

بررسی اثر مقدار و زمان تخمیر خمیر ترش حاصل از باکتری لاکتوباسیلوس پلانٹاروم بر میزان اسید فیتیک، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی نان تست آرد گندم کامل

ایمان لیاقتی^۱، زهرا بیگ محمدی^{۱*}، علیرضا فرجی^۲

۱. گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. گروه شیمی آلی، دانشکده شیمی دارویی، علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

این مطالعه با هدف تأثیر مقدار و زمان تخمیر خمیر ترش حاصل از باکتری لاکتوباسیلوس پلانٹاروم بر میزان اسید فیتیک، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی نان تست تهیه شده از آرد کامل گندم انجام شد. پس از تهیه خمیر ترش تیمارها در سه گروه T₀: نمونه شاهد (بدون لاکتوباسیلوس پلانٹاروم)، T₁: حاوی ۲/۵ درصد لاکتوباسیلوس پلانٹاروم و T₂: حاوی ۵ درصد لاکتوباسیلوس پلانٹاروم تهیه و خمیر حاوی خمیر ترش تحت ۸، ۱۶ و ۲۴ ساعت تخمیر در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد قرار گرفتند و سپس به میزان ۲/۵ و ۵ درصد به فرمولاسیون نان اضافه شد. نتایج نشان دهنده افزایش محتوی رطوبتی، کاهش pH و افزایش اسیدیته نان‌های تست حاوی خمیر ترش شد ($p < 0.05$). با این حال، افزودن خمیر ترش و مدت زمان تخمیر تأثیر معناداری بر محتوی خاکستر تیمارها نداشت ($p > 0.05$). کاهش معنادار سفتی بافت و افزایش حجم مخصوص نان‌های تست با افزودن خمیر ترش مشاهده شد و همچنین افزایش معنادار شاخص L* و کاهش معنادار شاخص a* و b* نمونه‌ها با افزایش زمان تخمیر از ۸ ساعت به بعد ($p < 0.05$) و کاهش معنادار محتوی اسید فیتیک نمونه‌ها با افزودن خمیر ترش و افزایش مدت زمان تخمیر از ۸ تا ۱۶ ساعت در نان‌های تست مشاهده گردید ($p < 0.05$). علاوه بر این بالاترین امتیاز حسی طی ۱۶ و ۲۴ ساعت تخمیر مشاهده شد ($p < 0.05$). بنابراین اینگونه می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانٹاروم و افزایش زمان تخمیر خمیر حاوی خمیر ترش تا ۱۶ ساعت می‌توان نان تست با خواص کیفی مطلوب تری در مقایسه با شاهد (۸ ساعت) تولید نمود.

کلمات کلیدی: اسید فیتیک، خمیر ترش، زمان تخمیر، لاکتوباسیلوس پلانٹاروم، نان تست

نان اساس رژیم غذایی روزانه در بسیاری از کشورها است و به دلیل هزینه کم، تهیه آسان، طعم مطبوع و ارزش غذایی بالا به عنوان منبع انرژی، پروتئین و فیبر، پرمصرف‌ترین غذا در برخی جوامع است (۳۲). آرد گندم ماده اصلی نان است و در تماس با آب ساختار خاصی خمیر را ایجاد می‌کند. در نتیجه آرد گندم تنها آرد غلات است که کیفیت انحصاری شکل دادن به ساختار و ظاهر نان و سایر محصولات نانوائی را فراهم می‌کند (۴۲). امروزه با توجه به افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات سنتی، سالم و منحصر به فرد، تولید نان با خمیر ترش افزایش چشمگیری داشته است. خمیر ترش ترکیبی از آب و آرد است که توسط میکروارگانیسم‌های ذاتی یا اضافه شده بصورت عمدی، تخمیر می‌شود (۳۷). خمیر ترش در خمیر به عنوان یک عامل ورآورنده^۱ استفاده می‌گردد. منحصر به فرد بودن این فرآیند بیوتکنولوژیکی به دلیل توانایی خمیر ترش برای انتخاب خود به خود باکتری‌ها و مخمرهای اسید لاکتیک ضروری است که در آن باکتری‌های اسید لاکتیک و مخمر با هم و با مواد تشکیل دهنده نان، بسته به پارامترهای فرآیند، تعامل دارند (۱۵). برخی از اثرات ویژه‌ای که خمیر ترش در نان ایجاد می‌کند شامل بهبود اسیدی شدن، توانایی ورآمدن، بهبود خصوصیات خمیر، طعم، حجم و بافت در محصول نهایی و همچنین افزایش مقاومت در برابر فساد میکروبی و ماندگاری نان است. تمامی این تغییرات بر کیفیت نهایی محصولات تأثیر بسزایی دارد (۳۴). علاوه بر این، ارزش غذایی نان به دلیل وجود باکتری‌های اسید لاکتیک همچون سویه‌های *لاکتوباسیلوس* و مخمرها بهبود می‌یابد که نقش مهمی در کاهش محتوای فیتات‌ها و سطح گلوکز پس از غذا و همچنین افزایش فراهمی زیستی مواد معدنی و تامین برخی آگزوپلی‌ساکاریدها دارند (۱۵). اسید فیتیک (میانوزیتول ۱،۲،۳،۴،۵،۶ - هگزاکیس دی هیدروژن فسفات) نشان دهنده گروهی از ترکیبات فسفر است که به طور گسترده در حبوبات، غلات و سبزیجات یافت می‌شود. ساختار اصلی فیتات اینوزیتول-۶-فسفات (IP6) است که یک ترکیب حلقوی است که شامل شش گروه فسفات ($C_6H_{18}O_{24}P_6$) است (۱۱). فیتات مسئول یک میل ترکیبی قوی با کاتیون‌ها، به ویژه Zn^{2+} ، $Fe^{2+/3+}$ ، Ca^{2+} ، Mn^{2+} و Cu^{2+} است که حلالیت و در دسترس بودن آنها را برای جذب انسان کاهش می‌دهد (۱۲). مطالعات مختلفی استفاده از خمیر ترش در بهبود کیفیت نان را نشان داده‌اند. Troadec و همکاران (۲۰۲۳)، طی بررسی تأثیر شرایط تخمیر خمیر ترش بر ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای نان فرانسوی نشان دادند محتوای قندهای احیاکننده به شدت تحت تأثیر شرایط تخمیر قرار دارد. از سوی دیگر، پروتئولیز در هر دو نوع نان، به ویژه در نان خمیر ترش، محدود بود. در نان خمیر ترش، تخمیر طولانی باعث تولید عطرهای ناشی از متابولیسم مخمر در خمیر شد، اما تشکیل

^۱ leavening

عطرهای ناشی از واکنش میلارد در پوسته را محدود کرد. در نان خمیر ترش، تخمیر طولانی واکنش میلارد و عطرهای ناشی از متابولیسم باکتری های اسید لاکتیک را تقویت کرد و تأثیر مثبتی بر درک حسی پوسته و بافت نان داشت (۴۰). همچنین Abedfar و همکاران (۲۰۱۹)، طی بررسی اثرات شرایط خمیر ترش بر خواص نان فنجانی ایرانی نشان دادند اثر زمان تخمیر بر سختی و تغییرات رنگی معنی دار بود. محتوای خاکستر، حجم مخصوص و تغییرات رنگی را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار داد. در مقایسه با سایر عملکردها، برهمکنش بین زمان تخمیر و محتوای قند تأثیر معنی داری بر پذیرش کلی نان داشت. علاوه بر این، یک همبستگی مثبت قوی بین اسیدیته کل خمیر ترش قابل تیتراژ شدن و بسیاری از ویژگی های کیفی نان فنجانی (به ویژه سختی، حجم مخصوص و پذیرش کلی) مشخص شد (۷). لازم به ذکر است، مهم ترین عواملی که بر تخمیر خمیر ترش تأثیر می گذارند عبارتند از: استارهای میکروبی، شرایط تخمیر (زمان و دما، تعداد دفعات برگشت^۱ یعنی افزودن مقدار کمی از محصولات تخمیر شده به ماده تازه انجام می شود و سپس در دمای اتاق قرار می گیرد تا تخمیر شود) و ترکیب آرد (به ویژه محتوای پروتئین، کربوهیدرات و خاکستر). از بین پارامترهای ذکر شده، زمان تخمیر بیشترین تأثیر را بر اسیدی شدن خمیر ترش دارد و رابطه آشکاری بین اسیدی شدن و کیفیت، ماندگاری و ویژگی های حسی نان حاوی خمیر ترش وجود دارد (۷). لاکتوباسیلوس پلاتناروم یک باکتری هموفرمانتاتیو به طور مداوم در خمیر ترش استفاده می شود، زیرا می تواند مقاومت اکسیداسیون محصولات را افزایش دهد (به طور خلاصه، تخمیر سویه های مخلوط می تواند حجم، طعم، مواد مغذی و ویژگی های حسی نان را تغییر دهد (۴۵). بنابراین، از آنجائیکه تخمیر خمیر ترش فرآیندی چند متغیره است که دارای فعل و انفعالات همزمان مختلف است، این مطالعه با هدف بررسی اثر مقدار و زمان تخمیر خمیر ترش حاصل از باکتری لاکتوباسیلوس پلاتناروم هموفرمانتاتیو (ATCC 20179) بر میزان اسید فیتیک، خصوصیات فیزیکیوشیمیایی و حسی نان تست تهیه شده از آرد کامل گندم انجام شد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- تهیه مواد اولیه

آرد گندم بدون جوانه (دارای ۱۱/۷۶ درصد پروتئین، ۰/۷۳ درصد خاکستر، ۱۵/۰۳ درصد رطوبت و ۳/۸۴ درصد اسید فیتیک) از شرکت آبگینه (ساخت کشور ایران)، سویه لاکتوباسیلوس پلاتناروم (ATCC 20179) از مرکز کلکسیون میکروارگانیسم های صنعتی

^۱ Back-slopping

(ساخت کشور ایران)، مخمر ساکارومایسیس سروریه از شرکت خمیر مایه و الکل رازی (ساخت کشور ایران) تهیه شد. مواد شیمیایی مورد نیاز جهت انجام آزمون از شرکت مرک^۱ (آلمان) و محیط کشت ام-ار-اس^۲ از شرکت کیولب^۳ (ساخت کشور کانادا) خریداری شدند. مواد اولیه مورد نیاز برای تهیه خمیر نان تست شکر (گلها، ساخت کشور ایران)، روغن (لادن- ساخت کشور ایران)، (گلها، ساخت کشور ایران)، ۱ درصد بهبود دهنده (نان سحر، ساخت کشور ایران) خریداری شدند.

