فرکانس ۵۰-۰/۱ هرتز صورت گرفت (Goh *et al.*, 2005).

آزمون حسی

نمونه‌ها برای تعیین درجه پذیرش کلی هر یک از آنها، در اختیار ۱۵ ارزیاب حسی قرار داده شد که به صورت تصادفی انتخاب شدند، از آنها خواسته شد بر اساس میزان علاقه، امتیاز ۱ تا ۵ را به نمونه‌ها بدهند (۵ برای بسیار عالی و ۱ برای ضعیف).

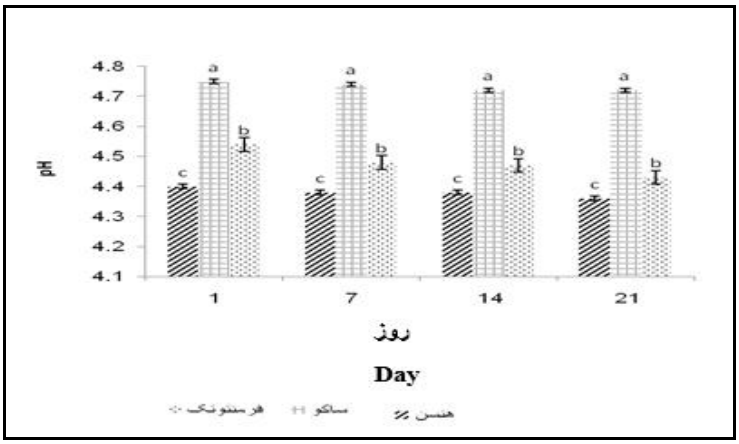
تجزیه و تحلیل آماری

همه آزمون‌ها با سه تکرار دنبال شد. برای تهیه گزارش اطلاعات به دست آمده از تکرار آزمایش‌ها و مشاهدات، از میانگین داده‌ها استفاده شد. برای آنالیز آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS:9 در سطح احتمال ۹۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تغییرات pH

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود مقدار pH در تمام نمونه‌ها در دوره نگهداری به طور معنی‌داری ($p< 0.05$) کاهش پیدا کرده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد میانگین pH ماست‌های تولید شده با آغازگرها با یکدیگر تفاوت آماری معنی‌داری دارند. اما در همه آغازگرها تغییرات pH کاهشی است و به روندی ثابت رسیده است.



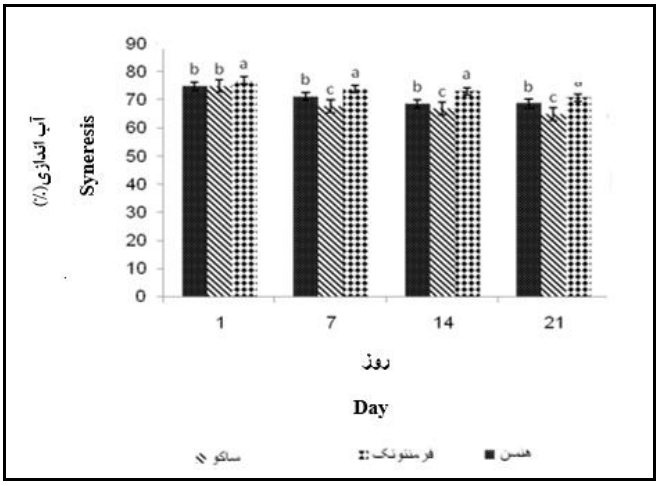
شکل ۱- تأثیر دوره‌های نگهداری در آغازگرهای فرمنتوتک، ساکو، و هانسن بر تغییرات pH در محصول ماست
(حروف مشترک نشانگر نبود تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است)

Fig 1- The effect of storage period in Fermentotek, Sacco, and Hansen starters on pH changes in yogurt product

آب‌اندازی

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود میزان پایداری آغازگر فرمنتوتک با میزان پایداری آغازگر ساکو و شاهد (هانسن) تفاوت معنی‌داری ($p< ۰/۰۵$) دارد؛ بالاترین میانگین پایداری از آغازگر فرمنتوتک است. تغییرات سینرسیس در هر سه آغازگر افزایشی است و پس از آن به روند ثابت می‌رسد. پایین‌ترین میزان سینرسیس به ترتیب در آغازگرهای فرمنتوتک، هانسن، و ساکو ایجاد شده است. آغازگر فرمنتوتک بالاترین میزان تولید پلی ساکارید خارج سلولی و کمترین میزان سینرسیس را در مقایسه با دو آغازگر دیگر دارد. در دو آغازگر دیگر روندی متفاوت دیده می‌شود و با اینکه آغازگر ساکو میزان تولید پلی ساکارید خارج سلولی بیشتری نسبت به آغازگر هانسن دارد، میزان سینرسیس آغازگر ساکو بیشتر است.

