نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی
جلد هشتم، شماره یکم، ۹۵
۱-۲۲
http://ejfpp.gau.ac.ir

تاثیر تخمیر کنترل شده *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بر ویژگی‌های کیفی و بیاتی نان گندم نیمه‌حجیم

عباس عابدفر[۱]، *علیرضا صادقی[۲]، مهدی کاشانی‌نژاد[۳]، مرتضی خمیری[۴] و مهران اعلمی[۴]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان ایران.

[۲]استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان ایران

[۳]استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان ایران

[۴]دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: خمیرترش یک سیستم بیولوژیکی بسیار پیچیده است که اساس تشکیل آن همزیستی بین فلور میکروبی آرد و کشت‌های تجاری لاکتوباسیلی می‌باشد که به عنوان آغازگر اختصاصی و به‌دلایل خاصی نظیر بهبود آروما، طعم، زمان ماندگاری، ارزش تغذیه‌ای و یا حتی ایجاد خواص سلامتی‌بخش در فرایند تخمیر نان مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسیاری از خواص سودمند خمیرترش توسط فعالیت اسیدی شدن آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* غالب تعیین می‌شود. خمیرترش با کاهش میزان ترکیبات گلایسمیک، افزایش میزان و پایداری ترکیبات زیست‌فعال، کاهش میزان ترکیبات مضر، افزایش جذب املاح و همچنین افزایش تخلخل و قابلیت هضم محصولات تولیدی سبب بهبود ارزش تغذیه‌ای آن‌ها نیز می‌شود. استفاده از خمیرترش در آرد کامل غلات که از فیبرهای رژیمی غنی هستند، سبب توزیع یکنواخت‌تر حبابچه‌های هوا، اصلاح رئولوژی، افزایش حجم و ایجاد بافت مطلوب‌تر و در نهایت افزایش جذابیت محصول به عنوان یک فراورده رژیمی می‌گردد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش با هدف بررسی تاثیر تخمیر کنترل شده *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بر ویژگی‌های کیفی و بیاتی نان گندم نیمه‌حجیم به اجرا در آمد. بدین‌منظور، تاثیر زمان تخمیر (۸، ۱۶، ۲۴ ساعت) و مقدار

*نویسنده مسئول: fadsadeghi@yahoo.com

شکر (۰/۵، ۱، ۱/۵ درصد) بر فعالیت آغازگر اختصاصی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در تخمیر خمیرترش حاصل از آرد گندم (با درصد استخراج ۷۶) در قالب طرح آماری کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از فرآوری نان گندم نیمه‌حجیم با استفاده از تیمارهای خمیرترش، بیاتی نان‌های تولیدی در یک بازه زمانی چهار روزه بر اساس شاخص‌های حجم مخصوص، سفتی بافت (بافت‌سنجی) و میزان تخلخل (پردازش تصویر) بررسی شد.

یافته‌ها: براساس نتایج حاصل، سطوح مختلف زمان تخمیر و درصد شکر، تاثیر معنی‌داری (P≤۰/۰۵) بر میزان تغییرات اسیدیته قابل تیتر خمیرترش داشتند و در بین نمونه‌های نان تولیدی، کمترین میزان حجم مخصوص و بیشترین مقدار سفتی بافت نان نیز مربوط به نمونه فرآوری شده با خمیرترش طی تخمیر ۱۶ ساعت و غلظت ۱ درصد شکر پس از ۹۶ ساعت نگهداری بود. همچنین بیشترین مقدار حجم مخصوص و کمترین میزان سفتی بافت نیز در نان فرآوری شده با خمیرترش طی تخمیر ۸ ساعت و غلظت ۰/۵ درصد شکر پس از ۲ ساعت نگهداری (تازه‌خوری) مشاهده گردید. بیشترین مقدار تخلخل و بیشترین امتیاز ارزیابی کیفی (آزمون چشایی) نیز به‌ترتیب به نمونه‌های حاصل از ۱۶و ۲۴ ساعت تخمیر و محتوی ۱/۵ درصد شکر تعلق گرفت.

نتیجه‌گیری: بر این اساس، تولید نان خمیرترشی با ماندگاری بیشتر و خصوصیات حسّی مطلوب‌تر، مستلزم کنترل موثر فعالیت آغازگر میکروبی و عوامل موثر بر تخمیر آن است.

واژه‌های کلیدی: تخلخل، حجم مخصوص، نان گندم نیمه‌حجیم، *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*.

مقدمه

نان، غذای اصلی مردم بسیاری از کشورهای جهان را تشکیل می‌دهد و به‌طور متوسط در ایران حدود ۶۵-۶۰ درصد از کالری و پروتئین، ۳-۲ گرم از املاح معدنی و قسمت اعظم نمک طعام مورد نیاز روزانه از طریق خوردن آن تامین می‌گردد (۳۳). نان گندم نیمه‌حجیم به عنوان نان غالب تولیدی در کشور، دارای بافتی متخلخل، اسفنجی و یکنواخت بوده و ضخامت آن بین ۲/۵ تا ۵ سانتی‌متر می‌باشد (۲۹). یکی از معضلات اساسی در کاهش کیفیت نان، بیاتی آن است که بر اثر تغییرات فیزیکوشیمیایی در پوسته و مغز نان، رخ داده و باعث کاهش پذیرش مصرف کنندگان می‌گردد (۵ و ۲۳). یک راهکار موثر برای کاهش بیاتی و افزایش زمان ماندگاری نان، استفاده از تخمیر خمیرترش دارای کشت‌های آغازگر اختصاصی است (۱۰ و ۱۲). عمده‌ترین باکتری‌های اسید لاکتیک جدا شده از خمیرترش به جنس *لاکتوباسیلوس* تعلق دارند. این میکروارگانیسم‌ها، خصوصیات نان از جمله حجم، ویژگی‌های پوسته، دانه‌بندی و رنگ مغز نان، طعم، آروما و بافت آن را بهبود داده و با جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌های مولّد فساد باعث افزایش زمان ماندگاری نان می‌شوند (۱۹ و ۲۷). تاثیر خمیرترش در به تاخیر انداختن بیاتی اصولا به واسطه بهبود حجم و افزایش نرمی بافت نان است. خمیرترش با تنظیم فعالیت آنزیمی آرد، میزان هیدرولیز نشاسته را تغییر داده و در نهایت باعث کاهش بلوری شدن نشاسته و کاهش بیاتی نان می‌گردد (۲۳). برخی از متابولیت‌های تولیدی توسط باکتری‌های اسید لاکتیک موجود در خمیرترش نظیر پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی و آنزیم‌های پروتئولیتیک و آمیلولیتیک آن‌ها نیز در تاخیر بیاتی نان تولیدی موثر هستند (۱۴ و ۲۴). در مطالعه کرستی و همکاران (۲۰۰۰)، نان حاصل از تخمیر خمیرترش به واسطه pH پایین و نسبت اسید لاکتیک به اسید استیک بالا در مقایسه با نمونه شاهد، حجم بیشتر و میزان بیاتی کمتری را در طول نگهداری از خود نشان داد (۱۳). گول و همکاران (۲۰۰۵)، پس از جداسازی باکتری‌های اسید لاکتیک غالب موجود در نمونه‌های خمیرترش، اثرات متقابل این باکتری‌ها و مخمر نانوایی را ارزیابی کردند. بر این اساس، نان‌های تهیه شده با ۱/۵ درصد *لاکتوباسیلوس آمیلوفیلوس* و ۱/۵ درصد *ساکارومایسس سرویزیه* بیشترین تاثیر را بر خصوصیات رئولوژیکی نان داشتند (۲۰). رابرت و همکاران (۲۰۰۶)، نیز ویژگی‌های اسیدی شدن، فعالیت متابولیکی و عملکرد چهار آغازگر لیوفیلیزه *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و *لویکونوستک* را طی فرایند تولید نان از خمیرترش گندم با افزودن ۰/۲ درصد مخمر نانوایی مورد بررسی قرار دادند. بررسی تخمیر هم‌زمان خمیرترش توسط این میکروارگانیسم‌ها نشان داد که در