۲-۲- تهیه سوسپانسیون باکتری

باکتری لاکتوباسیلوس پلانٹاروم لیوفیلیزه شده در ابتدا در محیط MRS آگار کشت داده شد و سپس به منظور فعالسازی در محیط مایع غنی شده با شیر (MRS مایع) کشت داده شدند و در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد گرمخانه گذاری (شیماز- ساخت کشور ایران) شدند. مجدداً نمونه ها در محیط MRS مایع رشد داده شدند و در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد تا رسیدن به تعداد 10^8 کلنی/میلی لیتر رشد داده شدند. با استفاده از سانتریفیوژ (Hitachi- ساخت کشور ژاپن) باکتری های تازه جداسازی شد (۲۶).

۲-۳- تهیه خمیر ترش

برای تهیه خمیر ترش، ۵۰ گرم آرد گندم با ۱۲۵ میلی لیتر آب با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد مخلوط شد و سپس ۸ گرم مخمر ساکارومایسیس سروریه و ۲ گرم شکر به مخلوط فوق اضافه گردید. سپس ۱۶۲ میلی لیتر از محلول سوسپانسیون لاکتوباسیلوس پلانٹاروم (ATCC 20179) به مخلوط فوق اضافه شده و به مدت ۱۲ ساعت درون آون (Memmert- ساخت کشور آلمان) با دمای ۳۷ درجه سانتی گراد نگهداری شد تا خمیر ترش آماده گردید. در نهایت مطابق جدول ۱ خمیر ترش ها بر اساس درصد وزنی آرد گندم به فرمولاسیون نان تست اضافه شدند (۷).

۲-۴- روش تهیه نان تست

فرمولاسیون خمیر نان تست شاهد شامل ۱۰۰ درصد آرد گندم، ۶ درصد روغن، ۵ درصد شکر، ۱/۵ درصد نمک، ۱ درصد بهبود دهنده، ۱ درصد مخمر و ۶۰ درصد آب بود. عملیات تهیه نان تست شامل مراحل توزین مواد، اختلاط (۱۰-۱۲ دقیقه)، استراحت اولیه (۲۵-۲۰ دقیقه، دمای ۳۰-۲۵ درجه سانتی گراد)، چانه گیری (وزن تقریبی ۴۵۰ گرم)، استراحت میانی (۱۰ دقیقه، دمای ۳۰-۲۵ درجه سانتی گراد)، قالب گیری، استراحت نهایی (۳۰-۴۵ دقیقه، دمای ۳۰-۲۵ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۷۵٪) و پخت (۲۷۰-۲۷۰).

¹ Merck

² Man, Rogosa and Sharpe (MRS)

³ Q Lab

۲۵۰ درجه سانتی گراد، ۱۵-۱۲ دقیقه) در فر (Miwe، ساخت کشور آلمان) بود. پس از تهیه خمیر شاهد، سطوح مختلف ۰، ۲/۵ و ۵ درصد خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلاتناروم به آن اضافه شد و پس از طی تخمیر خمیر حاوی خمیر ترش (۸، ۱۶ و ۲۴ ساعت) تهیه نان انجام شد (۱۹).

جدول ۱- فرمولاسیون تیمارهای تحقیق

کد تیمار	فرمولاسیون
T ₀	نمونه شاهد
T ₁	نمونه نان تست + ۲/۵ درصد خمیر ترش
T ₂	نمونه نان تست + ۵ درصد خمیر ترش

T₀^a: نمونه شاهد (بدون لاکتوباسیلوس پلاتناروم) / T₁: ۲/۵ درصد پلاتناروم / T₂: ۵ درصد پلاتناروم

۲-۵- آزمون‌ها

۲-۵-۱- اندازه گیری میزان اسید فیتیک

مقدار ۴۰ میلی لیتر کلریدریک اسید ۲/۴ درصد به ۲ گرم نمونه خشک شده اضافه و به مدت ۳ ساعت در دمای اتاق توسط همزن مغناطیسی (IKA- ساخت کشور آلمان) همزده شد. سپس ۱ میلی لیتر از محلول صاف شده (با کاغذ واتمن شماره ۲) به بالون ۲۵۰ میلی لیتری منتقل و ۱ میلی لیتر معرف Na₂EDTA-NaOH به آن اضافه و با آب مقطر حجم ۲۵ میلی لیتر رسانده شد. محلول حاصل از ستون های رزینی که با آب نمک ۰/۷ مولار و آب مقطر احیا شده بودند، عبور داده شد. فرآیند هضم روی دستگاه میکروکلدال (شیمی پژوه سهند- ساخت کشور ایران) با ۳ میلی لیتر نیتریک اسید و ۰/۵ میلی لیتر سولفوریک اسید به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد. پس از سرد شده محلول هضم شده، ۲ میلی لیتر محلول مولیدات، ۱ میلی لیتر معرف سولفوریک اسید غلیظ اضافه و مجدداً با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسید. مقدار جذب نمونه توسط اسپکتوفتومتر (Shimadzu- ژاپن) در طول موج ۶۴۰ نانومتر قرائت گردید میزان اسید فیتیک نمونه ها بر اساس رابطه ۱ محاسبه و گزارش شد (۳۱):

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{Mean K} \times A \times 0.0709 = \text{مقدار فیتات (بر حسب میلی گرم/گرم)}$$

که در آن:

Mean K = میانگین غلظت های استاندارد فسفر * A: غلظت خوانده شده * ۰/۷۰۹ = ضریب ثابت معادله است.

۲-۵-۲- اندازه گیری pH

۱۰ گرم از نان خرد شده با ۱۰۰ گرم از آب مقطر به خوبی مخلوط شد و سپس به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شده، بعد از آن به مدت ۱۰ دقیقه رها شده و در نهایت pH آن توسط دستگاه pH متر (Metrohm- ساخت کشور سوئیس) اندازه گیری شد (۱۱).

۳-۵-۲- اندازه گیری اسیدیت

۱۰ گرم از نمونه نان خرد شده در ارلن مایر ریخته و ۵۰ میلی لیتر الکل اتانول ۶۷ درصد به آن اضافه شد. سپس با همزن برقی به مدت ۵ دقیقه مخلوط شدند؛ محلول مدتی ساکن گذاشته می شود تا مواد نشست کرده، سپس از صافی عبور داده شد. ۲۵ میلی لیتر محلول صاف شده در یک ارلن مایر ۱۰۰ میلی لیتری ریخته و ۳ قطره معرف فنول فتالین ۳ درصد به آن اضافه شده و با محلول ۰/۱ نرمال هیدروکسید سدیم تیترو شد. به مجرد ظاهر شدن رنگ صورتی عمل تیتراسیون متوقف شده و مقدار سود مصرفی یادداشت و از رابطه ۲ میزان اسیدیت نمونه ها محاسبه شد (۵).

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{مقدار اسیدیت (بر حسب لاکتیک اسید)} = \frac{V \times N \times 90}{W} \times 100$$

که در آن:

V = حجم سود مصرفی / N = نرمالیت سود / W = وزن نمونه است.

۴-۵-۲- اندازه گیری رطوبت

میزان رطوبت نان ها بر اساس روش AOCC 925-05 در آون (Memmert- ساخت کشور آلمان) با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد بر اساس اختلاف وزن قبل و ۲۴ ساعت بعد از خشک شدن تا رسیدن به وزن ثابت اندازه گیری شد (۶).

۵-۵-۲- اندازه گیری خاکستر

میزان خاکستر نان ها بر اساس روش AOCC 923-03 با سوزاندن ۵ گرم نمونه در کوره الکتریکی (Branstead thermolyne- ساخت کشور آمریکا) با دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ ساعت اندازه گیری شد (۶).

۶-۵-۲- اندازه گیری حجم مخصوص

حجم نان با استفاده از روش جابجایی کلزا مطابق استاندارد اصلاح شده AACC 10-05 تعیین شد. حجم مخصوص نان به عنوان حجم نان تقسیم بر وزن نان (۱/۵ ساعت پس از پخت) اندازه گیری شد (۳۸).

۷-۵-۲- میزان سفتی بافت

به منظور ارزیابی بافت نان از دستگاه بافت سنج (Brookfield- ساخت کشور آلمان) استفاده شد. بدین طریق ۲۴ ساعت بعد از پخت، نیروی لازم برای نفوذ یک پروب با انتهای صاف (۲/۵ سانتی متر عرض $\times$ ۱/۸ سانتی متر طول) با سرعت ۳۰ میلی متر/دقیقه و نیروی ۰/۰۵ نیوتن به داخل نان محاسبه شد (۳۸).

۸-۵-۲- رنگ پوسته

آنالیز رنگ پوسته نان ۲۴ ساعت پس از پخت از طریق تعیین سه شاخص L^* ، a^* و b^* تعیین شد. جهت اندازه گیری این شاخص ها ابتدا برشی به ابعاد ۴×۴ سانتی متری از مغز نان تهیه گردید. بوسیله اسکنر با وضوح ۳۰۰ پیکسل تصویربرداری شد و سپس تصاویر در اختیار نرم افزار Image J قرار گرفت. با فعال کردن فضای LAB در بخش Plugins، شاخص های فوق محاسبه شد (۴۳).

