مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۹/ شماره ۳/پاییز ۱۳۸۷/ص ۱۷۰-۱۵۳

بررسی تأثیر استفاده از خمیرترش بر زمان ماندگاری میکروبی و خواص حسی نان بربری

علیرضا صادقی، فخری شهیدی*، سید علی مرتضوی، مهدی نصیری محلاتی و بلال صادقی**

* نگارنده مسئول، نشانی: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، ص. پ. ۱۱۶۳-۹۱۷۷۵، تلفن: ۸۷۹۶۸۱۸ (۰۵۱۱)، پیام‌نگار: fshahidi@ferdowsi.um.ac.ir

* به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد؛ استاد؛ استاد گروه علوم و صنایع غذایی؛ دانشیار گروه زراعت؛ و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژنتیک و اصلاح دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۸۶/۹/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۶/۲

چکیده

این بررسی به‌منظور ارزیابی تأثیر خمیرترش در جلوگیری از فساد قارچی و باکتریایی و بهبود خواص حسی نان بربری با استفاده از سه نوع کشت آغازگر اختصاصی شامل لاکتوباسیلوس پلانتاروم، لاکتوباسیلوس سانفرانسیس، و مخلوط دو سویه لاکتوباسیل، در دماها (۲۸، ۳۲ و۳۶ درجه سانتی‌گراد) و زمان‌های مختلف تخمیر (۸، ۱۶ و۲۴ ساعت) انجام شد. پس از فراوری یکسان نمونه‌ها، میزان آلودگی به کپک و باکتری طی هفت روز متوالی با استفاده از آزمون کشت میکروبی تعیین شد. ویژگی‌های حسی نمونه‌ها را نیز بر اساس روش AOAC در تناوب‌های زمانی ۱، ۲۴، ۴۸، و۷۲ ساعت پس از پخت، ارزیابان آموزش دیده بررسی و با نمونهٔ شاهد مقایسه کردند. این آزمایش‌ها در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی، به روش فاکتوریل و با چهار تکرار اجرا و جهت بررسی رابطه بین عوامل مؤثر بر تخمیر با زمان ماندگاری میکروبی و خواص حسی نان از رگرسیون چند متغیره استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که تأثیر خمیرترش در بهبود زمان ماندگاری میکروبی و خواص حسی نان بربری در مقایسه با نمونه شاهد، معنی‌دار است ($p \leq ۰/۰۵$). علاوه بر این، بیشترین زمان ماندگاری میکروبی در نمونهٔ فراوری شده با لاکتوباسیلوس پلانتاروم در دمای تخمیر ۳۲ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان تخمیر ۲۴ ساعت مشاهده شد. همچنین، در فاصلهٔ زمانی ۷۲ ساعت پس از پخت، نمونه فراوری شده با مخلوط دو سویهٔ لاکتوباسیل در دمای تخمیر ۲۸ درجه سانتی‌گراد و زمان تخمیر ۱۶ ساعت، بیشترین امتیاز پذیرش کلی را کسب کرد.

واژه‌های کلیدی

باکتری اسید لاکتیک، خمیرترش، خواص حسی، زمان ماندگاری میکروبی، نان بربری

مقدمه

خمیرترش یک سیستم بیولوژیکی بسیار پیچیده است. اساس تشکیل این سیستم، همزیستی بین فلور میکروبی آرد و کشت‌های تجاری لاکتوباسیل است که از آن به عنوان آغازگر اختصاصی و به دلایل خاص نظیر بهبود عطر، طعم، زمان ماندگاری، ارزش تغذیه‌ای، یا حتی ایجاد خواصی در فرایند تخمیر نان به‌منظور بالا بردن اثر سلامت‌بخشی آن استفاده می‌شود (Katina, 2005; Thiele, 2003). توانایی‌های خمیرترش در تکنولوژی‌های نوین تخمیری به‌منظور ایجاد جایگزین‌های مناسب برای افزودنی‌های نانوایی روز به روز در حال افزایش است و در میکروبیولوژی صنعتی مدرن با استفاده از مدل‌های پیشگو، تحولات شگرفی در این زمینه ایجاد شده است (Gianotti *et al*., 1997; Wagner, 2005).

کپک‌زدگی نان، عمده‌ترین دلیل کاهش زمان ماندگاری

میکروبی آن محسوب می‌شود (Suhr & Nielsen, 2004). پس از کپک‌زدگی، حالت نخی شدن (Ropiness) مهم‌ترین عامل فساد میکروبی نان است که معمولاً بر اثر گونه‌های باسیلوس، به‌ویژه *Bacillus subtilis* و *Bacillus licheniformis* ، رخ می‌دهد (Katina, 2005). تاکنون محققان مختلفی تأثیر خمیرترش را بر زمان ماندگاری میکروبی نان بررسی کرده‌اند. برای نمونه، تودوروف و همکاران (Todorov *et al*., 1999) ترکیبات ضد باکتریایی تولید شده توسط لاکتوباسیلوس پلانتاروم *(Lactobacillus plantarum)* را از خمیرترش جداسازی کرده‌اند. سیمسک و همکاران (Simsek *et al*., 2006) باکتری‌های اسید لاکتیک با خاصیت ضد میکروبی را از خمیرترش ایزوله کرده‌اند. منتس و همکاران (Mentes *et al*., 2007) فعالیت ممانعتی دو سویه لاکتوباسیل جدا شده از خمیرترش را در برابر عوامل ایجاد کنندهٔ نخی شدن مطالعه کردند. کاتینا و همکاران (Katina *et al*., 2002) توانایی باکتری‌های اسید لاکتیک موجود در خمیرترش را جهت ممانعت از نخی شدن نان بررسی کرده‌اند. دال بلو و همکاران (Dal Bello *et al*., 2007) نیز کیفیت و زمان ماندگاری نان گندم را با استفاده از یک‌گونه *Lactobacillus plantarum* با خواص ضد قارچی، بهبود بخشیدند. امروزه استفاده از خمیرترش به عنوان یک نگهدارنده زیستی[1] رو به افزایش است. زیرا فلور میکروبی آن نه تنها مانع از فعالیت میکروارگانیسم‌های مولد فساد می‌شود، بلکه قابلیت بهبود ارزش تغذیه‌ای و ایجاد خواص سلامت‌بخشی را نیز دارند (Clarke & Arendt, 2005). استفاده مؤثر از خمیرترش در ممانعت از فساد میکروبی نیازمند کنترل دقیق فرایند استفاده از خمیرترش جهت رسیدن به سطح مناسب pH و اسیدیته قابل تیتر کردن در خمیرترش و نان حاصل از آن است.

خواص حسی نان از قبیل قابلیت جویدن، بافت، عطر، طعم، تخلخل، و شکل ظاهری تحت تأثیر تغییر ترکیبات آن طی مراحل مختلف فرایند نانوایی نظیر تخمیر و پخت قرار می‌گیرد (Katina, 2005; Thiele, 2003). تأثیر استفاده از خمیرترش بر ویژگی‌های حسی نان در پژوهش‌های گوناگون مورد مطالعه قرار گرفته است. برای نمونه، گوئرزونی و همکاران (Guerzoni *et al*., 2007) اثر متقابل مخمرها و باکتری‌های اسید لاکتیک، همچنین اعمال تنش را بر تولید ترکیبات عطری خمیرترش مطالعه کرده‌اند. تایل (Thiele, 2003) تأثیر تخمیر خمیرترش بر تجزیه گلوتن و ایجاد پیش‌سازهای طعمی را بررسی کرده است. گل و همکاران (Gül *et al*., 2005) شرایط تخمیر بهینه توسط ساکارومایسس سرویزیه *(Saccharomyces cerevisiae)* و باکتری‌های اسید لاکتیک خمیرترش را به‌منظور بهبود کیفیت نان، مطالعه کرده‌اند. کاتینا و همکاران (Katina *et al*., 2006) شرایط تخمیر خمیرترش را جهت افزایش خواص حسی نان گندم بهینه‌سازی کرده‌اند. میگنن و همکاران (Meignen *et al*., 2001) نیز شرایط تخمیر بهینه توسط *Saccharomyces cerevisiae* و لاکتوباسیلوس برویس *(Lactobacillus brevis)* در خمیرترش را جهت ارتقای کیفیت نان بررسی کرده‌اند.