حضور باکتری‌های اسید لاکتیک، اتانل کمتر و گلیسرول بیشتری تولید می‌شود در حالی که در حضور *ساکارومایسس سرویزیه*، تولید مانیتول و اسید استیک بدون تاثیر بر تعداد نهایی باکتری‌های اسید لاکتیک افزایش می‌یابد (۳۴). پلیسس و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی عملکرد باکتری‌های *کلویوروماییسس مارکسیانو*، *لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس* (ATCC, ۱۱۸۴۲) و *لاکتوباسیلوس هلوتیکوس* (ATCC, ۱۵۰۰۹). به‌عنوان کشت آغازگر تولید نان خمیرترشی دریافتند که با استفاده از کشت‌های مخلوط، اسیدیته قابل تیتر بالاتری در مقایسه با نان‌های سنّتی حاصل از تخمیرهای کنترل نشده مشاهده می‌گردد (۳۲). صادقی و همکاران (۲۰۰۷ و ۲۰۰۸)، تاثیر استفاده از خمیرترش دارای کشت‌های آغازگر اختصاصی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و *لاکتوباسیلوس سانفرانسینسیس* را بر زمان ماندگاری میکروبی و خواص حسی و همچنین کاهش بیاتی در نان بربری به‌عنوان تابعی از شرایط تخمیر (دما، زمان و نوع کشت آغازگر) مورد مطالعه قرار داده‌اند. این محققین دریافتند که در فاصله زمانی ۷۲ ساعت پس از پخت، نان فرآوری شده با *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در دمای تخمیر۳۲ درجه سانتی‌گراد و زمان تخمیر ۲۴ ساعت بیشترین مقدار افزایش حجم و کمترین میزان بیاتی را دارا بود (۳۶ و ۳۷). سرافراز و همکاران (۲۰۰۷)، نیز به بررسی خصوصیات اسیدی شدن کشت‌های آغازگر مختلف در تخمیر خمیرترش مایع و انتخاب مایع تلقیح مناسب بر اساس خصوصیات کیفی و ماندگاری نان تولیدی پرداختند. پژوهشگران مذکور دریافتند که مایع تلقیح حاوی *لاکتوباسیلوس کازئی*، *لاکتوباسیلوس فرمنتوم* و *ساکارومایسس سرویزیه* در مقایسه با نمونه شاهد باعث افزایش سرعت اسیدی شدن در خمیرترش مایع و همچنین افزایش حجم مخصوص نان می‌گردد اما بیاتی این نان در مقایسه با نان حاصل از آغازگرهای *لاکتوباسیلوس کازئی* و *ساکارومایسس سرویزیه* سریع‌تر اتفاق می‌افتد (۳۸). پیغمبردوست و همکاران (۲۰۱۰) نیز به مقایسه اثرات خمیرترش خشک و تازه حاوی آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و *لاکتوباسیلوس روتری* بر ویژگی‌های حسی و بیاتی نان قالبی پرداختند. بر اساس نتایج این پژوهش، نان حاصل از خمیرترش خشک حاوی *لاکتوباسیلوس روتری*، بیشترین حجم و مطلوب‌ترین صفات حسی را در مقایسه با نان تهیه شده توسط *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* دارا بود. همچنین کمترین میزان سفتی مغز نان در نمونه حاصل از خمیرترش تازه و خشک حاوی *لاکتوباسیلوس روتری* نسبت به نمونه‌های دیگر مشاهده شد (۳۱).

خراسانچی و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی استفاده از *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* (ATCC, ۱۰۵۸) و *لاکتوباسیلوس روتری* (ATCC, ۱۶۵۵) به‌عنوان آغازگر غالب در تهیه خمیرترش پرداختند. براساس نتایج به‌دست آمده، استفاده از خمیرترش حاوی *لاکتوباسیلوس روتری* باعث تولید نانی با خصوصیات حسی بهتر، نرخ بیاتی پایین‌تر و زمان ماندگاری بالاتر نسبت به نان تهیه شده توسط *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* شد (۲۶).

هدف اصلی از انجام این پژوهش، بررسی تاثیر استفاده از آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و کنترل شرایط موثر بر تخمیر آن نظیر زمان تخمیر (در محدوده ۸ تا ۲۴ساعت)، غلظت شکر (در محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ درصد) و ترکیبات تشکیل دهنده آرد جهت فرآوری نان گندم نیمه‌حجیم و همچنین ارزیابی تاثیر این عوامل بر ویژگی‌های حسی و شاخص‌های بیاتی نان تولیدی بود.

مواد و روش‌ها

مواد خام: آرد گندم مورد استفاده در این پژوهش از کارخانه آرد زاهدی واقع در استان گلستان، بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۰۰۲ به شماره (۵۸۰۹) تهیه شد (۴۰). آرد مصرفی با ۷۶ درصد استخراج، دارای ۱۳/۸۰ درصد رطوبت،۱۰/۹۰ درصد پروتئین، ۲۸/۸۵ درصد گلوتن مرطوب، اسیدیته ۲/۴ و همچنین دارای ۰/۷۵ درصد خاکستر (بر اساس وزن خشک) بود. این مقادیر بر اساس روش‌های مدون (AACC، ۲۰۱۰: روش‌های آزمون ۱۹-۴۴ رطوبت، ۱۰-۴۶ پروتئین، ۱۲-۳۸ گلوتن، ۰۱-۰۸ خاکستر) تعیین گردید (۱). مخمر خشک فعال *ساکارومایسس سرویزیه* از شرکت ایران ملاس فریمان تهیه شد. محیط کشت‌های مصرفی شامل MRS براث[1]، MRS آگار[2] و نوترینت براث[3] از شرکت‌های مرک آلمان و های‌مدیا هندوستان تهیه شدند. مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش نیز از شرکت مرک آلمان تهیه گردیدند.

تامین کشت آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*: *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* مورد استفاده در این پژوهش از تک پرگنه کشت خطی جدایه‌های سوسپانسیون میکروبی خمیرترش حاصل از آرد نان سنگک که با توالی‌یابی محصولات PCR دارای پرایمر اختصاصی تایید شناسایی گردیده بود، تامین شد (۳۵).

1. DeMan, Rogosa, Sharpe Broth (MRS Broth)
2. DeMan, Rogosa, Sharpe Agar (MRS Agar)
3. Nutrient Broth

تهیه خمیرترش با استفاده ازکشت آغازگر اختصاصی: برای تهیه خمیرترش با آغازگر اختصاصی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*، باکتری مذکور در محیط کشت MRS Broth در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت تا ایجاد $۱۰^{۸}$ واحد تشکیل دهنده پرگنه در گرم (در مقایسه با لوله ۰/۵ مک فارلند) کشت داده شد. سپس سلول‌های تازه میکروبی، با سانتریفوژ زیست‌توده تولیدی در ۵۰۰۰g (هانیل، Combi 514R، کره جنوبی)، ۴ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۱۵ دقیقه از محیط کشت جدا گردید (۱۵). در ادامه برای تهیه خمیرترش، نسبت یکسان از آب و آرد با *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* مخلوط شد و تحت تاثیر زمان‌های مختلف (۸ ، ۱۶ و ۲۴ ساعت) و همچنین غلظت‌های متفاوت شکر (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد)، تخمیر گردید. دمای تخمیر خمیرترش، معادل دمای بهینه فعالیت *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* (۲۸ درجه سانتی‌گراد) در نظر گرفته شد (۹، ۱۶ و ۳۰).

