



بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و زنده‌مانی باکتری‌های اسید لاکتیک در ماست فراسودمند حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی

مینا روزبهانی^۱، مرجانہ صدآقتی^{۱*}، بابک کرمی^۱

^۱ گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم زیستی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی امکان تولید ماست فراسودمند حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبی قابل قبول انجام شد. برای تولید ماست فراسودمند از آنزیم ترانس گلوتامیناز در سه سطح ۰، ۰.۰۱٪ و ۰.۰۳٪ و صمغ فارسی در سه سطح ۰، ۰.۵٪ و ۱٪ استفاده گردید و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (pH، سینرسیس، ویسکوزیته و خصوصیات رنگی) و خصوصیات میکروبی (زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی) در طول ۲۰ روز نگهداری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل مشخص کرد افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز سبب افزایش pH نمونه‌های ماست فراسودمند شد در حالیکه افزودن صمغ فارسی منجر به کاهش pH نمونه‌ها گردید. کمترین سینرسیس در نمونه‌های ماست فراسودمند حاوی ۰.۰۳٪ آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۱٪ صمغ فارسی مشاهده شد. نتایج حاصل مشخص کرد در کلیه نمونه‌ها ویسکوزیته با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی به طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$). اگرچه افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی، میزان زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی نمونه‌های تیمار را به طور معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد افزایش داد، در طول زمان نگهداری میزان زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی کاهش معنی‌داری داشت ($p < 0.05$). طبق نتایج حاصل با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی، شاخص رنگی L^* در نمونه‌های ماست افزایش و شاخص‌های رنگی a^* و b^* کاهش معنی‌دار داشتند ($p < 0.05$). با توجه به نتایج حاصل استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی در ماست سبب کاهش سینرسیس، افزایش ویسکوزیته، بهبود زنده‌مانی باکتری لاکتیکی شده و خصوصیات رنگی نمونه‌های ماست فراسودمند را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: آنزیم ترانس گلوتامیناز، صمغ فارسی، فراسودمند، ماست

* marjanehsedaghati@yahoo.com

تشکیل شده و به عنوان یک آرایینوگالاکتان طبقه بندی می‌شود (۴۳).

آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (MTGase) دارای ساختار پروتئینی و حاوی ۳۳۱ اسید آمینه است. این آنزیم جز آنزیم‌های ترانسفراز بوده و انتقال آسیل، بین گاما-کربوکسی آمید اسید آمینه گلوتامین و آمین‌های نوع اول از جمله گروه اپسیلون-آمین لیزین در پروتئین را کاتالیز می‌کند. آنزیم ترانس گلوتامیناز بین اسید آمینه لیزین و گلوتامین پیوندهای عرضی ایزوپپتیدی بین مولکولی و درون مولکولی برقرار می‌کند که تشکیل این پیوندها بر ساختار و عملکرد مواد غذایی تاثیرگذار هستند. آنزیم ترانس گلوتامیناز به صورت گسترده در بافت‌های حیوانی و مایعات بدن، گیاهان، ماهی-ها، پرندگان و میکروارگانیسم‌ها توزیع می‌شود. آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی به دلیل هزینه کمتر و راندمان بالای استخراج و خالص‌سازی در مقایسه با منابع حیوانی کاربرد بیشتری در مواد غذایی دارند (۱، ۶۵).

در تحقیقی تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و صمغ فارسی بر خصوصیات نوشیدنی کفیر سنتی مورد بررسی قرار گرفت (۵). همچنین در گزارشی تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز بر خواص عملکردی و زیست‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک ماست تهیه شده از شیر بز ارزیابی شد (۷). بعلاوه تاثیر صمغ فارسی به عنوان هیدروکلونید گیاهی بر ویژگی‌های میکروبی، فیزیکی و شیمیایی و حسی ماست کم چرب در طی انبارداری مورد ارزیابی قرار گرفته است (۸). همچنین در گزارشی تاثیر صمغ قدومه شیرازی و صمغ فارسی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و رئولوژیکی خامه کم چرب ارزیابی شد (۹). اما تا کنون تحقیقی در زمینه تاثیر استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی بر خواص فیزیکی و شیمیایی، و زیست‌مانی باکتری‌های لاکتیکی در ماست قالبی فراسودمند انجام نشده است لذا در مطالعه اخیر به این موضوع پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

مواد مورد نیاز

مقدمه

ماست محصول لبنی تخمیری است که به دلیل ارزش تغذیه‌ای و خواص فراسودمند تولید و مصرف بالایی در کشور ایران دارد. طبق استاندارد ملی "ماست فرآورده حاصل از تخمیر لاکتیکی شیر پاستوریزه با باکتری آغازگر ماست استریتوکوکوس سالیواریوس زیرگونه ترموفیلوس^۲ و لاکتوباسیلوس دلبروککی زیرگونه بولگاریکوس^۳ است. ماست حاوی ترکیبات ضد میکروبی، پپتیدهای زیست فعال با خاصیت کاهش‌دهنده کلسترول خون، کاهش‌دهنده تحمل لاکتوز، ارتقا دهنده سیستم ایمنی و متعادل کننده فلور میکروبی است. متداول‌ترین نوع ماست در مقیاس صنعتی در ایران، ماست قالبی است که پس از فرآیند تخمیر هیچ گونه هم‌زدن اضافی یا حذف آب در آن صورت نمی‌گیرد. ارزیابی خواص رئولوژیکی مواد غذایی نظیر محصولات لبنی تخمیری، در طراحی فرآیندهای جریان، کنترل کیفیت، ذخیره‌سازی، فرآوری و در ارزیابی بافت مواد غذایی مهم است. ویسکوزیته و سینریسی دو فاکتور تاثیرگذار در ظاهر و بافت محصول هستند و به طور قابل توجهی تحت تاثیر افزودن هیدروکلونیدها، ترکیب شیر (مقدار و نوع ترکیبات شیر) و فرآوری (عملیات حرارتی، هموژنیزاسیون، تیمار-آنزیمی و غیره) می‌باشند (۲۱).