۹-۵-۲- ارزیابی حسی

برای ارزیابی حسی نمونه های نان از روش آزمون اختصاص امتیاز استفاده شد. روش ارزیابی به صورت تجزیه و تحلیل مجموع امتیازات رنگ پوسته، بو، بافت، طعم، تخلخل و قابلیت جویدن پس از ۱، ۳ و ۵ روز بعد از پخت بر روی نمونه های نان توسط ۲۵ ارزیاب آموزش ندیده انجام گرفت. دامنه تغییرات بین اعداد ۱ تا ۵ و برای کیفیت بسیار بد عدد ۱ و برای بهترین کیفیت عدد ۵ اختصاص یافت (۲۵).

۶-۲- تجزیه و تحلیل آماری

نتایج به دست آمده در آزمایشات برای داده های تجربی (آزمایشی) به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار در سه بار تکرار بیان شدند. داده های آزمایشات با تجزیه و تحلیل واریانس یکطرفه (One-way ANOVA) مقایسه و تفاوت های معنی دار آماری بین مقادیر میانگین ها (در مواردی که اثر کلی تیمارها معنی دار باشد) با استفاده از آزمون تعقیبی چند دامنه ای دانکن تعیین شد. نتایج آزمون های آماری به دست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام گرفت. سطح معنی داری $p \leq 0/05$ برای مقایسه داده ها در نظر گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

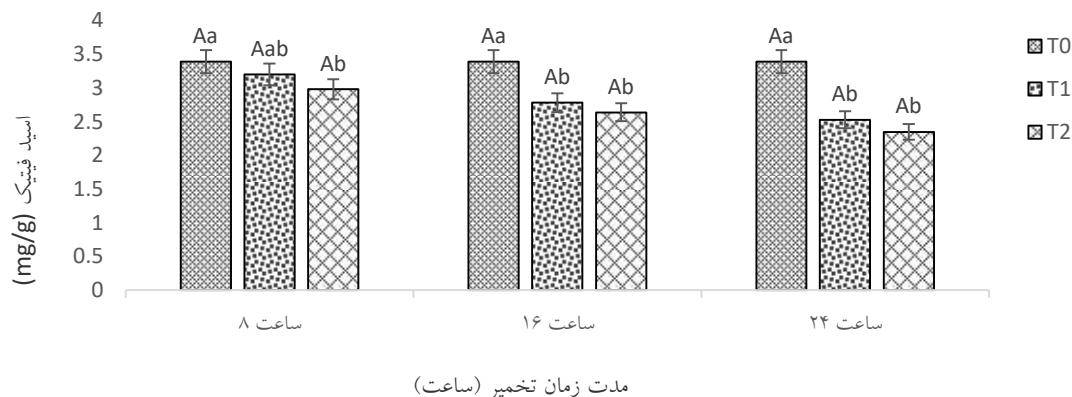
۳-۱- بررسی نتایج محتوی اسید فیتیک

با توجه به شکل ۱ افزودن خمیر ترش بدست آمده از لاکتوباسیلوس پلانتروم سبب کاهش معنادار محتوی اسید فیتیک نان های تست شد. کمترین محتوی اسید فیتیک در نمونه T_3 گزارش شد. این کاهش اسید فیتیک احتمالاً به دلیل آنزیم فیتاز میکروبی و اسیدی شدن

خمیر است که شرایط مناسبی را برای فعالیت فیتاز درونی و میکروبی و افزایش حلالیت کمپلکس‌های فیتات فراهم می‌کند (۱۷). در همین راستا فکری^۱ و همکاران (۲۰۲۰)، معتقد بودند که کاهش فیتات مربوط به فیتاز میکروبی است (۲۰) و برخی از محققین معتقد بودند که تخریب فیتات در طی تخمیر عمدتاً به دلیل عمل فیتاز درون‌زا در دانه‌های غلات است (۲۵). طی افزایش زمان (از ۸ تا ۱۶ ساعت) روند کاهش معنادار اسید فیتیک نمونه‌های نان تست گزارش شد ($p < 0.05$). اما مقدار خمیر ترش تأثیر معناداری بر کاهش میزان اسید فیتیک نداشت ($p > 0.05$). طی تخمیر آنزیم فیتاز توسط میکروارگانیسم‌های مسئول تخمیر تولید می‌شود و اسید فیتیک را تجزیه می‌کند. بنابراین تخمیر یک عامل مهم در کاهش اسید فیتیک و افزایش ارزش تغذیه‌ای نان و محصولات مشابه می‌باشد (۲۰). از طرفی مطالعات نشان داده نوع آرد نیز در کاهش میزان اسید فیتیک مؤثر می‌باشد باید توجه داشت میزان اسید فیتیک آرد مورد استفاده در این تحقیق ۳/۸۴ درصد بود. که خمیر ترش لاکتیکی در غلظت ۲/۵ و ۵ درصد لاکتوباسیلوس پلاتناروم طی ۱۶ ساعت به ترتیب ۲۷/۶۰ و ۳۰/۷۲ درصد میزان اسید فیتیک را نسبت به نمونه شاهد کاهش دادند ($p < 0.05$). همراستا با نتایج این تحقیق، فنگ^۲ و همکاران (۲۰۲۳)، نشان دادند، محتوای اسید فیتیک در تمام خمیر ترش‌ها به مرور زمان، هنگامی که به مدت ۲۴ ساعت تخمیر شد، کاهش یافت. این محققان گزارش کردند پس از افزودن سویه‌های تولیدکننده فیتاز، تخمیر می‌تواند به طور مؤثر اسید فیتیک را تجزیه کند و زمان تخمیر عامل مهمی است که بر تجزیه اسید فیتیک تأثیر می‌گذارد (۱۸). همچنین دیدار و همکاران (۱۳۸۷)، طی بررسی تأثیر خمیر ترش لاکتیکی حاوی لاکتوباسیلوس پلاتناروم بر میزان اسید فیتیک نان‌های سنتی ایرانی (لواش) کاهش محتوای اسید فیتیک نان‌ها را نشان دادند و علت آن را به اسیدیفیکاسیون خمیر و ایجاد شرایط مناسب جهت فعالیت فیتاز اندوژن، تولید فیتاز میکروبی و تشکیل کمپلکس‌های محلول از کمپلکس‌های نامحلول اسید فیتیک توسط اسیدهای تولیدی در حین تخمیر دانستند (۲).

^۱ Fekri

^۲ Fang



شکل ۱- تأثیر زمان تخمیر و میزان خمیر ترش حاوی لاکتوباسیلوس پلانتاروم بر میزان اسید فیتیک نان تست تهیه شده از آرد کامل گندم

T_0 : نمونه شاهد (بدون خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم) / T_1 : حاوی ۲/۵ درصد خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم / T_2 : حاوی ۵ درصد خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم

* حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در تیمارهای مختلف در سطح ۰/۰۵ است.

* حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در ساعت‌های مختلف در سطح ۰/۰۵ است.

۲-۳- بررسی نتایج pH و اسیدیته

pH خمیر ترش رسیده با ماهیت فرآیند و کشت آغازگر مورد استفاده متفاوت است اما برای خمیر ترش گندم از ۳/۵ تا ۴/۳ متغیر است. ماهیت آرد بسته به میزان افزودن، به ویژه محتوای خاکستر آن، تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های اسیدی شدن دارد. بنابراین، pH خمیر نان نیز متفاوت خواهد بود (۳۰). جدول ۲ میزان pH و اسیدیته نان‌های تست را نشان می‌دهد. مطابق با نتایج افزودن خمیر ترش بدست آمده از لاکتوباسیلوس پلانتاروم بطور معناداری سبب کاهش pH و افزایش اسیدیته تیمارها شد ($p < 0/05$). این کاهش pH و یا افزایش اسیدیته به دلیل تولید اسیدهای آلی در نتیجه فعالیت باکتری‌های لاکتیک اسید گزارش شده است (۲۴) که کاملاً نتایج قابل انتظار بود. افزایش غلظت خمیر ترش تولید بیشتر اسیدهای آلی را به دنبال داشت. همانطور که انتظار می‌رفت، محتوای اسیدهای آلی بر مقادیر pH نهایی نان، تأثیر گذاشت. اهمیت باکتری‌های خمیر ترش در این است که می‌توانند کربوهیدرات‌های موجود در آرد و همچنین فرآورده تخمیر شده پروتئین را برای متابولیسم خود به عنوان منبع کربن و ازت مصرف نمایند و بدین طریق اسید لاکتیک و اسید استیک را که برای فرم‌پذیری و مراحل تهیه خمیر و پخت موثرند بوجود آورند. از طرفی توانایی باکتری‌های لاکتیک در تولید

اسید به pH محیط بستگی دارد (۲۹). مطابق با نتایج این تحقیق، منتظری^۱ و همکاران (۲۰۱۹)، نشان دادند استفاده از خمیر ترش بدست آمده از *لاکتوباسیلوس کازئی* سبب افزایش اسیدیته تیمارها نسبت به نمونه شاهد شد (۲۹). همچنین اکبری^۲ و همکاران (۲۰۱۳)، طی بررسی بهبود ویژگی‌های کیفی نان تست با استفاده از خمیر ترش *ساکارومایسس سرویزیه* و *لاکتوباسیلوس پلاتناروم*، افزایش اسیدیته و کاهش نمونه‌ها را نشان دادند (۸).