تأثیر خمیرترش بر بهبود عطر و طعم، بر پایه سه عامل اصلی تولید اسید، تولید پیش ماده‌های طعمی نظیر اسیدهای آمینه، و تولید ترکیبات فرار استوار است. تولید اسید تأثیر بنیادی بر طعم نان دارد و احساس دهانی را بهبود می‌بخشد. همچنین، تولید مقادیر بالای اسید آمینهٔ آزاد در حین تخمیر خمیرترش با افزایش طعم کلی نان و

1- Bio Preservative

خصوصاً بهبود طعم برشتگی مرتبط است. تولید ترکیبات فرار در تخمیر خمیرترش نیز در خواص حسی نان، اهمیت زیادی دارد (Katina, 2005). استفاده از فیبرهای رژیمی در مقادیری که بتواند ارزش تغذیه‌ای فراورده‌های غلات را افزایش دهد، مشکلات تکنولوژیکی خاصی نظیر کاهش رطوبت و الاستیسیتهٔ خمیر، کاهش قابلیت تخمیر، ایجاد پوسته سخت، حجم نامناسب و طعم‌های نامطلوب در فراورده نهایی ایجاد می‌نماید. یک روش مؤثر جهت بهبود کیفیت چنین فراورده‌هایی، استفاده از یک مرحله پیش تخمیر بر اثر خمیرترش است که سبب بهبود حجم، محلول شدن بخشی از فیبرهای رژیمی، و اصلاح بافت فراورده می‌شود (Katina *et al.*, 2007; Arendt *et al.*, 2007). تأثیر خمیرترش بر بهبود کیفیت فراورده‌های غنی از فیبرهای رژیمی، بیشتر ناشی از فعالیت آنزیم‌هایی نظیر آمیلازها و پروتئازهاست. اسید تولیدی در حین تخمیر نیز pH خمیر را کاهش می‌دهد که بر فعالیت آنزیم‌ها و رفتار گلوتن تأثیر می‌گذارد (Thiele, 2003).

سرانه مصرف نان در ایران حدود ۲۰۰-۱۸۰ کیلوگرم برآورد شده که بر اساس آمار موجود گاهی تا ۳۰ درصد آن به ضایعات تبدیل می‌شود. با توجه به حجم بسیار بالای مصرف نان در کشور ما، سالانه حدود سیصد میلیون دلار از گندم‌های تولیدی ضایع و از چرخهٔ مصرف مستقیم برای انسان خارج می‌شود. با توجه به این حقیقت، ضرورت پژوهش‌های کاربردی برای بهبود زمان ماندگاری و خواص حسی نان به‌منظور کاهش ضایعات آن در کشور مشهودتر خواهد بود. یادآوری می‌شود که تاکنون گزارشی مبنی بر بررسی تأثیر استفاده از کشت‌های آغازگر اختصاصی لاکتوباسیل بر ویژگی‌های نان در حوزهٔ کاربردی صنعت نانوایی کشور ارائه نشده است.

هدف اصلی از این پژوهش، بررسی امکان استفاده از خمیرترش دارای کشت‌های آغازگر اختصاصی به‌منظور بهینه‌سازی زمان ماندگاری میکروبی و بهبود خواص حسی نان بربری به‌عنوان یکی از انواع نان‌های غالب تولیدی در کشور بود.

مواد و روش‌ها

مواد خام

آرد با میزان استخراج ۸۶/۵ درصد از کارخانهٔ آسه آرد واقع در شهرک صنعتی بینالود نیشابور تهیه شد. این آرد دارای ۱۳ درصد رطوبت، ۱۲/۵ درصد پروتئین، ۰/۷۵ درصد خاکستر، ۱/۷۲ درصد چربی، ۲۸/۸ درصد گلوتن مرطوب و عدد فالینگ آن ۴۶۰ ثانیه بود. این ویژگی‌ها بر اساس روش AOAC (Anon, 1990) و روش AACC (Anon, 1983) تعیین شد. مخمر خشک فعال *Saccharomyces cerevisiae* از شرکت ایران ملاس فریمان تهیه شد و دو سویه لاکتوباسیلوس مورد استفاده یعنی لاکتوباسیلوس پلانتاروم (ATCC43332) *Lactobacillus plantarum* و لاکتوباسیلوس سانفرانسیس (ATCC 14917) *(Lactobacillus sanfransicencis)* از کلکسیون میکروبی آلمان (DSMZ) به‌صورت لیوفلیزه در ویال‌های مخصوص تحت خلاء، خریداری شد. محیط‌های کشت و محلول‌های شیمیایی مصرفی نیز ساخت شرکت مرک آلمان بودند.

تهیه خمیرترش با استفاده از کشت‌های آغازگر اختصاصی

جهت تهیهٔ خمیرترش، ابتدا سویه‌های *Lactobacillus plantarum* و *Lactobacillus sanfransicencis* به‌ترتیب در محیط‌های کشت MRS Broth و Sourdough به نسبت ۱ درصد وزنی، در دماهای ۳۶ و ۳۰ درجهٔ

سانتی‌گراد به مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت به‌منظور فعال شدن کشت داده شدند. لاکتوباسیل‌ها تا ایجاد 10^{7} تعداد کلنی تشکیل شده در گرم (cfu/gr) (در مقایسه با لوله ۰/۵ مک فارلند) رشد کردند. برای جداسازی سلول‌های تازه میکروبی، بیومس تولیدی توسط سانتریفوژ (مدل اسپکترافیوژل ۱۶ام، انگلیس) با g ۵۰۰۰ در ۴ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه از محیط کشت جدا شد (Dal Bello *et al*., 2007). سپس، نسبت به وزن آرد، معادل ۱/۵ درصد از این سلول‌ها و ۰/۲۵ درصد از مخمر خشک فعال *Saccharomyces cerevisiae* با مقادیری یکسان از آب و آرد مخلوط شد (مخلوط‌کن خمیر مدل مک‌پن، آلمان). تأثیر فاکتور زمان تخمیر در سه سطح ۸، ۱۶، و ۲۴ ساعت، تأثیر فاکتور دمای تخمیر در سه سطح ۲۸، ۳۲، و ۳۶ درجهٔ سانتی‌گراد، و تأثیر سه نوع کشت آغازگر ۱- *Lactobacillus plantarum* ۲- *Lactobacillus sanfransicencis*، و ۳- مخلوط دو سویهٔ لاکتوباسیل به نسبت مساوی بر تهیهٔ خمیرترش مورد ارزیابی قرار گرفت.

تعین اسیدیتهٔ قابل تیتر کردن خمیرترش

برای تعیین اسیدیتهٔ قابل تیتر کردن خمیرترش (بر حسب اسید لاکتیک)، معادل ۱۰ گرم از آن با ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و یکنواخت شد و محلول مذکور توسط NaOH با نرمالیته ۰/۱ تا pH معادل ۸/۵ تیتر شد و اسیدیته بر حسب میلی‌لیتر NaOH مصرفی محاسبه گردید (Katina, 2005).

تهیهٔ نمونهٔ نان شاهد

برای تهیهٔ نمونه نان شاهد از مخلوط آرد و ۱/۵ درصد وزنی مخمر خشک فعال حاوی *Saccharomyces cerevisiae* به همراه ۰/۴ درصد نمک استفاده شد. مقدار آب مورد نیاز و شرایط مخلوط کردن با استفاده از فارینوگراف (مدل برابندر، انگلیس) تعیین شد (جذب آب ۶۰ درصد). نمونهٔ شاهد فاقد خمیرترش بود. تخمیر ابتدایی این مخلوط در دمای ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه و تخمیر نهایی پس از تقسیم کردن به قطعات ۱۰۰ گرمی در دمای مشابه به مدت ۹۰ دقیقه صورت پذیرفت. نمونه‌های تولیدی بلافاصله در دمای ۲۲۰±۵ درجهٔ سانتی‌گراد و به مدت حدود ۱۵ دقیقه در فر نانوایی (مدل سینماگ، ایران)، پخت گردیدند (Meignen *et al*., 2001).

