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

مبینا روزبهانی[۱]، **مرجانه صداقتی**[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 ($p<$٪۰/۰۵). 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 ($p<$٪۰/۰۵). 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<$۰.۰۵). 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

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-06-08]

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 *استرپتوکوکوس سالیواریوس* زیرگونه *ترموفیلوس*[2] و *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیرگونه *بولگاریکوس*[3] است. ماست حاوی ترکیبات ضد میکروبی، پپتیدهای زیست فعال با خاصیت کاهندگی کلسترول خون، کاهندگی عدم 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 سینرزیس دو فاکتور تاثیرگذار در ظاهر و بافت محصول هستند و به طور قابل توجهی تحت تأثیر افزودن هیدروکلوئیدها، ترکیب شیر (مقدار و نوع ترکیبات شیر) و فرآوری (عملیات حرارتی، هموژنیزاسیون، تیمار-آنزیمی و غیره) می‌باشند (۱و۲).

در تحقیقات پیشین صمغ‌ها به عنوان ترکیبات پلی‌ساکاریدی جهت افزایش پایداری و ارتقا خواص بافتی محصولات لبنی بکار گرفته شده‌اند. صمغ فارسی یا زدو 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 نشاسته‌ای، محلول در آب، بدون طعم خاص، و دارای بوی معطر شیرینی است. صمغ فارسی پلی‌ساکاریدی کاملا منشعب بوده، از آرابینوز، گالاکتوز (۸۸.۷)، و ۱۰٪ اسیداورونیک تشکیل شده و به عنوان یک آرابینوگالاکتان طبقه بندی می‌شود (۳و۴).

آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (MTGase) دارای ساختار پروتئینی و حاوی ۳۳۱ اسیدآمینه است. این آنزیم جز آنزیم‌های ترانسفراز بوده و انتقال آسیل، بین گاما-کربوکسی‌آمید اسید آمینه گلوتامین و آمین‌های نوع اول از جمله گروه اپسیلون-آمین لیزین در پروتئین را کاتالیز می‌کنند. 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 بافت های حیوانی و مایعات بدن، گیاهان، ماهی‌ها، پرندگان و میکروارگانیسم ها توزیع می‌شود. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی به دلیل هزینه کمتر و راندمان بالای استخراج و خالص‌سازی در مقایسه با منابع حیوانی کاربرد بیشتری در مواد غذایی دارند (۱، ۵و۶).

در تحقیقی تاثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز 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 زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک ماست تهیه شده از شیر بز ارزیابی شد (۷). بعلاوه تاثیر صمغ فارسی به عنوان هیدروکلوئید گیاهی بر ویژگی‌های میکروبی، فیزیکوشیمیایی 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 فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی خامه کم چرب ارزیابی شد (۹). اما تا کنون تحقیقی در زمینه تاثیر استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و صمغ فارسی بر خواص فیزیکوشیمیایی، و زنده مانی باکتری‌های لاکتیکی در ماست قالبی فراسودمند انجام نشده است لذا در مطالعه اخیر به این موضوع پرداخته شد.

مواد و روش ها

مواد مورد نیاز

[2] *Streptococus salivarius* subsp. *thermophilus*

[3] *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-06-08]

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 هنسن دانمارک، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز تهیه شده از میکروارگانیسم *استرپتوورسیلیوم* از شرکت آجینوموتو فرانسه و صمغ فارسی از شرکت ریحان گام ایران تهیه شد. هیدروکسیدسدیم (۹۹٪)، MRS Broth و MRS Agar از شرکت مرک خریداری گردید.

روش ها

آماده سازی صمغ فارسی

نمونه‌های صمغ فارسی با استفاده از آسیاب چکشی آسیاب و سپس با الک (مش برابر 250 µm) الک شد. پودر صمغ فارسی در آب غیریونیزه کننده، حل (دمای ۱±۲۳ درجه سلسیوس) و با همزن برای مدت ۲ ساعت همزده شد و برای مدت ۴۸ ساعت در دمای°C ۴ برای هیدراته شدن کامل، نگهداری گردید؛ صمغ فارسی حل شده توسط یک فیلتر پارچه‌ای فیلتر و توسط خشک کن انجمادی در دمای °C ۴۰- و مدت زمان ۲۴ ساعت خشک و در دمای°C ۴ 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 °C ۹۰ 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 ۹۰ درجه اضافه همزده و تا دمای °C۴۵ خنک گردید؛ پس از آن، آنزیم ترانس گلوتامیناز (۰، ۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد) به شیر اضافه شده و به مدت یک ساعت در داخل انکوباتور در دمای °C۴۵ قرار گرفت. پس از آن برای غیر فعال کردن آنزیم از دمای °C۸۰ به مدت ۱ دقیقه استفاده شده و مجددا دمای آن را به °C۴۵ 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 در داخل یخچال در دمای °C۴ قرار داده شدند و در روزهای ۱ ، ۱۰ و ۲۰ مورد آزمون قرار گرفتند (۶).