۳-۳- بررسی نتایج رطوبت

از دیدگاه مصرف کننده، ویژگی بافتی کلیدی مرتبط با کیفیت نان است زیرا شاخص اصلی تازگی نان است. مطابق با نتایج جدول ۲، محتوی رطوبتی با افزودن خمیر ترش بدست آمده از *لاکتوباسیلوس پلاتناروم* افزایش یافت ($p < 0.05$). در ۸ ساعت زمان تخمیر خمیر ترش، بین نمونه شاهد و نمونه T_1 تفاوت آماری معنادار مشاهده نشد ($p > 0.05$). اما از ساعت ۱۶ زمان تخمیر، اختلاف آماری معنادار بین نمونه‌ها حاوی خمیر ترش با نمونه شاهد گزارش شد ($p < 0.05$). هرچند بین درصدهای مختلف خمیر ترش اضافه شده (تیمار T_1 و T_2) تفاوت آماری معنادار مشاهده نشد ($p > 0.05$). همچنین مدت زمان تخمیر نیز تأثیر آماری معناداری بر محتوی رطوبت نان‌های تست نشان نداد ($p > 0.05$). علت افزایش محتوی رطوبتی را می‌توان به وقوع فرآیند تخمیر در نمونه‌های نان تست حاوی خمیر ترش نسبت داد. به طور کلی فرآیند تخمیر به بهبود و تثبیت شبکه‌های سه بعدی گلو تن کمک نموده و با ایجاد این شبکه سه بعدی، سبب افزایش قدرت نگهداری رطوبت در داخل شبکه می‌گردد (۳۹). مطالعات نشان داده که تازگی و نرمی بافت نان با اسیدی شدن بیولوژیکی حفظ می‌شود که بر توزیع مجدد رطوبت در سراسر بافت نان تأثیر می‌گذارد. این به دلیل این واقعیت است که این ترکیبات شبکه گلو تن را تقویت می‌کند که با جذب آب از هدر رفتن رطوبت در حین پخت جلوگیری می‌کند و توانایی واکنش با مولکول‌های نشاسته را دارد که باعث تأخیر در رتروگرا داسیون نشاسته در محصول نهایی می‌شود و در نتیجه بیات شدن نان را به تأخیر می‌اندازد (۷). همراستا با نتایج بدست آمده، کاتینا^۳ و همکاران (۲۰۰۶)، طی بررسی بهینه‌سازی فرآیند تخمیر ترش از *لاکتوباسیلوس پلاتناروم* و برویس همراه با مخمر *ساکارومایسس سرویزیه* برای بهبود مشخصات حسی و بافت نان گندم نتایج مشابهی را نشان دادند (۲۴). همچنین رینالدی^۴ و همکاران (۲۰۱۷)، طی بررسی ارزیابی ماندگاری نان‌ها بدون گلو تن حاوی آرد شاه بلوط و تأثیر تخمیر خمیر ترش، بالاترین محتوی رطوبتی در نمونه‌های حاوی خمیر ترش گزارش شد (۳۵). پیغمبر دوست و همکاران (۱۳۹۳) بیان نمودند که نقش

¹ Mantzourani

² Akbari

³ Katina

⁴ Rinaldi

تجزیه کنندگی پروتئین‌ها توسط لاکتوباسیل‌های فعال درخمیر ترش تازه منجر به تجزیه پروتئین‌های ماکروپلیمری گلوتن و تبدیل آن‌ها به پروتئین‌های با وزن ملکولی کم می‌گردد که قابلیت نگهداری آب در شبکه را کاهش داده و رطوبت موجود بصورت آزاد درآمده و به سهولت قابل اندازه‌گیری می‌باشد (۱).

۳-۴- بررسی نتایج خاکستر

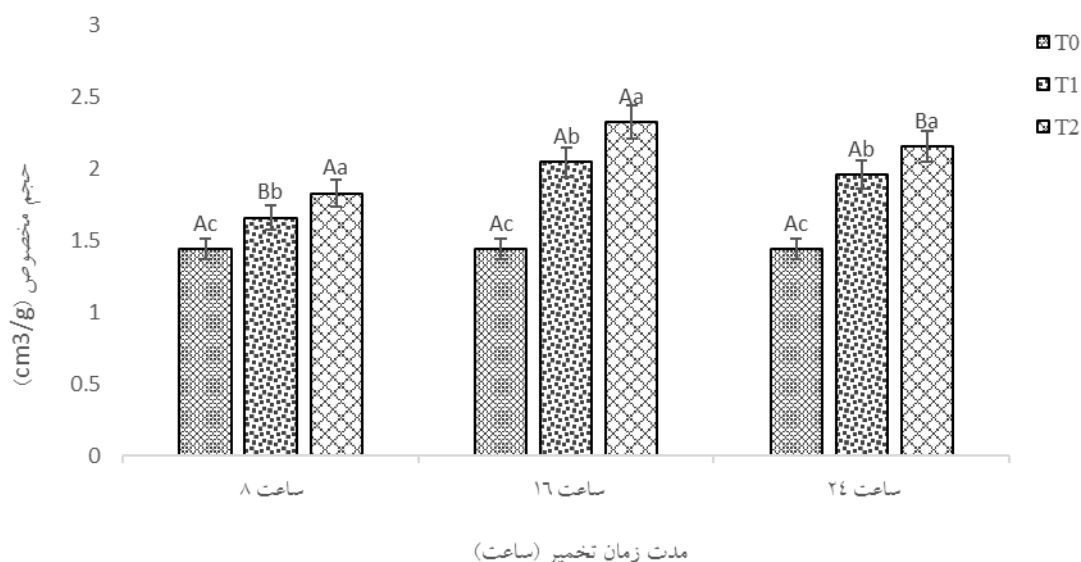
طی بررسی نتایج خاکستر نان‌های تست (جدول ۲) عدم تفاوت آماری معنادار بین تیمارهای مختلف و زمان تخمیر مشاهده شد ($p>0.05$). شلورمان^۱ و همکاران (۲۰۲۲)، طی بررسی تأثیر استارهای لاکتیک اسید مختلف در خمیر ترش گندم و چاوار بر کیفیت نان تولیدی عدم تأثیر معنادار استارهای مختلف بر محتوی خاکستر را نشان دادند (۳۶). کاتیانا و همکاران (۲۰۰۶)، نیز طی بررسی خواص خمیر ترش بدون گلوتن ساخته شده با باکتری‌های اسید لاکتیک و مخمر نشان دادند محتوی خاکستر نمونه‌ها تفاوت آماری معناداری نداشتند (۲۴).

۳-۵- بررسی نتایج حجم مخصوص

مطابق نمودار ۲ افزودن خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتروم باعث افزایش میزان حجم مخصوص نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد گردید ($p>0.05$). این افزایش حجم مخصوص با افزایش غلظت خمیر ترش معنادارتر بود و تیمار T_2 بیشترین حجم مخصوص را داشت ($p<0.05$). با این حال، مدت زمان تخمیر خمیر ترش تا ۸ ساعت تأثیر معناداری بر میزان حجم مخصوص نان‌ها نداشت ($p>0.05$) اما از ۸ تا ۱۶ ساعت زمان تخمیر تأثیر معنادار بر افزایش حجم مخصوص نان‌ها مشاهده شد ($p<0.05$). مطالعات نشان داده که کاربرد خمیر ترش سبب هوادهی کافی و افزایش حباب‌های هوا در خمیر می‌شود، لذا نان‌های حاصل از میزان حجم بیشتری برخوردار خواهند بود (۳۹). اثر خمیر ترش روی حجم نان عمدتاً به علت واکنش‌های آنزیمی است که در طول فرآیند تخمیر صورت می‌گیرد. کاهش تدریجی pH در طول فرآیند تخمیر در افزایش فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک، آمیلولیتیک، پراکسیداز، لیپوکسیژناز، کاتالاز و پلی‌فنل اکسیداز بر اجزاء خمیر در دوره زمانی ۸-۲۰ ساعت نقش دارد (۲۴). علت افزایش حجم نان حاصل از خمیر ترش لاکتوباسیلوس پلانتروم را می‌توان به حضور اگزوپلی ساکاریدهای تولید شده توسط باکتری‌های اسید لاکتیک در طی تخمیر خمیر ترش نسبت داد. زیرا حضور اگزوپلی ساکاریدها آرد سبب افزایش فعالیت آبی آرد شده و به همین دلیل خمیر حاصل از آرد حاوی خمیر ترش برای آماده‌سازی نیاز به آب بیشتری داشته و جذب آب آن بیشتر می‌شود. اگزوپلی ساکاریدها معمولاً به عنوان صمغ

^۱ Schlörmann

شناخته شده و در محصولات نانویی به عنوان بافت دهنده، ضد بیاتی یا افزودنی پریبیوتیک به منظور تازگی محصول استفاده می‌شوند. همچنین نگهداری گاز دی اکسید کربن در خمیر تقویت شده و حجم نان حاصله از خمیر حاوی خمیر ترش افزایش می‌یابد (۳۸). مطالعات افزایش حجم مخصوص نان در اثر افزایش محتوی رطوبتی را نشان دادند (۳۳) که این نتیجه کاملاً با نتایج ارائه شده این تحقیق مطابقت دارد. بیشترین افزایش حجم نان‌های تست در تیمارها با بالاترین محتوی رطوبتی گزارش شد. منتظری و همکاران (۲۰۱۹)، نیز افزایش حجم مخصوص نان‌های خمیر ترش بدست آمده از لاکتوباسیلوس‌های مختلف را نشان دادند. آن‌ها تفاوت آماری معنادار بین گونه‌های مختلف را گزارش نکردند (۲۹). اولوجه^۱ و همکاران (۲۰۱۹) افزایش حجم مخصوص نان‌های خمیر ترش بدست آمده از پدیوکوکوس پنتونئوس و ویسلاکانفوسا نسبت به نمونه شاهد را نشان دادند اما نمونه‌های حاوی خمیر ترش بدست آمده از پدیوکوکوس پنتونئوس حجم مخصوص بالاتری داشتند. این محققان گزارش کردند این امر ممکن است به دلیل خاصیت اسیدی بالاتر جدایه باشد، زیرا کاربرد خمیر ترش بسته به سطح اسیدی شدن و سویه های میکروبی می‌تواند منجر به افزایش حجم نان شود (۳۳).