تهیهٔ نان با استفاده از خمیر ترش‌های تولیدی

در این مرحله نسبت ۲۵ درصد وزنی از خمیرترش‌ها با خمیر مشابه نمونه شاهد (فاقد ۱/۵ درصد وزنی مخمر خشک فعال حاوی *Saccharomyces cerevisiae*)، جهت تهیهٔ نان در شرایط یکسان تخمیر و پخت با نمونهٔ شاهد، استفاده شد. مقدار خمیرترش مذکور قبل از تخمیر نهایی به خمیر افزوده شد. نان تولیدی پس از پخت حدود نیم ساعت در شرایط بهداشتی، سرد و برای مراحل بعدی استفاده شد (Katina *et al*., 2007; Dal Bello *et al*., 2007).

اندازه‌گیری حجم مخصوص نان

حجم مخصوص نان‌های تولیدی در فاصلهٔ زمانی ۷۲ ساعت پس از پخت، به‌طور جداگانه در شرایط معین (درون بسته‌های استریل پلی‌اتیلنی دردار و دمای انکوباسیون ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد) به روش جایگزینی دانهٔ کلزا (بر اساس استاندارد A-A-20126E METRIC) تعیین و با نمونهٔ شاهد مقایسه شد. نمونه‌های مورد استفاده

با وزن یکسان از مرکز هندسی نان تهیه شدند (Katina *et al*., 2007).

ارزیابی مناسب‌ترین خمیرترش تولیدی جهت بهبود زمان ماندگاری میکروبی نان

نمونه‌های نان تهیه شده، در طول هفت روز متوالی پس از پخت جهت بررسی میزان آلودگی به کپک‌ها و عوامل ایجادکنندهٔ حالت نخی شدن، به‌طور جداگانه در شرایط معین (درون بسته‌های سترون پلی‌اتیلنی دردار و دمای انکوباسیون ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد) مورد کنترل بصری و کشت میکروبی قرار گرفتند و با نمونهٔ شاهد مقایسه شدند (محیط کشت Plate Count Agar در دمای ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت). با مشاهدهٔ اولین مورد آلودگی میکروبی، کشت اختصاصی، مشاهدهٔ میکروسکوپی، و شمارش کلنی صورت گرفت (Katina *et al*., 2002).

ارزیابی خصوصیات حسی نان‌های تولیدی

خصوصیات حسی نان‌های تولیدی از طریق آزمون چشایی بر اساس روش AOAC (Anon, 1990) بررسی شد. ده داور از بین افراد آموزش دیده، خصوصیات نان‌های تولیدی را جهت تعین میزان پذیرش کلی، قابلیت جویدن، سفتی بافت، عطر و طعم، تخلخل، و شکل ظاهری بر مبنای مقیاس ۵-۱ (۱ بالاترین و ۵ کمترین امتیاز) ارزیابی کردند (Katina *et al*., 2006).

آنالیز آماری نتایج

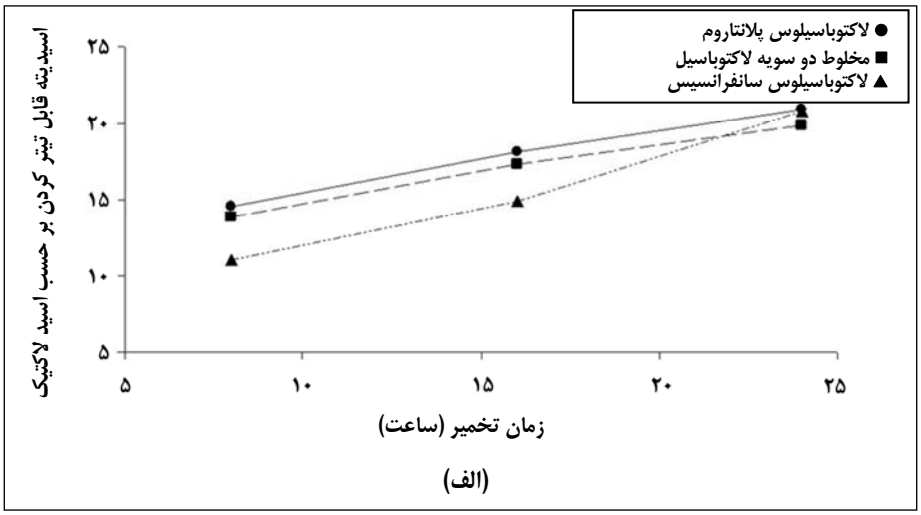
روش آماری مورد استفاده، روش فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ کاملاً تصادفی و با چهار تکرار بود. جهت بررسی رابطهٔ بین عوامل مؤثر در تخمیر خمیرترش (دما و زمان تخمیر)، زمان انبارمانی، و حجم مخصوص نان (به‌عنوان معیار بیاتی و تردی بافت) با زمان ماندگاری میکروبی و امتیاز پذیرش کلی از رگرسیون چند متغیره، و به‌منظور مقایسهٔ میانگین‌ها و بررسی اثر تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل، مدل‌های رگرسیونی به‌منظور پیش‌بینی و بهینه‌سازی زمان ماندگاری میکروبی و خواص حسی نان بربری با استفاده از خمیرترش مصرفی بر حسب نوع کشت آغازگر ارائه گردید. نرم‌افزارهای آماری مورد استفاده عبارت بودند از: Minitab، MstatC، Microsoft Office Excel، SlideWrite 2، و Sigma stat (Katina, 2005).

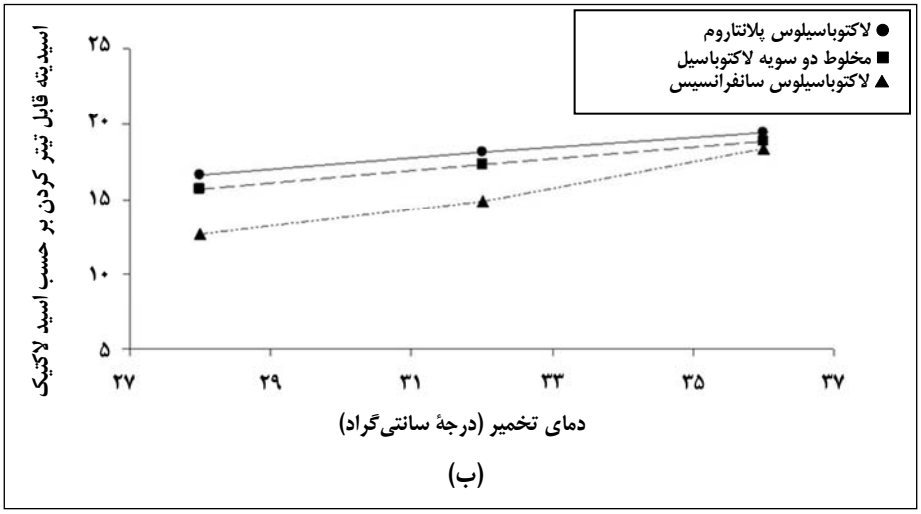
نتایج و بحث

بررسی رابطهٔ اسیدیتهٔ قابل تیترکردن خمیرترش با حجم مخصوص نان

با افزایش زمان و دمای تخمیر در هر سه نوع کشت آغازگر مورد استفاده، اسیدیتهٔ قابل تیتر کردن نیز افزایش یافت (شکل ۱). بیشترین اسیدیتهٔ قابل تیتر کردن در خمیرترش تهیه شده با *Lactobacillus plantarum* در دمای تخمیر ۳۶ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان تخمیر ۲۴ ساعت مشاهده شد. کمترین اسیدیتهٔ قابل تیترکردن در خمیرترش تهیه شده با *Lactobacillus sanfransicencis* در دمای تخمیر ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان تخمیر ۸ ساعت مشاهده شد (شکل ۱- ب).