ارزیابی میزان اسیدیته قابل تیتر خمیرترش: برای تعیین اسیدیته قابل تیتر خمیرترش (بر حسب اسید لاکتیک)، معادل ۱۰ گرم از خمیرترش مورد نظر با ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر، مخلوط و یکنواخت شد. سپس محلول مذکور توسط سود با نرمالیته ۰/۱ تا pH معادل ۸/۵ تیتر شد و اسیدیته بر حسب میلی‌لیتر سود مصرفی محاسبه گردید (۲۳).

تهیه نان فاقد خمیرترش (شاهد): برای تهیه نان شاهد از مخلوط آرد، آب و ۱/۵ درصد وزنی از مخمر خشک فعال حاوی *ساکارومایسس سرویزیه* استفاده شد. میزان آب مورد نیاز معادل ۵۵ درصد و همچنین شرایط مخلوط کردن برای تهیه خمیر نان گندم نیمه‌حجیم با استفاده از فارینوگراف (برابندر، انگلستان) تعیین گردید. خمیر نان شاهد، فاقد خمیر ترش بود و مرحله نخست تخمیر این مخلوط در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه و تخمیر نهایی آن پس از تقسیم کردن به قطعات ۱۵۰ گرمی در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ دقیقه صورت پذیرفت. سپس نمونه‌های تولیدی در دمای ۵±۲۴۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۸ دقیقه در فر پخت (مدل Leisure، ایتالیا)، پخته شدند (۳۰).

تهیه نان با استفاده از خمیرترش‌های تولیدی: برای تهیه نان خمیرترشی، نسبت ۲۵ درصد وزنی از خمیرترش به خمیر مشابه نمونه شاهد افزوده شده و سپس تحت شرایط یکسان تخمیر و پخت با نمونه شاهد، فرآوری گردید. مقدار خمیر ترش مذکور قبل از تخمیر نهایی به خمیر افزوده شد (۱۵ و ۲۵).

اندازه‌گیری حجم مخصوص نان: حجم مخصوص نان‌های تولیدی در فواصل زمانی ۲، ۴۸ و۹۶ ساعت پس از پخت، به طور جداگانه و در شرایط معین (درون بسته‌های استریل پلی‌اتیلنی درب‌دار و دمای گرمخانه‌گذاری ۲۸ درجه سانتی‌گراد (مدل بهداد، ایران) به روش جابجایی دانه کلزا (بر اساس استاندارد A-A-20126E METRIC) تعیین و با نمونه شاهد مقایسه گردید. نمونه‌های مورد استفاده دارای وزن یکسان بوده و از مرکز هندسی نان تهیه شدند (۲۳).

ارزیابی سفتی بافت مغز نان: بدین منظور ابتدا قطعات مستطیلی شکل با ضخامت ۲±۲۰ میلی‌متر از مرکز هندسی نان تهیه شد. سپس با استفاده از دستگاه بافت سنج (مدل TAXT Plus Stable Micro System، انگلستان)، نیروی لازم جهت ایجاد ۵۰ درصد فشردگی در ضخامت اولیه به‌عنوان سفتی بافت مغز نان اندازه‌گیری گردید. سرعت پروب مورد استفاده در آزمون تراکمی ۱ میلی‌متر در ثانیه و نقطه شروع ۵۰ گرم بود. برای هر نمونه نان، آزمون مذکور با سه تکرار در دمای اتاق انجام گردید. حداکثر نیروی لازم برای نفوذ پروب در نمونه، به‌عنوان سفتی پوسته نان در نظر گرفته شد. سپس با رسم منحنی نیرو –فاصله، نیروی متناظر با نصف ضخامت نمونه به‌عنوان نیروی لازم برای پنجاه درصد فشردگی که بیانگر سفتی مغز نان است تعیین گردید. در نهایت سفتی بافت مغز نان در تناوب‌های زمانی ۲، ۴۸ و ۹۶ ساعت پس از پخت برای تخمین بیاتی مغز نان مورد ارزیابی قرار گرفت (۱۲ و ۲۵).

اندازه‌گیری میزان تخلخل مغز نان: برای ارزیابی میزان تخلخل مغز نان در فواصل زمانی ۲، ۴۸ و۹۶ ساعت پس از پخت، از تکنیک پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور برشی به ابعاد ۲ در ۲ سانتی‌متر از مغز نان تهیه گردید و به‌وسیله اسکنر (مدل Scanject, 3110 چین) با وضوح ۳۰۰ پیکسل، تصویربرداری شد. سپس تصویر تهیه شده در اختیار نرم افزار ایمج جی[1] قرارگرفت. تصاویر موجود در این نرم افزار، مجموعه‌ای از نقاط تاریک و روشن است که با محاسبه نسبت نقاط روشن به تاریک به‌عنوان شاخصی از میزان تخلخل در نمونه‌ها برآورد می‌گردد (۲۲).

ارزیابی خصوصیات حسی نان‌های تولیدی: خصوصیات حسی نان‌های تولیدی از طریق آزمون چشایی بر اساس روش انجمن رسمی شیمی‌دانان کشاورزی[2] (۲۰۰۳، آزمون شماره ۰۹-۷۴) ارزیابی شد. ده داور از بین افراد آموزش دیده، خصوصیات نان‌های تولیدی را جهت تعیین میزان پذیرش کلی،

1. Image J
2. Association of official agricultural chemists (AOAC)

رنگ پوسته نان، قابلیت جویدن، سفتی بافت، طعم اسیدی، تخلخل و خاصیت ارتجاعی بر مبنای مقیاس ۵-۱ (۱ کمترین و ۵ بالاترین امتیاز) ارزیابی کردند و در نهایت با اعمال ضریب ارزشیابی برای هر صفت، پذیرش کلّی کیفیت نان با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید (۲۴).

رابطه ۱: $\sum (P \times G) / \sum (P)$

Q= پذیرش کلی (عدد کیفیت نان)، P= ضریب رتبه صفات و G= ضریب ارزیابی صفات.

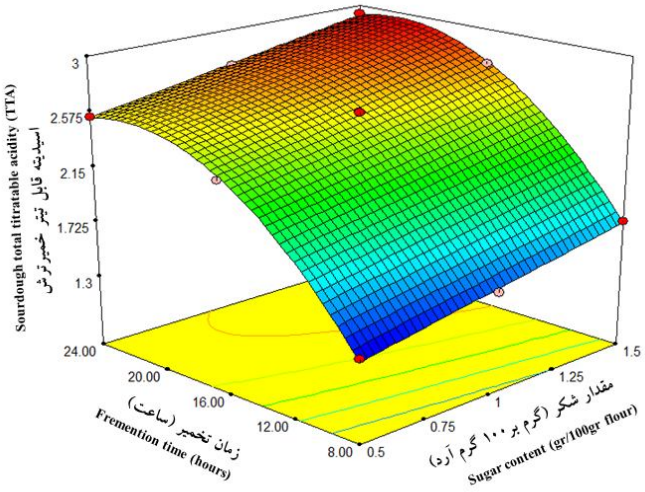
آنالیز آماری نتایج: بررسی آماری نتایج حاصل از این پژوهش در قالب طرح کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در سه تکرار و با استفاده از نرم‌افزارهای SAS (نسخه ۹,۱)، اکسل (۲۰۱۳)[1]، سیگما پلات[2]، دیزاین اکسپرت[3] و کرو اکسپرت[4] مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) و آزمون دانکن در سطح ۹۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تغییرات اسیدیته قابل تیتر خمیرترش: روند تغییرات اسیدیته قابل تیتر خمیرترش به عنوان تابعی از زمان تخمیر و غلظت شکر در شکل (۱) نشان داده شده است. بر این اساس با افزایش زمان تخمیر در محدوده ۸ تا ۲۴ ساعت و افزایش غلظت شکر در محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ درصد در دمای ثابت تخمیر (۲۸ درجه سانتی‌گراد) با تلقیح *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*، اسیدیته قابل تیتر با روند مشخصی افزایش یافت. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین تغییرات اسیدیته در سطح ۵ درصد نیز نشان داد که در یک نسبت ثابت آب به آرد، سطوح مختلف زمان تخمیر و درصد شکر، تاثیر معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) بر میزان تغییرات اسیدیته قابل تیتر خمیرترش دارند. بیشترین مقدار اسیدیته قابل تیتر در نمونه حاصل از ۲۴ ساعت تخمیر و محتوی ۱/۵ درصد شکر و کمترین مقدار آن نیز در نمونه حاصل از ۸ ساعت تخمیر با محتوی ۰/۵ درصد شکر مشاهده گردید. محققین مختلفی نظیر گول و همکاران (۲۰۰۵)، مگنین و همکاران (۲۰۰۱) و همچنین کاتینا (۲۰۰۵) نتایج مشابهی گزارش کرده‌اند (۲۰، ۲۳ و ۳۰). بر اساس گزارش این محققان، به موازات افزایش زمان تخمیر، اسیدیته قابل تیتر خمیرترش افزایش