شکل ۲- تأثیر زمان تخمیر و میزان خمیر ترش حاوی لاکتوباسیلوس پلانتاروم بر حجم نان تست تهیه شده از آرد کامل گندم

T₀: نمونه شاهد (بدون خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم) / T₁: حاوی ۲/۵ درصد خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم / T₂: حاوی ۵ درصد خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم

* حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در تیمارهای مختلف در سطح ۰/۰۵ است.

* حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در ساعت‌های مختلف در سطح ۰/۰۵ است.

جدول ۲- تأثیر زمان تخمیر و میزان خمیر ترش حاوی لاکتوباسیلوس پلانتاروم بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نان تست تهیه شده از آرد کامل گندم

پارامتر	تیمارها	۸ ساعت تخمیر	۱۶ ساعت تخمیر	۲۴ ساعت تخمیر
pH	T0	۶/۴۲ ± ۰/۰۱ ^{Aa}	۶/۴۲ ± ۰/۰۱ ^{Aa}	۶/۴۲ ± ۰/۰۱ ^{Aa}
	T1	۶/۲۶ ± ۰/۰۲ ^{Ab}	۶/۰۳ ± ۰/۰۰ ^{Ab}	۵/۹۱ ± ۰/۰۱ ^{Ab}
	T2	۶/۱۵ ± ۰/۰۲ ^{Ac}	۵/۹۸ ± ۰/۰۲ ^{Ac}	۵/۸۷ ± ۰/۰۰ ^{Ac}
اسیدیته (درصد لاکتیک اسید)	T0	۰/۳۸ ± ۰/۰۰ ^{Ac}	۰/۳۸ ± ۰/۰۰ ^{Ac}	۰/۳۸ ± ۰/۰۰ ^{Ac}
	T1	۰/۵۱ ± ۰/۰۰ ^{Ab}	۰/۷۲ ± ۰/۰۰ ^{Ab}	۰/۸۰ ± ۰/۰۰ ^{Ab}
	T2	۰/۵۸ ± ۰/۰۰ ^{Aa}	۰/۸۴ ± ۰/۰۰ ^{Aa}	۰/۸۷ ± ۰/۰۰ ^{Aa}
رطوبت (درصد)	T0	۳۲/۴۶ ± ۰/۳۷ ^{Aa}	۳۲/۴۶ ± ۰/۳۷ ^{Aa}	۳۲/۴۶ ± ۰/۳۷ ^{Aa}
	T1	۳۱/۶۶ ± ۰/۸۴ ^{Aa}	۲۸/۶۶ ± ۰/۸۸ ^{Ab}	۲۸/۵۲ ± ۰/۶۶ ^{Ab}
	T2	۳۰/۱۸ ± ۰/۴۲ ^{Ab}	۲۸/۱۵ ± ۰/۴۲ ^{Ab}	۲۸/۰۱ ± ۰/۴۶ ^{Ab}
خاکستر (درصد)	T0	۱/۱۸ ± ۰/۱۶ ^{Aa}	۱/۱۸ ± ۰/۱۶ ^{Aa}	۱/۱۸ ± ۰/۱۶ ^{Aa}
	T1	۱/۱۳ ± ۰/۱۱ ^{Aa}	۱/۱۲ ± ۰/۰۶ ^{Aa}	۱/۱۱ ± ۰/۰۵ ^{Aa}
	T2	۱/۱۵ ± ۰/۱۱ ^{Aa}	۱/۱۲ ± ۰/۰۱ ^{Aa}	۱/۱۳ ± ۰/۱۹ ^{Aa}

T₀: نمونه شاهد (بدون خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم) / T₁: حاوی ۲/۵ درصد خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم / T₂: حاوی ۵ درصد خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم

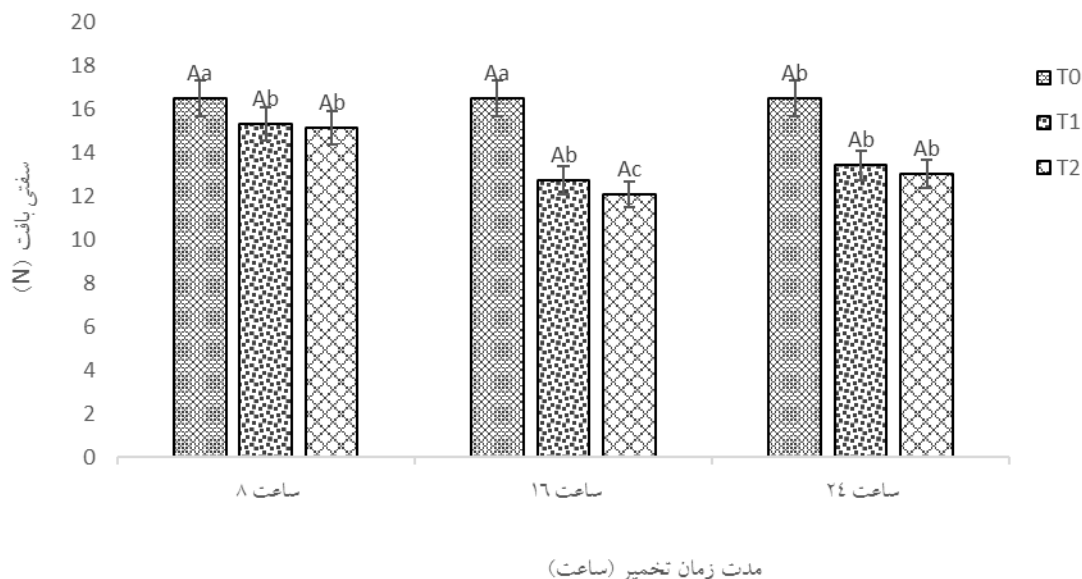
* حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در هر ستون در سطح ۰/۰۵ است.
* حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در هر سطر در سطح ۰/۰۵ است.

۳-۶- بررسی نتایج سفتی بافت

سفتی به عنوان نیروی مورد نیاز برای فشرده سازی مواد با مقدار معینی بیان می‌شود. سفتی بافت در کنار فساد میکروبی، مهمترین عامل کاهش ماندگاری و ۲۵ درصد ضایعات نان در کشور محسوب می‌گردد. با توجه به نتایج شکل ۳ افزودن خمیر ترش بدست آمده از لاکتوباسیلوس پلانتاروم سبب کاهش معنادار سفتی بافت نان‌های تست شد ($p < 0.05$). اما تفاوت آماری معنادار بین تیمارهای حاوی درصدهای مختلف خمیر ترش وجود نداشت ($p > 0.05$). بیشترین میزان سفتی بافت در نمونه شاهد مشاهده شد ($p < 0.05$). مدت زمان تخمیر خمیر ترش تأثیر معناداری بر میزان سفتی نان‌ها نداشت ($p > 0.05$). مقادیر سفتی بافت نان‌های تست منطبق بر محتوی رطوبت نمونه‌هاست. مطالعات نشان داده که در شرایط تخمیر مناسب جاب‌های گاز یکنواخت‌تری تولید و پخش می‌شود و خاصیت ارتجاعی بهتر و شکل‌پذیری مناسب خمیر ایجاد می‌کند. این خمیر باعث ایجاد نان متخلخل یکنواخت‌تر می‌شود بطوریکه از سفتی نان کاسته می‌شود (۹). همچنین، اسیدیته خمیر ترش با افزایش زمان تخمیر افزایش می‌یابد و رفتار گلوتن را تغییر می‌دهد که یکی از مهم‌ترین

دلایل تغییر رئولوژی خمیر و نان است. از طرفی، به دلیل تفاوت در خواص آبدوست مواد تشکیل دهنده در طی فرآیندهای مختلف تهیه خمیر و نان، سفتی آن‌ها به طور قابل توجهی متفاوت خواهد بود (۲۱). استفاده از خمیرترش در آرد کامل غلات که از فیبرهای رژیمی غنی هستند، سبب توزیع یکنواخت‌تر حبابچه‌های هوا، اصلاح رئولوژی، افزایش حجم، افزایش تخلخل و ایجاد بافت مطلوب‌تر و نهایتاً افزایش جذابیت محصول به عنوان یک فراورده رژیمی می‌گردد. علاوه بر این، آگزوپلی ساکاریدهای تولیدی توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک موجود در خمیرترش نیز بر بافت و به تأخیر انداختن بیاتی نان تأثیر مثبت دارند (۴۴). مطالعات نشان داده مهمترین دلیل کاهش سختی بافت در نان فراوری شده توسط خمیرترش، تولید اسید لاکتیک است که سبب افزایش تخلخل، تنظیم فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز و افزایش نرمی بافت می‌گردد. از سوی دیگر، توانایی‌های پروتئولیتیک و آمیلولیتیک باکتری‌های اسید لاکتیک و در کنار آن، قابلیت تولید پلی ساکاریدهای خارج سلولی و دکسترین‌هایی توانایی تداخل در تنزل کیفیت نشاسته را دارند و باعث بهبود نرمی بافت محصول می‌شود. تغییر و اصلاح پلی ساکاریدهای موجود در آرد و انحلال آرایینوزایلان‌ها در طی تخمیر خمیرترش، مانع از اثر متقابل گلوتن و نشاسته شده و لذا شبکه متفاوتی در مقایسه با تخمیر توسط مخمر نانویی در خمیر و نان تولیدی ایجاد خواهد گردید (۹). همراستا با نتایج این تحقیق، ناجی طبسی^۱ و همکاران (۲۰۲۲)، طی بررسی ارتقای کیفیت نان سنتی ایرانی با استفاده از خمیر ترش و بهینه‌سازی شرایط تخمیر کاهش سخت نان را موثر از غلظت خمیرترش، زمان و دمای تخمیر گزارش کردند (۳۲). اولوجده و همکاران (۲۰۲۱) نیز طی بررسی نان سورگوم تهیه شده از خمیر ترش لاکتیکی نشان دادند بافت نان‌های حاوی خمیر ترش به طور قابل توجهی نرم‌تر از نمونه کنترل بودند (۳۳).