گل و همکاران (Gül *et al*., 2005)، کاتینا (Katina, 2005)، میگنن و همکاران (Meignen *et al*., 2001)، و تایل (Thiele, 2003) نیز نتایجی مشابه گزارش کرده‌اند. بر اساس گزارش این محققان، به موازات افزایش دما و زمان تخمیر، اسیدیتهٔ قابل تیترکردن خمیرترش افزایش و pH آن کاهش می‌یابد. این شرایط در خصوص کشت‌های آغازگر لاکتوباسیلوس جور تخمیر نظیر *Lactobacillus plantarum* مشهودتر است. افزایش اسیدیته در نان حاصل از خمیر ترش دلیل اصلی بسیاری از تغییرات مفید بعدی عنوان شده است (Arendt *et al*., 2007).

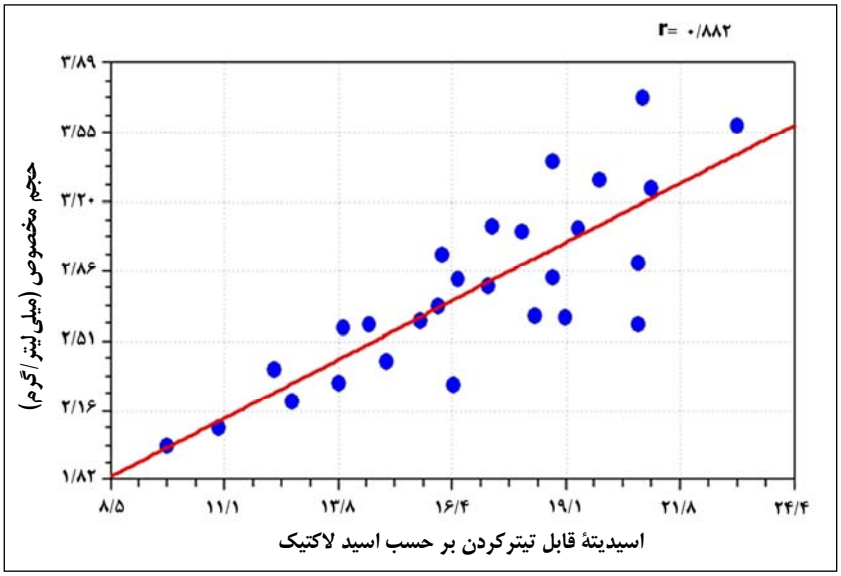




شکل ۱- بررسی روند تغییرات اسیدیتهٔ قابل تیتر کردن خمیرترش بر حسب اسید لاکتیک، در کشت‌های آغازگر متفاوت تحت تأثیر، الف) زمان تخمیر خمیر ترش، ب) دمای تخمیر خمیر ترش

بیشترین حجم مخصوص نان در نمونه‌های فراوری شده با *Lactobacillus plantarum* و کمترین آن در نمونه‌های فراوری شده با *Lactobacillus sanfransicencis* مشاهده شد. رابطهٔ رگرسیونی اسیدیتهٔ قابل تیتر کردن خمیرترش با حجم مخصوص نان نیز دارای ضریب همبستگی ۰/۸۲۲ است که همان‌طورکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش اسیدیتهٔ قابل تیتر کردن خمیرترش، حجم مخصوص نان افزایش می‌یابد.

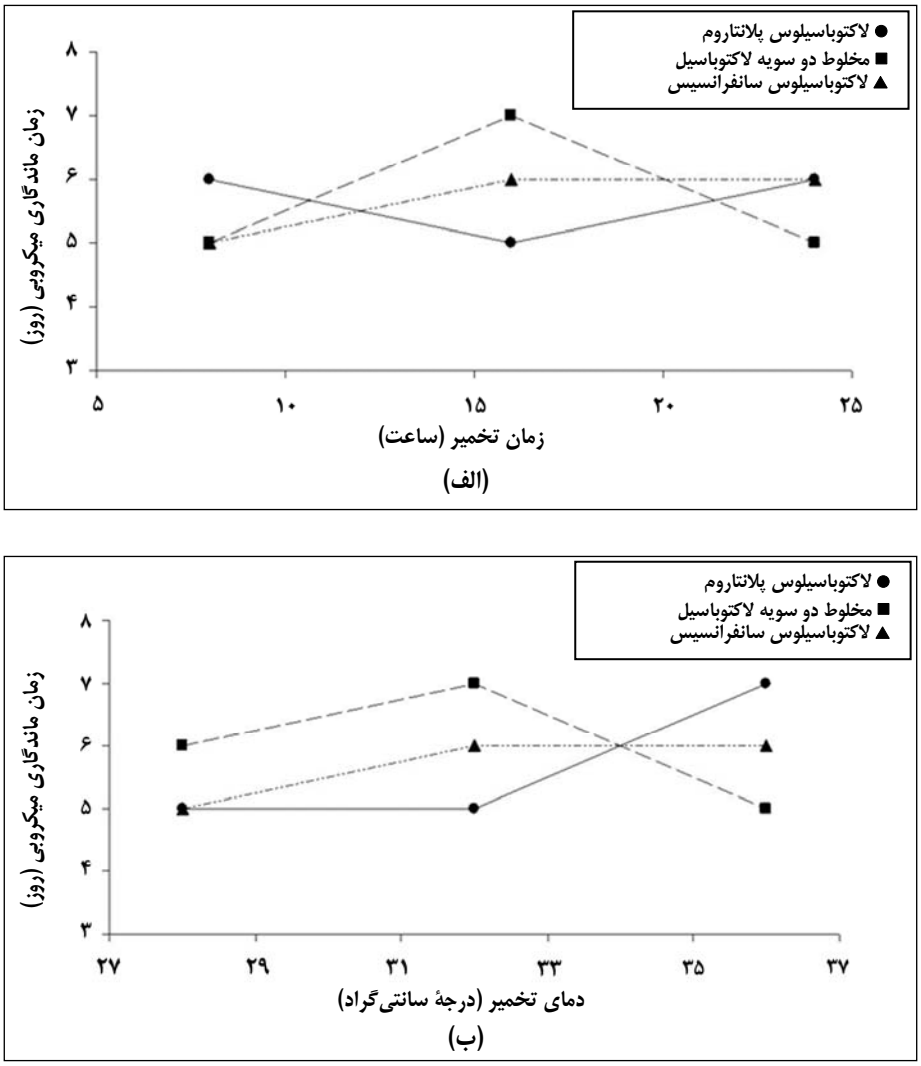
بر اساس گزارش‌های محققان مختلف، مهم‌ترین دلیل کاهش بیاتی نان فراوری شده با خمیرترش، تولید اسید است که سبب افزایش تخلخل، تغییر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز، و افزایش نرمی بافت می‌شود. استفاده از دمای بالاتر تخمیر، اضافه کردن مقدار آب بیشتر در خمیرترش، و استفاده از آرد کامل می‌تواند تولید اسید را در حین تخمیر خمیرترش افزایش می‌دهد (Katina *et al*., 2007; Arendt *et al*., 2007).



شکل ۲- رابطهٔ رگرسیونی اسیدیتهٔ قابل تیتر کردن خمیرترش و حجم مخصوص نان

ارزیابی وضعیت میکروبیولوژیکی نان

ارزیابی وضعیت میکروبیولوژیکی نمونه‌ها بر حسب زمان و دمای تخمیر خمیرترش در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل می‌بینیم که زمان ماندگاری میکروبی در نمونه‌های تهیه شده با *Lactobacillus plantarum*، با افزایش زمان تخمیر خمیرترش ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد، در مورد مخلوط دو سویهٔ لاکتوباسیل برعکس است، و در مورد *Lactobacillus sanfransicencis* پیوسته افزایش می‌یابد (شکل ۳- ب). به موازات افزایش دمای تخمیر خمیرترش، زمان ماندگاری میکروبی در نمونه‌های تهیه شده با *Lactobacillus plantarum* ابتدا کاهش و سپس افزایش و در دو کشت آغازگر دیگر ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. روند این تغییرات در نمونه فراوری شده با مخلوط دو سویهٔ لاکتوباسیل مشهودتر است.