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی 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 ۳۰ گرم از نمونه‌های ماست در rpm ۱۲۵۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ (Hettich, Germany) و فاز سرمی جدا، توزین و درصد سینرسیس از نسبت وزنی فازسرمی 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 °C۲۰ و با اعمال تنش برشی ((1/S) ۱.۰ تا ۵۰۰) انجام شد (۱۱).

ارزیابی شاخص های رنگی

جهت اندازه‌گیری شاخص‌های رنگی نمونه‌های ماست L* a* , b*، از دستگاه هانترلب (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 ۱۲۰- (سبز خالص) تا ۱۲۰+ (قرمز خالص) متغیر است. شاخص b* شدت رنگ‌های آبی و زرد را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (آبی خالص) تا ۱۲۰+ (زرد خالص) متغیر می‌باشد (۱۲).

شمارش باکتری های لاکتیکی

برای شمارش باکتری‌های *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* 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. پلیت ها به مدت ۷۲ ساعت در انکوباتور CO_2 دار در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد گرمخانه گذاری و نتایج شمارش به صورت Log CFU/g گزارش شدند (۱۳).

تجزیه و تحلیل آماری

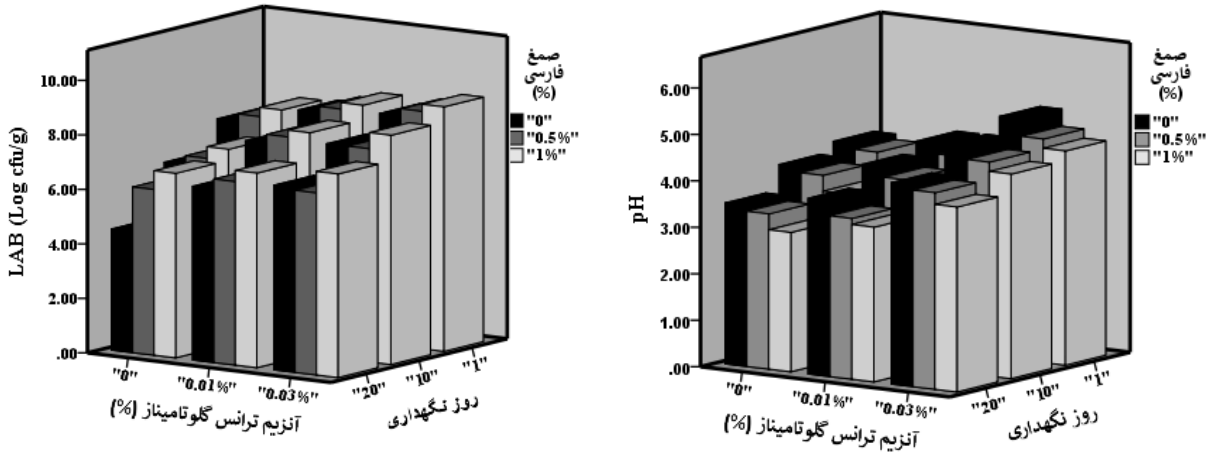
[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-06-08]

در این تحقیق تاثیر افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی بر دسر شیری بر اساس طرح کاملا تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. کلیه داده های این پژوهش، با استفاده از آزمون K-S از نظر توزیع نرمال مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین ها به ترتیب با روش ANOVA و آزمون چند دامنه ای 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 طوریکه افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز، منجر به افزایش معنی‌دار مقدار pH شد ($p<۰.۰۵$)، در حالیکه افزایش سطح صمغ فارسی کاهش pH را در پی داشت ($p<۰.۰۵$). همچنین گذشت زمان نیز باعث کاهش pH شد ($p<۰.۰۵$). اثر متقابل آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ بر میزان pH معنی‌دار ($p<۰.۰۵$) بود اما اثر متقابل صمغ و زمان بر میزان pH غیر معنی‌دار ($p>۰.۰۵$) بود. اثر متقابل آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و زمان در این آزمایش معنی‌دار بود ($p<۰.۰۵$)، به طوری که میزان pH در تیمارهای دارای ۰.۰۳٪ آنزیم ترانس گلوتامیناز، با گذشت زمان کاهش بیشتری داشت ($p<۰.۰۵$). همچنین اثر متقابل سه‌گانه سه عامل مورد آزمایش بر میزان pH معنی‌دار بود ($p<۰.۰۵$). نمونه ماست حاوی ۰.۰۳٪ آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۰٪ صمغ فارسی در روز اول نگهداری بیشترین pH و نمونه ماست حاوی ۰٪ آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱٪ صمغ فارسی در روز بیستم نگهداری کمترین pH نشان دادند.