1. Microsoft Office Excel
2. Sigma plot
3. Design expert
4. Curve expert

می‌یابد. همچنین بیرخد و فوکوز (۱۹۷۵)، برانت و هامز (۲۰۰۱) گزارش نمودند که با افزایش درصد شکر، اسیدیته قابل تیتر خمیرترش نیز افزایش می‌یابد (۷ و ۸).



شکل ۱- بررسی تغییرات اسیدیته قابل تیتر خمیرترش حاصل از آغازگر اختصاصی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بر حسب اسید لاکتیک تحت تاثیر زمان تخمیر و مقدار شکر.

Figure 1. Titratable acidity (as lactic acid) changes in sourdough obtained from specific starter *Lactobacillus plantarum* under the influence of fremention time and sugar content.

ارزیابی حجم مخصوص نان: جدول (۱) نتایج حاصل از ارزیابی حجم مخصوص در نان‌های تهیه شده با استفاده از تیمارهای متفاوت خمیرترش در طی دوره نگهداری پس از پخت را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش زمان انبارمانی، حجم مخصوص نان‌های تولیدی به‌طور معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) کاهش یافت اما همواره از نمونه شاهد بیشتر بود که با یافته‌های کلارک و همکاران (۲۰۰۲) و هانسن (۱۹۹۶) مطابقت دارد (۱۱ و ۲۱). آرندت و همکاران (۲۰۰۷) و گاگیانو و همکاران (۲۰۰۷) نیز نتایج مشابهی گزارش نموده‌اند. با توجه به گزارش‌های این محققین، مهم‌ترین دلیل کاهش بیاتی در نان فرآوری شده توسط خمیرترش، تولید اسید لاکتیک است که سبب افزایش میزان تخلخل، غیر فعال‌سازی آنزیم آلفا آمیلاز و افزایش نرمی بافت نان می‌گردد (۳ و ۱۷). سرافراز و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی خصوصیات اسیدیفیکاسیون کشت‌های آغازگر مختلف در تخمیر خمیرترش مایع نشان دادند که نان تهیه شده توسط خمیرترش مایع حاصل از کشت آغازگر

لاکتوباسیلوس کازئی، *لاکتوباسیلوس فرمنتوم* و *ساکارومایسس سرویزیه* حجم مخصوص بالاتری نسبت به نمونه شاهد داشت (۳۸). پیغمبردوست و همکاران (۲۰۱۰) نیز با بررسی نان‌های تهیه شده از خمیرترش خشک حاوی آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و *لاکتوباسیلوس روتری* و مخلوطی از این دو آغازگر دریافتند که این نان‌ها نسبت به نان‌های حاصل از خمیرترش تازه، حجم مخصوص بیشتری دارند که دلیل آن را تولید بیش از حد اسیدهای آلی در خمیرترش‌های مایع عنوان نمودند (۳۱).

جدول ۱- بررسی تغییرات حجم مخصوص نان تحت تاثیر زمان تخمیر و مقدار شکر در طی زمان نگهداری.

Table 1. Bread specific volume changes as affected by fermentation time and sugar content during storage.

حجم مخصوص نان در طول نگهداری (میلی‌لیتر در گرم) Bread specific volume during storage (ml/gr)			زمان تخمیر fermentation time (h)	مقدار شکر Sugar content(%)
۹۶ ساعت 96 hours	۴۸ ساعت 48 hours	۲ ساعت 2 hours		
1.503±0.14 ^{c}	1.730±0.26 ^{de}	2.102±0.55^{d}	0	0
2.325±0.07 ^{a}	2.586±0.34 ^{a}	2.764±2.23^{a}	8	
1.895±0.08 ^{bc}	2.025±0.25 ^{cd}	2.288±0.6^{c}	16	0.5
1.940± 0.07 ^{b}	2.325± 0.49 ^{b}	2.514±0.66^{b}	24	
1.895±0.09 ^{bc}	2.083±0.20 ^{c}	2.359±0.54b^{c}	8	
1.656±0.05 ^{c}	1.747±0.12 ^{e}	2.105±0.6^{d}	16	1
1.739± 0.135 ^{c}	2.071±0.62 ^{c}	2.261±0.93^{cd}	24	
1.841±0.01 ^{bc}	2.039±0.17 ^{cd}	2.278±0.53^{c}	8	
1.687±0.18 ^{c}	1.887± 0.10 ^{de}	2.019±0.24^{d}	16	1.5
1.952±0.05 ^{b}	2.092±0.05 ^{c}	2.383±0.47^{bc}	24	

حروف غیر یکسان در هر ستون، نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح α =۰/۰۵ می‌باشد.

In each column, different letters indicate significant difference (α= 0.05).

بررسی سفتی بافت نان: نتایج حاصل از اندازه‌گیری سفتی بافت مغز نان با دستگاه بافت‌سنج در نان‌های تولیدی توسط تیمارهای متفاوت خمیرترش در طی دوره نگهداری در جدول (۲) آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود نیروی لازم برای فشردن نان با گذشت زمان افزایش می‌یابد. در بین نمونه‌های تولیدی، کمترین مقدار سفتی بافت در نمونه فرآوری شده طی ۸ ساعت تخمیر و غلظت ۰/۵ درصد شکر، ۲ ساعت پس از پخت (تازه خوری) مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان سفتی بافت در نمونه فرآوری شده طی ۱۶ ساعت تخمیر و غلظت ۱ درصد شکر، ۹۶ ساعت پس از پخت مشاهده گردید. شایان ذکر است که سفتی بافت مغز نان تمام نمونه‌های فرآوری شده با خمیرترش به مراتب کمتر از نمونه شاهد بود. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین تغییرات سفتی بافت نان در سطح ۵ درصد نیز نشان داد که در شرایط اعمال شده در این پژوهش، درصد شکر و زمان ماندگاری، تاثیر

معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) بر میزان تغییرات سفتی بافت نان دارند. با توجه به تحقیقات مارتین و هاسنی (۱۹۹۱) پس از متورم شدن نشاسته در حین پخت، پیوندهای عرضی ایجاد شده بین نشاسته و گلوتن در طی نگهداری نان و به‌دنبال کاهش انرژی جنبشی باعث تغییرات فیزیکوشیمیایی و سفتی بافت مغز نان می‌گردد (۲۸). همچنین براندت و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که استفاده از باکتری‌های اسید لاکتیک در خمیرترش، اثرات مثبتی بر بیاتی نان داشته و حجم قرص نان را بهبود می‌بخشند که با کاهش سرعت بیاتی نان، ارتباط دارد. اثرات ضد بیاتی خمیرترش، به سویه آغازگر مورد استفاده و نحوه کاهش pH نیز بستگی دارد (۷). پیغمبردوست و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی سفتی بافت مغز نان حاصل از خمیرترش تازه و خشک طی ۴ روز نگهداری با دستگاه اینستران نشان دادند که میزان سفتی مغز نان تهیه شده از خمیرترش خشک حاوی *لاکتوباسیلوس روتری* پس از ۷۲ ساعت نگهداری، به طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود (۳۱). بلوریان و همکاران (۲۰۰۸) نیز با ارزیابی تاثیر خمیرترش حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بر شاخص بیاتی در طول یک هفته نگهداری دریافتند که تیمار ۱۵ درصد خمیرترش دارای کمترین تغییرات کیفیتی بود. محققین مذکور علت این پدیده را به تولید اسید لاکتیک بیشتر و افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز نسبت دادند که سبب تجزیه نشاسته به دکسترین‌های با وزن مولکولی پایین می‌گردد (۶). جیانوتی و همکاران (۱۹۹۷) با مدل‌سازی فعالیت کشت‌های آغازگر اختصاصی در حین تخمیر خمیرترش نشان دادند که به موازات افزایش زمان تخمیر، اسیدیته قابل تیتر خمیرترش نیز افزایش یافته و سبب ایجاد تغییراتی در رفتار گلوتن می‌گردد که یکی از دلایل اصلاح رئولوژی خمیر و تغییرات بافتی در نان حاصل از خمیرترش است (۱۸). علاوه بر این، باربر و همکاران (۱۹۹۲)، تولید اسیدهای آلی و هیدرولیز نشاسته به وسیله باکتری‌ها و گوبتی و همکاران (۱۹۹۶)، پروتئولیز زیر واحدهای گلوتن را نیز از جمله عوامل موثر در کاهش بیاتی نان خمیرترشی برشمرده‌اند (۴ و ۱۹).

جدول ۲- ارزیابی تغییرات سفتی بافت نان تحت تاثیر زمان تخمیر و مقدار شکر در طی زمان نگهداری.

Table 2. Evulation of changes in bread crumb hardness under the influence of fermentation time and sugar content during storage.

سفتی بافت نان در طول نگهداری (نیوتون/گرم) Bread crumb hardness during storage (N/gr)			زمان تخمیر fermentation time (h)	مقدار شکر sugar content (%)
۹۶ ساعت 96 hours	۴۸ ساعت 48 hours	۲ ساعت 2 hours		
17.192±2.469 [a]	16.936±5.665 [a]	13.717±1.263[a]	0	0
7.494±0.933 [de]	5.592±0.745 [de]	4.264±0.482[f]	8	
9.866±1.850 [cd]	8.421±0.096 [c]	7.747±0.509[bc]	16	0.5
8.737± 0.359 [de]	6.367± 0.560 [de]	5.952±1.029[d]	24	
9.020±0.790 [d]	6.417±0.848 [de]	5.502±0.328[de]	8	
13.425±1.806 [b]	11.692±3.877 [b]	10.705±2.994[a]	16	1
5.920± 0.263 [e]	5.094±0.654 [e]	4.565±0.549[ef]	24	
8.107±1.613 [de]	7.380±0.364 [cd]	7.387±0.544[c]	8	
12.390±1.778 [bc]	10.064± 1.758 [bc]	9.327±1.169[b]	16	1.5
9.962±2.324[c]	7.991±0.687 [cd]	7.251±0.405[cd]	24	

حروف غیر یکسان در هر ستون، نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵= α می‌باشد.

In each column, different letters indicate significant difference (α= 0.05).

ارزیابی میزان تخلخل مغز نان: نتایج آنالیز واریانس تغییرات تخلخل بافت مغز نان تحت تاثیر تیمارهای زمان تخمیر و غلظت شکر در طول زمان نگهداری ۴ روزه در جدول (۳) ارائه شده است. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین تغییرات تخلخل مغز نان در سطح ۵ درصد نشان داد که در محدوده شرایط اعمال شده در این پژوهش، زمان تخمیر و درصد شکر، تاثیر معنی‌داری (P≤۰/۰۵) بر میزان تخلخل بافت نان در طی دوره نگهداری داشتند. بیشترین مقدار تخلخل بافت نان در نمونه حاصل از ۱۶ ساعت تخمیر و محتوی ۱/۵ درصد شکر، ۲ ساعت پس از پخت و کمترین مقدار آن نیز در نمونه حاصل از ۲۴ ساعت تخمیر با محتوی ۰/۵ درصد شکر، ۴۸ ساعت پس از پخت مشاهده گردید. شهیدی و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی تصاویر مغز نان بربری غنی شده با آرد سویا به وسیله نرم افزار ایمج جی (نسخه ۲/۳۸) نشان دادند که با افزایش زمان نگهداری و توسعه تغییرات فیزیکوشیمیایی در بافت نان، تخلخل آن کاهش پیدا می‌کند. با اینحال، ساختار فشرده نان‌های مسطح و نیمه‌حجیم به دلیل وجود هوای کمتر منجر به تغییرات محسوسی در اندازه این حفرات یا میزان تخلخل نشده ولی در نان‌های حجیم، با افزایش زمان نگهداری، رطوبت از مغز به سطح، منتقل گردیده و باعث تغییر در ساختمان شبکه پروتئین می‌شود. این تغییرات با کاهش استحکام و کاهش حجم نیز همراه بوده و منجر به کاهش اندازه حفرات یا میزان تخلخل می‌گردد (۳۹).

جدول ۳- ارزیابی تغییرات تخلخل مغز نان تحت تاثیر زمان تخمیر و غلظت شکر در طی زمان نگهداری.

Table 3. Evaluation of bread crumb prosity changes under the influence of fermentation time and sugar content during storage.

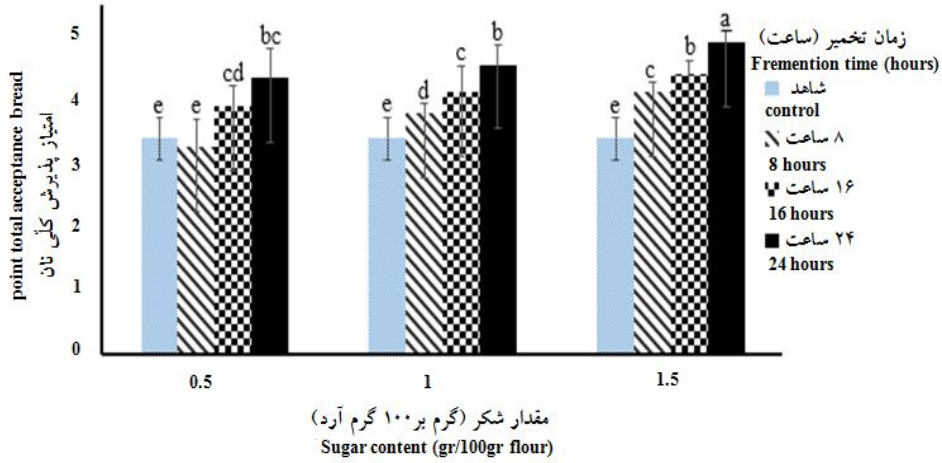
تخلخل مغز نان در طول نگهداری (بر حسب درصد) Bread crumb porosity during storage (%)			زمان تخمیر Fermentation time (h)	مقدار شکر Sugar content (%)
۹۶ ساعت 96 hours	۴۸ ساعت 48 hours	۲ ساعت 2 hours		
12.12±0.15 ^{cd}	18.36±0.10 ^{bc}	33.71±0.20^{ab}	0	0
20.42±0.01 ^{ab}	21.65±0.34 ^{b}	36.24±0.482^{a}	8	
14.81±0.15 ^{c}	16.11±0.01 ^{cd}	36.66±0.05^{a}	16	0.5
12.37± 0.17 ^{cd}	10.73± 0.05 ^{d}	24.52±1.02^{bc}	24	
9.82±0.037 ^{d}	12.61±0.032 ^{d}	15.50±0.15^{d}	8	
17.25±1.201 ^{b}	18.92±1.08 ^{c}	33.60±0.05^{b}	16	1
24.71±1.613 ^{a}	30.07±1.60 ^{a}	39.17±0.05^{a}	24	
9.01± 0.16 ^{d}	11.04±0.11^{d}	18.06±0.05^{c}	8	
13.30±1.76 ^{cd}	27.064± 1.58 ^{ab}	40.41±1.16^{a}	16	1.5
18.62±2.324^{ab}	25.91±0.687 ^{b}	37.21±0.405^{a}	24	

حروف غیر یکسان در هر ستون، نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵= α می‌باشد.

