مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

ارزیابی تأثیر عصاره جو دوسر و تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز میکروبی بر ترکیبات فنولی، خواص حسی و قابلیت زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک ماست سین‌بیوتیک

پروین کیان‌آرا[۱]، حسین جوینده[۲*]، محمد نوشاد[۳]، محمد حجتی[۲]، محمدامین مهرنیا[۳]

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.

۲- استاد گروه علوم وصنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۷

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۱۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱

کلمات کلیدی:

MTg،

OE،

لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس،

بیفیدوباکتریوم بیفیدوم،

ماست فراسودمند.

DOI: 10.48311/fsct.2026.117774.82941

* مسئول مکاتبات:

hosjooy@asnrukh.ac.ir

چکیده

غذاهای عملکردی با فراهم‌آوردن ترکیبات بیواکتیو (مانند پروبیوتیک‌ها، پری‌بیوتیک‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها) عملکردهای فیزیولوژیک مهمی را ارائه می‌دهند که می‌توانند در پیشگیری از بیماری‌های رایج نقش داشته باشند. عصاره جو (OE) حاوی ترکیبات زیست‌فعال (فیبر بتا-گلوکان، فنول‌ها و توکوتری‌نول‌ها) و پری‌بیوتیک‌هایی است که رشد باکتری‌های مفید روده را تحریک کرده و خواص ضدالتهابی و متابولیک را تقویت می‌کنند. در هر حال، افزودن آن به ماست ممکن است سبب کاهش کیفیت حسی آن گردد. دراین میان، تیمار آنزیمی با ترانس-گلوتامیناز میکروبی (MTg) یکی از راه‌های پیشنهادی برای بهبود خواص حسی محصول از طریق ارتقای کیفیت بافت و قوام ماست است. بنابراین در این مطالعه، تأثیر تیمار آنزیمی MTg (۰ و ۰/۰۲ درصد) بر برخی ویژگی‌های ماست سین‌بیوتیک حاوی غلظت‌های مختلف OE (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) طی یک دوره نگهداری ۲۱ روزه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد افزودن OE سبب بهبود محتوای فنلی کل (TPC)، شمارش باکتری‌های پروبیوتیک و امتیاز بافت ماست گردید، درحالی‌که امتیاز رنگ و طعم نمونه‌ها را کاهش داد. تیمار TG نیز سبب افزایش محتوای TPC و امتیاز رنگ و بافت محصول و کاهش تعداد باکتری‌های پروبیوتیک شد. با گذشت زمان نگهداری، هرچند محتوای TPC افزایش یافت، اما تعداد پروبیوتیک‌ها و امتیاز تمامی ویژگی‌های حسی ماست کاهش معنی‌داری یافت. درهرحال، مقدار باکتری‌های پروبیوتیک پس از ۲۱ روز نگهداری بیش از مقدار استاندارد (۷ log CFU/g) تعیین شد. براساس نتایج این تحقیق، نمونهٔ ماست سین‌بیوتیک تیمار شده با مقدار ۰/۰۲ درصد آنزیم TG و حاوی ۲۰ درصد عصارهٔ جو به‌عنوان بهترین نمونهٔ ماست مشخص گردید.

۱-مقدمه

ماست به دلیل ارزش غذایی منحصربه‌فرد و طعم دلپذیر خود، به یکی از محبوب‌ترین مواد غذایی در جهان تبدیل شده است. در حال حاضر، براساس پروبیوتیک بودن، ماست به دو نوع غیرپروبیوتیک و پروبیوتیک تقسیم می‌شود. ماست غیرپروبیوتیک تنها حاوی کشت استاندارد (استارترهای سنتی *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیرگونه *بولگاریکوس* و *استرپتوکوکوس ترموفیلوس*) است، در حالی که ماست پروبیوتیک با سویه‌های پروبیوتیک مانند بیفیدوباکتریوم و *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* تقویت می‌گردد [۱]. محبوبیت طیف جدیدی از محصولات لبنی، از جمله ماست سین‌بیوتیک که حاوی پروبیوتیک‌ها و پری‌بیوتیک‌هاست، رو به افزایش است. در محصولات لبنی، باکتری‌های اسید لاکتیک به‌عنوان پروبیوتیک شناخته شده‌اند که قادرند مقادیر زیادی پروتئین‌های باکتری‌کش تولید کنند. در نتیجه، ماست سین‌بیوتیک به‌عنوان یک غذای عملگرا که سلامت انسان را ارتقاء می‌دهد، محبوبیت یافته است [۲]. سازمان جهانی بهداشت، پروبیوتیک‌ها را به‌عنوان میکروارگانیسم‌های زنده‌ای تعریف کرده است که در صورت مصرف به میزان کافی، برای میزبان فواید سلامت‌بخشی مانند تقویت میکروبیوتای روده، کاهش التهاب و استرس اکسیداتیو، بهبود متابولیسم و تقویت ایمنی به همراه دارند [۳]. پروبیوتیک‌ها در درمان اختلالات روده‌ای و سیستمیک، کاهش عدم تحمل لاکتوز، حفظ سطح کلسترول سرم و داشتن فعالیت‌های ضدسرطانی، ضدجهش و ضدفشارخون مؤثر شناخته شده‌اند [٤-٦]. در سال‌های اخیر، گونه‌های لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتریوم به‌عنوان اصلی‌ترین انواع پروبیوتیک‌ها در غذاهای عملکردی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۷]. فدراسیون بین‌المللی لبنیات (IDF) توصیه می‌کند که تعداد پروبیوتیک‌های فعال باید حداقل به 10^7 CFU/g برسد تا بتوانند عملکرد فیزیولوژیکی خود را در دستگاه گوارش انجام دهند [۸]. مزایای پروبیوتیک‌ها به‌شدت تحت تأثیر قابلیت بقای میکروارگانیسم‌ها قرار دارد، بنابراین پروبیوتیک‌ها باید هم در محصول و هم در بدن میزبان پایدار و فعال باشند. از این رو، پروبیوتیک‌ها باید در طول فرآیند تولید و نگهداری زنده بمانند و از دستگاه گوارش عبور کنند، بدون اینکه خواص فیزیکوشیمیایی و حسی محصول را تحت تأثیر قرار دهند [۹]. با این حال، پروبیوتیک‌ها نسبت به pH ، نمک‌های صفراوی، پراکسید هیدروژن، دمای نگهداری و غیره حساس هستند [۱۰ و ۱۱]. روش‌های گوناگونی برای افزایش نرخ بقای پروبیوتیک‌ها در محصولات لبنی پیشنهاد شده است که از جملهٔ آن‌ها می‌توان انتخاب سویه‌های مقاوم، میکروکپسوله کردن سویه‌های پروبیوتیک، افزودن ریزمغذی‌ها و پری‌بیوتیک‌ها، و همچنین بهبود ظرفیت بافری ماست در برابر تغییرات pH را برشمرد [۱۲-۱٤].

پری‌بیوتیک‌ها ترکیبات غیرقابل‌هضم هستند که رشد پروبیوتیک‌های موجود در دستگاه گوارش را تقویت می‌کنند [۱۵]. در مقابل، این ترکیبات تأثیری بر رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا ندارند [۹]. سایر مزایای پری‌بیوتیک‌ها برای میزبان شامل اتصال به سموم خطرناک و جلوگیری از چسبندگی پاتوژن‌ها به اپیتلیوم روده می‌باشد [۱٦ و ۱۷]. گلوکان‌ها، فروکتان‌ها و مانان‌ها رایج‌ترین پری‌بیوتیک‌های مورد استفاده در صنعت غذا هستند [۱۸]. سین‌بیوتیک‌ها توسط انجمن علمی بین‌المللی پروبیوتیک‌ها و پری‌بیوتیک‌ها (ISAPP [1]) به عنوان «مخلوطی شامل میکروارگانیسم‌های زنده و بسترهایی که به‌طور انتخابی توسط میکروارگانیسم‌های میزبان استفاده می‌شوند و برای میزبان فواید سلامتی به همراه دارند» تعریف شده‌اند [۱۹]. کراساکوپت و واچاراپوکا [۱۸] در تحقیقی افزایش بقای *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* (۱/۱ سیکل لگاریتمی) و *لاکتوباسیلوس کازئی* (۰/٤ سیکل لگاریتمی) که با الیگوساکاریدهای گالاکتوز کپسوله شده بودند را در ماست

1-International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics

مشاهده کردند. براساس گزارش این محققان، افزودن پری‌بیوتیک‌ها مانند گالاکتوالیگوساکاریدها یا اینولین در طول فرآیند میکروکپسوله‌سازی پروبیوتیک‌ها، مقاومت این میکروارگانیسم‌ها را در برابر سیستم گوارش شبیه‌سازی‌شده افزایش داده و رشد پروبیوتیک‌ها را در ماست و آب پرتقال تقویت می‌کند.