شکل ۳- بررسی روند تغییرات زمان ماندگاری میکروبی نان بربری در کشت‌های آغازگر متفاوت تحت تأثیر الف) زمان تخمیر خمیر ترش، ب) دمای تخمیر خمیر ترش

جدول ۱، مقایسهٔ نمونه‌های نان از حیث میزان آلودگی به کپک و باکتری در فاصلهٔ زمانی ۷ روز پس از پخت، نشان می‌دهد که در سطح معنی‌دار ۵ درصد، زمان ماندگاری میکروبی در تمامی تیمارها از نمونه شاهد بهتر است.

جدول ۱- مقایسهٔ نمونه‌های نان از حیث میزان آلودگی به کپک و باکتری در فاصلهٔ زمانی ۷ روز پس از پخت

نمونه	میزان آلودگی به کپک (تعداد کلنی تشکیل شده در گرم)	میزان آلودگی به باکتری (تعداد کلنی تشکیل شده در گرم)
شاهد	۴×۱۰^{۸}	۴×۱۰^{۶}
پ-۸-۲۸	۳×۱۰^{۲} *	$۲/۵\times۱۰^{۲}$ *
پ-۸-۳۲	۴×۱۰^{۲} *	۳×۱۰^{۲} *
پ-۸-۳۶	$۲/۵\times۱۰^{۲}$ *	$۱/۵\times۱۰^{۲}$ *
پ-۱۶-۲۸	۲×۱۰^{۲} *	۲×۱۰^{۲} *
پ-۱۶-۳۲	۳×۱۰^{۲} *	$۱/۵\times۱۰^{۲}$ *
پ-۱۶-۳۶	۲×۱۰^{۲} *	$۱/۵\times۱۰^{۲}$ *
پ-۲۴-۲۸	≤۱۰۰ *	≤۱۰۰ *
پ-۲۴-۳۲	≤۱۰ *	≤۱۰ *
پ-۲۴-۳۶	≤۱۰۰ *	≤۱۰۰ *
م-۸-۲۸	۲×۱۰^{۴} *	۴×۱۰^{۳} *
م-۸-۳۲	$۳/۵\times۱۰^{۲}$ *	۲×۱۰^{۲} *
م-۸-۳۶	۲×۱۰^{۳} *	$۲/۵\times۱۰^{۳}$ *
م-۱۶-۲۸	$۱/۵\times۱۰^{۴}$ *	۲×۱۰^{۳} *
م-۱۶-۳۲	۲×۱۰^{۲} *	۴×۱۰^{۲} *
م-۱۶-۳۶	۳×۱۰^{۴} *	۳×۱۰^{۳} *
م-۲۴-۲۸	$۲/۵\times۱۰^{۳}$ *	۱×۱۰^{۳} *
م-۲۴-۳۲	$۱/۵\times۱۰^{۲}$ *	۲×۱۰^{۲} *
م-۲۴-۳۶	۱×۱۰^{۳} *	$۳/۵\times۱۰^{۳}$ *
س-۸-۲۸	۴×۱۰^{۶} *	۲×۱۰^{۵} *
س-۸-۳۲	۲×۱۰^{۵} *	۴×۱۰^{۴} *
س-۸-۳۶	$۲/۵\times۱۰^{۵}$ *	۱×۱۰^{۵} *
س-۱۶-۲۸	۲×۱۰^{۶} *	$۱/۵\times۱۰^{۵}$ *
س-۱۶-۳۲	۱×۱۰^{۵} *	۲×۱۰^{۴} *
س-۱۶-۳۶	$۳/۵\times۱۰^{۵}$ *	۲×۱۰^{۴} *
س-۲۴-۲۸	۱×۱۰^{۶} *	۴×۱۰^{۴} *
س-۲۴-۳۲	۲×۱۰^{۴} *	۱×۱۰^{۴} *
س-۲۴-۳۶	$۱/۵\times۱۰^{۵}$ *	$۱/۵\times۱۰^{۴}$ *

* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

پ= *Lactobacillus Plantarum*، س= *Lactobacillus Sanfransicensis*، و م= مخلوط دو سویه لاکتوباسیل است.

زمان تخمیر= ۸، ۱۶، و ۲۴

دمای تخمیر= ۲۸، ۳۲، و ۳۶

تاکنون تأثیر دما و زمان تخمیر بر خواص ضد میکروبی کشت‌های آغازگر مرسوم خمیرترش کمتر بررسی شده است. در این خصوص غالباً به شناسایی و جداسازی انواعی اقدام می‌شود که دارای خواص ضد میکروبی باشند و سپس شرایط بهینه برای فعالیت آنها به‌عنوان آغازگر اختصاصی در خمیرترش به‌دست می‌آید. دال بلو و همکاران (Dal Bello *et al*., 2007) شرایط بهینهٔ تخمیر را برای نوعی *Lactobacillus plantarum* با خواص ضد قارچی به‌عنوان آغازگر اختصاصی در خمیرترش به دست آوردند. لروی و همکاران (Leroy *et al*., 2006) توانستند شرایط بهینهٔ تخمیر را برای نوعی لاکتوباسیلوس مولد باکتریوسین به‌عنوان آغازگر اختصاصی در خمیرترش به‌دست آورند. کاتینا و همکاران (Katina *et al*., 2002)، منتس و همکاران (Mentes *et al*., 2007) نیز توانستند از کشت‌های آغازگر اختصاصی خمیرترش به‌منظور ممانعت از حالت نخی شدن در نان گندم استفاده کنند. محققان مذکور شرایط بهینهٔ تخمیر را برای این آغازگرها به دست آوردند. گفته می‌شود دلیل اصلی این نحوه تغییرات، ایجاد شرایط اسیدی توسط باکتری‌های اسید لاکتیک (خصوصاً انواع هوموفرمنتاتیو) است که از رشد کپک‌ها جلوگیری و محیط را برای رشد باکتری‌های مولد حالت نخی‌شدن نامساعد نموده و ضریب تخریب حرارتی آنها و تأثیر ترکیبات ضد باکتریایی را افزایش و زمان ماندگاری نان گندم حاصل از خمیرترش را بهبود می‌دهند (Arendt *et al*., 2007; Katina, 2005). از طرف دیگر، تولید اسید مهم‌ترین عامل مؤثر خمیرترش در جلوگیری از فساد قارچی و باکتریایی است با این همه عوامل دیگری نیز در مکانیسم ضد میکروبی آن دخالت دارند. اثر ضد میکروبی لاکتوباسیل‌های موجود در خمیرترش، حاصل ترکیبی از تولید اسید لاکتیک، pH پایین و مواد دارای خاصیت ضد میکروبی موجود در خمیرترش است. متابولیت‌های ضد میکروبی موجود در خمیرترش احتمالاً باکتریوسین‌ها یا ترکیبات دیگر با وزن مولکولی پایین‌اند که گستره فعالیت آنها در برابر باکتری‌های گرم مثبت، گرم منفی، و قارچ‌ها وسیع است (Katina, 2005; Simsek *et al*., 2006).

زمان ماندگاری بهینهٔ نان تحت تأثیر خمیرترش دارای کشت‌های آغازگر مورد استفاده در این پژوهش، در شرایط تخمیر متفاوتی به لحاظ زمان و دما، به‌دست آمد (نحوهٔ تغییرات در شکل ۳) که خود گویای تأثیر شرایط تخمیر خمیرترش بر ایجاد متابولیت‌های مؤثر در مکانیسم ضد میکروبی آن است.

رابطهٔ رگرسیونی بین حجم مخصوص نان (معیار سنجش بیاتی نان) با متغیرهای زمان و دمای تخمیر خمیرترش و زمان ماندگاری میکروبی نان بر حسب نوع کشت آغازگر مصرفی پس از حذف Backward (جهت حذف متغیرهای اضافی از مدل رگرسیونی) نشان داد که تمامی متغیرهای مورد بررسی در معادله باقی ماندند. رابطه‌های ۱ تا ۳ نیز جهت تخمین مقدار حجم مخصوص نان بر حسب زمان ماندگاری میکروبی نان، دما، و زمان تخمیر خمیرترش به‌ترتیب در محدوده‌های یک تا ۷ روز، ۲۸ تا ۳۶ درجه سانتی‌گراد و ۸ تا ۲۴ ساعت به‌دست آمد.