الف ب

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

نتایج تعیین زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی در نمونه‌های ماست فراسودمند

طبق نتایج حاصل استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و صمغ فارسی به صورتی معنی‌دار ($p<۰.۰۵$) موجب افزایش زنده-مانی باکتری‌های لاکتیکی در نمونه‌های ماست فراسودمند شدند اما زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی با گذشت زمان کاهش یافت (شکل ۱ب). نتایج حاصل نشاندهنده اثر متقابل میان آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و صمغ فارسی است به طوری که اثر صمغ در سطح ۱٪ در افزایش زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی ماست در سطح بالاتر از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بیشتر است و همچنین در سطح بالای آنزیم ترانس‌گلوتامیناز تاثیر سطح ۱٪ صمغ بر افزایش زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی بیشتر می‌شود ($p<۰.۰۵$). طبق نتایج حاصل، اثر متقابل سه‌گانه سه عامل مورد آزمایش بر میزان زنده‌مانی

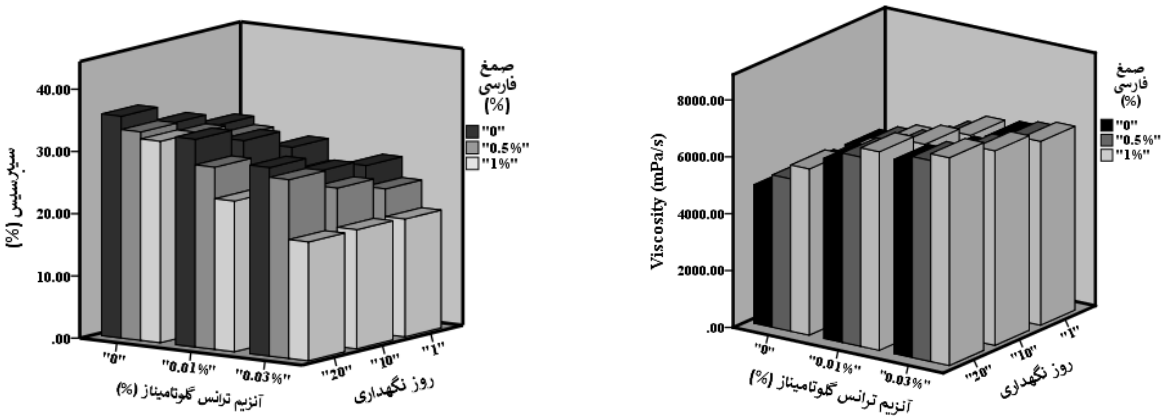
[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-06-08]

باکتری‌های لاکتیکی معنی‌دار بود ($p<۰.۰۵$). نمونه ماست حاوی ۰.۰۳٪ 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 ترانس‌گلوتامیناز و صمغ فارسی، میزان سینرسیس ماست را کاهش داد ($p<۰.۰۵$)، میزان کاهش سینرسیس ماست در تیمارهای با غلظت ۰.۰۳٪ آنزیم و ۱٪ صمغ فارسی کمتر از تیمارهایی با غلظت ۰.۰۱٪ آنزیم و ۰.۵٪ صمغ فارسی بود. گذشت زمان به مدت ۲۰ روز نیز در کاهش میزان سینرسیس و افزایش ویسکوزیته موثر بود ($p<۰.۰۵$).

طبق نتایج حاصل نمونه ماست با غلظت ۰.۰۳٪ 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 سه‌گانه میان آنزیم ترانس گلوتامیناز، صمغ فارسی و زمان بر ویسکوزیته و سینرسیس ماست معنی‌دار بودند و میزان افزایش در ویسکوزیته ماست بر اثر گذشت زمان، در سطح بالاتر آنزیم و صمغ فارسی بیشتر بود ($p<۰.۰۵$).