در میان انواع مختلف غذاهای پری‌بیوتیکی، جو کامل منبع بالقوه‌ای از ترکیبات پری‌بیوتیکی محسوب می‌شود که اثرات مثبتی بر سلامت روده انسان از جمله توانایی کاهش کلسترول خون و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ضدسرطانی دارد [۲۰]. در ماست نیز جو دوسر یک ماده پری‌بیوتیک مناسب است، زیرا حاوی بتاگلوکان‌ها و نشاسته‌های مقاوم است که به طور انتخابی باکتری‌های مفید روده مانند بیفیدوباکتریوم و لاکتوباسیلوس را تحریک می‌کنند و به طور بالقوه در صورت مصرف منظم، سلامت روده، عملکرد ایمنی و نشانگرهای متابولیک را بهبود می‌بخشند. افزودن جو دوسر به ماست همچنین می‌تواند بافت را بهبود بخشد و در عین حال فیبر محلول را که تخلیه معده را کند کرده و سیری را افزایش می‌دهد، فراهم کند [۲۰]. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که بسترهای مبتنی بر جو دوسر از رشد و فعالیت سویه‌های پروبیوتیک در ماتریس‌های لبنی تخمیر شده پشتیبانی می‌کنند و می‌توانند تولید اسیدهای چرب زنجیره کوتاه را در طول تخمیر روده بزرگ افزایش دهند که با سلامت روده بزرگ و فواید سیستمیک مرتبط است [۲۱-۲۳].

آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (MTg) از سال ۱۹۹۸، با شماره "GRN 000095" توسط سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) به‌عنوان ماده‌ای GRAS تأیید شده است [۲۴]. افزودن این آنزیم ایمن به فرمولاسیون ماست می‌تواند از طریق واکنش‌های اتصال عرضی پروتئین، به توسعه ساختار و بافت آن کمک کند [۲۵]. انعطاف‌پذیری بالای پروتئین‌های کازئین، همراه با ساختار ثانویه کم یا فاقد آن، باعث می‌شود که این پروتئین‌ها نسبت به پروتئین آب‌پنیر با ساختار کروی متراکم، راحت‌تر توسط آنزیم ترانس-گلوتامیناز اتصال عرضی پیدا کنند. بنابراین، آنزیم ترانس-گلوتامیناز باعث پلیمریزاسیون بین‌مولکولی کازئین‌ها و تشکیل شبکه‌ای می‌شود که منجر به تغییرات قابل‌توجهی در ویژگی‌های عملکردی ماست می‌گردد [۲۶ و ۲۷].

با توجه به مطالب ذکر شده و اهمیت تولید فرآورده‌های فراسودمند با ویژگی‌های عملکردی مناسب، در این مطالعه، تأثیر افزودن عصاره جو دوسر و تیمار آنزیمی ترانس-گلوتامیناز میکروبی بر ترکیبات فنولی، زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک و خواص حسی ماست با هدف توسعه یک محصول سین‌بیوتیک ارزیابی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد مورد استفاده

در این پژوهش از آرد کامل جو دوسر تولیدی شرکت آرینا ۱۱۱ واقع در بابلسر، استان مازندران استفاده شد. برای تهیه عصاره جو، ترکیب آرد جو و آب با نسبت ۱ به ۵ به‌خوبی توسط همزن مخلوط گردید و سپس با استفاده از پارچه صافی، عصاره حاصل جداسازی شد. همچنین، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز (MTg) با منشأ میکروبی، تولید شده توسط شرکت Ingredients BDF Natural اسپانیا با فعالیت آنزیمی ۱۰۰ واحد به ازای هر گرم پودر مورد استفاده قرار گرفت. پودر استارتر یا آغازگر ماست از نوع DVS (Chr Hansen، ABY-10، ساخت دانمارک)، حاوی باکتری‌های آغازگر ماست (*لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر گونه *بولگاریکوس* و *استرپتوکوکوس ترموفیلوس*) و باکتری‌های پروبیوتیک (*لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* LA5 و *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* BB-12) از نمایندگی کریستین هانسن دانمارک در ایران خریداری شد. نمونه‌های ماست با استفاده از شیر کم‌چرب (۱/۵ درصد چربی) تازه تهیه شدند.

۲-۲- روش تهیه نمونه‌های ماست پروبیوتیک

شیر پاستوریزه کم‌چرب با مشخصات ۱/۵ درصد چربی و ۸ درصد ماده خشک برای تهیه نمونه‌های ماست استفاده شد.

در ابتدا فرایند حرارتی شیر در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. عصاره جو نیز به‌طور جداگانه در شرایط مذکور حرارت دیده و در سطوح مختلف ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد به شیر افزوده شد. مخلوط حاصل تا دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد خنک گردید و پس از افزودن آنزیم در دو سطح ۰ و ۰/۰۲ درصد (وزنی/حجمی)، سویه میکروبی پروبیوتیک و آغازگر هر یک به میزان ۰/۰۵ درصد (وزنی/حجمی) به آن اضافه شد. در مرحله بعد ماست‌ها در ظروف ۱۰۰ گرمی بسته‌بندی و پس از گرمخانه‌گذاری به مدت حدود ۳ ساعت، نمونه‌ها به یخچال ۵ درجه سانتی‌گراد منتقل و به مدت یک شب نگهداری شدند. درنهایت، نمونه‌های ماست در روزهای ۱، ۱۱ و ۲۱ نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفتند [۲۸].

۳-۲- اندازه گیری ترکیبات فنلی

اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل نمونه‌ها بر اساس روش ارائه‌شده توسط مارینووا و همکاران [۲۹] انجام گرفت. برای این منظور، مقدار ۲/۵ گرم از نمونه ماست درون لوله سانتریفوژ توزین شده و ۲/۵ میلی‌لیتر هگزان نرمال به آن افزوده شد. پس از یک دقیقه اختلاط با ورتکس، ۲/۵ میلی‌لیتر محلول متانول-آب با نسبت حجمی ۸۰:۲۰ به مخلوط اضافه گردید و نمونه به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. فاز روغنی فوقانی با استفاده از سرنگ جدا شده و به لوله سانتریفوژ جدید منتقل گردید. مجدداً ۲/۵ میلی‌لیتر از محلول متانول-آب به آن افزوده و پس از یک دقیقه ورتکس، همانند مرحله قبل سانتریفوژ شد. این فرآیند یک بار دیگر تکرار گردید و در نهایت، فازهای آبی و روغنی به‌صورت جداگانه جمع‌آوری شدند. فاز آبی حاصل درون بالن حجمی ۵۰ میلی‌لیتری ترکیب شده و پس از صاف کردن، ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین-سیوکالتیو به آن افزوده شد. پس از گذشت ۳ دقیقه، ۵ میلی‌لیتر محلول اشباع‌شده کربنات سدیم به مخلوط اضافه گردید و حجم نهایی با آب مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. نمونه به مدت یک ساعت در محیط تاریک و در دمای اتاق نگهداری شد و سپس میزان جذب آن در طول موج ۷۲۵ نانومتر نسبت به نمونه شاهد قرائت گردید. در نهایت مقدار کل ترکیبات فنلی بر حسب میکروگرم اکی‌والان گالیک اسید در گرم نمونه محاسبه شد [۳۰].

٤-۲- ارزیابی میکروبی

برای شمارش باکتری‌های اسیدلاکتیک، از محیط کشت MRSآگار استفاده شد. همچنین، به منظور ارزیابی توان زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک، محیط کشت MRS آگار حاوی نمک صفراوی به کار گرفته شد. روش کشت آمیخته (پورپلیت) به عنوان تکنیک اصلی کشت مورد استفاده قرار گرفت. پس از انجام رقت‌سازی‌های متوالی، پلیت‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور قرار داده شدند و مطابق دستورالعمل شرکت تولیدکننده، به مدت ٤٨ ساعت در گرمخانه نگهداری شدند. نتایج شمارش باکتریایی به صورت میانگین و بر حسب واحد تشکیل کلنی در هر گرم (CFU/g) گزارش گردید. برای انجام رقت‌سازی، ابتدا یک گرم از هر نمونه ماست با ۹ میلی‌لیتر محلول سرم فیزیولوژی مخلوط شد. سپس، رقت‌های بعدی با انتقال یک میلی‌لیتر از هر رقت به ۹ میلی‌لیتر محلول سرم فیزیولوژی تهیه گردیدند [۳۱].

۵-۲- ارزیابی حسی نمونه‌های ماست

در این قسمت مهمترین خصوصیات ارگانولپتیکی نمونه‌های ماست شامل رنگ، رایحه، بافت و طعم مورد بررسی قرار گرفتند و نمونه‌ها از طریق تست هدونیک ۹ نقطه‌ای با هم مقایسه شدند. به این ترتیب که نمونه‌ها به شکل تصادفی به همراه فرم نظرخواهی جهت ارزیابی خواص حسی مذکور به افراد ارزیاب داده شد و آن‌ها نظر خود را بر اساس امتیازدهی به هر یک از خواص حسی مورد نظر بیان کردند. قبل از ارزیابی، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه از یخچال خارج و در دمای محیط نگهداری شد تا دمای تمامی نمونه‌ها در حین ارزیابی یکسان بوده و تأثیری بر نتایج حسی نگذارد [۳۲].