در تحقیقات پیشین صمغ‌ها به عنوان ترکیبات پلی‌ساکاریدی جهت افزایش پایداری و ارتقا خواص بافتی محصولات لبنی بکار گرفته شده‌اند. صمغ فارسی یا زرد ترشحات درخت بادام کوهی (*Amygdalus scoparia*) بوده و شفاف تا نیمه ابری است که در آسیای مرکزی و ایران در مناطق زاگرس یافت می‌شود. صمغ فارسی بیوپلیمری خوراکی، غیر نشاسته-ای، محلول در آب، بدون طعم خاص، و دارای بوی معطر شیرینی است. صمغ فارسی پلی‌ساکاریدی کاملاً منشعب بوده، از آرایینوز، گالاکتوز (۸۸.۷٪) و ۱۰٪ اسیداورونیک

³ *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*

² *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*

در داخل یخچال در دمای 4°C قرار داده شدند و در روزهای ۱، ۱۰ و ۲۰ مورد آزمون قرار گرفتند (۶).

آزمون‌های فیزیوشیمیایی ماست فراسودمند

اندازه‌گیری pH نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار با استفاده از pH متر دیجیتال (Eutech instruments, Singapore) انجام شد (۶). برای ارزیابی درصد سینرسیس 30°C گرم از نمونه‌های ماست در 1250 rpm به مدت ۱۰ دقیقه ساترنیفر (Hettich, Germany) و فاز سرمی جدا، توزین و درصد سینرسیس از نسبت وزنی فاز سرمی به نمونه ماست محاسبه گردید. در ادامه ویسکوزیته نمونه‌ها با استفاده از یک دستگاه ویسکومتر بروکفیلد (DVII, USA)، با استفاده از اسپیندل شماره ۴ در دمای 20°C و با اعمال تنش برشی ($1/S$) ۱۰ تا ۵۰۰ انجام شد (۱۱).

ارزیابی شاخص‌های رنگی

جهت اندازه‌گیری شاخص‌های رنگی نمونه‌های ماست L^* , a^* , b^* از دستگاه هانتربل (UltraScanvis, USA) استفاده گردید. شاخص L^* معرف میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است. شاخص a^* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد و دامنه آن از -120 (سبز خالص) تا 120 (قرمز خالص) متغیر است. شاخص b^* شدت رنگ‌های آبی و زرد را نشان می‌دهد و دامنه آن از -120 (آبی خالص) تا 120 (زرد خالص) متغیر می‌باشد (۱۲).

شمارش باکتری‌های لاکتیکی

برای شمارش باکتری‌های لاکتوباسیلوس پلانتروم با استفاده از سرم فیزیولوژی از نمونه‌های ماست فراسودمند سریال رقت تهیه شده و نمونه‌ها با استفاده از روش پور پلیت، در محیط کشت MRS آگار کشت داده شدند. پلیت‌ها به مدت ۷۲ ساعت در انکوباتور CO_2 دار در دمای 37°C درجه سانتیگراد گرمخانه‌گذاری و نتایج شمارش به صورت Log CFU/g گزارش شدند (۱۳).

تجزیه و تحلیل آماری

به منظور انجام این پژوهش، شیر کم چرب از کارخانه پگاه تهران، شیرخشک بدون چربی از شرکت راماک ایران، مایه ماست با نام تجاری YF-L811 حاوی لاکتوباسیلوس بولگاریوس و استرپتوکوکوس ترموفیلوس مورد استفاده از شرکت کریستین هسن دانمارک، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز تهیه شده از میکروارگانسیم استرپتوورسیلیوم از شرکت آجینوموتو فرانسه و صمغ فارسی از شرکت ریحان گام ایران تهیه شد. هیدروکسیدسدیم (۹۹٪)، MRS و MRS Broth و Agar از شرکت مرک خریداری گردید.

روش‌ها

آماده‌سازی صمغ فارسی

نمونه‌های صمغ فارسی با استفاده از آسیاب چکشی آسیاب و سپس با الک (مش برابر $250\ \mu\text{m}$) الک شد. پودر صمغ فارسی در آب غیریونیزه کننده، حل (دمای $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس) و با همزن برای مدت ۲ ساعت همزده شد و برای مدت ۴۸ ساعت در دمای 4°C برای هیدراته شدن کامل، نگهداری گردید؛ صمغ فارسی حل شده توسط یک فیلتر پارچه‌ای فیلتر و توسط خشک کن انجمادی در دمای 40°C - و مدت زمان ۲۴ ساعت خشک و در دمای 4°C نگهداری شد (۱۰).

روش تهیه ماست فراسودمند

ابتدا به شیر کم چرب (حاوی ۱.۵ درصد چربی)، میزان ۱/۵ درصد شیرخشک بدون چربی اضافه شد و در دمای 90°C به مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد؛ پس از آن پودر صمغ فارسی به میزان (۰، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصدوزنی/وزنی) به شیر با دمای 90°C درجه اضافه همزده و تا دمای 45°C خنک گردید؛ پس از آن، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز (۰، ۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد) به شیر اضافه شده و به مدت یک ساعت در داخل انکوباتور در دمای 45°C قرار گرفت. پس از آن برای غیر فعال کردن آنزیم از دمای 80°C به مدت ۱ دقیقه استفاده شده و مجدداً دمای آن را به 45°C رسانده و میزان ۰/۰۳ استارتر اضافه کرده و در داخل انکوباتور در همین دما تا رسیدن به pH معادل ۴/۶ نگهداری گردید. سپس نمونه‌های خنک شده در داخل لیوان‌های پلاستیکی استریل ریخته، درب بندی شده و