الف ب

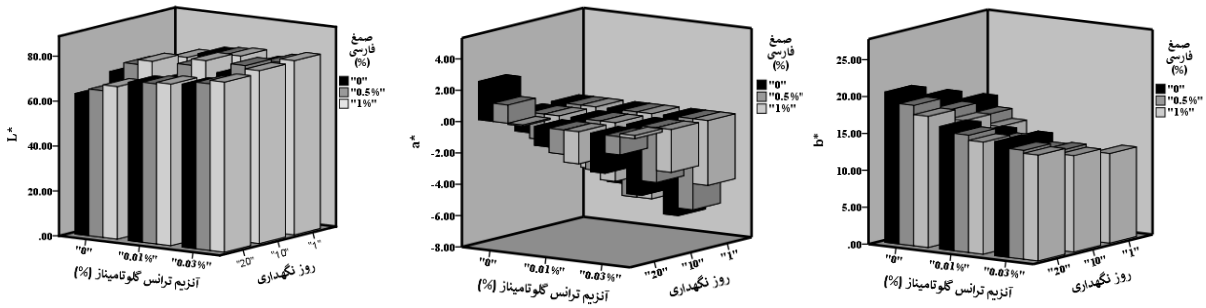
شکل ۲- تغییرات میزان الف) سینرسیس و ب) ویسکوزیته نمونه‌های ماست فراسودمند در طول زمان نگهداری

نتایج تعیین رنگ در نمونه‌های ماست فراسودمند

شکل ۳ نشان می‌دهد که آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و صمغ فارسی، هر دو میزان شاخص رنگی L*، و را در ماست افزایش دادند ($p<۰.۰۵$)، در حالی که گذشت زمان از میزان شاخص رنگی L* در ماست کاست ($p<۰.۰۵$). از طرفی آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی، هر دو میزان شاخص رنگی a* و شاخص رنگی b* را در ماست کاهش دادند اما گذشت زمان به میزان شاخص رنگی a* و b* افزود ($p<۰.۰۵$). 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 ۰.۰۳٪ بیشتر از تیمارهایی با سطح غلظت آنزیم ۰.۰۱٪ بود ($p<۰.۰۵$). صمغ فارسی شاخص رنگی L* ماست را افزایش داد ($p<۰.۰۵$)، و میزان این افزایش در سطح ۱٪ صمغ

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-06-08]

چشم‌گیرتر بود. گذشت زمان تاثیر خود را با کاهش شاخص رنگی L* ماست نشان داد. بر اساس نتایج به دست‌آمده 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 ۱٪ صمغ چشم‌گیرتر بود. گذشت زمان تاثیر خود را با افزایش شاخص رنگی a* ماست نشان داد. شکل ۳ج نشان از اثر متقابل میان آنزیم ترانس‌گلوتامیناز 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 ($p<0.05$).



الف ب ج

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

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 مصرف کننده 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 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 اسیدلاکتیک می‌شود. احتمالا تاثیر مثبت صمغ فارسی بر تولید اسید لاکتیک به وسیله باکتری-های 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

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-06-08]

تخمیر[4] ماست به دلیل فعالیت متابولیکی کشت‌های آغازگر در طول دوره نگهداری سرد در محصول است. مشابها، آپرودو[5] و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی تاثیر آنزیم ترانس-گلوتامیناز بر خصوصیات ماست چکیده شیرگاو و گاو میش افزایش pH نمونه‌های ماست را در حضور آنزیم گزارش کردند (۱۶). در حالیکه سانلی[6] و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی تاثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست، تاثیر افزودن آنزیم را بر اسیدیته ماست غیر معنی‌دار گزارش کردند (۱۷). مشابها مرادی[7] 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 نگداری ۱۴ روزه را در نمونه‌های ماست گوسفندی گزارش کردند (۱۸).

یکی از مهم‌ترین چالش های صنعت غذا در تولید محصولات فراسودمند کاهش زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی و به ویژه انواع پروبیوتیک آنها در طول دوره نگهداری می‌باشد. طبق نتایج حاصل در تحقیق اخیر زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی در طول دوره نگهداری کاهش معنی دار داشته است. به نظر می رسد 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 زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی را کاهش می‌دهد (۱۹). نتایج حاصل مشخص کرد میزان زنده‌مانی باکتری‌های لاکتیکی با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی افزایش می‌یابد. احتمالا 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 عمدتا ساختار ژلی ماست با اتصالات عرضی غیرکووالان (پیوندهای هیدروستاتیک، هیدروژنی و هیدروفوبی) پایدار می‌شوند و ساختار پروتئینی-ژلی متفاوت موجب بقا بیشتر باکتری‌های لاکتیکی شده است (۲۰). احتمالا 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[8] *و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند زنده مانی باکتری* لاکتوباسیلوس پلانتاروم *در نمونه‌های دوغ غنی شده در طول زمان نگهدای کاهش معنی‌دار دارد (۱۹)*. مشابها مویدزاده[9] و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده کردند با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز، قابلیت زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس کازئی* و *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* به ترتیب ۰.۸ و ۰.۵ سیکل لگاریتمی در نمونه‌های ماست همزده بدون چربی افزایش یافت (۲۰). هاشمی و حسینی[10] (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).