^۱ Naji-Tabasi



شکل ۳- تأثیر زمان تخمیر و میزان خمیر ترش حاوی لاکتوباسیلوس پلاتناروم بر سفتی نان تست تهیه شده از آرد کامل گندم
 T_0° : نمونه شاهد (بدون خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلاتناروم) / T_1 : حاوی ۲/۵ درصد خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلاتناروم / T_2 : حاوی ۵ درصد خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلاتناروم
 * حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در تیمارهای مختلف در سطح ۰/۰۵ است.
 * حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در ساعت‌های مختلف در سطح ۰/۰۵ است.

۳-۲- بررسی نتایج شاخص‌های رنگی

بررسی تغییرات رنگ نان‌های تست تهیه شده در جدول ۳ نشان داده شده است. شاخص L^* معرف میزان روشنی نمونه و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است. بر اساس نتایج ارائه شده افزودن خمیر ترش بدست آمده از لاکتوباسیلوس پلاتناروم سبب افزایش معنادار شاخص روشنایی نان‌های تست شد ($p < 0.05$). اما تفاوت آماری معنادار بین تیمارهای حاوی درصد مختلف لاکتوباسیلوس پلاتناروم وجود نداشت ($p > 0.05$). کمترین میزان شاخص روشنایی در نمونه شاهد مشاهده شد ($p < 0.05$). افزایش میزان مؤلفه L^* پوسته نان، به دلیل ظرفیت بالای نگهداری آب توسط برخی ترکیبات تولیدشده ناشی از عمل آوری با خمیر ترش است. این دسته از ترکیبات با حفظ رطوبت و ممانعت از خروج آب در حین فرایند پخت، سبب کاهش تغییرات سطح پوسته نان می‌شوند که این امر می‌تواند در افزایش این روشنی محصول مؤثر باشد (۱۳). شاخص قرمزی (a^*) نشان دهنده رنگی بودن را در محور سبز (-) به قرمز (+) است. با توجه به نتایج (جدول ۳) خمیر ترش‌های تخمیر شده طی ۸ ساعت، تأثیر معناداری بر شاخص قرمزی نان‌های تست نداشتند ($p > 0.05$). اما افزایش زمان تخمیر از ۸ تا ۱۶ ساعت، سبب کاهش معنادار شاخص قرمزی نان‌های تست

شد ($p < 0.05$). شاخص زردی (b^*) نشان دهنده رنگی بودن را در محور آبی (-) به سبز (+) است. با توجه به نتایج (جدول ۳) افزودن خمیر ترش سبب کاهش معنادار شاخص زردی نان‌های تست شد ($p < 0.05$). اعتقاد بر این است که شرایط pH پایین ایجاد شده توسط فعالیت‌های باکتریایی و هیدرولیز مولکول‌های زنجیره بلند می‌تواند به تسریع واکنش میلارد کمک کند که منجر به تغییر در مقادیر قرمزی و زردی می‌شود (۴۴). کومولنیچ^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، طی بررسی تأثیر خمیر ترش لاکتیکی بدست آمده از *لاکتوباسیلوس برویس*، افزایش شاخص L^* ، b^* و کاهش شاخص a^* نمونه‌های نان تولید شده را نشان دادند (۲۷). هانیس سیازوانی^۲ و همکاران (۲۰۱۸)، نیز افزایش شاخص L^* ، b^* و کاهش شاخص a^* نمونه‌های نان برنج تولید شده با خمیر ترش را نشان دادند. این محققان علت کاهش شاخص قرمزی را به دلیل تأثیر مواد مختلف بر روی بافت نان گزارش کردند (۲۳).

جدول ۲- تأثیر زمان تخمیر و میزان خمیر ترش حاوی *لاکتوباسیلوس پلاتناروم* بر شاخص‌های رنگی نان تست تهیه شده از آرد کامل گندم

پارامتر	تیمارها	۸ ساعت تخمیر	۱۶ ساعت تخمیر	۲۴ ساعت تخمیر
a*	T0	۵۹/۶۱ ± ۰/۴۱ ^{Ab}	۵۹/۶۱ ± ۰/۴۱ ^{Ac}	۵۹/۶۱ ± ۰/۴۱ ^{Ab}
	T1	۶۰/۰۲ ± ۰/۲۲ ^{Aab}	۶۰/۶۶ ± ۰/۴۰ ^{Ab}	۶۱/۷۰ ± ۰/۰۹ ^{Aa}
	T2	۶۰/۶۰ ± ۰/۴۸ ^{Aa}	۶۱/۸۱ ± ۰/۳۱ ^{Aa}	۶۲/۱۶ ± ۰/۵۵ ^{Aa}
b*	T0	۶/۱۱ ± ۰/۴۴ ^{Aa}	۶/۱۱ ± ۰/۴۴ ^{Aa}	۶/۱۱ ± ۰/۴۴ ^{Aa}
	T1	۵/۷۷ ± ۰/۵۶ ^{Aa}	۴/۹۲ ± ۰/۸۲ ^{Ab}	۴/۵۶ ± ۰/۱۸ ^{Ab}
	T2	۵/۸۰ ± ۰/۲۳ ^{Aa}	۵/۰۶ ± ۰/۱۳ ^{Aab}	۴/۲۹ ± ۰/۱۹ ^{Ab}
L*	T0	۱۱/۴۰ ± ۰/۵۹ ^{Aa}	۱۱/۴۰ ± ۰/۵۹ ^{Aa}	۱۱/۴۰ ± ۰/۵۹ ^{Aa}
	T1	۱۱/۱۰ ± ۰/۴۰ ^{Aab}	۱۰/۴۰ ± ۰/۷۶ ^{Aab}	۹/۰۵ ± ۰/۶۵ ^{Ab}
	T2	۱۰/۲۶ ± ۰/۳۶ ^{Ab}	۹/۳۵ ± ۰/۱۶ ^{Ab}	۹/۲۲ ± ۱/۲۵ ^{Ab}

T0[°]: نمونه شاهد (بدون خمیر ترش حاصل از *لاکتوباسیلوس پلاتناروم*) / T1: حاوی ۲/۵ درصد خمیر ترش حاصل از *لاکتوباسیلوس پلاتناروم* / T2: حاوی ۵ درصد خمیر ترش حاصل از *لاکتوباسیلوس پلاتناروم*

[°] حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در هر ستون در سطح ۰/۰۵ است.
[°] حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده تفاوت معناداری در هر سطر در سطح ۰/۰۵ است.

¹ Komlenić

² Hanis-Syazwani

۳-۸- بررسی ارزیابی حسی

ارزیابی حسی یک روش پُر کاربرد برای ارزیابی پذیرش مصرف کننده است. مصرف کنندگان نسبت به بافت، طعم و عطر محصولات غذایی بسیار حساس هستند. تولید کنندگان ویژگی های حسی خاص را شناسایی می کنند تا در مورد بهبود محصولات و استراتژی های تبلیغاتی خود، انتخاب های آگاهانه انجام دهند. علاوه بر این، درک انسان از تفاوت در محصولات غذایی به خوبی تثبیت شده و تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله درک مزه فردی و مواجهه قبلی با محصول غذایی است (۴۶). با توجه به نتایج (شکل ۴-ا)، در ۸ ساعت تخمیر خمیر ترش، تفاوت معناداری در میزان امتیاز حسی طعم و مزه نمونه ها مشاهده شد ($p < 0.05$). طی ۱۶ ساعت تخمیر خمیر ترش سبب افزایش معنادار امتیاز حسی طعم و مزه نان های تست شد ($p < 0.05$). اما تفاوتی آماری معنادار بین ۲/۵ و ۵ درصد غلظت خمیر ترش مشاهده نشد ($p > 0.05$). مطابق نتایج ارائه شده در شکل ۴-ب، نتایج مشابهی روند طعم، بر عطر و بو نان های تست مشاهده گردید. در ۸ ساعت اول تخمیر خمیر ترش، تفاوت آماری معنادار بین تیمارها وجود نداشت ($p < 0.05$). با گذشت مدت زمان تخمیر افزایش امتیاز حسی عطر و بو نیز افزایش یافت ($p < 0.05$). با این حال، بین دو غلظت استفاده شده تفاوت آماری معنادار گزارش نگردید ($p > 0.05$). نتایج ارزیابی حسی رنگ (نمودار ۴-ج) و بافت (شکل ۴-د) نیز نشان داد افزودن خمیر ترش با ۸ ساعت تخمیر، سبب افزایش معنادار امتیاز حسی بافت و رنگ نان های تست شد ($p < 0.05$) اما تفاوت معناداری بین غلظت های مختلف خمیر ترش اضافه شده مشاهده نشد ($p > 0.05$). اما افزایش غلظت خمیر ترش تخمیر شده طی ۱۶ ساعت (از ۲/۵ به ۵ درصد خمیر ترش) سبب افزایش معنادار امتیاز حسی بافت و رنگ نان های تست شد ($p < 0.05$). با این حال مدت زمان تخمیر از ۱۶ تا ۲۴، تفاوت آماری معناداری بر این پارامترها نشان نداد ($p > 0.05$). بررسی پذیرش کلی نان های تست تهیه شده (شکل ۴-ه) نشان داد غلظت خمیر ترش و مدت زمان تخمیر آن تأثیر معنادار بر میزان ارزیابی حسی پذیرش کلی نان ها داشت ($p < 0.05$). افزایش غلظت خمیر ترش و مدت زمان تخمیر سبب مقبولیت کلی نان های تست شد ($p < 0.05$). با این حال بین ۱۶ و ۲۴ ساعت تخمیر تفاوت آماری معنادار نبود ($p > 0.05$) ولی نسبت به ۸ ساعت تخمیر، افزایش معناداری داشتند ($p < 0.05$). مطالعات نشان داده متغیرهای مختلفی وجود دارد مانند وجود میکروارگانیسم های متنوع، فرآیند تخمیر مشترک و تنوع فردی در ترجیح طعم که می توانند بر مشخصات رایحه تأثیر بگذارند (۴۶). افزایش مقبولیت امتیاز بافت را می توان به وجود باکتری های اسید لاکتیک در فرآیند تخمیر خمیر ترش نسبت داد که می تواند شبکه گلو تن را بهبود بخشد و ساختار خرده ای سفت تر و الاستیک تر با تخلخل بیشتر ایجاد کند (۱۴). همچنین عطر و طعم متفاوت مشاهده شده بین دو نمونه را می توان با تولید ترکیبات فرار مختلف در طول فرآیند تخمیر توضیح داد. به عنوان مثال، اسیدهای آلی مانند اسید