(۱) کشت آغازگر *Lactobacillus plantarum* (R^2 =۰/۹۰۴**)

حجم مخصوص نان = (۰/۶۱۱ − (۰/۰۱۷۷× زمان تخمیر) + (۰/۰۱۰۸× دمای تخمیر) + (۰/۰۱۰۵× زمان ماندگاری میکروبی)

(۲) کشت آغازگر مخلوط دو سویه لاکتوباسیل $(R^2 = ۰/۹۱۸^{**})$

۰/۶۶۳- (۰/۰۱۴۵× زمان تخمیر) + (۰/۰۹۸۵× دمای تخمیر) + (۰/۰۱۴۹× زمان ماندگاری میکروبی) = حجم مخصوص نان

(۳) کشت آغازگر *Lactobacillus sanfransicencis* $(R^2 = ۰/۹۴۸^{**})$

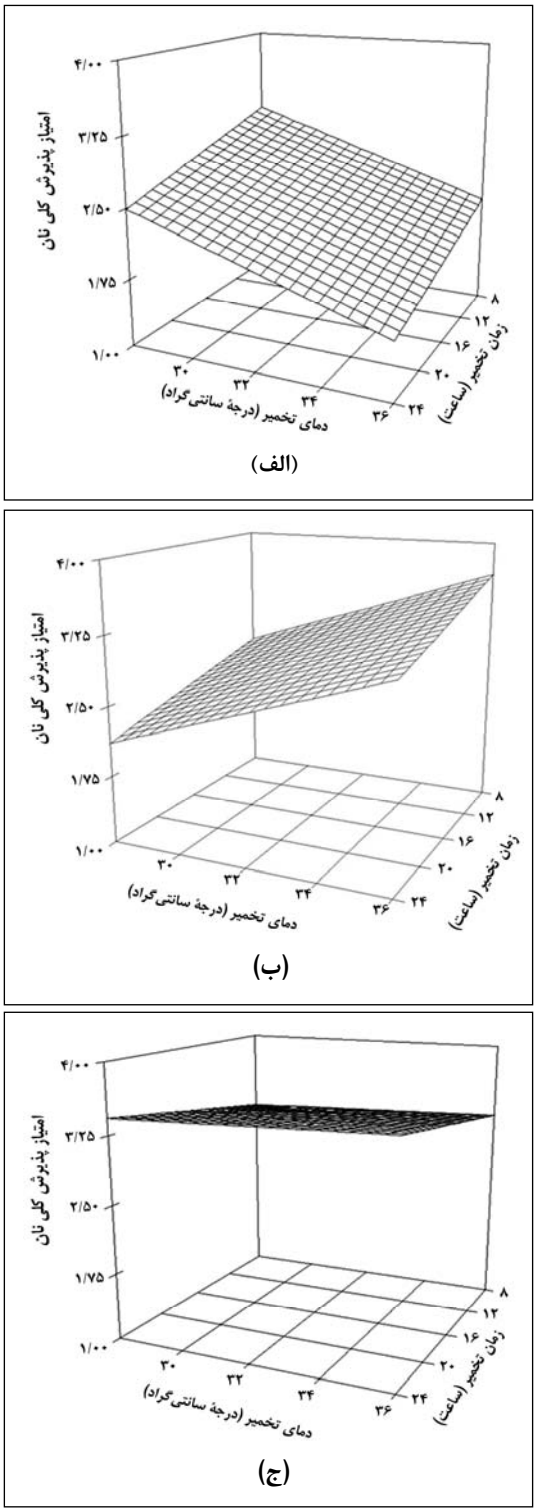
۰/۲۵۳ - (۰/۰۲۰۷× زمان تخمیر) + (۰/۰۷۲۴× دمای تخمیر) + (۰/۰۰۳۰۹× زمان ماندگاری میکروبی) = حجم مخصوص نان

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از خمیرترش به‌طور مؤثر زمان ماندگاری میکروبی نان بربری را نسبت به نمونهٔ شاهد بالا می‌برد ($p \leq ۰/۰۵$). در تعدادی از این نمونه‌ها حتی پس از ۷ روز انبارمانی در دمای محیط، آلودگی میکروبی مشاهده نشد.

ارزیابی خصوصیات حسی نان

در نمونه‌های فراوری‌شده با *Lactobacillus plantarum* و *Lactobacillus sanfransicencis* دیده شد که با افزایش زمان تخمیر، امتیاز پذیرش کلی نان ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. دلیل احتمالی این موضوع افزایش تخلخل، بهبود احساس دهانی، و طعم مناسب در محدوده‌های دمایی مورد نظر است (Katina, 2005). همچنین در نمونه‌های فراوری شده با مخلوط دو سویهٔ لاکتوباسیل دیده شد که با افزایش زمان تخمیر، امتیاز پذیرش کلی نان کاهش می‌یابد. با افزایش دمای تخمیر، امتیاز پذیرش کلی نان در نمونه‌های فراوری‌شده با *Lactobacillus plantarum* و *Lactobacillus sanfransicencis* کاهش و در نمونه‌های فراوری شده با مخلوط دو سویهٔ لاکتوباسیل ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد (شکل ۴). دلیل این امر افزایش تولید اسید لاکتیک بر اثر *Lactobacillus plantarum* و اثر متقابل بین دو لاکتوباسیل عنوان شده است (Katina *et al*., 2006).

در فاصلهٔ زمانی یک ساعت پس از پخت، با افزایش زمان و دمای تخمیر در نمونه‌های فراوری شده با *Lactobacillus plantarum*، امتیاز پذیرش کلی نان بهبود می‌یابد درحالی‌که در نمونه‌های فراوری شده با دو کشت آغازگر دیگر این وضعیت مشاهده نشد اما روند این تغییرات در فواصل زمانی طولانی‌تر پس از پخت نیز ثابت نماند.



شکل ۴- تغییرات امتیاز پذیرش کلی نان، یک ساعت پس از پخت، تحت تأثیر دما و زمان تخمیر و نوع کشت آغازگر اختصاصی که از طریق تجزیه سطح عکس‌العمل برازش شده است، الف) *Lactobacillus plantarum*، ب) مخلوط دو سویهٔ لاکتوباسیل، و ج) *Lactobacillus sanfransicencis*