٦-٢- آنالیز داده‌ها

این مطالعه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. به منظور بررسی اثر تیمار آنزیمی با ترانس‌گلوتامیناز میکروبی در دو سطح (۰ و ۰/۰۲ درصد) و عصاره جو دوسر در چهار سطح (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) بر متغیرهای مورد بررسی، از نرم‌افزار آماری SPSS (ویرایش ٢٤) استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- فنل کل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثرات ساده آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی، عصاره جو دوسر و زمان نگهداری ($p<۰/۰۰۱$) و اثر متقابل آنزیم–عصاره جو دوسر–زمان تأثیر معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) بر محتوای فنل کل نمونه‌های ماست داشتند. در هر حال، سایر اثرات متقابل (آنزیم–عصاره جو دوسر، زمان–آنزیم و زمان–عصاره جو دوسر) در این زمینه معنی‌داری نگردید ($p>۰/۰۵$).

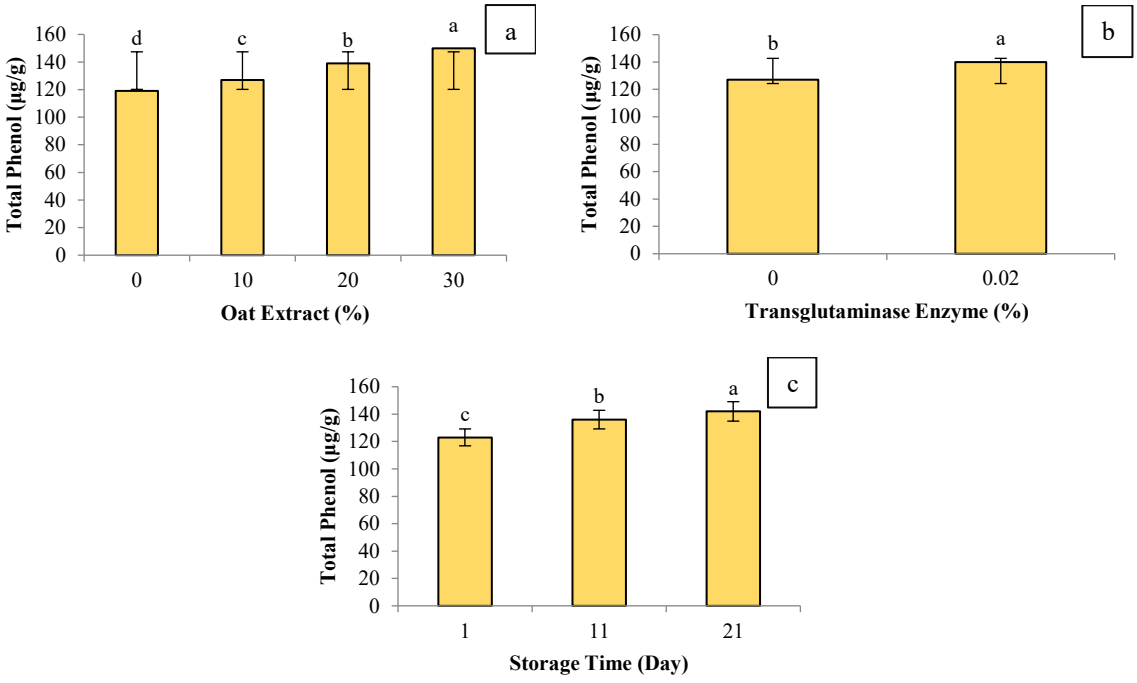
تأثیر غلظت عصاره جو دوسر بر محتوای فنل تام ماست در شکل ۱–a نشان داده شده است. با توجه به این شکل، با افزایش درصد عصاره جو دوسر در نمونه‌ها، محتوای فنل تام ماست به صورت معنی‌داری افزایش یافته است ($p<۰/۰۰۱$)؛ به طوری که کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد عصاره جو دوسر، فنل تام ماست را به ترتیب ٦/٧٢، ١٦/٨ و ٢٦/٠٥ درصد نسبت به نمونه شاهد (بدون عصاره جو دوسر) افزایش داد. این مشاهده به طور کلی با یافته‌های گزارش شده توسط القحطانی و همکاران [۳۳] مطابقت دارد. این محققان به بررسی تأثیر افزودن آرد جو دوسر به ماست شیر بز بر محتوای فنل تام پرداختند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که با افزایش میزان آرد جو دوسر، محتوای فنل تام، بویژه تا روز هفتم نگهداری، افزایش معنی‌داری یافته است. همانطور که در شکل ۱–b مشاهده می‌شود با کاربرد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، محتوای فنل تام ماست ١٠/٢٤ درصد نسبت به نمونه شاهد (بدون تیمار آنزیمی) افزایش یافته است. مشخص شده است که ترکیبات فنلی می‌توانند براحتی با پروتئین‌ها متصل شوند. برهمکنش‌های ترکیبات فنلی و پروتئین‌ها می‌تواند از طریق پیوندهای کووالانسی و/یا برهمکنش‌های غیر کووالانسی از طریق نیروهای آبگریز، الکترواستاتیک، واندروالسی و پیوند هیدروژنی تشکیل شود [٣٤]. از طرف دیگر، تیمار آنزیمی با MTg به دلیل برهمکنش‌های کووالانسی و ایجاد پیوند عرضی میان اسیدهای آمینه (به ویژه لیزین و گلوتامین که سوبستراهای MTg هستند)، سبب کاهش دسترسی اسیدهای آمینه می‌شود. بدین‌ترتیب امکان ارتباط و اتصال اسیدهای آمینه با ترکیبات فنولیک کاهش می‌یابد [۳۵] و این می‌تواند منجر به افزایش غلظت ترکیبات فنولی آزاد (اتصال‌های کووالانسی کمتر) در ماست شود.

Table 1. Analysis of variance for the effect of Oat extract, Transglutaminase enzyme and time on the physicochemical properties and acceptability of yogurt samples during storage time

Variable sources	Mean square							
	df	Phenol	Odor	Color	Taste	Texture	*B. bifidum*	*L. acidophilus*
Oat Extract	3	0.320^{***}	0.004^{ns}	0.502^{***}	0.223^{*}	0.094^{*}	0.701^{***}	0.427^{***}
Enzyme	1	0.300^{***}	0.027^{ns}	0.179^{**}	0.000^{ns}	0.443^{***}	0.417^{***}	1.868^{***}
Time	2	0.240^{***}	4.256^{***}	2.878^{***}	15.895^{***}	1.970^{***}	0.480^{***}	3.460^{***}

Enzyme*Oat Extract	3	0.000^{ns}	0.014^{ns}	0.006^{ns}	0.015^{ns}	0.001^{ns}	0.014***	0.012^{ns}
Time*Oat Extract	6	0.002^{ns}	0.015^{ns}	0.008^{ns}	0.013^{ns}	0.006^{ns}	0.006***	0.002^{ns}
Time*Enzyme	2	0.000^{ns}	0.075^{ns}	0.126**	0.007^{ns}	0.001^{ns}	0.001^{ns}	0.044^{ns}
Time*Enzyme* Oat Extract	6	0.002*	0.009^{ns}	0.004^{ns}	0.007^{ns}	0.000^{ns}	0.002*	0.006^{ns}
Error	24	0.040	0.068	0.017	0.068	0.025	0.001	0.021
CV (%)	-	2.220	5.010	5.170	5.290	4.860	0.260	0.330

ns, *and ** and *** means non-significant, and significant at 5%, 1% and 0.1%.



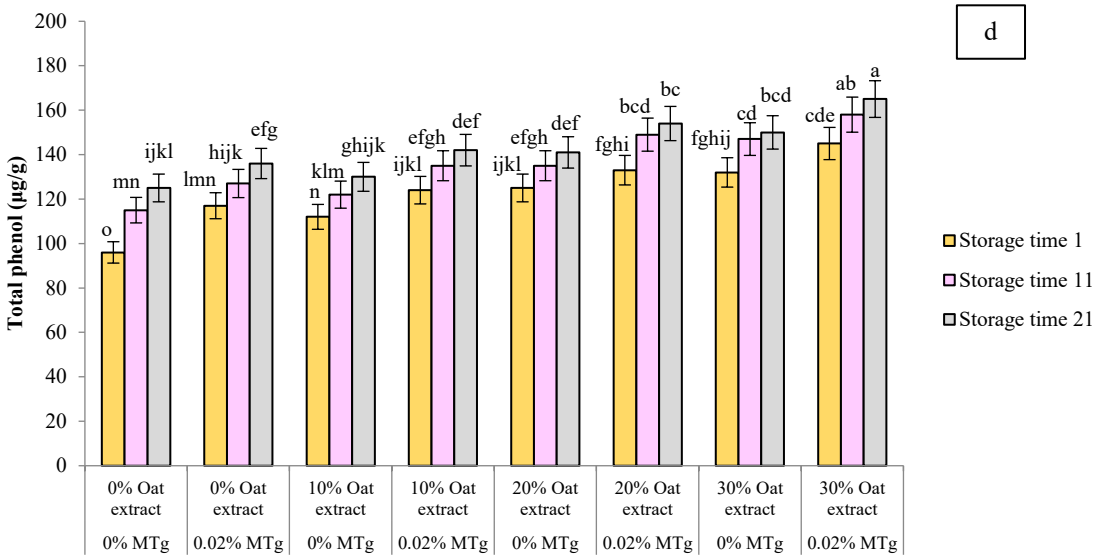


Figure 1. The effect of Oat extract (a), Microbial transglutaminase enzyme (b), Storage time (c) and their interaction (d) on the Total Phenol of yogurt samples