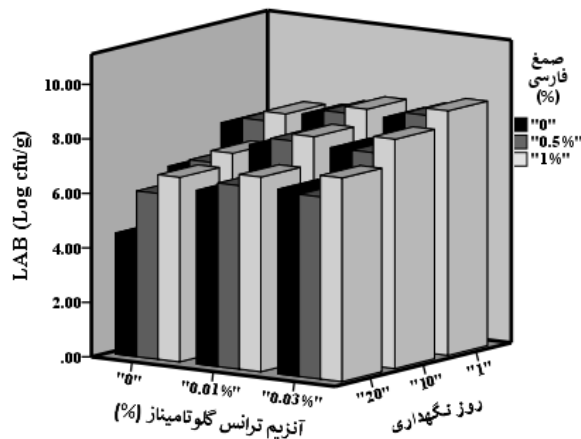
به افزایش معنی‌دار مقدار pH شد ($p < 0.05$)، در حالیکه افزایش سطح صمغ فارسی کاهش pH را در پی داشت ($p < 0.05$). همچنین گذشت زمان نیز باعث کاهش pH شد ($p < 0.05$). اثر متقابل آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ بر میزان pH معنی‌دار ($p < 0.05$) بود اما اثر متقابل صمغ و زمان بر میزان pH غیر معنی‌دار ($p > 0.05$) بود. اثر متقابل آنزیم ترانس گلوتامیناز و زمان در این آزمایش معنی‌دار بود ($p < 0.05$)، به طوری که میزان pH در تیمارهای دارای ۰.۰۳٪ آنزیم ترانس گلوتامیناز، با گذشت زمان کاهش بیشتری داشت ($p < 0.05$). همچنین اثر متقابل سه گانه سه عامل مورد آزمایش بر میزان pH معنی‌دار بود ($p < 0.05$). نمونه ماست حاوی ۰.۰۳٪ آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۰٪ صمغ فارسی در روز اول نگهداری بیشترین pH و نمونه ماست حاوی ۰٪ آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۱٪ صمغ فارسی در روز بیستم نگهداری کمترین pH نشان دادند.

در این تحقیق تاثیر افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی بر دسر شیری بر اساس طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. کلیه داده‌های این پژوهش، با استفاده از آزمون K-S از نظر توزیع نرمال مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها به ترتیب با روش ANOVA و آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ توسط نرم افزار SPSS (نسخه ۱۶) انجام شد و رسم نمودارها نیز با نرم افزار اکسل ۲۰۱۶ انجام پذیرفت.

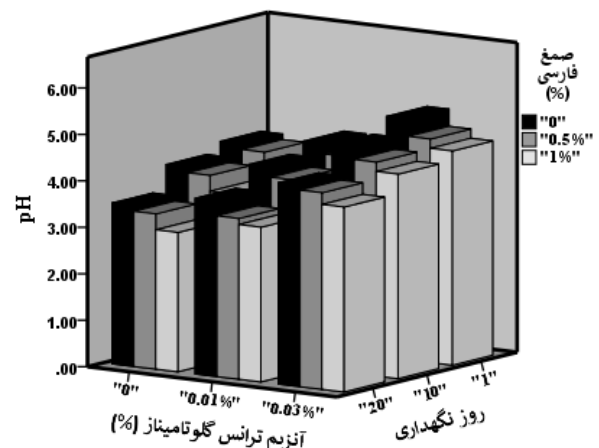
نتایج

نتایج تعیین pH در نمونه‌های ماست فراسودمند

شکل ۱ مقدار pH نمونه‌های مختلف ماست را در طول دوره نگهداری نشان می‌دهد. اثرات اصلی هر سه عامل آنزیم ترانس گلوتامیناز، صمغ فارسی و زمان بر متغیر pH معنی‌دار بود، به طوری که افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز، منجر



ب



الف

شکل ۱- تغییرات میزان الف) pH و ب) زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی نمونه‌های ماست فراسودمند در طول زمان نگهداری

میان آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی است به طوری که اثر صمغ در سطح ۱٪ در افزایش زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی ماست در سطح بالاتر از آنزیم ترانس گلوتامیناز بیشتر است و همچنین در سطح بالای آنزیم ترانس گلوتامیناز تاثیر سطح ۱٪ صمغ بر افزایش زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی بیشتر می‌شود ($p < 0.05$). طبق نتایج حاصل، اثر متقابل سه گانه سه عامل مورد آزمایش بر میزان زنده‌مانی

نتایج تعیین زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی در نمونه‌های ماست فراسودمند

طبق نتایج حاصل استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی به صورتی معنی‌دار ($p < 0.05$) موجب افزایش زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی در نمونه‌های ماست فراسودمند شدند اما زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی با گذشت زمان کاهش یافت (شکل ۱ب). نتایج حاصل نشان‌دهنده اثر متقابل

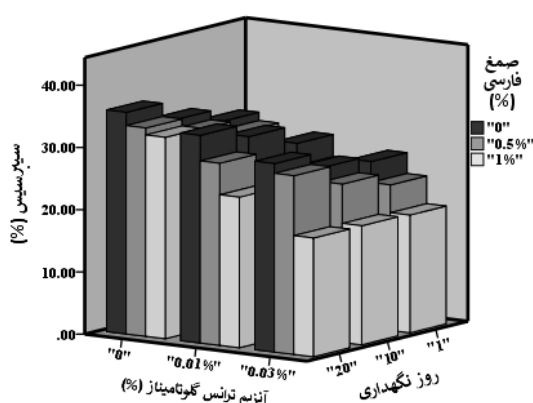
و ۰.۵٪ صمغ فارسی بود. گذشت زمان به مدت ۲۰ روز نیز در کاهش میزان سینرسیس و افزایش ویسکوزیته موثر بود ($p < 0.05$).