In each column, different letters indicate significant difference (α= 0.05).

ارزیابی خصوصیات حسی نان‌های تولیدی: روند پذیرش نهایی نان‌های تازه‌خوری به عنوان تابعی از زمان تخمیر و غلظت شکر در شرایط تخمیر کنترل شده در شکل (۲) نشان داده شده است. براساس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری، سطوح مختلف زمان تخمیر و درصد شکر تاثیر معنی‌داری (P≤۰/۰۵) بر میزان پذیرش نهایی نان‌های تازه‌خوری داشتند. میزان پذیرش نهایی نمونه‌های تولیدی با افزایش زمان تخمیر، بهبود یافت به نحوی که نمونه حاصل از ۲۴ ساعت تخمیر و محتوی ۱/۵ درصد شکر، بالاترین امتیاز پذیرش نهایی را به دست آورد. کمترین مقدار پذیرش نهایی نیز در نمونه حاصل از ۸ ساعت تخمیر با محتوی ۰/۵ درصد شکر مشاهده شد که در مقایسه با نمونه شاهد به مراتب بالاتر بود. بهبود پذیرش نهایی به افزایش تخلخل، بهبود احساس دهانی و تولید ترکیبات مولّد عطر و طعم با گذشت زمان تخمیر نسبت داده می‌شود (۲۴ و ۴۱). بر اساس نتایج پیغمبردوست و همکاران (۲۰۱۰) نیز با گذشت زمان نگهداری، امتیاز حسی در تمامی تیمارها کاهش یافت در حالی‌که نان‌های حاصل از خمیرترش تازه در مقایسه با خمیرترش خشک از نظر ویژگی‌های حسی امتیاز بیشتری را به خود اختصاص دادند که دلیل آن، تولید مقادیر کمتر اسیدهای آلی در خمیرترش خشک بود که در فعالیت آنزیمی، موثر بوده و منجر به تغییر کیفیت نان تولیدی گردیده است (۳۱). سرافراز و همکاران

(۲۰۰۷) نیز دریافتند که نان حاصل از کشت‌های آغازگر *لاکتوباسیلوس کازئی*، *لاکتوباسیلوس فرمنتوم* و *ساکارومایسس سرویزیه* نسبت به نان کنترل، کیفیت حسی و عطر و طعم بهتری داشت. محققین مذکور علت این امر را بر همکنش باکتری‌های اسید لاکتیک و مخمر در طول تخمیر خمیرترش و تولید متابولیت‌های موثر در ایجاد طعم و آروما عنوان نموده‌اند (۳۸).



شکل ۲- بررسی امتیاز پذیرش کلّی نان‌های تولیدی تحت تاثیر زمان تخمیر و غلظت شکر.

(حروف غیر یکسان، نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح α =۰/۰۵ می‌باشد).

Figure 2. Total acceptance point of breads under the influence of fermentation time and sugar content. (Different letters indicate significant difference (α= 0.05).

رابطه بین عوامل موثر بر تخمیر خمیرترش با حجم مخصوص، تخلخل و سفتی بافت نان‌های تولیدی: رابطه رگرسیونی بین اسیدیته قابل تیتر خمیرترش با متغیرهای زمان تخمیر و غلظت شکر در مدل رگرسیونی چند متغیره، نشان داد که متغیرهای مذکور در مقدار اسیدیته قابل تیتر موثر هستند. رابطه (۲) نیز جهت تخمین مقدار اسیدیته قابل تیتر خمیرترش بر حسب زمان تخمیر و غلظت شکر در محدوده‌های مورد اعمال در این پژوهش به‌دست آمد. رابطه رگرسیونی بین حجم مخصوص، تخلخل و سفتی بافت مغز نان نیز با متغیرهای زمان تخمیر و غلظت شکر در مدل رگرسیونی چند متغیره، پس از حذف Backward (جهت حذف متغیرهای اضافی از مدل رگرسیونی) نشان داد که تمام متغیرهای مورد بررسی در معادله باقی ماندند. معادله‌های ۳، ۴ و ۵ نیز جهت تخمین مقدار حجم مخصوص، تخلخل و سفتی بافت مغز نان به عنوان معیاری از بیاتی آن برحسب زمان تخمیر و غلظت

شکر خمیرترش در طی دوره نگهداری در محدوده‌های مورد ارزیابی در این پـژوهش بـه دسـت آمـد (جدول ۴).

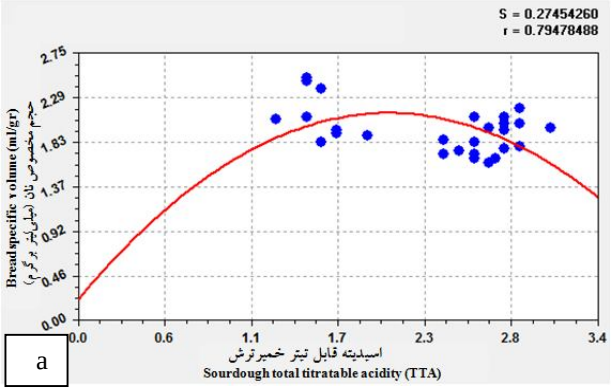
جدول ٤- روابط رگرسیونی بین عوامل موثر بر تخمیر خمیرترش و شاخص‌های بیاتی نان تولیدی.

Table 4. Regression relationships between factors affecting sourdough fermentation and staling indicators in produced bread.

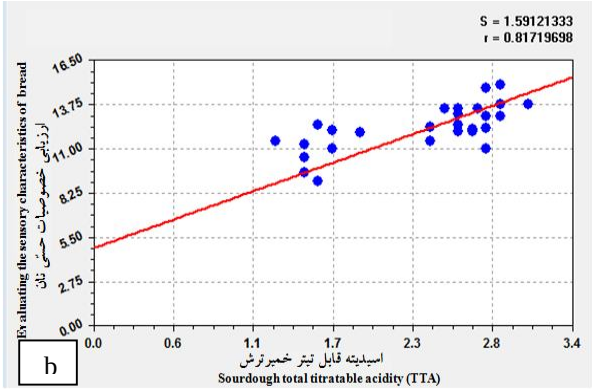
شماره (number)	رابطه (Relation)	R^2
۲ (2)	۰/۹۸۹۶ + (۰/۱۶۶۷×زمان تخمیر) + (۰/۰۷۳۹×مقدار شکر) =اسیدیته قابل تیتر خمیرترش Sourdough titratable acidity=(sugar content*0.0739)+(fermentation time*0.1667)+0.9896	۰/۷۶۴۲ (**) 0.7642 (**)
۳ (3)	۲/۷۰۷۳ + (۰/۲۹۵۴-×زمان تخمیر) + (۰/۰۵۱۱-×مقدار شکر) = حجم مخصوص نان Bread specific volume=(sugar content*-0.0511)+(fermentation time*-0.2954)+2.7073	۰/۵۵۴۱ (*) 0.5541(*)
۴ (4)	۰/۱۵۸۵ + (۰/۰۷۷۵×زمان تخمیر) + (۰/۱۵۸۵×مقدار شکر) = تخلخل نان Bread crumb prosity=(sugar content*0.1585)+(fermentation time*0.0775)+0.1585	۰/۴۱۶۹ (**) 0.4169 (**)
۵ (5)	۴/۷۶۰۹ + (۲/۰۰۰۵×زمان تخمیر) + (۰/۰۱۲۸×مقدار شکر) = سفتی بافت نان Bread crumb hardness=(sugar content*0.0128)+(fermentation time*2.0005)+4.7609	۰/۳۴۳۱ (*) 0.3431(*)

رابطه رگرسیونی اسیدیته قابل تیتر خمیرترش با ارزیابی حسی و حجم مخصوص نان نیز به‌ترتیب دارای ضرایب همبستگی (R^2) ۰/۸۱۷ و ۰/۷۹۴ بود و با افزایش اسیدیته قابل تیتر خمیرترش، ارزیابی حسی نان، افزایش و حجم مخصوص آن نیز روند صعودی داشت (شکل ۳).