همانطور که در شکل ۱-c مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان نگهداری، محتوای فنل تام ماست افزایش یافته است، به طوری که بیشترین مقدار (۱۴۲ میکروگرم بر گرم) در روز ۲۱ نگهداری و کمترین آن (۱۲۳ میکروگرم بر گرم) در روز اول نگهداری مشاهده شد. در کل، از روز ۱ تا ۲۱ نگهداری، محتوای فنل تام در نمونه‌های ماست ۱۵/۴۵ درصد افزایش یافته است. اثر متقابل آنزیم-عصاره جو دوسر-زمان نگهداری بر محتوای فنل تام ماست در شکل ۱-d نشان داده شده است. بیشترین فنل تام (۱۶۵ میکروگرم بر گرم) در نمونه حاوی ۰/۰۲ درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۳۰ درصد عصاره جو دوسر در روز ۲۱ نگهداری و کمترین میزان آن (۹۶ میکروگرم بر گرم) در نمونه ماست فاقد عصاره جو دوسر و بدون تیمار آنزیمی در روز اول نگهداری مشاهده شد. در تحقیقی که توسط جوینده و همکاران [۳۶] انجام شد، مقادیر فنل تام نمونه‌های ماست عملگرای حاوی عصاره فلفل دلمه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. این محققان گزارش کردند که افزودن عصاره تغلیظ شده فلفل دلمه‌ای موجب افزایش معنی‌داری در محتوای فنل تام نمونه‌های ماست شد. همچنین، براساس نتایج حاصل از این تحقیق، بعد از ۱۱ روز افزایش معنی‌داری در محتوای فنل تام نمونه-های حاوی عصاره فلفل دلمه‌ای مشاهده شد.

۲-۳- بررسی شمارش پروبیوتیک‌ها

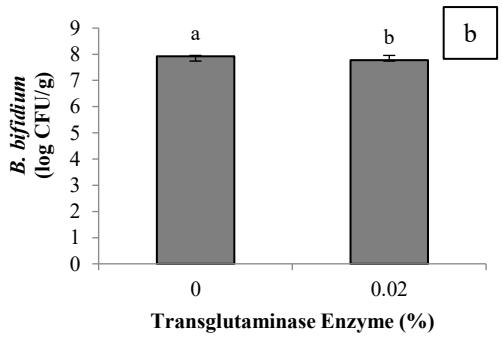
۱-۲-۳- *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم*

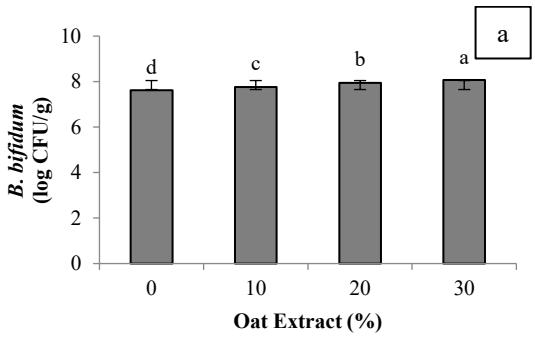
طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، هر ۳ متغیر آنزیم MTg، عصاره جو دوسر و زمان نگهداری اثر معنی‌داری بر جمعیت *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* BB-12 ماست داشت. در مورد اثرات متقابل نیز، اثر آنزیم-جودوسر و زمان نگهداری-جودوسر ($p<۰/۰۰۱$) و آنزیم-عصاره جودوسر-زمان نگهداری ($p<۰/۰۵$) تأثیر معنی‌داری بر جمعیت بیفیدوباکتریوم ماست داشت. اثر متقابل زمان نگهداری-آنزیم نیز تأثیر معنی‌داری بر این فاکتور نداشت ($p>۰/۰۵$).

تأثیر غلظت عصاره جودوسر بر بیفیدوباکتریوم در شکل ۲-a نشان داده شده است. با توجه به این شکل، با افزایش درصد عصاره جودوسر در نمونه‌ها، جمعیت بیفیدوباکتریوم افزایش یافته است؛ به طوری که کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد عصاره جو دوسر، بیفیدوباکتریوم را به ترتیب ۱/۹۱، ۴/۰۷ و ۵/۵۹ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش داده است. علت افزایش زنده مانی بیفیدوباکتریوم با افزایش غلظت عصاره جو دوسر به خاصیت پری بیوتیکی عصاره جو دوسر

مربوط می‌شود. عصاره جو دوسر می‌تواند به عنوان منبع کربن و انرژی توسط باکتری‌های پروبیوتیک مورد استفاده قرار گیرد و باعث افزایش بقای آنها در محصول شود [۳۷]. در مطابقت با این پژوهش سیچونسکا و زیارنو [۳۸] بیان کردند، افزودن ترکیبات پری‌بیوتیکی و کربوهیدرات به شیر سویای تخمیری، رشد باکتری‌های اسید لاکتیک را بهبود می‌بخشد. ژانگ و همکاران [۳۹] در تحقیقی دیگر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و اثر پری‌بیوتیکی ترکیبات فنولیک جودوسر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیبات فنولیک جودوسر موجب افزایش رشد گونه‌های بیفیدوباکتریوم و لاکتوباسیلوس/انتروکوکوس می‌شود. همچنین این محققین گزارش کردند که بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و اثر پری‌بیوتیکی ترکیبات فنولیک جو دوسر همبستگی مثبتی وجود دارد. با این وجود، مارتنسون و همکاران [۴۰] گزارش کردند حضور عصاره جو دوسر تأثیری بر تعداد باکتری‌های اسید لاکتیک ندارد.

در شکل ۲-b، تأثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر باکتری‌های پروبیوتیک *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود با کاربرد آنزیم، میزان بیفیدوباکتریوم از ۷/۹۲ log CFU/g به ۷/۷۷ log CFU/g کاهش یافته است. اگر چه با افزایش غلظت آنزیم میزان بیفیدوباکتریوم‌ها کاهش یافته است، اما در نهایت تعداد باقی‌مانده آن‌ها در نمونه تیمار شده با آنزیم نیز در سطح قابل‌قبول و بالاتر از حد استاندارد قرار دارد. بر اساس استاندارد تعریف شده، برای تأثیر ویژگی‌های سلامتی‌بخش محصولات پروبیوتیک بر انسان، تعداد آن‌ها باید CFU 10^{6}-10^{7} در هر گرم محصول باشد [۴۱]. فرگمند و کویست [۴۲] بیان کردند که سطح بالای اتصالات عرضی ایجاد شده توسط آنزیم، احتمالاً می‌تواند دسترسی پپتیدهای با وزن مولکولی پایین را برای تغذیه باکتری‌های اسید لاکتیک کاهش دهد و در نتیجه سبب کاهش رشد آنها شود. در پژوهشی فارن‌ورث و همکاران [۴۳] بیان کردند که زنده‌مانی باکتری‌های *لاکتوباسیلوس کازئی*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در نمونه‌های ماست تیمار شده با آنزیم MTg در طی ۸ هفته نگهداری ثابت باقی مانده است. اوزرنک [۴۴] گزارش کرد نرخ رشد باکتری‌های ماست در حضور آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و وابسته با غلظت آنزیم کاهش یافته است. کاهش قابل توجهی در تعداد باکتری‌های اسید لاکتیک پنیر در اثر کاربرد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در مقاله بوحمید و همکاران [۴۵] نیز گزارش شده است.





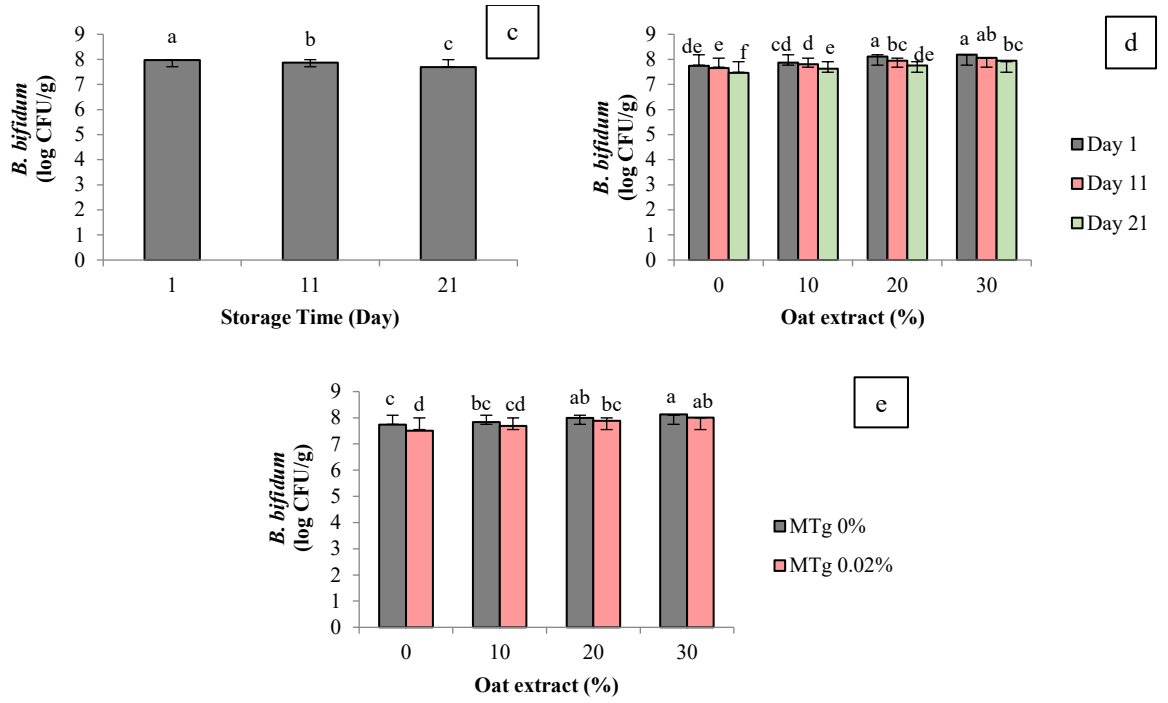


Figure 2. The effect of Oat extract, Microbial transglutaminase enzyme, Storage time and their interaction on the *B. bifidum* count of yogurt samples