پورهیت و همکاران (Purohit *et al.*, 2009) گزارش داده‌اند که در سه نمونه از پنج نمونه شیر تخمیر شده حاوی باکتری تولیدکننده پلی ساکارید خارج سلولی مقدار آب‌اندازی کم شده است، این محققان علت این امر را برخی از ساختارهای باز در پلی ساکارید خارج سلولی می‌دانند که ممکن است باعث افزایش آب‌اندازی شود. بنابراین، آب‌اندازی در شیر تخمیری با پلی‌ساکارید خارج سلولی، بستگی به توانایی پلی ساکارید خارج سلولی در پیوند با آب، نوع و مقدار آن، توزیع و تعامل آن با شبکه پروتئینی دارد. حسن و همکاران (Hassan *et al.*, 2003) کمترین میزان آب‌اندازی را در شیر تخمیر شده حاوی پلی ساکارید خارج سلولی به دست آوردند که با نتایج به دست آمده در آغازگر فرمنتوتک همخوانی دارد.



شکل ۲- تأثیر دوره‌های نگهداری در آغازگرهای فرمنتوتک، ساکو، هانسن، بر تغییرات سینرسیس در محصول ماست
(حروف مشترک نشانگر نبود تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است)

Fig 2- The effect of storage period in Formentotek, Saco, Hansen starters on syneresis changes in yogurt

اندازه‌گیری میزان پلی ساکارید خارج سلولی

تولید پلی ساکاریدهای خارج سلولی توسط باکتری‌های لاکتیکی، از نژادی به نژاد دیگر و در شرایط محیطی حاکم بر فرآیند تولید متفاوت است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میزان تولید پلی‌ساکارید خارج سلولی در هر سه آغازگر تجاری متفاوت است و بالاترین میزان تولید پلی‌ساکارید خارج سلولی در آغازگر فرمنتوتک دیده می‌شود. استفاده از این آغازگرها اثر مطلوب بر قوام محصول و ارزیابی حسی گذاشته است.

جدول ۱- بررسی تأثیر تولید پلی‌ساکارید خارج سلولی در آغازگرهای مختلف (میکروگرم/ لیتر)

Table 1- Investigating the effect of extracellular polysaccharide production in different starters (µg/liter)

آغازگر Starter	میانگین تولید پلی ساکارید خارج سلولی Mean extracellular polysaccharide production
فرمنتوتک Fermentotech	426.853 ±22.67 [a]
ساکو Saco	228.093 ±20.67 [b]
هانسن Hansen	139. 996±12.07 [c]

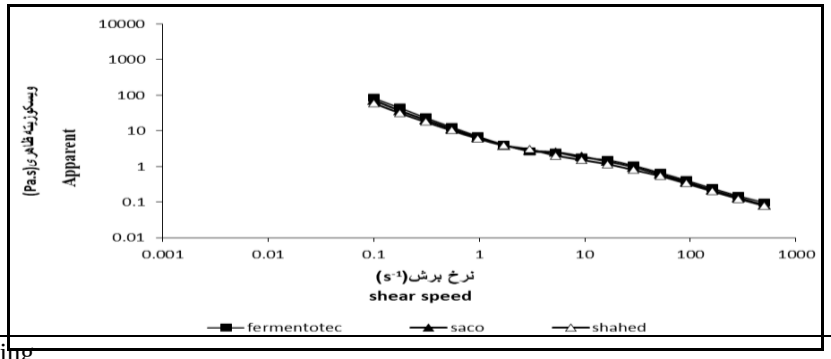
حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Non-identical letters in each column indicate a significant difference at the 95% probability level.