طبق نتایج حاصل نمونه ماست با غلظت ۰.۳٪ آنزیم و ۱٪ صمغ فارسی در روز بیستم بیشترین ویسکوزیته و نمونه شاهد در روز اول نگهداری کمترین ویسکوزیته را نشان داد. همه انواع اثرات متقابل بر ویسکوزیته و سینرسیس ماست (به استثنای صمغ-زمان) موثر بودند. همچنین، اثر متقابل سه گانه میان آنزیم ترانس گلوتامیناز، صمغ فارسی و زمان بر ویسکوزیته و سینرسیس ماست معنی دار بودند و میزان افزایش در ویسکوزیته ماست بر اثر گذشت زمان، در سطح بالاتر آنزیم و صمغ فارسی بیشتر بود ($p < 0.05$).

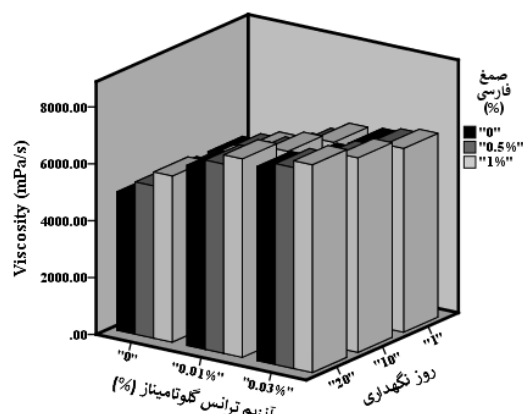
باکتری‌های لاکتیکی معنی دار بود ($p < 0.05$). نمونه ماست حاوی ۰.۳٪ آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۱٪ صمغ فارسی در روز اول نگهداری بیشترین تعداد باکتری‌های لاکتیکی و نمونه ماست شاهد در روز بیستم نگهداری کمترین تعداد باکتری‌های لاکتیکی را نشان دادند.

نتایج تعیین سینرسیس و ویسکوزیته در نمونه‌های ماست فراسودمند

میزان سینرسیس و ویسکوزیته نمونه‌های ماست تحت تاثیر اثرات اصلی هر سه عامل مورد آزمایش بود (شکل ۲ الف و ب). افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی، میزان سینرسیس ماست را کاهش داد ($p < 0.05$)، میزان کاهش سینرسیس ماست در تیمارهای با غلظت ۰.۳٪ آنزیم و ۱٪ صمغ فارسی کمتر از تیمارهایی با غلظت ۰.۱٪ آنزیم



ب



الف

شکل ۲- تغییرات میزان الف) سینرسیس و ب) ویسکوزیته نمونه‌های ماست فراسودمند در طول زمان نگهداری

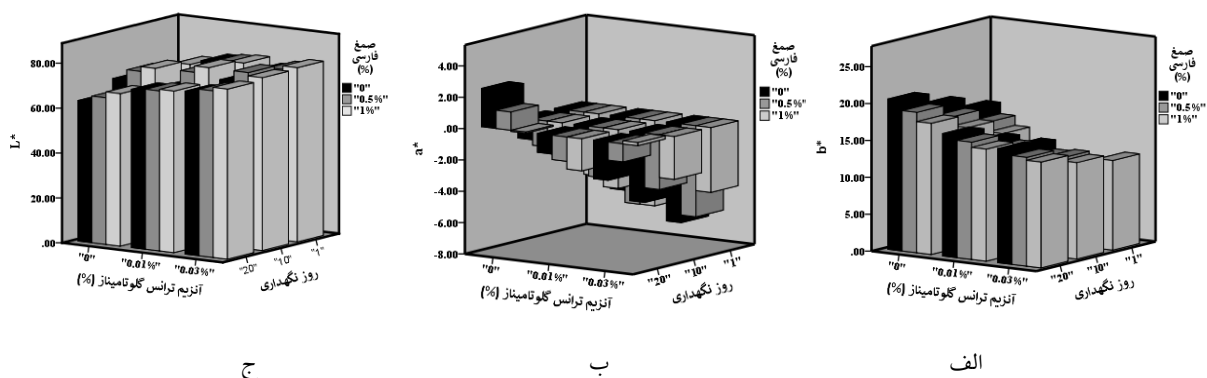
گذشت زمان به میزان شاخص رنگی a^* و b^* افزود ($p < 0.05$). شاخص‌های رنگی ماست تحت تاثیر اثرات اصلی هر سه عامل مورد آزمایش بود. میزان افزایش در میزان شاخص رنگی L^* ماست در تیمارهای با غلظت آنزیم ۰.۳٪ بیشتر از تیمارهایی با سطح غلظت آنزیم ۰.۱٪ بود ($p < 0.05$). صمغ فارسی شاخص رنگی L^* ماست را افزایش داد ($p < 0.05$), و میزان این افزایش در سطح ۱٪ صمغ

نتایج تعیین رنگ در نمونه‌های ماست فراسودمند

شکل ۳ نشان می‌دهد که آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی، هر دو میزان شاخص رنگی L^* و a^* را در ماست افزایش دادند ($p < 0.05$), در حالی که گذشت زمان از میزان شاخص رنگی L^* در ماست کاست ($p < 0.05$). از طرفی آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی، هر دو میزان شاخص رنگی a^* و شاخص رنگی b^* را در ماست کاهش دادند اما

۱٪ صمغ چشم‌گیرتر بود. گذشت زمان تاثیر خود را با افزایش شاخص رنگی a^* ماست نشان داد. شکل ۳ ج نشان از اثر متقابل میان آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی بر شاخص رنگی b^* دارد به طوری که اثر صمغ در سطح ۱٪ در کاهش شاخص رنگی b^* ماست در سطح بالاتر از آنزیم ترانس - گلوتامیناز بیشتر است. طبق نتایج حاصل تاثیر گذشت زمان در افزایش شاخص رنگی b^* در روز ۲۰ نگهداری مشهودتر است ($p < 0.05$).