تأثیر مدت زمان نگهداری بر بیفیدوباکتریوم در شکل ۲-c مشاهده می‌شود. با توجه به این شکل، با افزایش مدت زمان نگهداری، میزان بیفیدوباکتریوم کاهش یافته است؛ به طوری که بیشترین بیفیدوباکتریوم (۷/۹۸ log CFU/g) در روز اول نگهداری و کمترین آن (۷/۷۰ log CFU/g) در روز ۲۱ نگهداری بوده است. لازم به ذکر است، با وجود کاهش بیفیدوباکتریوم‌ها در انتهای دوره نگهداری، در نهایت تعداد باقی‌مانده آنها در محصول در سطح قابل قبولی قرار دارد. اثر متقابل زمان-عصاره جو دوسر بر بیفیدوباکتریوم در شکل ۲-d نشان داده شده است. بیشترین بیفیدوباکتریوم (log CFU/g ۸/۱۸) مربوط به نمونه حاوی ۳۰ درصد عصاره جو دوسر و روز اول نگهداری می‌باشد و کمترین بیفیدوباکتریوم (log CFU/g ۷/٤٦) مربوط به نمونه فاقد عصاره جو دوسر در روز ۲۱ نگهداری است. به طور کلی در طول دوره نگهداری میزان بیفیدوباکتریوم کاهش و با افزایش درصد عصاره جو دوسر، میزان بیفیدوباکتریوم افزایش یافته است. القحطانی و همکاران [۳۳] گزارش کردند که تعداد باکتری‌های پروبیوتیک *B. bifidum* و *L. acidophilus* در طول نگهداری در نمونه‌های ماست حاوی آرد جودوسر، بالاتر از سطح درمانی مورد قبول برای پروبیوتیک‌ها باقی ماند و درواقع افزودن آرد جودوسر باعث افزایش معنی‌دار بقای پروبیوتیک‌ها شد. این محققان دلیل اصلی این موضوع را وجود بتا-گلوکان و مواد مغذی بالای جودوسر عنوان کردند. اثر متقابل آنزیم-عصاره جو دوسر بر جمعیت بیفیدوباکتریوم در شکل ۲-e نشان داده شده است. بیشترین بیفیدوباکتریوم (۸/۱۳ log CFU/g) در نمونه حاوی ۳۰ درصد جو دوسر و فاقد آنزیم و کمترین بیفیدوباکتریوم (۷/۵۰ log CFU/g) در نمونه حاوی ۰/۰۲ درصد آنزیم و بدون عصاره جو دوسر مشاهده می‌شود و به طور کلی میزان بیفیدوباکتریوم در نمونه‌های فاقد آنزیم بیشتر از نمونه‌های حاوی آنزیم می‌باشد.

۲-۲-۳- *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثرات ساده هر سه متغیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، عصاره جو دوسر و زمان نگهداری تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۱ درصد بر

جمعیت *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* LA5 ماست داشتند (p<۰/۰۰۱). اثرات متقابل این متغیرها تأثیر معنی‌داری بر باکتری‌های پروبیوتیک اسیدوفیلوس نمونه‌های ماست نداشتند (p>۰/۰۵).

با توجه به شکل ۳-a، بیشترین *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* (۸/۳۲ log CFU/g) در نمونه حاوی ۳۰ درصد عصاره جودوسر و کمترین آن (۷/۸۸ log CFU/g) در نمونه بدون عصاره جودوسر مشاهده می‌شود. گلیبوسکی و اسکرزیپزاک [٤٦] بیان کردند عصاره جو دوسر به خاطر اثر پری‌بیوتیکی خود توانست زنده مانی باکتری‌های *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *بیفیدوباکتریوم لاکتیس* را در بستنی سینبیوتیک بهبود بخشد؛ به طوری که میزان افت تعداد سلول‌های پروبیوتیک در نمونه‌های تیمار شده با عصاره جودوسر، طی ۹۰ روز نگهداری، کمتر از نمونه شاهد بود. همچنین، مارتنسون و همکاران [٤٠] در تولید ماست سینبیوتیک گزارش کردند، با افزودن عصاره جودوسر به شیر، میزان زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر گونه *بولگاریکوس* افزایش یافت.

در شکل ۳-b، تأثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود با کاربرد آنزیم ترانس-گلوتامیناز، میزان *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* از log CFU/g ۸/۳۱ به log CFU/g ۷/۹۲ کاهش یافته است. درواقع همانند تأثیر بر جمعیت بیفیدوباکتریوم‌ها، تیمار آنزیمی MTg سبب کاهش معنی‌داری جمعیت اسیدوفیلوس‌ها نسبت به نمونه شاهد شده است (p<۰/۰۰۱). اگر چه با افزایش غلظت آنزیم میزان زنده‌مانی این باکتری‌های پروبیوتیک کاهش یافت، اما در نهایت مقدار این باکتری‌ها نیز بیشتر از حد استاندارد بود. به‌علاوه، مطابق شکل ۳-c، تعداد باکتری‌های *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* تا روز یازدهم افزایش و پس از آن کاهش یافت. دلیل کاهش شمارش *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در انتهای دورهٔ نگهداری احتمالاً به علت کاهش مواد مغذی مورد نیاز این باکتری‌ها و افزایش اسیدیته می‌باشد [۳۱].

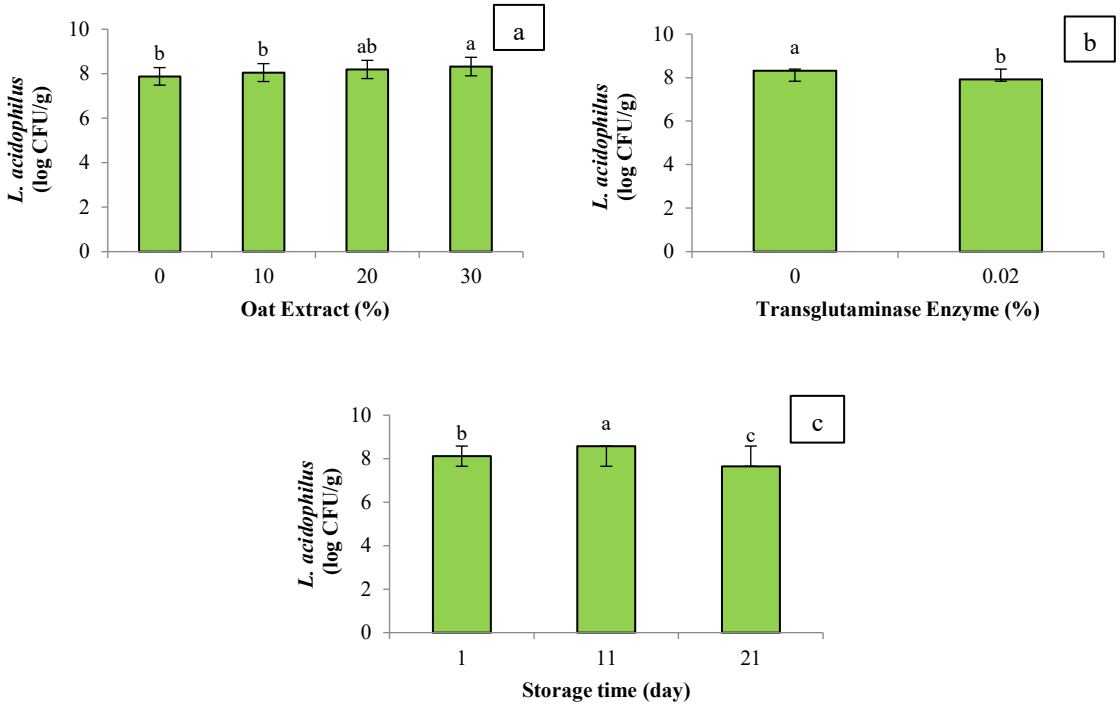


Figure 3. The effect of Oat extract, Microbial transglutaminase enzyme and Storage time on the *L. acidophilus* count of yogurt samples

۳-۳- ارزیابی حسی

۳-۳-۱- رایحه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که در ارتباط با فاکتور رایحه، تنها متغیر زمان نگهداری اثر معنی‌داری داشته است ($p<۰/۰۰۱$). سایر متغیرها و اثرات متقابل آنها، هیچکدام تأثیر معنی‌داری بر امتیاز رایحه نمونه‌های ماست نداشتند ($p>۰/۰۵$). همانطور که در شکل ٤-c نشان داده شده است، با افزایش مدت زمان نگهداری، امتیاز رایحه نمونه‌های ماست کاهش یافته است؛ به طوری که بیشترین امتیاز رایحه (۸/۱۹) در روز اول نگهداری و کمترین آن (۷/۱٦) در روز ۲۱ نگهداری مشاهده می‌شود.