آزمون‌های رئولوژیک

ویژگی‌های رئولوژیکی پایا

در شکل ۳ مشاهده می‌شود که گرانروی ظاهری کلیه نمونه‌ها با افزایش سرعت برشی کاهش می‌یابد. این رفتار را رفتار رقیق شونده با برش[1] می‌گویند. رفتار رقیق شونده با برش در اکثر محصولات غذایی مشاهده می‌شود و مربوط به سیالات غیر نیوتنی است. منابع موجود در زمینه آزمون‌های رئولوژیک روی دوغ مشخص می‌کند قوام دهنده‌ها در تولید دوغ برای افزایش گرانروی ظاهری و جلوگیری از دو فاز شدن آن چنین رفتاری نیز دارند. با برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های رئولوژی می‌توان آنها را به صورت دقیق‌تر مقایسه کرد. با توجه به جدول ۳ مشخص می‌شود که مدل کراس بیشترین برازش را روی نمودار گرانروی ظاهری در مقابل سرعت برش دارد داشت. با بررسی شکل ۳ و مدل‌های برازش شده در جدول ۲ مشخص می‌شود که بالاترین گرانروی ظاهری در نمونه ماست با آغازگر فرمنتوتک و پایین‌ترین گرانروی ظاهری در نمونه ماست با آغازگر شاهد (هانسن) دیده می‌شود. به عبارت دیگر، مقاومت سیال در برابر حرکت در آغازگر فرمنتوتک که پلی ساکارید خارج سلولی بیشتری تولید می‌کند، بالاتر است و پایین‌ترین مقاومت سیال در برابر حرکت در آغازگر شاهد (هانسن) دیده می‌شود که پلی ساکارید خارج سلولی کمتری می‌سازد. سه مدل قانون توان، هرشل بالکی، کراس برای این نمونه‌ها برازش شده‌اند که داده‌های این مدل در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به جدول، مدل کراس بهترین برازش برای هر سه نمونه است. به بیان دیگر، مدل کراس دارای بالاترین میزان r^2 است.



1- Shear thining

شکل ۳- بررسی ویسکوزیته ظاهری در سه نمونه ماست

Figure 3. Investigation of apparent viscosity in three samples

جدول ۲- اثر آغازگرهای متفاوت بر داده‌های حاصل از آزمون روبش بسامد در نمونه‌های ماست

Table 2. The effects of different starters on the data obtained from the frequency scan test in the samples

Starter	آغازگر	M	N	r^2
Fermentotech	فرمنتوتک	84.40 ±0.10 [a]	0.13 ±0.01 [a]	0.98
Saco	ساکو	41.58 ±0.29 [b]	0. 10 ±0.05 [b]	0.98
Hansen	هانسن	47. 04 ±0.30 [c]	0. 09 ±0.05 [c]	0.99

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

Non-identical letters in each column indicate a significant difference at the 95% probability level.