استیک و اسید لاکتیک می توانند به طعم ترش در نان کمک کنند. اسید استیک دارای عطری تند و سرکه مانند است، در حالی که اسید لاکتیک دارای عطر ملایم تر و خامه تر است. در همین حال، دی استیل که توسط باکتری های اسید لاکتیک در طی تخمیر تولید می شود، دارای عطر و طعم کره ای یا خامه ای است (۲۳). غلظت دی استیل در نان خمیر ترش بسته به شرایط تخمیر و میکروارگانیسم های موجود در استارتر خمیر ترش می تواند متفاوت باشد که می تواند به شدت بر مشخصات حسی کلی نان تأثیر بگذارد (۴۶). همراه با این نتایج، اولوجه و همکاران (۲۰۲۱) خصوصیات حسی نان سورگوم تهیه شده از خمیر ترش امتیاز بالاتری برای طعم، بافت، عطر و مقبولیت کلی نسبت به کنترل داشتند (۳۳).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

شکل ۴- نتایج ارزیابی حسی نان تست تهیه شده از آرد کامل گندم
(a): طعم و مزه / (b): عطر و بو / (c): رنگ / (d): بافت / (e): پذیرش کلی

۴- نتیجه گیری کلی

باتوجه به اثرات مثبت خمیر ترش بر کیفیت نان، در این مطالعه تأثیر خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم در دو غلظت ۲/۵ و ۵ درصد و مدت زمان تخمیر (۸، ۱۶ و ۲۴ ساعت) بر ویژگی های نان تست ارزیابی شد. نتایج افزایش محتوی رطوبتی با افزودن خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم را نشان داد. اما بین غلظت های مختلف لاکتوباسیلوس پلانتاروم اضافه شدن تأثیر آماری معنادار مشاهده نشد. افزایش اسیدیته و کاهش pH تیمارهای خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم به دلیل تولید اسیدهای آلی در نتیجه فعالیت آن گزارش شد. همانطور که انتظار می رفت افزایش غلظت لاکتوباسیلوس پلانتاروم تولید بیشتر اسیدهای آلی (کاهش pH) را به دنبال داشت. تفاوت آماری معنادار بین محتوی خاکستر نمونه های نان تست گزارش نشد. تولید نان های تست حاوی خمیر ترش با افزایش غلظت خمیر ترش، افزایش حجم مخصوص نان ها را نیز به دنبال داشت. در مقابل بررسی سختی بافت نمونه ها کاهش معنادار سختی بافت با افزودن خمیر ترش را نشان داد. طی آنالیز شاخص های رنگی، خمیر ترش سبب کاهش شاخص روشنایی، کاهش شاخص قرمزی و افزایش شاخص زردی شد. همچنین کاهش محتوی اسید فیتیک نمونه ها با افزودن خمیر ترش مشاهده شد. افزایش مدت زمان تخمیر از ۸ تا ۱۶ ساعت تفاوت آماری معنادار در کاهش محتوی اسید فیتیک نمونه ها را نشان داد. بطوریکه که خمیر ترش لاکتیکی در غلظت ۲/۵ و ۵ درصد لاکتوباسیلوس پلانتاروم طی ۱۶ ساعت به ترتیب ۲۷/۶۰ و ۳۰/۷۲ درصد میزان اسید فیتیک را کاهش دادند. با این حال کاهش محتوی اسید فیتیک از ۱۶ ساعت تا ۲۴ ساعت تخمیر تفاوت آماری معنادار نشان نداد. بررسی ارزیابی حسی نمونه ها، بهبود پارامترهای کیفیتی (طعم و مزه، عطر و بو، رنگ، بافت و پذیرش کلی) نان های تست را نشان داد. بالاترین امتیاز حسی طی ۱۶ ساعت تخمیر مشاهده شد که تفاوت آماری معنادار با ۸ ساعت تخمیر داشت. طی ۲۴ ساعت تخمیر خمیر ترش بهبود ویژگی های کیفیتی و حسی نان های تست را نشان داد. اما تفاوت معنادار با تیمارهای اندازه گیری شده طی ۱۶ ساعت نداشتند. با توجه به نتایج به دست آمده، می توان نمونه T₂ حاوی ۵ درصد خمیر ترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم طی ۱۶ ساعت تخمیر را به عنوان تیمار برتر جهت بهبود ویژگی های کیفیتی، حسی و کاهش محتوی اسید فیتیک نان های تست آرد کامل معرفی نمود.

منابع

۱. پیغمبر دوست س ه، رئیسی کاهوری ن، عیوض زاده ا. اثر خمیر ترش خشک شده حاوی مخلوط گونه‌های لاکتوباسیلوس بر کیفیت آرد گندم و خواص رئولوژیکی خمیر. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۱۳۹۳، ۲۴ (۴): ۶۲۴-۶۱۳.
۲. دیدار ز، سیدین اردبیلی س م، میزانی م، حداد خداپرست، م ح، قائمی ع ر. مقایسه استفاده از انواع مختلف خمیر ترش در میزان اسید فیتیک نان سنتی ایران (لواش). نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی / ایران، ۱۳۸۷، ۴ (۲): ۱۹-۳۱.
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.v4i2.2079>
۳. زارع گاجی س، نقی‌پور ف، غیائی طرزی ب. ررسی امکان بهبود خصوصیات کمی و کیفی نان تست با استفاده از خمیر ترش تهیه شده از نوشیدنی کامبوجا و شیر سویا و آغازگرهای لاکتوباسیلوس پلانتاروم و لاکتوباسیلوس فرمنتوم. نشریه علوم غذایی و تغذیه، ۱۴۰۰، ۱۱۴ (۱۸): ۲۰۹-۲۲۳.
<http://fsct.modares.ac.ir/article-7-48292-fa.html>
۴. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. بیسکویت - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. استاندارد ملی ایران شماره ۳۷. ۱۳۹۷ تجدید نظر هشتم.
5. AACC, 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
6. AOAC. 2002. Official Method of Analysis of AOAC Intl. 17th ed. Method 925.09, 923.87, 969.32, 986.11. Association of Official Analytical Communities, Horwitz W, MD, USA.
7. Abedfar A, Sadeghi A. Response surface methodology for investigating the effects of sourdough fermentation conditions on Iranian cup bread properties, *Heliyon*. 2019, 5(10).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02608>.
8. Akbari N, Asadi H, Asadi A H. Use of sourdough lactobacillus plantarum (ATCC 43332) to improve the quality and shelf life of toast soy bread. *European Journal of Experimental Biology*. 2013, 3(1), pp.460-466.
9. Alkay Z, Kilmanoglu H, Durak M Z. Prevention of sourdough bread mould spoliage by antifungal lactic acid bacteria fermentation, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 2020, (18): pp.379-388.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-14687-4>.
10. Arendt E K, Ryan LA, Dal Bello F. Impact of sourdough on the texture of bread, *Food microbiology*. 24(2), pp.165-174. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.011>.
11. Avezum L, Rondet E, Mestres C, Achir N, Madode Y, Gibert O, Lefevre C, Hemery Y, Verdeil J L, Rajjou L. Improving the nutritional quality of pulses via germination, *Food Reviews International*. 2023, 39(9), pp.6011-6044. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2063329>.