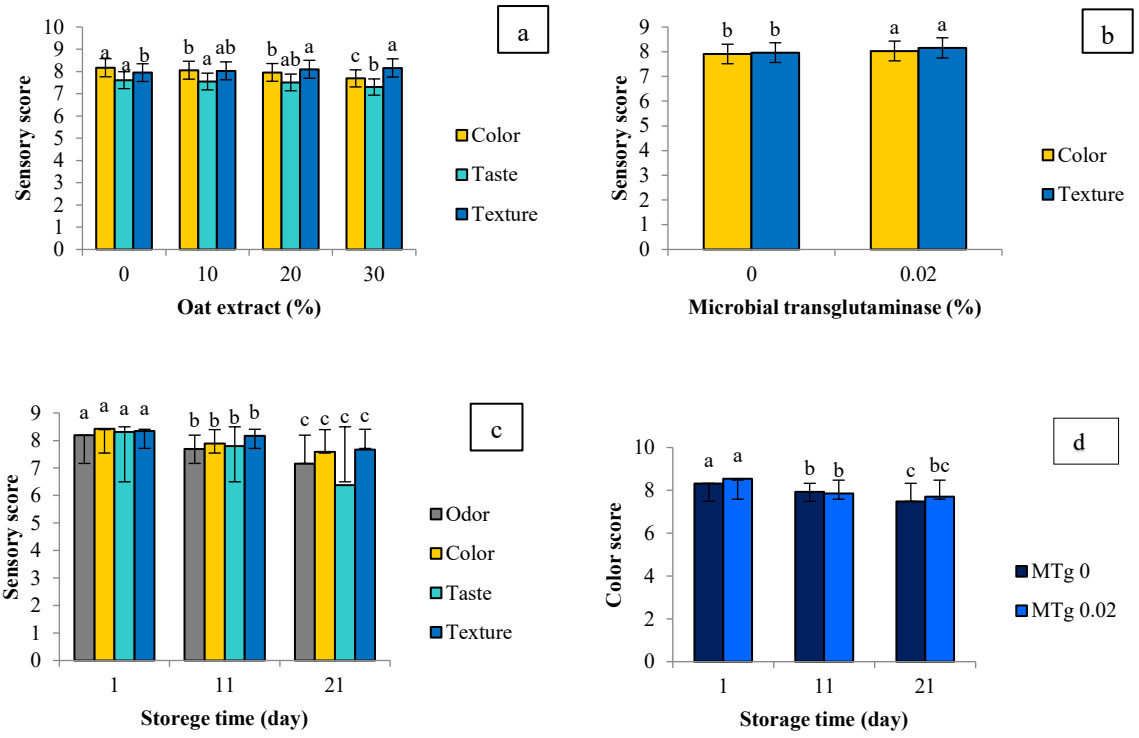


Figure 4. The effect of Oat extract, Microbial transglutaminase enzyme, storage time and their interaction on the sensory properties (odor, color, taste and texture) of yogurt samples

۳-۳-۲- رنگ

اثرات ساده آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی، عصاره جو دوسر ($p<۰/۰۰۱$) و زمان نگهداری ($p<۰/۰۱$) تأثیر معنی‌داری بر رنگ نمونه‌های ماست داشتند (جدول ۱). از میان اثرات متقابل نیز، تنها اثر متقابل آنزیم-زمان نگهداری تأثیر معنی‌داری بر امتیاز رنگ داشت ($p<۰/۰۱$).

با توجه به شکل ٤-a، با افزایش درصد عصاره جو دوسر در نمونه‌های ماست، امتیاز رنگ از ۸/۱۷ در نمونه شاهد به ۷/٦۹ در نمونه حاوی ۳۰ درصد عصاره جودوسر کاهش یافته است. القحطانی و همکاران [۳۳] در پژوهشی بیان کردند که امتیاز رنگ نمونه‌های حاوی عصاره جودوسر تفاوت معنی‌داری با نمونه کنترل نداشت. همچنین، دمیر و همکاران [٤۷] گزارش کردند که امتیاز رنگ نمونه‌های ماست با افزایش عصاره جو دوسر کاهش یافته است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

با کاربرد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، میزان امتیاز رنگ نمونه های ماست از ۷/۹۱ به ۸/۰۳ افزایش یافته است (شکل ٤-b). احتمالاً به دلیل فعالیت آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و تشکیل بیشتر پیوندهای کووالانسی، بافتی یکنواخت و مستحکم ایجاد شده که در نتیجه آن انعکاس بهتر نور صورت می‌گیرد.

در شکل ٤-c، تأثیر مدت زمان نگهداری بر امتیاز رنگ نمونه‌های ماست نشان داده شده است. با افزایش مدت زمان نگهداری، میزان امتیاز رنگ نمونه‌های ماست کاهش یافته است. بیشترین امتیاز رنگ (٨/٤٣) در روز اول نگهداری و کمترین آن (٧/٥٩) در روز ٢١ نگهداری مشاهده می‌شود. اثر متقابل آنزیم-زمان نگهداری (شکل ٤-d) نیز بیشترین امتیاز رنگ را در نمونه تیمارشده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و روز اول نگهداری نشان می‌دهد، در حالی که، کمترین امتیاز برای نمونه تیمار نشده با آنزیم در روز ٢١ نگهداری ثبت شده است.

٣-٣-٣- طعم

اثرات ساده عصاره جودوسر ($p<0/05$) و زمان نگهداری ($p<0/001$) بر طعم نمونه‌های ماست تأثیر معنی‌داری داشتند (جدول ١). سایر متغیرها و اثرات متقابل نیز معنی‌دار نبودند ($p>0/05$).

در شکل ٤-a، تأثیر غلظت عصاره جودوسر بر امتیاز طعم نمونه‌های ماست نشان داده شده است. با توجه به شکل، با افزایش درصد عصاره جودوسر در نمونه‌ها، امتیاز طعم نمونه‌های ماست از ٧/٦١ به ٧/٣٠ کاهش یافته است. در شکل ٤-c نیز تأثیر مدت زمان نگهداری بر امتیاز طعم نمونه‌ها نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، با افزایش مدت زمان نگهداری تا روز بیست و یکم، امتیاز طعم نمونه‌های ماست از ٨/٣١ به ٦/٣٨ کاهش پیدا کرده است. در انتهای دوره نگهداری به دلیل کاهش زیاد pH، افزایش اسیدیته و تا حدودی ترش شدن نمونه‌های ماست، امتیاز پذیرش طعم نسبت به روز اول نگهداری کاهش یافته است.

تاکنون نتایج مختلفی در مورد کیفیت طعم محصول در نتیجهٔ تیمار آنزیمی MTg گزارش شده است. همانطور که در بالا اشاره شد، در این تحقیق تیمار آنزیمی MTg تأثیر معنی‌داری بر طعم نمونه‌های ماست نداشت ($p>0/05$). محمود و سبو [٤٨] در پژوهشی به بررسی اثر آنزیم ترانس-گلوتامیناز بر خواص حسی پنیر سفید پرداختند. نتایج آنان نشان داد نمونه‌های تیمار شده با آنزیم امتیاز بیشتری از نظر طعم نسبت به نمونه شاهد کسب کردند. همچنین الگلو و اونر [٤٩] به بررسی شیر بز تیمار شده توسط آنزیم ترانس-گلوتامیناز پرداختند. نتایج آنان نشان داد نمونه شاهد کمترین امتیاز عطر و طعم و نمونه تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بیشترین امتیاز را بدست آوردند. از سوی دیگر، سانلی و همکاران [٥٠] در پژوهش خود بیان کردند، تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز میکروبی اثر معنی داری بر عطر و طعم نمونه‌های ماست ندارد. جوینده و همکاران [٥١] گزارش کردند که تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز با ٢ یا ٤ واحد آنزیم، تأثیر معنی‌داری در پذیرش طعم بستنی نیم‌چرب نداشته ولی نمونه‌های تیمار شده با ٦ واحد آنزیم کاهش چشمگیری در پذیرش طعم نشان دادند.

٤-٣-٣- بافت

افزودن عصاره جودوسر ($p<0/05$)، تیمار با آنزیم ترانس-گلوتامیناز و زمان نگهداری ($p<0/001$) هر سه بر فاکتور بافت نمونه‌های ماست تأثیر معنی‌داری داشتند. با توجه به شکل ٤-a، با افزایش درصد عصاره جودوسر در نمونه‌ها، امتیاز بافت آنها از ٧/٩٥ در نمونه شاهد به ٨/١٦ در نمونه حاوی ٣٠ درصد عصاره افزایش یافته است. هیدروکلوئیدها اغلب به دلیل افزایش گرانروی در ایجاد بافت مناسب کمک می‌کنند ولی تغییر طعم حاصل از آنها، یک عامل محدود کننده در این زمینه می‌باشد. بنابراین انتخاب سطح مناسبی از هیدروکلوئیدها از عوامل مهم در تولید فرآورده‌های تخمیری شیر محسوب می‌شود [٥٢].