جدول ۳-مدل‌های رفتار جریان برای سه نمونه ماست

Table 3- Flow behavior models for our three samples

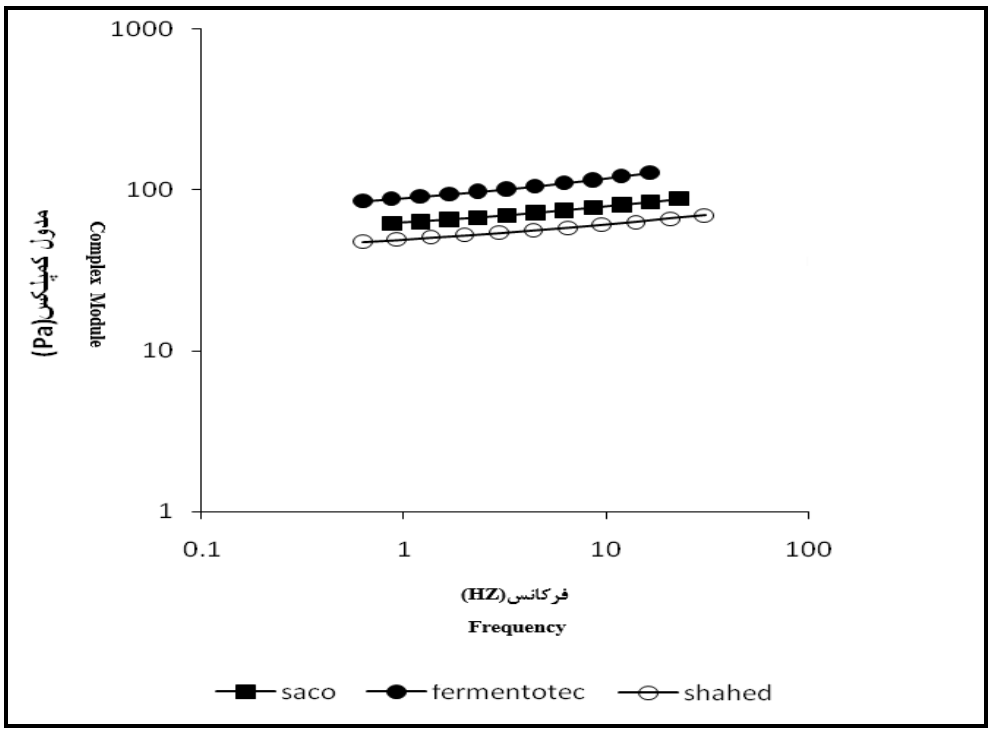
آغازگر starter	مدل پاورلا Powerla model $\tau = m\gamma^n$			مدل هرشل بالکی Hershel Balki model $\tau = m\gamma^n + \tau_0$			مدل کراس $\frac{y_{inf}}{y_0 - y_{inf}} = \frac{1}{(1 + (m y_{inf})^m)}$			
	M	n	r^2	n	r^2	τ_0	yinf	y0-yinf	N	m	r^2
فرمنتوتک Fermentotech	±0.35[a] 9.67	±002[b] 0.26	0.93	±0.05[b] 0.27	0.86	±0.32[a] 3.64	0.0	±0.42[a] 54.713	±0.02[a] 8.56	±0.01[a] 0.66	0.99
ساکو Saco	± ·0.42[b] 8.86	±0.03[b] 3.47	0.93	±0.05[b] 3.77	0.87	±0.48 [b] 3.06	0.0	±.14[b] 54.713	±0.22[b] 7.26	±0.01[b] 0.56	0.99
هانسن Hansen	±0.1[c] 7.87	±0.02[c] 2.57	0.96	±0.02[c] 4,64	0.92	±0.12 [c] 2.58	0.0	±.14[c] 59.313	±0.02[c] 8.36	±0.12[c] 0.65	0.99

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

Non-identical letters in each column indicate a significant difference at the 95% probability level.

ویژگی‌های رئولوژیک نوسانی

در شکل ۴ مشاهده می‌شود در کلیه تیمارها مدول الاستیک بالاتر از مدول ویسکوز قرار گرفته است. مدول کمپلکس سه تیمار در آزمون روبش فرکانس در شکل ۴ ارائه شده است. ماست حاوی آغازگر فرمنتوتک دارای بالاترین مدول کمپلکس است. پس از آن ماست حاوی آغازگر ساکو در مقایسه با شاهد (هانسن) دارای بالاترین مدول کمپلکس است. در جدول ۴ و شکل ۵ مدول افت، مدول ذخیره و مدول کمپلکس تیمارها در دو فرکانس ۱ و ۱۰ هرتز مقایسه شده‌اند. بیشترین مدول کاهش، مدول ذخیره و مدول کمپلکس در هر دو فرکانس مربوط به نمونه ماست با آغازگر فرمنتوتک است. در تمام تیمارها، مدول الاستیک بالاتر از مدول ویسکوز قرار گرفته است بنابراین در کلیه نمونه‌ها تانژانت افت در بازه فرکانس مورد آزمون کمتر از یک قرار خواهد گرفت. همچنین مشاهده می‌شود که نمونه ماست تولید شده با آغازگر فرمنتوتک دارای مدول الاستیک بیشتری نسبت به سایر نمونه‌هاست. ماست‌های تولید شده با آغازگر ساکو و هانسن از نظر مقدار مدول الاستیک به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. مدول ویسکوز و الاستیک با تعداد پیوندها در شبکه ژل رابطه دارند به نحوی که هرچه میزان پیوندها قوی‌تر باشد مدول الاستیک بالاتری خواهیم داشت و هرچه پیوندهای ضعیفی در ساختار محصول دیده شود میزان مدول ویسکوز بالاتری مشاهده می‌شود (Purohit *et al.*, 2009).