چشم‌گیرتر بود. گذشت زمان تاثیر خود را با کاهش شاخص رنگی L^* ماست نشان داد. بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، اثرات اصلی هر سه عامل مورد آزمایش بر میزان شاخص رنگی L^* ، a^* و b^* ماست معنی‌دار بود ($p < 0.05$). میزان کاهش در میزان شاخص رنگی a^* ماست در تیمارهای با غلظت آنزیم ۰.۰۳٪ بیشتر از تیمارهایی با سطح غلظت آنزیم ۰.۰۱٪ بود ($p < 0.05$). صمغ فارسی شاخص رنگی a^* ماست را کاهش داد ($p < 0.05$)، و میزان این کاهش در سطح



شکل ۳- تغییرات رنگ (الف) شاخص L^* (ب) شاخص a^* و شاخص b^* نمونه‌های ماست فراسودمند در طول زمان نگهداری

در طول زمان نگهداری کاهش یافت. به نظر می‌رسد با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز پیوندهای عرضی بین پروتئین‌های شیر ایجاد شده که نسبت به پروتئین‌های اولیه شیر سوبسترای ضعیف‌تری برای آنزیم‌های گلیکولیتیک باکتری‌های اسید لاکتیک هستند. همچنین آنزیم ترانس- گلوتامیناز با ایجاد پیوندهای عرضی بین پپتیدهای حاصل از پروتئولیز و پروتئین‌های شیر، سبب کاهش در دسترس بودن آنها برای باکتری‌های اسید لاکتیک می‌شود. احتمالاً تاثیر مثبت صمغ فارسی بر تولید اسید لاکتیک به وسیله باکتری‌های لاکتیکی مربوط به وجود فیبرهای غیر قابل هضم در صمغ فارسی بوده که محرک رشد باکتری‌های لاکتیکی هستند (۱۵). همچنین کاهش pH و افزایش اسیدیته نمونه‌های ماست در طول دوره نگهداری ناشی از اسیدی شدن پس از

بحث و نتیجه‌گیری

اخیراً غذاهای فراسودمند در سراسر جهان به دلیل ارزش تغذیه‌ای و خواص سلامتی بخش مورد توجه قرار گرفته‌اند. در بین محصولات غذایی، فرآورده‌های لبنی و ماست به دلیل ارزش غذایی بالا، خواص سلامتی بخش و ویژگی‌های ارگانولپتیک کاندید مناسبی برای تولید فرآورده‌های لبنی فراسودمند است. علاوه بر خواص سلامتی بخش، خواص رئولوژیکی و بافت ماست نیز از عوامل موثر بر افزایش پذیرش محصول از طرف مصرف‌کننده است. با تغییر فرمولاسیون نظیر افزودن هیدروکلوئیدها و برخی تیمارهای آنزیمی می‌توان نسبت به بهبود بافت ماست اقدام کرد (۱۴). در تحقیق اخیر تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی بر تولید ماست فراسودمند در طول زمان نگهداری مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج حاصل میزان pH در حضور آنزیم ترانس گلوتامیناز افزایش و با افزودن صمغ فارسی و

ژلی متفاوت موجب بقا بیشتر باکتری‌های لاکتیکی شده است (۲۰). احتمالاً وجود کربوهیدرات‌های غیر قابل هضم در صمغ فارسی محرک رشد و بقا بیشتر باکتری‌های لاکتیکی در نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه شاهد بوده است (۱۵). طبق گزارش واشقانی فراهانی^۸ و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند زنده ماننی باکتری لاکتوباسیلوس پلانناروم در نمونه‌های دوغ غنی شده در طول زمان نگهداری کاهش معنی‌دار دارد (۱۹). مشابها مویدزاده^۹ و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده کردند با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز، قابلیت زنده ماننی لاکتوباسیلوس کازنی و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس به ترتیب ۰.۸ و ۰.۵ سیکل لگاریتمی در نمونه‌های ماست همزده بدون چربی افزایش یافت (۲۰). هاشمی و حسینی^{۱۰} (۲۰۲۱) در بررسی خواص پری بیوتیکی صمغ فارسی در ماست پروبیوتیک گزارش کردند افزودن صمغ فارسی به عنوان ترکیب پری بیوتیک به ماست سبب افزایش بقا لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس به بالاتر از حد قابل پذیرش در نمونه‌های ماست می‌شود (۲).

سینرسیس انقباض شبکه ژلی ماست است که در طول ذخیره سازی منجر به خروج آب پنیر از شبکه ژل می‌شود. کاهش میزان مواد جامد کل شیر، اسیدیته بالا، نسبت نامناسب آب پنیر به کازئین، زمان انکوباسیون طولانی و حمل و نقل نامناسب از مهمترین عواملی هستند که بر پایداری ماست تأثیر می‌گذارند. از طرفی ویسکوزیته ماست به عنوان یکی از خواص فیزیکوشیمیایی تحت تأثیر خصوصیات شیر مانند میزان ماده خشک، چربی، غلظت پروتئین، pH، اسیدیته و دما است (۱۴). طبق نتایج حاصل میزان سینرسیس نمونه‌های ماست با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی کاهش و ویسکوزیته افزایش می‌یابد. از طرفی در طول زمان نگهداری سینرسیس و ویسکوزیته افزایش معنی‌دار دارد. یک گرم صمغ فارسی حدود ۱۲ گرم آب را جذب می‌کند و با جذب آب ویسکوزیته ماست را افزایش می‌دهد.