جدول ۲- مقایسه نمونه‌های نان، ۷۲ ساعت پس از پخت از حیث صفات حسی مورد اندازه‌گیری

نمونه	پذیرش کلی	قابلیت جویدن	سفتی بافت	عطر و طعم	تخلخل و شکل ظاهری
شاهد	۳/۸۸a	۳/۸۴a	۳/۸۶a	۳/۸a	۳/۹۱a
پ-۸-۲۸	۲/۹۸ bc	۲/۹۷ bc	۲/۹۴ bc	۲/۹۶ bc	۲/۹۸ bc
پ-۸-۳۲	۳/۲۵ ab	۳/۲۷ ab	۳/۲۹ ab	۳/۲۴ ab	۳/۲۲ ab
پ-۸-۳۶	۲/۰۵ c	۲/۰۸ c	۲/۰۹ c	۲/۰۳ c	۲/۰۷ c
پ-۱۶-۲۸	۲/۵۶ b	۲/۵۹ b	۲/۶۱ b	۲/۵۷ b	۲/۵۶ b
پ-۱۶-۳۲	۲/۱۴ c	۲/۱۴ c	۲/۱۳ c	۲/۱۹ c	۲/۱۸ c
پ-۱۶-۳۶	۱/۵۴ d	۱/۵۸ d	۱/۵ d	۱/۵۶ d	۱/۴۹ d
پ-۲۴-۲۸	۲/۳۴ b	۲/۳۷ b	۲/۳۷ b	۲/۴۲ b	۲/۳۹ b
پ-۲۴-۳۲	۲/۵۴ b	۲/۵۵ b	۲/۵۹ b	۲/۶۱ b	۲/۴۹ b
پ-۲۴-۳۶	۱/۶۷ d	۱/۵۹ d	۱/۶۵ d	۱/۶۸ d	۱/۶۶ d
م-۸-۲۸	۲/۶۷ b	۲/۶۵ b	۲/۶۹ b	۲/۷۲b	۲/۶۷ b
م-۸-۳۲	۳/۹۲ a	۳/۹۶ a	۳/۹۴ a	۳/۹ a	۳/۸۸ a
م-۸-۳۶	۳/۲۹ a	۳/۳۳ a	۳/۳۱ a	۳/۲۷ a	۳/۲۸ a
م-۱۶-۲۸	۱/۴ d	۱/۴۲ d	۱/۳۵ d	۱/۳۸ d	۱/۴۱ d
م-۱۶-۳۲	۳/۵۵ a	۳/۵۳ a	۳/۵۹ a	۳/۴۷ a	۳/۶۰ a
م-۱۶-۳۶	۲/۶۹ b	۲/۷۷ b	۲/۷۴ b	۲/۷۱ b	۲/۶۳ b
م-۲۴-۲۸	۲/۰۶ c	۲/۱۱ c	۲/۰۹ c	۲/۰۷ c	۲/۱ c
م-۲۴-۳۲	۳/۰۷ a	۳/۱۴ a	۳/۰۹ a	۳/۰۷ a	۳/۱ a
م-۲۴-۳۶	۳/۱۴ a	۳/۱۹ a	۳/۱۵ a	۳/۲۲ a	۳/۱۴ a
س-۸-۲۸	۳/۲۷ a	۳/۲ a	۳/۲۹ a	۳/۳۲ a	۳/۱۹ a
س-۸-۳۲	۳/۱۷ a	۳/۲۷ a	۳/۰۹ a	۳/۱۹ a	۳/۱۳ a
س-۸-۳۶	۳/۲ a	۳/۲۴ a	۳/۱۸ a	۳/۱۹ a	۳/۲ a
س-۱۶-۲۸	۳/۵۴ a	۳/۶۱ a	۳/۵۵ a	۳/۴۹ a	۳/۵۵ a
س-۱۶-۳۲	۳/۹۸ a	۴/۰۱ a	۳/۹ a	۳/۸۸ a	۳/۹۷ a
س-۱۶-۳۶	۳/۰۹ a	۳/۱۳ a	۳/۱ a	۳/۰۱ a	۳/۰۴ a
س-۲۴-۲۸	۳/۳۹ a	۳/۴۲ a	۳/۴۲ a	۳/۳۵ a	۳/۳۷ a
س-۲۴-۳۲	۳/۰۴ a	۳/۱۲ a	۳/۰۸ a	۳/۱ a	۳a
س-۲۴-۳۶	۴/۱۷ a	۴/۱۸ a	۴/۲۲ a	۴/۱ a	۴/۱۶ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

پ= *Lactobacillus Plantarum*، س= *Lactobacillus Sanfransicensis*، و م= مخلوط دو سویه لاکتوباسیل است.

زمان تخمیر= ۸، ۱۶، و ۲۴

دمای تخمیر= ۲۸، ۳۲، و ۳۶

رابطـهٔ رگرسـیونی بـین امتیـاز پـذیرش کلـی نـان بـا متغیرهای زمان و دمای تخمیر خمیرترش و زمان انبارمانی بـر حـسب نـوع کـشت آغـازگر مـصرفی پـس از حـذف Backward (جهـت حـذف متغیرهـای اضـافی از مـدل رگرسیونی) نشان داد که تمامی متغیرهای مورد بررسی در معادله باقی ماندند. رابطه‌های ۴ تا ۶ نیـز جهـت تخمـین امتیاز پذیرش کلی نان بر حـسب زمـان انبارمـانی، دمـا، و زمان تخمیر خمیرترش به‌ترتیب در محدوده‌هـای یـک تـا ۷۲ ساعت، ۲۸ تا ۳۶ درجهٔ سانتی‌گراد، و ۸ تا ۲۴ سـاعت به‌دست آمد.

(۴) کشت آغازگر *Lactobacillus plantarum* (R^2 =۰/۷۵۳**)

۴/۴ + (۰/۰۴۸۵× زمان تخمیر) + (۰/۰۶۸۷× دمای تخمیر) + (۰/۰۱۲۳× زمان انبارمانی) = امتیاز پذیرش کلی نان

(۵) کشت آغازگر مخلوط دو سویه لاکتوباسیل (R^2 =۰/۴۵۱*)

۲/۹۳ + (۰/۰۵۶۶× زمان تخمیر) + (۰/۰۵۴۳× دمای تخمیر) + (۰/۰۰۹۷۷× زمان انبارمانی) = امتیاز پذیرش کلی نان

(۶) کشت آغازگر *Lactobacillus sanfransicencis* (R^2 =۰/۶۹۵**)

۱/۲۶ + (۰/۰۰۳۸۹× زمان تخمیر) + (۰/۰۳۲۳× دمای تخمیر) + (۰/۰۱۲۷× زمان انبارمانی) = امتیاز پذیرش کلی نان

در فواصل زمانی ۱، ۲۴، ۴۸، و ۷۲ ساعت پس از پخـت، تفاوت معنی‌دار بین امتیاز پذیرش کلی نمونهٔ شاهد با اکثر نمونه‌ها مشاهده شد ($p \leq ۰/۰۵$). بهترین امتیـاز پـذیرش کلی یک ساعت پس از پخـت بـه نمونـه فـراوری شـده بـا *Lactobacillus plantarum* در دمـای تخمیـر ۳۶ درجـهٔ سانتی‌گراد و زمان تخمیر ۲۴ ساعت تعلـق گرفـت (شـکل ۴). در فاصله زمانی ۷۲ ساعت پـس از پخـت نیـز نمونـه فراوری شده بـا مخلـوط دو سـویهٔ لاکتوباسـیل در دمـای تخمیر ۲۸ درجهٔ سـانتی‌گـراد و زمـان تخمیـر ۱۶ سـاعت دارای بهترین امتیاز پذیرش کلی بود.

کنترل تشکیل ترکیبات مولد طعم در تخمیر خمیرتـرش با انتخاب کشت آغـازگر اختـصاصی یـا بـا تنظـیم شـرایط تخمیر، نظیر زمان و دما، و نیز تنظیم درجه اسـتخراج آرد ممکن مـی‌شـود. آرد حـاوی مقـادیر خاکـستر (سـبوس) بیـشتر، امکـان تولیـد ترکیبـات فـرار را در حـین تخمیـر میکروبی مخلوط مخمـری و بـاکتری‌هـای اسـید لاکتیـک افزایش می‌دهد. دلیل احتمـالی ایـن امـر حـضور مقـادیر متفاوت ترکیبات پیش‌ساز طعـم موجـود در سـبوس آرد و نیـز تغییـرات متـابولیکی اسـت کـه در حـین تخمیـر باکتری‌های اسید لاکتیک در این شـرایط ایجـاد مـی‌شـود (Katina *et al*., 2006). کاتینا و همکاران (Katina *et al*., 2006) و تایل و همکاران (Thiele *et al*., 2002) معتقدنـد که ارزیابی خواص حسی نـان‌هـای خمیرترشـی حاصـل از آردهـای منـاطق جغرافیـایی مختلـف بـه‌دلیـل تنـوع و تفاوت فلور میکروبـی آنهـا نـسبت بـه سـایر خـواص نـان کمتر قابل پیش‌بینی است. محققان مذکور خواص حـسی را در نان خمیرترشی تهیه شده از آردهای گنـدم، چـاودار و... بـا خمیرتـرش دارای کـشت‌هـای آغـازگر اختـصاصی بررسی و شرایط بهینـه تخمیـر را بـه‌منظـور فـوق تعیـین کردند.