شکل ۴-بررسی تأثیر بسامد بر مدول کمپلکس در سه نوع ماست

Fig 4- Examining the effect of frequency on the modulus of the complex in three samples

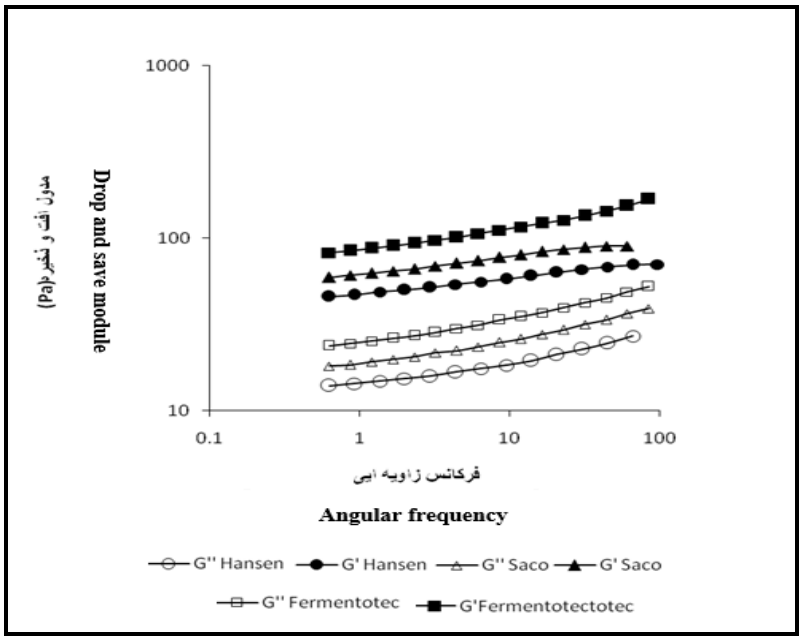
جدول ۴- مقایسه مدول کاهش، مدول ذخیره، مدول کمپلکس تیمارها در دو فرکانس ۱ و ۱۰ هرتز

Table 4- Comparison of reduction modulus, storage modulus, and complex modulus of treatments at two frequencies of 1 and 10 Hz

مدول کمپلکس G^*		مدول افت Loss G''		مدول ذخیره Storage G'		
10HZ	1Hz	10HZ	1Hz	10HZ	1Hz	
87.40 ±0.05 a	62.40 ±0.35 a	27.40 ±0.15 a	18.00 ±0.55 a	50.80 ±0.05 a	59.40 ±0.15 a	فرمنتوتک Fermentotech
137.0 ±0.25 b	85.80 ±0.25 b	26.80 ±0.35 b	23.80 ±0.35b	122.00 ±0.05 b	82.20 ±0.10 b	ساکو Saco
96.70 ±0.33 c	47.70 ±0.15 c	22.70 ±0.25 c	13.19 ±0.05 c	65.90 ±0.03 c	45.70 ±0.09 c	هانسن Hansen

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

Non-identical letters in each column indicate a significant difference at the 95% probability level.



شکل ۵ - بررسی تأثیر فرکانس زاویه‌ای بر مدول کمپلکس در سه نوع ماست

Fig 5 - Investigating the effect of angular frequency on complex modulus in three types of yogurt

(۲) $G' = K'\omega^{n'}$ معادله پاورلا

$G'(Pa) =$ مدول الاستیک

$K' =$ ثابت معادله

$\omega(\mathrm{rad/s}) =$ سرعت زاویه ای

$n' =$ ماهیت ویسکوالاستیک نمونه

در رابطه ۲ n' نشان دهنده ماهیت ویسکوالاستیک نمونه‌هاست. بدین ترتیب که هرچه مواد غذایی به سمت الاستیک کامل پیش روند، n' در مدل مذکور به صفر میل خواهد کرد (Tamime *et al.*, 2006) برای مثال، در بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی مایونزهای سنتی و کم‌چرب، از مدل مذکور استفاده می‌کنند. این پژوهشگران سیستم‌های امولسیونی را شبکه‌ای از تعدادی واحدهای رئولوژیک فرض می‌کنند که به منظور پایداری سیستم‌های امولسیونی با یکدیگر در حال برهم‌کنش هستند. طبق نظر این پژوهشگران، n'^{-1} نماینده تعداد برهم‌کنش‌ها و K' نماینده قدرت برهم‌کنش‌های یاد شده هستند (Zargaraan *et al.*, 2013).

ارزیابی حسی

استفاده از آغازگرهای مختلف در تولید ماست می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در ویژگی‌های ارگانولپتیک محصول شود. برای بررسی این تغییرات، نمونه‌های مختلف ماست را گروه ارزیاب‌های آموزش‌دیده ارزیابی کردند. نمونه‌های تهیه شده با آغازگرهای فرمنتوتک، نسبت به نمونه‌های تهیه شده با آغازگر غیر تولید کننده اگزوپلی‌ساکارید، از نظر ارزیاب‌ها سفیدتر و سفت‌تر بودند، آب اندازی قبل و بعد از قاشق برداری آنها کمتر بود، عطر و طعم قوی‌تر، احساس خامه‌ای بودن بیشتر، پیوستگی و چسبندگی بیشتری داشتند و همه این اختلاف‌ها از نظر آماری معنی‌دار بودند.