تخمیر^۴ ماست به دلیل فعالیت متابولیکی کشت‌های آغازگر در طول دوره نگهداری سرد در محصول است. مشابها، آپرودو^۵ و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی تأثیر آنزیم ترانس-گلوتامیناز بر خصوصیات ماست چکیده شیر گاو و گاو میش افزایش pH نمونه‌های ماست را در حضور آنزیم گزارش کردند (۱۶). در حالیکه سانلی^۶ و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست، تأثیر افزودن آنزیم را بر اسیدیته ماست غیر معنی‌دار گزارش کردند (۱۷). مشابها مرادی^۷ و همکاران (۲۰۲۳) مشخص کردند غنی‌سازی ماست قالبی با صمغ فارسی سبب کاهش معنی‌دار pH و افزایش معنی‌دار اسیدیته می‌شود (۱۴). همچنین Mendoza-Taco و همکاران (۲۰۲۲) کاهش pH در طول دوره نگهداری ۱۴ روزه را در نمونه‌های ماست گوسفندی گزارش کردند (۱۸).

یکی از مهم‌ترین چالش‌های صنعت غذا در تولید محصولات فراسودمند کاهش زنده ماننی باکتری‌های لاکتیکی و به ویژه انواع پروبیوتیک آنها در طول دوره نگهداری می‌باشد. طبق نتایج حاصل در تحقیق اخیر زنده ماننی باکتری‌های لاکتیکی در طول دوره نگهداری کاهش معنی‌دار داشته است. به نظر می‌رسد وجود عوامل ضد میکروبی نظیر pH پایین، اسیدهای آلی، افزایش پتانسیل اکسیداسیون احیا، هیدروژن پراکسید، اکسیژن مولکولی، رقابت باکتریایی و نوسانات دمایی در طول ذخیره‌سازی زنده ماننی باکتری‌های لاکتیکی را کاهش می‌دهد (۱۹). نتایج حاصل مشخص کرد میزان زنده ماننی باکتری‌های لاکتیکی با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی افزایش می‌یابد. احتمالاً آنزیم ترانس گلوتامیناز با ایجاد اتصالات عرضی از نوع پیوندهای کووالان در پروتئین‌های شیر سبب ایجاد ساختار ژلی قوی می‌شود در حالیکه در نمونه شاهد عمدتاً ساختار ژلی ماست با اتصالات عرضی غیر کووالان (پیوندهای هیدروستاتیک، هیدروژنی و هیدروفوبی) پایدار می‌شوند و ساختار پروتئینی -

⁸ Vashaghani Farahani

⁹ Moayedzadeh

¹⁰ Hashemi & Hosseini

⁴ post-fermentation

⁵ Aprodu

⁶ Sanli

⁷ Moradi

علاوه بر این، صمغ فارسی می‌تواند با پروتئین‌های آب پنیر برهمکنش داشته، نفوذ آب پنیر از میسل‌های کازئین را کاهش داده و پایداری ماست را افزایش و سینرسیس را کاهش دهد (۳). همچنین آنزیم ترانس گلوتامیناز توانایی تشکیل پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا از منومرهای پروتئین، بدون تغییر ویژگی‌های شیمیایی ماست را دارد و منجر به افزایش ویسکوزیته می‌شود. از طرفی برقراری پیوندهای عرضی بین پروتئین‌ها سبب ایجاد ریز ساختار پایدار با اجزا بهم پیوسته و یکنواخت در ماست شده و کاهش نفوذپذیری ژل ماست، محصور شدن آب آزاد بیشتر و کاهش سینرسیس ماست را سبب می‌شود. احتمالاً افزایش پیوندهای پروتئین-پروتئین و بازآرایی پیوندهای پروتئین در نمونه‌های حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی در طول زمان نگهداری سبب افزایش ویسکوزیته نمونه‌های تیمار شده می‌شود در حالیکه با وجود افزایش ویسکوزیته کاهش pH ناشی از فعالیت باکتری‌های لاکتیکی در طول دوره نگهداری سینرسیس را افزایش می‌دهد. مشابه مرادی و همکاران (۲۰۲۳) افزایش ویسکوزیته و کاهش سینرسیس را در نمونه‌های ماست قالبی غنی شده با صمغ فارسی گزارش کردند (۱۴). عباباف^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۹) کاهش سینرسیس در نمونه‌های ماست سویا حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز را گزارش کردند (۱۳). در تحقیقی افزایش سینرسیس نمونه‌های ماست چکیده تهیه شده از شیر گاو و گاو میش حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز در طول زمان نگهداری مشاهده شد (۶).

رنگ مواد غذایی به عنوان یکی از فاکتورهای اساسی در افزایش پذیرش مصرف کننده مطرح می‌شود. طبق نتایج حاصل با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی سفیدی نمونه‌های ماست فراسودمند افزایش یافت. میزان سفیدی ماست علاوه بر ترکیبات ماست مانند چربی، بستگی به عوامل متعددی نظیر ساختار مورفولوژیکی، میزان رطوبت و ماده خشک نمونه دارد. با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز در نمونه ماست میزان اتصالات عرضی در