کاتینا و همکاران (۲۰۰۶) نیز نتایج مشابهی در خصوص نان‌های حجیم به‌دست آوردند. براسـاس گزارش محققان مذکور به دلیل همبستگی بین حجم مخصوص، تخلخل و سفتی بافت نان می‌توان در ارزیابی نان‌های تولید شده با خمیرترش به جای آزمون بافت‌سنجی از اندازه‌گیری حجم مخصـوص و تخلخل بافت نان که روشی آسان‌تر و مقرون به صرفه‌تر است استفاده نمود (۲۴). بر اساس یافتـه‌های صادقی و همکاران (۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) نیز تاثیر سویه‌های میکروبی آغـازگر در صـورت کنتـرل شـرایط تخمیر خمیرترش می‌توانند به‌طور معنی‌داری، بیاتی، سفتی بافت نـان بربـری را در مقایسـه بـا نمونـه شاهد، کاهش داده و سبب بهبود حجم مخصوص پس از پخت، تخلخل، احساس دهانی، عطر و طعم و در نهایت پذیرش کلی آن شوند (۳۶ و ۳۷).



(الف)



(ب)

شکل ۳- رابطه رگرسیونی اسیدیته قابل تیتر خمیرترش با خصوصیات حسّی (الف) و حجم مخصوص نان (ب).

Figure 3. Regression relationships between sourdough titratable acidity and sensory characteristics (a), and the specific volume of bread (b).

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج حاصل از این مطالعه، اگر چه شرایط موثر بر تخمیر کشت آغازگر اختصاصی (زمان تخمیر و درصد شکر) و همچنین اسیدیته قابل تیتر خمیرترش بر شاخص‌های بیاتی نان گندم نیمه‌حجیم (تخلخل، سفتی بافت و حجم مخصوص) کاملاً موثر هستند اما افزایش بیش از حد اسیدیته می‌تواند سفتی زودرس بافت نان و بیاتی آن را به دنبال داشته باشد. علاوه بر این، مقادیر اسیدیته‌ای که در آن، بیشترین تاخیر بیاتی نان به دست می‌آید دقیقا با مقادیر لازم برای دستیابی به بهترین خصوصیات حسی در نان تولیدی، مطابق نیست. بر این اساس، تولید نان خمیرترشی با ماندگاری

بیشتر و خصوصیات حسی مطلوب‌تر، مستلزم کنترل موثر فعالیت آغازگر میکروبی و عوامل مـوثر بـر تخمیر آن است.

منابع

1. AACC International. 2010. Approved methods of the American association of cereal chemists. 11th Ed. The St. Paul.
2. AOAC Method. 2003. Association of official analytical chemists. 17th Ed. Arlington, Virginia.
3. Arendt, E.K., Ryan, L.A.M. and Dal Bello, F. 2007. Impact of sourdough on the texture of bread. Food Microbiology. 24: 165-174.
4. Barber, B., Ortola, C., Barber, S., and Fernandez, F. 1992. Storage of packaged white bread. III. Effect of sourdough and addition of acids on bread characteristics. ZLebensm Unters Forsch. 194: 442-449.
5. Bechtel, W.G., Meisner, D.F., and Bradley, W.B. 1953. The effect of crust on the staling of bread. Cereal Chemistry. 30: 160-168.
6. Bolourian, Sh., Haddad Khodaparast, M. H., Goli Movahhed, Gh., and Afshary, M. 2008. Effect of lactic fermentation (*Lactobacillus plantarum*) on physicochemical, flavor, staling and crust properties of semi volume bread (bagget). Iranian Food Science and Technology Research Journal. 7: 33-39.
7. Birkhed, D., and Fuchs, G. 1975. Influence of sugar content in soft bread on pH of human dental plaque. Acta Odontologica Scandinavica. 33: 59-66.
8. Brandt, M.J., and Hammes, W.P. 2001. Einfluß von Fructosanen auf die Sauerteig fermentation. Getreide, Mehl und Brot. 55: 341-345.
9. Chavan, R.S., and Jana, A. 2008. Frozen dough for bread making, a review. International Journal of Food Science and Technology. 2: 9-27.
10. Clarke, C.I., and Arendt, E.K. 2005. A review of the application of sourdough technology to wheat breads. Advance in Food and Nutrition Research. 49: 137-156.
11. Clarke, C. I., Schober, T.J., and Arendt, E. K. 2002. Effect of single strain and traditional mixed strain starter cultures on rheological properties of wheat dough and on bread quality. Cereal Chemistry. 79: 640-647.
12. Corsetti, A., Gobbetti, M., Balestrieri, F., Paoletti, F., Russi, L., and Rossi, J. 1998. Sourdough lactic acid bacteria effects on bread firmness and staling. Journal of Food Science and Technology. 63: 347–351.
13. Corsetti, A., Gobbetti, M., De Marco, B., Balestrieri, F., Paoletti, F., Russi, L., and Rossi, J. 2000. Combined effect of sourdough lactic acid bacteria and additives on bread firmness and staling. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 48: 3044-3051.

14.Crowely, P., Schober, T.J., Clark, C.I., and Arendt, E.K. 2003. The effect of storage time on textural and crumb grain characteristics of sourdough wheat bread. European Food Research Technology. 214: 489-496.
15.Dalbello, F., Clarke, C.I., Ryan, L.A.M., Ulmer, H., Schober, T.J., Strom, K., Sjogren, J., van Sinderen, D., Schnurer, J., and Arendt, E.K. 2007. Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by fermentation with the antifungal strain *Lactobacillus plantarum* FST 1.7. Journal of Cereal Science. 45: 309-318.
16.Diowksz, A., and Ambroziak, W. 2006. Sourdough. In: Hui, Y.H., Corke, H., De Leyn, I., Nip, W. K., Cross, N.A. (Eds). Bakery Products. Food Science and Technology. Oxford: Blackwell publishing. 365–388.
17.Gaggiano, M., Di Cagno, R., De Angelis, M., Arnault, P., Tossut, P., Fox, P.F., and Gobbetti, M. 2007. Defined multispecies semi-liquid ready to use sourdough starter. Food Microbiology. 24:15-24.
18. Gianotti, A., Vannini, L., Gobbetti, M., Corsetti, A., Gardini, F., and Guerzoni, M.E. 1997. Modeling of the activity of selected starters during sourdough fermentation. Food Microbiology. 14: 327-337.
19.Gobbetti, M., Smacchi, E., Fox, P., Stepaniak, L., and Corsetti, A. 1996. The sourdough microflora. Cellular localization and characterization of proteolytic enzymes in lactic acid bacteria. LWT Food Science and Technology. 29: 561-569.
20.Gul, H., Zcelik, S., Sagdic, O., and Certel, M. 2005. Sourdough bread production with *Lactobacilli* and *S. cerevisiae* isolated from sourdoughs. Process Biochemistry. 40: 691-697.
21.Hansen, A., and Hansen, B. 1996. Flavour of sourdough wheat bread crumb. Zeitschrift fur Lebensmittel Untersuchunge und Forschung. 202: 244-249.
22.Haralick, R.M., Shanmugam, K., and Dinstein, I. 1973. Textural features for image classification. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetic. 45: 1995-2005.
23.Katina, K., 2005. Sourdough a tool for the improved flavour, texture and shelf life of wheat bread. VTT Technical Research Centre of Finland, VTT publication, 569:13-41.
24.Katina, K., Heinio, R.L., Autio, K., and Poutanen, K. 2006. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. LWT Food Science and Technology. 39: 1189-1202.
25.Katina, K., Liukkonen, K.H., Kaukovirta-Norja, A., Adlercreutz, H., Heinonen, S.M., Lampi, A.M., Pihlava, J.M., and Poutanen, K. 2007. Fermentation induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. Journal of Cereal Science. 46: 348–355.
26.Khorasanchi, N., Peighambardoust, S. H., Hejazi, M. A., and Rafat, S. A. 2013. Application of *L. plantarum* (ATCC 1058) and *L. reuteri* (ATCC 1655) as starter cultures in sourdough preparation. Journal of Food Research. 23: 81-96. (In Persian)