سینرزیس انقباض شبکه ژلی ماست است که در طول ذخیره سازی منجر به خروج آب پنیر از شبکه ژل می شود. 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 تاثیر 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 معنی-دار دارد. یک گرم صمغ فارسی حدود ۱۲ گرم آب را جذب می کند و با جذب آب ویسکوزیته ماست را افزایش می‌دهد.

[4] post-fermentation
[5] Aprodu
[6] Sanli
[7] Moradi
[8] *Vasheghani Farahani*
[9] Moayedzadeh
[10] Hashemi & Hosseini

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-06-08]

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 وکاهش نفوذپذیری ژل ماست، محصور شدن آب آزاد بیشتر و کاهش سینرسیس ماست را سبب می شود. احتمالا افزایش پیوندهای پروتئین-پروتئین و بازآرایی پیوندهای پروتئین در نمونه های حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ فارسی در طول زمان نگهداری سبب افزایش ویسکوزیته نمونه های تیمار شده می‌شود در حالیکه با وجود افزایش ویسکوزیته کاهش pH ناشی از فعالیت باکتری‌های لاکتیکی در طول دوره نگهداری سینرسیس را افزایش می‌دهد. مشابها مرادی و همکاران (۲۰۲۳) افزایش ویسکوزیته و کاهش سینرسیس را در نمونه-های ماست قالبی غنی شده با صمغ فارسی گزارش کردند (۱۴). عباباف[11] و همکاران (۲۰۱۹) کاهش سینرسیس در نمونه‌های ماست سویا حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز را گزارش کردند (۱۳). در تحقیقی افزایش سینرسیس نمونه-های 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 ترانس‌گلوتامیناز 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 ترانس‌گلوتامیناز 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 نمونه-های 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 ترانس‌گلوتامیناز و صمغ فارسی کاهش یافت. احتمالا برهمکنش صمغ فارسی و پروتئین هااز 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 نمونه-های تیمار شده است (۲۲). همچنین طبق نتایج حاصل میزان شاخص‌های رنگی a* و b* با گذشت زمان افزایش یافت. احتمالا برهمکنش میلارد، فعالیت های میکروبی، اکسیداسیون و پروتئولیز از عوامل موثر در افزایش زردی و قرمزی نمونه‌های ماست در طول دوره نگهداری هستند (۲۳و۲۴). مشابها، حبشی[12] و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای در بررسی تاثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز 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 ترانس‌گلوتامیناز بر ماست سویا افزایش شاخص رنگی L* و کاهش شاخص‌های رنگی a* را گزارش کردند (۱۳). جوینده[13] و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز بر پنیر سویا کاهش شاخص رنگی L* و افزایش شاخص‌های رنگی a* و b* را

[11] Ababaf
[12] Hebishi
[13] Jooyandeh

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-06-08]

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). درنهایت، در این تحقیق فرمولاسیون ماست فراسودمند جدید با استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و صمغ فارسی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه افزایش معنی‌دار زنده مانی باکتری‌های لاکتیکی در ماست فراسودمند را در حضور آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و صمغ فارسی نشان داد. همچنین درصد سینرسیس ماست فراسودمند کاهش، پایداری نمونه‌های ماست افزایش و ویسکوزیته نمونه‌های تیمار شده بهبود یافت. استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز 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 طورکلی، نتایج تحقیق اخیر مصرف این ماست فراسودمند غنی‌شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و صمغ فارسی را به عنوان یک محصول کاربردی برای پیشرفت در سلامت مصرف کننده توصیه می‌کند.

[14] Khaledabad Alizade

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-06-08]

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, Kadkhodaee 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. Kadkhodaee 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.

۶. جوینده ح، علیزاده بهبهانی 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 Dabiriyan 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 (*Anethume 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. عباباف خ، جوینده ح، ناصحی ب، ۱۳۹۹. تأثیر تیمارآنزیمی ترانسگلوتامیناز بر ویژگیهای فیزیکیشیمیاییو میکروبیماست سویای سینبیوتیک، نشریه پژوهشهای صنایع غذایی، دوره ۳۰، شماره ۳، صفحات ۲۰۱-۱۸۹.

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, Piñeiro-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 Journal of Food Process and .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.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-06-08]

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, Iheozor-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.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-06-08]

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

Mobina Ruzbehani[1], **Marjaneh Sedaghati[1*]**, Babak Karami[1]

[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

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-06-08]