نتیجه‌گیری

توانایی تولید پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی توسط باکتری‌های اسید لاکتیک به طور گسترده در سال‌های اخیر مورد مطالعه قرار گرفته است. این ترکیبات در مراحل رشد میکروبی در محیط رها می‌شوند و به افزایش گرانروی و قوام برخی محصولات لبنی کمک می‌کنند. در نتیجه، کاربرد سویه‌های تولید کننده این ترکیبات ویژگی‌های بافتی را بهبود می‌بخشد و نگهداری آب در محصولات تخمیری شیر را افزایش می‌دهد و به ایجاد قوام، طعم، احساس دهانی و پایداری محصول نهایی کمک می‌کند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد میزان پایداری آغازگر فرمنتوتک با آغازگر ساکو و شاهد تفاوت آماری معنی‌داری دارد و بالاترین میانگین پایداری مربوط به آغازگر فرمنتوتک است. بالاترین میزان تولید پلی ساکارید خارج سلولی مربوط به آغازگر فرمنتوتک است. بالاترین گرانروی ظاهری در نمونه ماست با آغازگر فرمنتوتک و پایین‌ترین گرانروی ظاهری در نمونه ماست با آغازگر شاهد (هانسن) دیده می‌شود. سه مدل قانون توان، هرشل بالکلی و کراس برای این نمونه‌ها برازش شده‌اند که مدل کراس بهترین برازش برای هر سه نمونه است.

ماست تولید شده با آغازگر فرمنتوتک دارای مدول الاستیک بیشتری نسبت به سایر نمونه‌هاست. ماست‌های تولید شده با آغازگر ساکو و هانسن از نظر مقدار مدول الاستیک به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

ماست حاوی آغازگر فرمنتوتک دارای بالاترین مدول کمپلکس است. پس از آن ماست حاوی آغازگر ساکو در مقایسه با شاهد (هانسن) بالاترین مدول کمپلکس را دارد. با توجه به تأثیر مثبتی که آغازگر فرمنتوتک روی خصوصیات رئولوژیکی ماست همزده دارد، می‌توان گفت استفاده از این آغازگر می‌تواند در بهبود کیفیت ماست همزده مؤثر باشد.

تشکر و قدردانی

از شرکت پگاه تهران بابت همکاری در امر تولید ماست تشکر و قدردانی می‌کنیم.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Abbasi, H., Mousavi, M. E., Ehsani, M. R., Emam D-Jomeh, Z., Vaziri, M., Rahimi, J. and Aziznia, S. 2009. Influence of starter culture type and incubation temperatures on rheology and microstructure of low fat set yoghurt. International Journal of Dairy Technology. 62(4):549-555.

Ahmed, N. H., El Soda, M., Hassan, A.N. and Frank, J. 2005. Improving the textural properties of an acid-coagulated (Karish) cheese using exopolysaccharide producing cultures. LWT-Food Science and Technology. 38(8): 843-847.

Amiri aghdai S., Alami M., and Rezai Z. 2010. Evaluation of *Plantago Psyllium* seeds hydrocolloid on physicochemical and sensory effects of low fat yoghurt. Iranian Food Science and Technology Research Journal. 6(3): 201-109. (In Persian).

Awad, S., Hassan, A.N. and Muthukumarappan, K., 2005. Application of exopolysaccharide-producing cultures in reduced-fat Cheddar cheese: Texture and melting properties. Journal of Dairy Science. 88(12): 4204-4213.

Ayala-Hernández, I., Hassan, A.N., Goff, H. D. and Corredig, M. 2009. Effect of protein supplementation on the rheological characteristics of milk permeates fermented with exopolysaccharide-producing *Lactococcus lactis* subsp. cremoris. Food Hydrocolloids. 23(5): 1299-1304.

De Kruif C., Tuinier R. 2001 Polysaccharide protein interactions. Food hydrocolloids. 15(4):555-63

Duboc P., and Mollet B. 2001. Application of exopolysaccharides in the dairy industry. International Dairy Journal. 11(9): 759-768.