27.Lonner, C., Welander, T., Malin, N. and Dostalek, M. 1986. The microflora in a sourdough started spontaneously on typical swedish rye meal. Food Microbiology. 3: 3-12.
28.Martin, M.L. and Hoseney, R.C. 1991. A mechanism of bread firming. Role of starch hydrolyzing enzymes. Journal of Cereal Chemistry. 68: 503-507.
29.Mortazavi, A. 2007. Evaluation and optimization of semi-loaf wheat bread production as dominant bread in Iran. National grant research, Ferdowsi University of Mashhad. Accession number, 21737. (In Persian)
30.Meignen, B., Onno, B., Gelinas, P., Infantes, M., Guilois, S. and Cahagnier, B. 2001. Optimization of sourdough fermentation with *Lactobacillus brevis* and baker's yeast. Food Microbiology. 18: 239-245.
31.Peighambardoust, S.H., Golshan Tafti, A., Khorasanchi, N., Hejazi, M.A. and Rafat, S.A. 2010. Comparing the effects of fresh and dried sourdough on the sensory characteristics and staling of pan bread. Journal of Food Research. 3:163-175. (In Persian)
32.Plessas, S., Bekatorou, A., Gallanagh, J., Nigam, P., Koutinas, A.A. and Psarianos, C. 2008. Evolution of aroma volatiles during storage of sourdough breads made by mixed cultures of *Kluyveromyces marxianus* and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* or *Lactobacillus helveticus*. Food Chemistry. 107: 883-889.
33.Rajabzade, N. 1993. Bread technology. Tehran University Press, 450p. (In Persian)
34.Robert, H., Gabriel, V., Lefebvre, D., Rabier, P., Vayssier, Y. and Faucher, C. 2006. Study of the behaviour of *Lactobacillus Plantarum and Leuconostoc* starters during a complete wheat sourdough bread making process. LWT Food Science and Technology. 39: 256-265.
35.Sadeghi, A. 2014. Isolation and identification of dominant *Lactobacillus* starters obtained from Sangak bread sourdough. Grant research, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Accession number 92-31415. (In Persian)
36.Sadeghi, A., Shahidi, F., Mortazavi, A., Nassiri Mahallati, M. and Sadeghi, B. 2008. The effect of sourdough on microbiological shelf life and sensory properties of Barbari bread. Journal of Agricultural Engineering Research. 9: 153-170. (In Persian)
37.Sadeghi, A., Shahidi, F., Mortazavi, A., Nassiri Mahallati, M., Kuchaki, A. and Rezaei Mokaram, R. 2009. The effect of sourdough on reduction of Barbari bread staling. Journal of Science and Technology of Agricultural and Natural Resources. 13: 37-47. (In Persian)
38.Sarfraz, A., Azizi, M. ., Hamidi esfahani, Z., Karimi torshizi, M.A. and Zafari, A. 2008. Interaction between lactic acid bacteria and baker's yeast in liquid

sourdough fermentation. Iranian Journal of Nutrition and Food Technology. 3: 73-80. (In Persian)
39. Shahidi, F., Mohebbi, M. and Ehtiati, A. 2010. Image analysis of crumb digital images in Barbari bread enriched with soy flour. Iranian Food Science and Technology Research Journal. 6: 247-253. (In Persian)
40. Standards of flat Barbari bread. 2002. Institute of standards and industrial research of Iran. ISIRI number 5809. (In Persian)
41. Thiele, C., Ganzle M.G. and Vogel, R.F. 2002. Contribution of sourdough lactobacilli, yeast and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavour. Cereal Chemistry. 79: 45-51.

EJFPP, Vol. 8 (1): 1-22
http://ejfpp.gau.ac.ir

Effect of controlled fermentation of *Lactobacillus plantarum* on sensory properties and staling of semi-loaf wheat bread

A. Abedfar [1], A.R. Sadeghi[1*], M. Kashaninejad[3], M. Khomeiri[4] and M. Alami[4]
[1]M.Sc. student, Dept. of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[2]Associate Prof., Dept. of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[3]Prof., Dept. of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan. Iran
[4]Assistant Prof., Dept. of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 2015/01/3; Accepted: 2015/05/5

Abstract

Background and objectives: Sourdough is a complex biological system based on synergistic interaction between wheat microflora and Lactobacilli used as specific starter culture. These starter cultures are used to improve aroma, taste, nutritional value, shelf life, as well as exerting health-promoting effects in fermented bread. Most of beneficial properties of sourdough are characterized by acidifying activity of dominant *Lactobacillus plantarum*. Sourdough improve nutritional value of the final product by decreasing glycemic and harmful compounds, increasing the amount and stability of bioactive compounds, enhancing mineral absorbtion and increasing digestibility. Using sourdough in cereal whole flour which are rich in dietary fiber would result in uniform distribution of air bubles, improved rheology, increase in loaf volume, more suitable texture and finally enhancing product acceptance.

Materials and methods: The aim of this study was to evaluate the effect of controlled fermentation of *Lactobacillus plantarum* on sensory properties and staling of semi-loaf wheat bread. For this purpose, the effect of fermentation time (8, 16, 24 h) and sugar content (0.5, 1, 1.5%) on the activity of mentioned starter culture in the sourdough from wheat flour (with 76% extraction rate) in a split plot design were examined. After processing of semi-loaf breads with sourdough

[*]Corresponding author; fadsadeghi@yahoo.com

treatments, the stalling of these breads were evaluated during 96 h after baking, based on their specific volume, crumb hardness (texture analysis) and amount of porosity (Image j method).

Results: According to the results, different fermentation times and sugar contents had a significant effect ($P \leq 0.05$) on sourdough total titratable acidity. Among the produced samples, the lowest specific volume and the maximum amount of crumb firmness were also observed in bread produced with sourdough after 16 h fermentation and 1% sugar content, after 96 h. The maximum amount of specific volume and the lowest crumb firmness were also observed in sample produced with sourdough after 8 h fermentation and 0.5% sugar content, after 2 h storage. Furthermore, the maximum amounts of porosity and the best sensory properties were obtained after 16 and 24 h fermentation with 1.5% sugar content, respectively.

Conclusion: According to these results, to produce sourdough bread with longer shelf life and better sensory properties, the effective control of microbial starter activity and influencing parameters on its fermentation is necessary.

***Keywords*:** Porosity, Specific volume, Semi-loaf wheat bread, *Lactobacillus plantarum*.