امتیاز پذیرش کلی نمونه‌های حاصل از خمیرترش دارای کشت‌های آغازگر مورد استفاده در این پژوهش، در شرایط تخمیر گوناگون متفاوت بود (جدول ۲) که خود گویای تأثیر شرایط تخمیر خمیرترش بر ویژگی‌های حسی مورد ارزیابی است. علاوه بر این، مطابق با نتایج محققان مذکور، قابلیت پیش‌بینی ویژگی‌های حسی، نسبت به سایر خواص نان حاصل از خمیرترش، کمتر است (ضرایب رگرسیون معادلات ۴ تا ۶). با این همه، بسیاری از کشت‌های آغازگر مورد استفاده در این پژوهش در مقایسه با نمونهٔ شاهد به‌طور معنی‌دار سبب بهبود امتیاز پذیرش کلی نان بربری شده‌اند.

نتیجه‌گیری

فرایند تخمیر خمیرترش به عوامل متعدد نظیر ترکیب فلور میکروبی خمیرترش، فعالیت آنزیمی، و قابلیت تخمیر آرد بستگی دارد. کنترل شرایط تخمیر خمیرترش با انتخاب کشت آغازگر اختصاصی و تنظیم شرایط تخمیر میسر می‌شود. از طرف دیگر، استفاده از کشت‌های آغازگر اختصاصی خمیر ترش در فرایند تولید نان گندم نیازمند کنترل دقیق این شرایط است.

روابط رگرسیونی و همبستگی بین عوامل مؤثر در تخمیر (دما و زمان تخمیر خمیرترش و نوع کشت آغازگر)، زمان انبارمانی، و حجم مخصوص نان با زمان ماندگاری میکروبی و امتیاز پذیرش کلی نشان می‌دهد که به‌منظور استفاده‌های اختصاصی از خمیرترش با توجه به معادلات ارائه شده در این مطالعه، امکان ارزیابی اثر متغیرهای فرایند تولید و انبارمانی بر ایمنی میکروبی و کیفیت محصول در قالب چند مدل ریاضی ممکن می‌شود.

استفاده از خمیرترش دارای کشت‌های آغازگر اختصاصی مورد استفاده در این پژوهش به‌طور معنی‌دار سبب بهبود زمان ماندگاری میکروبی و خواص حسی نان بربری شد. علاوه بر این، بیشترین زمان ماندگاری میکروبی در نمونه فراوری شده با *Lactobacillus plantarum* در دمای تخمیر ۳۲ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان تخمیر ۲۴ ساعت مشاهده شد و در فاصلهٔ زمانی ۷۲ ساعت پس از پخت، نمونهٔ فراوری شده با مخلوط دو سویهٔ لاکتوباسیل در دمای تخمیر ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان تخمیر ۱۶ ساعت دارای بهترین امتیاز پذیرش کلی بود.

مراجع

Anon. 1983. AACC Method 44-15. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 8th Ed. The Association, St. Paul. MN.

Anon. 1990. AOAC Method, In Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th Ed. Arlington. Virginia.

Arendt, E. K., Ryan, L. A. M. and Dal Bello, F. 2007. Impact of sourdough on the texture of bread. Food Micro. 24(2): 165-174.

Dal Bello, F., Clarke, C. I., Ryan, L. A. M., Ulmer, H., Schober, T. J., Ström, K., Sjögren, J., van Sinderen, D., Schnürer, 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. J. Cereal Sci. 45(3): 309-318.

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 Micro. 14(4): 327-337.

Guerzoni, M. E., Vernocchi, P., Ndagijimana, M., Gianotti, A. and Lanciotti, R. 2007. Generation of aroma compounds in sourdough: Effects of stress exposure and lactobacilli–yeasts interactions. Food Micro. 24(2): 139-148.

Gül, H., Özçelik, S., Sa˘gdıç, O. and Certel, M. 2005. Sourdough bread production with lactobacilli and Saccharomyces cerevisiae isolated from sourdoughs. Process Biochemistry. 40, 691-697.

Katina, K. 2005. Sourdough: A tool for the improved flavour, texture and shelf-life of wheat bread. VTT Biotechnology. VTT Technical Research Centre of Finland. No. 569.

Katina, K., Sauri, M., Alakomi, H. L. and Mattila-Sandholm, T. 2002. Potential of lactic acid bacteria to inhibit rope spoilage in wheat sourdough bread. LWT. 35, 38-45.

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. 39, 1189-1202.

Katina, K., Laitila, A., Juvonen, R., Liukkonen, K. H., Kariluoto, S., Piironen, V., Landberg, R., Man, P. A. and Poutanen, K. 2007. Bran fermentation as a means to enhance technological properties and bioactivity of rye. Food Micro. 24(2): 175-186.

Leroy, F., De Winter, T., Adriany, T., Neysens, P. and De Vuyst, L. 2006. Sugars relevant for sourdough fermentation stimulate growth of and bacteriocin production by lactobacillus amylovorus DCE 471. Int. J. Food Micro. 112, 102-111.

Meignen, B., Onno, B., Ge¨ linas, P., Infantes, M., Guilois, S. and Cahagnier, B. 2001. Optimization of sourdough fermentation with Lactobacillus brevis and baker's yeast. Food Micro. 18, 239-245.

Mentes, O., Ercan, R. and Akcelik, M. 2007. Inhibitor activities of two lactobacillus strains, isolated from sourdough, against rope-forming bacillus strains. Food Control. 18(4): 359-363.

Simsek, O., Hilmi Con, A. and Tulumoglu, S. 2006. Isolating lactic starter cultures with antimicrobial activity for sourdough processes. Food Control. 17, 263-270.

Suhr, K. I. and Nielsen, P. V. 2004. Effect of weak acid preservatives on growth of bakery product spoilage fungi at different water activities and pH values. Int. J. Food Micro. 95, 67-78.

Thiele, C. 2003. Hydrolysis of gluten and the formation of flavor precursors during sourdough fermentation. T. U. M.

Thiele, C., Gänzle, 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 flavor. Cereal Chem. 79, 45-51.

Todorov, S., Onno, B., Sorokine, O., Chobert, J. M., Ivanova, I. and Dousset, X. 1999. Detection and characterization of a novel antibacterial substance produced by Lactobacillus plantarum ST 31 isolated from sourdough. Int. J. Food Micro. 48, 167-177.

Wagner, S. C. 2005. Producing sourdough breads to illustrate the use of industrial microorganisms. Ame. Bio. Teacher. 67(2): 96-101.

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.9/No.3/Autumn 2008/P: **153-170**

The Effect of Sourdough on the Microbiological Shelf life and Sensory Properties of Barbari Bread

A. Sadeghi, F. Shahidi*, S. A. Mortazavi, M. Nassiri Mahallati and B. Sadeghi

* Corresponding Author: Professor, Ferdowsi University of Mashhad, P. O. Box: 91775-1163, Mashhad. Iran. E-mail: fshahidi@ferdowsi.um.ac.ir

This study examined sourdough LAB containing specific starter cultures used to produce barbari-style bread and evaluated their microbiological shelf life and sensory properties. The effects of sourdough fermentation time (8, 16, 24h), fermentation temperature (28, 32, 36°C) and type of starter culture (Lactobacillus sanfransicencis, ATCC 14917; Lactobacillus plantarum, ATCC 43332; a mixture of both LABs) were analyzed in a completely randomized design factorial experiment with four replications. The microbiological shelf life of samples was determined by placing serial dilutions on plate count agar for one to seven days. The sensory properties of the bread were determined 1, 24, 48 and 72h after baking using AOAC standards. The results showed that sourdough had a significant effect ($p \leq 0.05$) on improving the microbiological shelf life and sensory properties of barbari bread in comparison with the control sample. Moreover, the sample produced with Lactobacillus plantarum (24h fermentation time and 32ºC fermentation temperature) had the maximum microbiological shelf life and the sample produced with a mixture of both LABs (16h fermentation time and 28ºC fermentation temperature) had the best sensory evaluation 72 h after baking.

Key Words: Barbari Bread, Lactic Acid Bacteria, Microbiological Shelf Life, Sensory Properties, Sourdough