در شکل ٤-b، تأثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر امتیاز بافت نمونه‌های ماست نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود با کاربرد آنزیم، میزان امتیاز بافت نمونه‌ها از ٧/٩٦ به ٨/١٦ افزایش یافته است. درواقع افزایش اتصالات عرضی توسط ترانس‌گلوتامیناز باعث بهبود بافت ماست شده و از نظر ارزیاب‌ها مورد پسند بیشتری قرار گرفته است. نتایج تحقیق جوینده و همکاران [٥١] کاملاً با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. این محققان با بررسی تأثیر آنزیم ترانس-

گلوتامیناز بر خواص ارگانولپتیکی بستنی نیم‌چرب، گزارش کردند که تیمار آنزیمی موجب بهبود بافت گردیده، به طوری که نمونه تیمار شده با بالاترین میزان آنزیم، بهترین مقبولیت را از نظر ارزیاب‌ها دریافت کرده است. این در حالی است که کارزان و همکاران [۵۳] در پژوهشی گزارش کردند که نمونه‌های پنیر بز تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز تفاوت معنی‌داری از نظر امتیاز رنگ، طعم و بافت با نمونه شاهد نداشتند.

با افزایش زمان نگهداری، روند کاهشی در امتیاز بافت نمونه‌های ماست مشاهده می‌شود (شکل ٤-c). درواقع، کیفیت بافت نمونه‌ها با گذشت زمان کاهش پیدا کرد؛ به طوری که بیشترین امتیاز بافت نمونه‌های ماست (٨/٣٤) در روز اول و کمترین آن (٧/٦٧) در روز ٢١ نگهداری مشاهده شد.

٤- نتیجه‌گیری کلی

در سال‌های اخیر، مصرف غذاهای عملکردی به‌ویژه برای پیشگیری از بیماری‌های شایع اهمیت فراوانی یافته است. محصولات غنی‌شده با ترکیبات پری‌بیوتیک، پروبیوتیک و متابولیت‌های بیواکتیو می‌توانند میکروبیوتای روده را بهبود بخشیده، التهاب مزمن و عوامل خطر متابولیک را کاهش دهند و به عنوان بخشی از استراتژی‌های غذایی پیشگیرانه در ارتقای سلامت جامعه نقش‌آفرین باشند. در تحقیق حاضر، تأثیر تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (MTg) بر ماست سین‌بیوتیک فرموله شده با مقادیر مختلف عصاره جو دوسر (OE) برای تعیین تأثیر آن بر زنده‌مانی پروبیوتیک‌ها، ویژگی‌های حسی و خواص آنتی‌اکسیدانی محصول (میزان فنل تام) در طول نگهداری در یخچال ارزیابی شد. نتایج این تحقیق نشان داد افزودن OE و MTg سبب بهبود محتوای فنلی کل و قوام ماست گردید. به‌علاوه این مطالعه با تأکید بر نقش غذاهای کاربردی در تغذیه، نشان داد که افزودن ترکیبات جو دوسر غنی از پری‌بیوتیک با سویه‌های پروبیوتیک منتخب می‌تواند سبب بهبود زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک شود. بدین‌ترتیب استفاده از چنین ماست سین-بیوتیکی می‌تواند سلامت دستگاه گوارش را افزایش دهد، نشانگرهای متابولیک را تعدیل کند و به استراتژی‌های غذایی پیشگیرانه کمک کند. نتایج این پژوهش نشان داد که باکتری-های پروبیوتیک *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* توانستند قابلیت زنده مانی خود را، حتی با گذشت زمان، بالاتر از حد استاندارد حفظ نمایند. با این وجود، پیشنهاد می‌شود برای ارتقای جمعیت پروبیوتیک‌ها از روش‌های دیگری که به حفظ و بقای باکتری‌های مفید موجود در ماده غذایی کمک می‌کند، از جمله روش ریزپوشانی استفاده شود.

دسترسی به داده‌ها

بنا به درخواست در دسترس قرار خواهند گرفت.

تضاد منافع

نویسندگان هیچگونه تضاد منافعی ندارند.

بیانیه تأمین مالی

هیچ بودجه جداگانه‌ای برای این تحقیق دریافت نشده است.

مشارکت نویسندگان

پروین کیان‌آرا: جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل رسمی، منابع، نرم‌افزار، نگارش – پیش‌نویس اصلی.

حسین جوینده: مفهوم‌سازی، مدیریت پروژه، تحقیق، مصورسازی، روش‌شناسی، اعتبارسنجی، نگارش – بررسی و ویرایش.

محمد نوشاد، محمد حجتی و محمد امین مهرنیا: مفهوم‌سازی، مدیریت پروژه، تحقیق، مصورسازی و اعتبارسنجی.

٥- منابع

[1] Lourens-Hattingh, A., and Viljoen, B. C. 2001. Yogurt as probiotic carrier food. International Dairy Journal, 11(1–2): 1-17.

[2] Jaman, S., Islam M. Z., Sojib, M. S. I., Hasan, M. S., Khandakar, M. M. H., Bari, M. S. et al. 2022. Physicochemical characteristics, sensory profile, probiotic, and starter culture viability of synbiotic yogurt. Journal of Advanced Veterinary and Animal Research, 9(4): 694-701.

[3] Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D., Pot, B. et al. 2014. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology, 11: 506–514.

[4] Jooyandeh, H., and Alizadeh Behbahani, B. 2024. Development of a probiotic low-fat set yogurt containing concentrated sweet pepper extract. Food Science & Nutrition, 12(7): 4656-4666.

[5] Lomer, M. C., Parkes, G. C., and Sanderson, J. D. 2008. Review article: lactose intolerance in clinical practice--myths and realities. Alimentary Pharmacology and Therapeutics, 27(2): 93-103.

[6] Palomar, M. M., Galdeano, C. M., and Perdigón, G. 2014. Influence of a probiotic lactobacillus strain on the intestinal ecosystem in a stress model mouse. Brain, Behavior, and Immunity, 35: 77-85.

[7] Ribeiro, M. C. E., Chaves, K. S., Gebara, C., Infante, F. N. S., Grosso, C. R. F., and Gigante, M. L. 2014. Effect of microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 on physicochemical, sensory and microbiological characteristics of stirred probiotic yoghurt. Food Research International, 66: 424-431.

[8] Mosallaie, F., Jooyandeh, H., Hojjati, M. and Fazlara, A. 2019. Biological reduction of aflatoxin B1 in yogurt by probiotic strains of *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus rhamnosus*. Food Science and Biotechnology, 29(6): 793-803.

[9] Li, H., Zhang, T., Li, Ch., Zheng, Sh., Li, H., and Yu, J. 2020. Development of a microencapsulated synbiotic product and its application in yoghurt. LWT -Food Science and Technology, 122: 109033.

[10] Krasaekoopt, W., Bhandari, B., and Deeth, H. 2003. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. International Dairy Journal, 13(1): 3-13.

[11] Liu, Z., Jiang, Zh., Zhou, K., Li, P., Liu, G., and Zhang, B. 2007. Screening of bifidobacteria with acquired tolerance to human gastrointestinal tract. Anaerobe, 13(5–6): 215-219.

[12] Kailasapathy, K. 2006. Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. LWT -Food Science and Technology, 39(10): 1221-1227.

[13] Oliveira, R. P. S., Perego, P., Oliveira, M. N., and Converti, A. 2011. Effect of inulin as prebiotic and synbiotic interactions between probiotics to improve fermented milk firmness. Journal of Food Engineering, 107(1): 36-40.

[14] Sodini, I., Mattas, J., Phillip, S., and Tong, Ph. S. 2006. Influence of pH and heat treatment of whey on the functional properties of whey protein concentrates in yoghurt. International Dairy Journal, 16(12): 1464-1469.

[15] Roberfroid, M. 2007. Prebiotics: The Concept Revisited. The Journal of Nutrition, 137(3): 830S-837S.

[16] Newburg, D. S. 2000. Oligosaccharides in human milk and bacterial colonization. Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition, 30: S8–S17.

[17] Slavin, J. 2013. Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits. Nutrients, 5(4): 1417–1435.

[18] Krasaekoopt, W., and Watcharapoka, S. 2014. Effect of addition of inulin and galactooligosaccharide on the survival of microencapsulated probiotics in alginate beads coated with chitosan in simulated digestive system, yogurt and fruit juice. LWT -Food Science and Technology, 57(2): 761-766.

[19] Swanson, K.S., Gibson, G. R., Hutkins, R. et al. 2020. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics. Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology, 17: 687–701.

[20] Daou, C., and Zhang, H. 2012. Oat beta-glucan: its role in health promotion and prevention of diseases. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 11: 355–365.

[21] Roberfroid, M. B., Gibson, G. R., Hoyles, L., McCartney, A. L., Rastall, R. A., Rowland et al. 2010. Prebiotic effects: metabolic and health benefits. British Journal of Nutrition, 104(S2): S1–S63.