12. Benincasa P, Falcinelli B, Lutts S, Stagnari F, Galieni A. Sprouted grains: a comprehensive review, *Nutrients*. 2019, 11 (2): 1–29. <https://doi.org/10.3390/nu11020421>.
13. Cauvain S P. 2007. *Technology of breadmaking*. Springer, pp.285-286. <https://doi.org/10.31590/ejosat.646043>
14. Clement H, Prost C, Rannou C, Chiron H, Bonnand-Ducasse M, Courcoux P, Onno B. Can instrumental characterization help predicting sour taste perception of wheat sourdough bread, *Food Research International*. 2020, 133, p.109159. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109159>.
15. Dapčević-Hadnađev T, Stupar A, Stevanović D, Škrobot D, Maravić N, Tomić J, Hadnađev, M. Ancient wheat varieties and sourdough fermentation as a tool to increase bioaccessibility of phenolics and antioxidant capacity of bread. *Foods*. 2022, 11(24), p.3985. <https://doi.org/10.3390/foods11243985>.
16. Demirkesen-Bicak H, Arici M, Yaman M, Karasu S, Sagdic O. Effect of different fermentation condition on estimated glycemic index, in vitro starch digestibility, and textural and sensory properties of sourdough bread. *Foods*. 2021, 10(3), p.514. <https://doi.org/10.3390/foods10030514>.
17. Didar Z, Haddad K M Effect of different lactic acid bacteria on phytic acid content and quality of whole wheat toast bread. *Journal of Food Biosciences and Technology*. 2011, 2011(1), 1-10.
18. Fang L, Wang W, Dou Z, Chen J, Meng Y, Cai L, Li Y. Effects of mixed fermentation of different lactic acid bacteria and yeast on phytic acid degradation and flavor compounds in sourdough. *LWT*. 2023, 174, p.114438. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114438>.
19. Faraji A, Moshashie S A, Keshani M. Effect of sourdough on physicochemical, textural and sensory properties of toast bread containing rhy flour. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*. 2017, 9(3), pp.119-128.
20. Fekri A, Torbati M, Khosrowshahi, A Y, Shamloo H B, Azadmard-Damirchi S. Functional effects of phytate-degrading, probiotic lactic acid bacteria and yeast strains isolated from Iranian traditional sourdough on the technological and nutritional properties of whole wheat bread. *Food chemistry*. 2020, 306, p.125620. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125620>.
21. García-Mantrana I, Yebra M J, Haros M, Monedero V. Expression of bifidobacterial phytases in *Lactobacillus casei* and their application in a food model of whole-grain sourdough bread. *International Journal of Food Microbiology*. 2016, 216, pp.18-24. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.09.003>
22. Habibi Najafi M B, Pourfarzad A, Zahedi H, Ahmadian-Kouchaksaraie Z, Haddad Khodaparast M H. Development of sourdough fermented date seed for improving the quality and shelf life of flat bread: study with univariate and multivariate analyses. *Journal of food science and technology*. 2016, 53, pp.209-220. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1956-3>.

23. Hanis-Syazwani M, Bolarinwa I F, Lasekan O, Muhammad K. 2018, Influence of starter culture on the physicochemical properties of rice bran sourdough and physical quality of sourdough bread, *Food Res*, 2(4), pp.340-349. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.2\(4\).045](https://doi.org/10.26656/fr.2017.2(4).045).
24. Kati K, Kaisa P, Karin A. Influence and interactions of processing conditions and starter culture on formation of acids, volatile compounds, and amino acids in wheat sourdoughs. *Cereal Chemistry*. 2004, 81(5), pp.598-610. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.5.598>
25. Kemp S E, Hollowood T, Hort J. 2011, *Sensory evaluation: a practical handbook*, John Wiley & Sons.
26. Kim J H, Maeda T, Morita N. Application of polished graded wheat grains for sourdough bread. *Cereal chemistry*. 2005, 82(2), pp.144-151. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0144>
27. Komlenić D K, Ugarčić-Hardi Ž, Jukić M, Planinić M, Bucić-Kojić A, Strelec I. Wheat dough rheology and bread quality effected by *Lactobacillus brevis* preferment, dry sourdough and lactic acid addition. *International journal of food science & technology*. 2010, 45(7), pp.1417-1425. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02282.x>.
28. Lacaze G, Wick M, Cappelle S. Emerging fermentation technologies: development of novel sourdoughs. *Food Microbiology*. 2007, 24(2), pp.155-160. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.015>.
29. Mantzourani I, Plessas S, Odatzidou M, Alexopoulos A, Galanis A, Bezirtzoglou E, Bekatorou A. Effect of a novel *Lactobacillus paracasei* starter on sourdough bread quality. *Food chemistry*. 2019, 271, pp.259-265. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.183>.
30. Montemurro M, Celano G, De Angelis M, Gobbetti M, Rizzello C G, Pontonio E. Selection of non-*Lactobacillus* strains to be used as starters for sourdough fermentation. *Food microbiology*. 2020, 90, p.103491. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103491>.
31. Najafi M A, Rezaei K, Safari M, Razavi S H. Use of sourdough to reduce phytic acid and improve zinc bioavailability of a traditional flat bread (sangak) from Iran. *Food Science and Biotechnology*. 2012, 21, pp.51-57. <https://doi.org/10.1007/s10068-012-0007-3>.
32. Naji-Tabasi S, Shahidi-Noghabi M, Hosseini-ninezhad, M. Improving the quality of traditional Iranian bread by using sourdough and optimizing the fermentation conditions. *SN Applied Sciences*. 2022, 4(5), p.148. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05034-8>.
33. Olojede A O, Sanni A I, Banwo K. Rheological, textural and nutritional properties of gluten-free sourdough made with functionally important lactic acid bacteria and yeast from Nigerian sorghum. *LWT*. 2019, 120, p.108875. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108875>.
34. Parakhina O, Kuznetsova L, Savkina O, Lokachuk M, Kostyuchenko M, Pavlovskaya E, Gavrilova T. Development of gluten-free bread biotechnology using fermented scald. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 64, p. 01009). 2023. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236401009>.

35. Rinaldi M, Paciulli M, Caligiani A, Scazzina F, Chiavaro E. Sourdough fermentation and chestnut flour in gluten-free bread: A shelf-life evaluation. *Food chemistry*. 2017, 224, pp.144-152. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.055>
36. Schlörmann W, Bockwoldt J A, Hübner S M, Wittwer E, Reiners S, Lorkowski S, Dawczynski C, Ehrmann M A, Glei M. Use of the β -Glucan-Producing Lactic Acid Bacteria Strains *Levilactobacillus brevis* and *Pediococcus claussenii* for Sourdough Fermentation—Chemical Characterization and Chemopreventive Potential of In Situ-Enriched Wheat and Rye Sourdoughs and Breads. *Nutrients*. 2022, 14(7), p.1510. <https://doi.org/10.3390/nu14071510>.
37. Şerban L R, Păucean A, Man S M, Chiş M S, Mureşan V. Ancient wheat species: Biochemical profile and impact on sourdough bread characteristics—A review. *Processes*. 2021, 9(11), p.2008. <https://doi.org/10.3390/pr9112008>.
38. Simsek M, Süfer Ö. Olive pomace from olive oil processing as partial flour substitute in breadsticks: Bioactive, textural, sensorial and nutritional properties. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022, 46(6), p.e15705. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15705>.
39. Torrieri E, Pepe O, Ventorino V, Masi P, Cavella S. Effect of sourdough at different concentrations on quality and shelf life of bread. *LWT-Food Science and Technology*. 2014, 56(2), pp.508-516. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.005>.
40. Troadec R, Regnault S, Nestora S, Jacolot P, Niquet-Léridon C, Anton P M, Jouquand C. Effect of fermentation conditions of bread dough on the sensory and nutritional properties of French bread. *European Food Research and Technology*. 2023, pp.1-14. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04325-7>
41. Van Kerrebroeck S, Comasio A, Harth H, De Vuyst L. Impact of starter culture, ingredients, and flour type on sourdough bread volatiles as monitored by selected ion flow tube-mass spectrometry. *Food Research International*. 2018, 106, 254-262. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.068>.
42. Wang Y, Trani A, Knaapila A, Hietala S, Coda R, Katina K, Maina, N H. The effect of in situ produced dextran on flavour and texture perception of wholegrain sorghum bread. *Food Hydrocolloids*. 2020, 106, p.105913. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105913>.
43. Yingkuan W. Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2009, 2(1), p.79.
44. Zhang L, Taal M A, Boom R M, Chen X D, Schutyser A. Effect of baking conditions and storage on the viability of *Lactobacillus plantarum* supplemented to bread. *LWT*. 2018, 87, pp.318-325. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.09.005>.
45. Zhang J, Hu Y, Wang S, Liu Y, Li L, Gao M. Non-targeted metabolomics analyze dough fermented by *S. cerevisiae* and *L. plantarum* to reveal the formation of flavor substances of bread. *LWT*. 2023, 176, p.114538. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114538>.

46. Zhang Y, Momoisea P, Lin Q, Liang J, Burrow K, Serventi L. Evaluation of Sensory and Physicochemical Characteristics of Vitamin B12 Enriched Whole-Meal Sourdough Bread Fermented with *Propionibacterium freudenreichii*. Sustainability. 2023, 15(10), p.8157. <https://doi.org/10.3390/su15108157>.

Investigating the Effect of Amount and Time of Fermentation of Sourdough Prepared by *Lactobacillus plantarum* on the Amount of Phytic acid, Physicochemical and Sensory Properties of Whole Wheat Toast Bread

Iman Liaghati¹, Zahra BeigMohammadi^{*1}, Alireza Faraji²

1. Department of Food Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Department of Organic Chemistry, Faculty of Pharmaceutical Chemistry, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

This study aimed at the amount and time of sourdough fermentation produced by *Lactobacillus plantarum* bacteria on the amount of phytic acid and physicochemical and sensory characteristics of whole wheat toast. After the sourdough preparing, the treatments were prepared in three groups: T₀: control sample (without sourdough), T₁: containing 2.5% sourdough and T₂: containing 5% sourdough. Then They were fermented for 8, 16 and 24 h. The result showed an improvement in the physicochemical characteristics (moisture, pH and acidity) of toasts containing sourdough ($p < 0.05$). However, the addition of sourdough and fermentation time does not significantly effect on the sample ash content ($p > 0.05$). By sourdough added and fermentation time after 8th h, the L* value was significantly increased. But the a* and b* values were decreased ($p < 0.05$). The improvement of quality parameters (taste, aroma, color, texture and overall acceptance) of toast with sourdough and fermentation time was reported ($p < 0.05$). The highest sensory score was observed in 16 h fermentation (no statistical difference with 24 h fermentation) ($p < 0.05$). Therefore, it can conclude that by using *Lactobacillus plantarum* sourdough and increasing the fermentation time up to 16 hours, toast bread with better quality properties produced compared to the control.

Keywords: phytic acid, sourdough, fermentation time, *Lactobacillus plantarum*, toast,

^{1*} Corresponding Author: Beigmohammadi.zahra@gmail.com & Z.Beigmohammadi@iau-tnb.ac.ir