بین پروتئین‌های شیر افزایش یافته و منجر به تشکیل شبکه پروتئینی متراکم‌تر می‌شود. این شبکه متراکم‌تر می‌تواند قطرات بیشتری از آب را به دام انداخته و سبب سفیدتر شدن ظاهر ماست شود. رنگ سفیدتر نمونه‌های ماست به دلیل پراکندگی بیشتر نور به وسیله قطرات بیشتر آب در شبکه ژل پروتئینی ماست است (21). بعلاوه، صمغ فارسی به دلیل توانایی پراکندگی نور، جذب آب، افزایش ویسکوزیته و ایجاد بافت یکنواخت‌تر منجر به سفیدتر شدن ماست می‌شود (23). در نتایج حاصل مشخص شد میزان روشنایی در نمونه‌های تیمار در طی دوره نگهداری کاهش یافت. افزایش هیدراتاسیون پروتئین‌ها و کاهش قطرات آب آزاد در طی دوره نگهداری دلیل اصلی کاهش بازتاب نور و کاهش سفیدی نمونه‌های ماست در طی دوره نگهداری است (۱۳). طبق نتایج حاصل شاخص رنگی a^* و b^* با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی کاهش یافت. احتمالاً برهمکنش صمغ فارسی و پروتئین‌ها از طرفی و فعالیت آنزیم ترانس گلوتامیناز در ماست، تشکیل ساختارهای پروتئینی بر خصوصیات رنگی ماست تاثیر گذاشته و این تغییرات ساختاری منجر به کاهش شدت رنگ زرد و قرمز در نمونه‌های تیمار شده است (۲۲). همچنین طبق نتایج حاصل میزان شاخص‌های رنگی a^* و b^* با گذشت زمان افزایش یافت. احتمالاً برهمکنش میلارد، فعالیت‌های میکروبی، اکسیداسیون و پرتولیز از عوامل موثر در افزایش زردی قرمزی نمونه‌های ماست در طول دوره نگهداری هستند (۲۴ و ۲۳). مشابه، حبشی^{۱۲} و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای در بررسی تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز بر خصوصیات پنیر موزارلا افزایش شاخص رنگی L^* و کاهش شاخص‌های رنگی a^* و b^* را گزارش کردند (۲۵). عباباف و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز بر ماست سویا افزایش شاخص رنگی L^* و کاهش شاخص‌های رنگی a^* را گزارش کردند (۱۳). جوینده^{۱۳} و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز بر پنیر سویا کاهش شاخص رنگی L^* و افزایش شاخص‌های رنگی a^* و b^* را

¹³ Jooyandeh

¹¹ Ababaf

¹² Hebishi

یافت. استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی در ماست فراسودمند سبب افزایش شاخص رنگی L^* و شاخص رنگی a^* و شاخص رنگی b^* را کاهش دادند. با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز در نمونه ماست میزان اتصالات عرضی در بین پروتئین‌های شیر افزایش یافته و منجر به تشکیل شبکه پروتئینی متراکم‌تر و سفیدتر در ماست می‌شود. به طور کلی، نتایج تحقیق اخیر مصرف این ماست فراسودمند غنی‌شده با آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی را به عنوان یک محصول کاربردی برای پیشرفت در سلامت مصرف‌کننده توصیه می‌کند.

گزارش کردند (۲۱). خالدآباد علیزاده^{۱۴} و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی تولید ماست پروبیوتیک با صمغ فارسی و میکروجلبک کاهش شاخص‌های رنگی a^* و b^* را در نمونه‌ها با افزایش غلظت صمغ فارسی گزارش کردند (۲۲). در نهایت، در این تحقیق فرمولاسیون ماست فراسودمند جدید با استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه افزایش معنی‌دار زنده مانی باکتری‌های لاکتیکی در ماست فراسودمند را در حضور آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی نشان داد. همچنین درصد سینرسیس ماست فراسودمند کاهش، پایداری نمونه‌های ماست افزایش و ویسکوزیته نمونه‌های تیمار شده بهبود

¹⁴ Khaledabad Alizade

منابع

1. Gharibzahedi S M T and Chronakis I S, 2018. Crosslinking of milk proteins by microbial transglutaminase: Utilization in functional yogurt products. *Food Chemistry*. 245: 620–632.
2. Hashemi K and Hosseini E, 2021. The stabilizing and prebiotic potential of water-soluble phase of bitter almond gum exudate in probiotic yogurt drink. *Carbohydrate Polymers*. 255: 117395.
3. Dabestani M, Kadkhodae R, Phillips G O and Abbasi S, 2018. Persian gum: a comprehensive review on its physicochemical and functional properties. *Food Hydrocolloids*. 78: 92-99.
4. Kadkhodae R and Mahfouzi M, 2022. Chemistry and Food Applications of Persian Gum. *Gums, Resins, and latexes of plant origin*. 1-26.
5. Beirami-Serizkani F, Hojjati M and Jooyandeh H, 2021. The effect of microbial transglutaminase enzyme and Persian gum on the characteristics of traditional kefir drink. *International Dairy Journal*. 112: 104843.
6. جوینده ح، علیزاده بهیانی ب، نوشاد م، صفاری سامانی الف، ۱۴۰۱. تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز بر برخی ویژگی های ماست چکیده تهیه شده از مخلوط شیر گاو و گاومیش، نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی، دوره ۱۴، شماره ۲، صفحات ۱۷-۳۴.
7. Farnsworth J P, Hendricks J, Li G M and Guo M R, 2006. Effects of transglutaminase treatment on functional properties and probiotic culture survivability of goat milk yogurt. *Small Ruminant Research*. 36: 20-30.
8. Emamifar A, 2013. Evaluation of the effect of aloe vera gel as an edible coating on the microbial, physicochemical and sensory characteristics of fresh strawberries during storage. *Innovative Food Technologies*. 6: 15-29.
9. Dakhteh R, Khani M and Dabiriyani S, 2021. Comparison of the effects of Qodume shirazi (*Alyssum homolocarpum*) and Persian gums (*Amygdalus scoparia*) as fat replacer hydrocolloid on physicochemical properties of low-fat table cream. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 17(1): 205-16.
10. Golkar A, Taghavi S M and Dehnavi F A, 2018. The emulsifying properties of persian gum (*Amygdalus scoparia spach*) as compared with gum arabic. *International Journal of Food Properties*. 21(1): 416–436.
11. Tizghadam P, Roufegari-nejad L, Asefi N and Asl P J, 2021. Physicochemical characteristics and antioxidant capacity of set yogurt fortified with dill (*Anethum graveolens*) extract. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 15(56): 3088-3095.
12. Nateghi N, 2019. An Investigation about Possibility the Manufacture of Low-Fat Stirred Yoghurt Using Zedo Gum. *Journal of food engineering research*. 18(67): 29-42.
۱۳. عبا یاف خ، جوینده ح، ناصحی ب، ۱۳۹۹. تاثیر تیمار آنزیمی ترانسگلوتامیناز بر ویژگیهای فیزیکی‌شیمیایی میکروبیوماست سویای سینیوتیک، نشریه پژوهشهای صنایع غذایی، دوره ۳۰، شماره ۳، صفحات ۱۸۹-۲۰۱.
14. Moradi H, Sedaghati M and Jahanbakhshian N, 2023. Evaluation and improvement of antioxidant activity and physicochemical properties of yogurt enriched with persian gum (*Amygdalus scoparia* Spach) and fennel (*Foeniculum Vulgare*) extract. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*. 22(4): 431-440.
15. Atwaa E S H, Shahein M R, El-Sattar E S A, Hijazy H H A, Albrakati A and Elmahallawy E K, 2022. Bioactivity, Physicochemical, and Sensory Properties of Probiotic Yogurt Made from Whole Milk Powder Reconstituted in Aqueous Fennel Extract. *Fermentation*. 8(2): 52.
16. Aprodu I, Gurau G, Ionescu A and Banu I, 2011. The effect of transglutaminase on the rheological properties of yoghurt. *Aprodu I, Gurau G, Ionescu A and Banu I, 2011. The effect of transglutaminase on the rheological properties of yoghurt. Scientific Studies and Research*. 12(2):185–196.
17. Sanli T, Lezgin E, Deveci O, Senel E and Benli M, 2011. Effect of using transglutaminase on physical, chemical and sensory properties of set-type yoghurt. *Food Hydrocolloids*. 25:1477–1481.
18. Mendoza-Taco M M, Cruz-Hernández A, Ochoa-Flores A A, Hernández-Becerra J A, Gómez-Vázquez A, Moo-Huchin V M, Piñero-Vázquez Á, Chay-Canul A J and Vargas-Bello-Pérez E, 2022. Physicochemical Characteristics of Yogurt from Sheep Fed with Moringa oleifera Leaf Extracts. *Animals*. 12: 110.
19. Vasheghani Farahani M, Sedaghati M and Mooraki N, 2022. Production and characterization of synbiotic Doogh by Gum Tragacanth, Date Seed Powder, and *L. casei* Preservative. 46: e16946.
20. Moayedzadeh S, Khosrowshahi Asl A and Zomorodi Sh, 2012. Effects of transglutaminase treatment on *Lactobacillus casei* viability, physicochemical and sensory properties of nonfat stirred yoghurt. *Journal of Food Researches*. 22: 201-214.