Girard, M. and Schaffer-Lequart, C. 2007. Gelation and resistance to shearing of fermented milk: Role of exopolysaccharides. International Dairy Journal. 17(6): 666–673.

Goh, K. K., Haisman, D. R., Archer, R. H. and Singh, H., 2005. Evaluation and modification of existing methods for the quantification of exopolysaccharides in milk-based media. Food Research International. 38(6): 605-613.

Hassan, A. N. 2008. ADSA Foundation Scholar Award: Possibilities and challenges of exopolysaccharide-producing lactic cultures in dairy foods. Journal of Dairy Science. 91(4):1282-1298.

Hassan A. N., Ipsen R., Janzen T., and Qvist K. B. 2003. Microstructure and rheology of yogurt made with cultures differing only in their ability to produce exopolysaccharides. Journal of Dairy Science. 86(5): 1632-1638.

Nasirpour Tabrizi, P., Hesari, J., Ghanbarzadeh, B., Azadmard Damirchi, S and Ghiasi Far, Sh. 2012. Rheological and sensory properties and syneresis of set yogurt produced with exopolysaccharide producing starter culture YF-L811. Journal of Food Research. 22(4): 477-486. (In Persian).

Nikolic, M., López, P., Strahinic, I., Suárez, A., Kojic,M., Fernández-García, M., Topisirovic, L., Golic, N., and Ruas-Madiedo, P. 2012. Characterisation of the exopolysaccharide (EPS)-producing *Lactobacillus paraplantarum* BGCG11 and its non-EPS producing derivative strains as potential probiotics. International Journal of Food Microbiology. 158(2): 155–162.

Perry, D. B., McMahon, D. J., and Oberg, C. J. 1997. Effect of exopolysaccharide-producing cultures on moisture retention in low fat Mozzarella cheese. Journal of Dairy Science/ 80(5): 799-805.

Purohit D., Hassan A., Bhatia E., Zhang X., and Dwivedi C. 2009 Rheological, sensorial, and chemopreventive properties of milk fermented with exopolysaccharide-producing lactic cultures. Journal of Dairy Science. 92(3):847-56.

Saija, N., Welman, A., and Bennett, R. 2010. Development of a dairy-based exopolysaccharide bioingredient. International Dairy Journal. 20(9): 603-608.

Sutherland W. 1972. Bacterial exopolysaccharides. Advances in Microbial Physiology. 8, 143–213.

Tamime A. Y. 2006. Fermented Milks. Society of Dairy Technology. Blackwell Science Ltd.

Zargaraan A., Omaraee Y., Rastmanesh R., Taheri N., Fadavi G., Fadaei M., and Mohammadifar, M. A. 2013 Rheological characterization and cluster classification of Iranian commercial foods, drinks and desserts to recommend for esophageal dysphagia diets. Iranian Journal of Public Health. 42(12):1446-56.

Food Engineering Research/Vol.21/No.72/Spring& Summer 2021/P:151-164

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

Original Research

The Effect of Commercial Exopolysaccharide-Producing Starters on the Rheological Properties of Stirred Yoghurt

S. Farhadi*

* Corresponding Author: Assistant Professor, Food Technologies Group, Department of Chemical Engineering, Iranian Research
Organization for Science and Technology (IROST, Tehran, Iran. Email: sahrafarhadi_fe@yahoo.com
Received25 February 2020, Accepted: 10 January 2022
http://doi: 10.22092/fooder.2020.126377.1221

Abstract

Yoghurt is one of the most important dairy products consumed in human society. So, increasing the quality of yoghurt is very important. Several strains of lactic acid bacteria, used as starter cultures to make yoghurt products, produce exopolysaccharides that can improve the textural properties of the products. In this study, the physical (syneresis), rheological (viscosity and firmness), and sensorial properties of yoghurt samples produced with exopolysaccharide-producing starter cultures (Hansen, Saco, and Fermentotec) were investigated during 21 days of storage. Samples with Fermentotec starter culture had lower syneresis and were more viscous and firm than those made with Hansen and Saco starter cultures, and yoghurts produced with Fermentotec starter were whiter, firmer, and more cohesive and adhesive than samples produced with Hansen and Saco. Results showed that the Cross model is the best-fitting model for three types of products. Fermentotec starter is recommended for improving the quality of stirred yoghurt.

Keyword: Commercial Starter, texture, thickener, stirred yogurt, extracellular polysaccharides, Starter