[22] Vulevic, J., Drakoularakou, A., Yaqoob, P., Tzortzis, G., and Gibson, G. R. 2013. Modulation of the fecal microbiota profile and immune function by a novel trans-galactooligosaccharide mixture (B-GOS) in healthy elderly volunteers. The American Journal of Clinical Nutrition, 88(5): 1438–1446.

[23] Wood, P. J. 2010. Cereal β-glucans in diet and health. Journal of Cereal Science, 43(3): 230–236.

[24] Gharibzahedi, S. M. T., Koubaa, M., Barba, F. J., Greiner, R., George, S., and Roohinejad, Sh. 2018. Recent advances in the application of microbial transglutaminase crosslinking in cheese and ice cream products: A review, International Journal of Biological Macromolecules, 107: Part B, 2364-2374.

[25] Torabi, F., Jooyandeh, H., Noshad, M., and Barzegar, H. 2020. Texture, color and total acceptance of synbiotic ultrafiltrated white cheese treated with microbial transglutaminase enzyme during storage period. Journal Food Science & Technology (Iran). 17(98): 135-145. (In Persian)

[26] Kouravand, F., Jooyandeh, H., Barzegar, H., and Hojjati M. 2020. Mechanical, barrier and structural properties of whey protein isolate-based films treated by microbial transglutaminase. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 9(5): 960-964.

[27] Jooyandeh, H., Safari Samani, E., Alizadeh Behbahani, B., and Noshad, M. 2022. Effect of transglutaminase and buffalo milk incorporation on textural parameters and starter cultures viability of strained yogurt. Journal of Food and Bioprocess Engineering, 5(2): 195-202.

[28] Yademellat, M., Jooyandeh, H., and Hojjati, M. 2018. Comparison of some physiochemical and sensory properties of low-fat stirred yogurt containing Persian and Balangu-Shirazi gums. Journal Food Science and Technology (Iran). 14(72): 313-326. (In Persian)

[29] Marinova, D., Ribarov, F., and Atanassova, M. 2005. Total phenolics and total flavonoids in Bolgarian fruits and vegetables. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 40(3): 255-260.

[30] Jooyandeh, H., Alizadeh Behbahani, B., and Mehrnia, M. A. 2024. Study on the amounts of Total Phenol, Vitamin C and Antioxidant Properties of Functional Yogurt Containing Bell Pepper Extract during Storage Period. Food Processing and Preservation Journal, 15(4): 1-20.

[31] Torabi, F., Jooyandeh, H., and Noshad, M. 2021. Evaluation of physicochemical, rheological, microstructural, and microbial characteristics of synbiotic ultrafiltrated white cheese treated with transglutaminase. Journal of Food Processing and Preservation, 45(6): e15572.

[32] Bedani, R., Silva Vieira, A. D. and Rossi, E. A. 2014. Tropical fruit pulps decreased probiotic survival to in vitro gastrointestinal stress in synbiotic soy yoghurt with okara during storage. Food Science and Technology. 55: 436-443.

[33] Alqahtani, N. K., Darwish, A. A., El-Menawy, R. K., Alnemr, T. M., and Aly, E. 2021. Textural and organoleptic attributes and antioxidant activity of goat milk yoghurt with added oat flour. International Journal of Food Properties, 24(1): 433–445.

[34] Shahidi, F., and Dissanayaka, C. S. 2023. Phenolic-protein interactions: insight from in-silico analyses – a review. Food Production, Processing and Nutrition, 5, article number 2.

[35] Isaschar-Ovdat, S., and Fishman, A. 2018. Crosslinking of food proteins mediated by oxidative enzymes – A review, Trends in Food Science & Technology, 72: 134-143.

[36] 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(2): 119-133.

[37] Abdelshafy, A. M., Mustafa, M. A., Hassan, M. A., and Al-Asmari, F. 2024. Probiotic-fermentation of oat: Safety, strategies for improving quality, potential food applications and biological activities. Trends in Food Science and Technology, 104640.

[38] Cichońska, P., and Ziarno, M. 2021. Legumes and legume-based beverages fermented with lactic acid bacteria as a

potential carrier of probiotics and prebiotics. Microorganisms, 10(1): 91.

[39] Zhang, Y., Li, Y., Ren, X., Zhang, X., Wu, Z., and Liu, L. 2023. The positive correlation of antioxidant activity and prebiotic effect about oat phenolic compounds. Food Chemistry, 402: 134231.

[40] Mårtensson, O., Öste, R., and Holst, O. 2002. The effect of yoghurt culture on the survival of probiotic bacteria in oat-based, non-dairy products. Food research international, 35(8): 775-784.

[41] You, H. J., Oh, D. K. and Ji, G. E. 2004. Anticancerogenic effect of a novel Chiroinositolcontaining polysaccharide from Bifidobacterium bifidum BNG. Microbiology Letters, 240(2): 131-136.

[42] Faergemand, M., and Qvist, K. B. 1997. Transglutaminase: Effect on rheological properties, microstructure and permeability of set style acid skim milk gels. Food Hydrocolloids, 11: 287–292.

[43] Farnworth, J. P., Lia, J., Hendricks, 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, 65: 113-121.

[44] Ozrenk, E, 2006. The use of transglutaminase in dairy products. International Journal of Dairy Technology, 59: 1-7.

[45] Bohamid, A., Jooyandeh, H., and Barzegar, H. 2023. The effect of transglutaminase enzyme and carrageenan gum on sensory, textural and microbial properties of low fat ultrafiltrated cheese. Journal of food science and technology (Iran), 20(139): 1-12. (In Persian)

[46] Glibowski, P., and Skrzypczak, K. 2017. Prebiotic and synbiotic foods. In *Microbial production of food ingredients and additives* (pp. 155-188). Academic Press.

[47] Demir, H., Simsek, M., and Yıldırım, G. 2021. Effect of oat milk pasteurization type on the characteristics of yogurt. LWT -Food Science and Technology, 135: 110271.

[48] Mahmood, W. A., and Sebo, N. H. 2012. Improvement of yogurt properties by microbial transglutaminase. Journal of Agricultural Sciences, 8(3): 333-342.

[49] Aloglua, H. S., and Oner, Z. 2013. The effect of treating goat's milk with transglutaminase on chemical, structural, and sensory properties of labneh. Small Ruminant Research, 109: 31-37.

[50] Sanli, T., Sezgin, E., Deveci, O., Senel, E., and Benli, M. 2011. Effect of using transglutaminase on physical, Chemical and sensory properties of set-yoghurt. Food Hydrocolloids, 25: 1477-1481.

[51] Jooyandeh, H., Danesh, E., and Goudarzi, M. 2017. Effect of microbial transglutaminase on physical, rheological, textural and sensory properties of light ice cream. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 13(4): 469-479. (In Persian)

[52] Gallardo-Escamilla, F. J., Kelly, A. L., and Delahunty, C. M. 2007. Mouthfeel and flavour of fermented whey with added hydrocolloids. International Dairy Journal, 17(4): 308-315.

[53] Karzan, T. M., Nawal, H. S., and Ashna, T. A. 2015. The effect of microbial transglutaminase
enzyme on some physicochemical and sensory properties of goat's whey cheese. International Food Research Journal, 23(2): 688-693.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Evaluation of the effect of oat extract and microbial transglutaminase enzymatic treatment on phenolic compounds, sensory properties and viability of probiotic bacteria in synbiotic yogurt

Parwin Kianara[1], Hossein Jooyandeh*[2], Mohammad Noshad[3], Mohammad Hojjati[2], Mohammad Amin Mehrnia[3]

1- M.Sc., Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
2- Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
3- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2025/11/18

Review: 2025/01/27

Accepted: 2026/01/31

Keywords:
MTg,

OE,

L. acidophilus,

B. bifidum,

Functional yogurt.

DOI: 10.48311/fsct.2026.117774.82941

*Corresponding Author E-

hosjooy@asnrukh.ac.ir

ABSTRACT

Functional foods provide important physiological functions by providing bioactive compounds (such as probiotics, prebiotics, and antioxidants) that can contribute to the prevention of common diseases. Oat extract (OE) contains bioactive compounds (fiber beta-glucan, phenols, and tocotrienols) and prebiotics that stimulate the growth of beneficial intestinal bacteria and enhance anti-inflammatory and metabolic properties. However, its addition to yogurt may reduce sensory quality. In the meantime, microbial transglutaminase (MTg) enzymatic treatment is one of the proposed ways to improve the sensory properties of the product by modifying the texture and consistency of yogurt. Therefore, in this study, the effect of enzymatic treatment (0 and 0.02%) of MTg on some properties of synbiotic yogurt containing different concentrations of 0, 10, 20 and 30% OE was investigated during a 21-day storage period. The results showed that addition of OE improved total phenolic content (TPC), probiotic bacteria count and texture score of yogurts, while reducing the color and flavor scores of the samples. TG treatment also increased TPC content and product color and texture scores and reduced the number of probiotic bacteria. With the passage of storage time, although the TPC content increased, the number of probiotics and the sensory properties score of yogurts decreased. However, number of probiotic bacteria was determined to be more than the standard value (7 log CFU/g) after 21 days of storage. Based on the results of this study, the synbiotic yogurt sample treated with 0.02% TG enzyme and containing 20% barley extract was identified as the best yogurt sample.