21. Jooyandeh H, Mehrnia M A, Hojjati M and Alizadeh Behbahani B, 2023. Evaluation of effect of ultrasound and transglutaminase enzyme treatments on yield, physicochemical properties and microstructure of soy cheese. *Innovative Food Technologies*. 10: 119-133.
22. Khaledabad Alizadeh M, Ghasempour Z, Kia E M, Bari M R, and Zarrin R, 2020. Probiotic yoghurt functionalised with microalgae and Zedo gum: Chemical, microbiological, rheological and sensory characteristics. *International Journal of Dairy Technology*. 73: 67–75.
23. Pathania S, Parmar P and Tiwari B K, 2019. Stability of Proteins During Processing and Storage. In *Proteins: Sustainable Source, Processing and Applications*; Elsevier Inc.: Amsterdam, The Netherlands, 295–330.
24. Li M, Shen M, Lu J, Yang J, Huang Y, Liu L, Fan H, Xie J and Xie M, 2022. Maillard reaction harmful products in dairy products: Formation, occurrence, analysis, and mitigation strategies. *Food Research International*. 151: 110839.
25. Hebishi E, Nagarajah J, Thompson L, Shennan S, Best L, Ajayi O M, Ihezor-Ejiofor P, Tucker N and Onarinde B A, 2022. Impact of microbial transglutaminase and cooking time on functional properties of Mozzarella cheese analogues. *International Journal of Dairy Technology*. 75: 201-213.

Evaluation the physicochemical properties and survival of lactic acid bacteria in functional yogurt containing transglutaminase enzyme and Persian gum

Mobina Ruzbehani¹, **Marjaneh Sedaghati^{1*}**, Babak Karami¹

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Biological Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

This research aimed to produce functional yogurt containing transglutaminase enzyme and Persian gum with acceptable physicochemical and microbial properties. Transglutaminase enzyme at three levels of 0, 0.01%, and 0.03% and Persian gum at three levels of 0, 0.5%, and 1% were used to produce functional yogurt and the physicochemical characteristics (pH, syneresis, viscosity, color properties) and microbial properties (lactic acid bacteria viability) during 20 days of storage evaluated. The results showed that the addition of transglutaminase enzyme increased the pH of functional yogurt samples, while the addition of Persian gum decreased the pH of the samples. The lowest syneresis was observed in functional yogurt samples containing 0.03% transglutaminase enzyme and 1% Persian gum. The results showed that in all samples, the viscosity increased significantly with the increase of transglutaminase enzyme and Persian gum ($p < 0.05$). Although the transglutaminase enzyme and Persian gum increased the lactic acid content of the treated samples compared to the control sample, during the storage time, the lactic acid content decreased significantly ($p < 0.05$). Based on the results, in the presence of transglutaminase enzyme and Persian gum, the color index L^* of yogurt samples increased and the a^* and b^* indexes decreased significantly ($p < 0.05$). According to the result, the use of transglutaminase enzyme and Persian gum in yogurt reduced syneresis, increased viscosity, and improved the viability of lactic acid bacteria and the color characteristics of functional yogurt samples.

Keywords: Functional, Persian gum, transglutaminase enzyme, Yogurt.

* marjanehsedaghati@yahoo.com