مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ir

مقاله علمی_پژوهشی

ارزیابی خصوصیات تکنیکی-عملکردی، ضدقارچی و حسّی نان نیمه حجیم حاوی خمیرترش آرد شلتوک برنج در مجاورت با استارتر تجاری *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* (LA5) در طول مدت ماندگاری

عباس عابدفر*[1]، علیرضا مهرگان نیکو[1]

۱- ۱- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۷/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷

کلمات کلیدی:

خمیرترش شلتوک برنج،

استارتر تجاری DVS *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*،

ویژگی ضد قارچی،

خصوصیات تکنیکی-عملکردی

DOI: 10.22034/FSCT.22.161.151.

* مسئول مکاتبات:

a.abedfar@guilan.ac.ir

چکیده

با پیشرفت دانش مصرف‌کنندگان برای تولید محصولات غذایی سالم بدون نگهدارنده‌های غیرطبیعی در توسعه غذاهای کاربردی و استراتژیک اثرات چشمگیری داشته است. در این پژوهش با بکارگیری استارتر DVS تجاری (LA5) و تعیین نقطه بهینه هدایت تخمیر با قابلیت بالقوه متناسب با مدل‌های برازش شده با ضریب صحت و اطمینان ۷۸ درصد، به ارزیابی خصوصیات تکنیکی-عملکردی، ضدقارچی و حسّی نان نیمه حجیم تولیدی در طول مدت ماندگاری ۷ روز پرداخته شد. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین تمام آزمون‌های کیفی و تکنیکی-عملکردی نمونه‌های نان محتوی خمیرترش آرد شلتوک برنج (RHFS) در طول مدت ماندگاری در مقایسه با نمونه شاهد در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند ($P<0.05$). کاهش فعالیت آبی و اتصالات عرضی در نمونه نان خمیرترشی در مقایسه با نمونه شاهد در طول مدت ماندگاری سبب کاهش افت رطوبت (بترتیب ٤ و ۱۰ درصد) و رهایش آهسته‌تر محتوی رطوبت مغز و پوسته در مقایسه با آن شد. دو شاخص کیفی حجم مخصوص و تخلخل، در طول مدت ماندگاری روند نزولی داشت، همچنین شاخص‌های رنگی، برایند رنگ کل، شاخص قهوه‌ای شدن، زردی و سفیدی و خصوصیات ضد قارچی در مقایسه با نمونه شاهد اختلاف مشهودی داشت. خصوصیات بافتی بعنوان شاخصی از بیاتی در طول مدت ماندگاری در مقایسه با نمونه کنترل روند مطلوب‌تری را نشان داد. در نهایت تاثیر هدایت تخمیر خمیرترش در طول مدت ماندگاری سبب بهبود ژلاتینه شدن و واگشتگی، خصوصیات حسّی و ضد قارچی نمونه نان نیمه حجیم گردید.

۱-مقدمه

توسعه سریع اجتماعی و اقتصادی باعث شده که محصولات نانوایی به تدریج به بخش مهمی از رژیم غذایی روزانه مردم در سراسر جهان تبدیل شوند. تا سال ۲۰۲۱، نان و سایر محصولات نانوایی حدود یک میلیارد دلار در سطح جهانی گردش مالی داشته‌اند که پیش‌بینی می‌گردد در بازار جهانی درآمد حاصل از محصولات نانوایی تا سال ۲۰۲۷ به حدود ٤٥٨ میلیارد دلار برسد [۱]. با توجه به ارزش تغذیه‌ای و فرهنگی نان به عنوان یک کالای استراتژیک غذایی و میزان ضایعات آن در کشور (بیش از سی درصد)، تمایل به مصرف فراورده‌های نانوایی حاوی حداقل میزان نگهدارنده‌ها، عاری از افزودنی‌های شیمیایی و دارای کیفیت و زمان ماندگاری مطلوب که یکی از دغدغه‌های متولّیان صنایع نانوایی بوده است [۲]. بر این اساس علاقه به بهینه‌سازی تولید و افزایش ماندگاری آن از طریق بهبود ویژگی‌هایی همچون طعم، خواص بافتی، تغذیه‌ای و به تأخیر انداختن بیاتی و فساد میکروبی آن و همچنین تأمین انرژی و رفع نیازهای ساختاری بدن به سمت ارزیابی دقیق ترکیبات غذایی که از نظر ساختار زیستی فعال، مطابق با عادات و رژیم غذایی هر اقلیم و منطقه و ویژگی‌های غذا-دارویی هستند تغییر یافته است [۳ و ٤]. محصولات تخمیری اصولاً ویژگی‌های عطر و طعم خود را مدیون کنسرسیوم میکروبی می‌باشند، بر این اساس حفظ گونه‌های میکروبی مفید در تولید و بهبود کیفیت مواد غذایی ارگانیک بالاخص خمیرترش بعنوان پیش ماده خوراک استراتژیک (نان) در هر کشوری از اهمیت فوق العاده‌ی برخوردار خواهد بود [٥].

خمیرترش در حقیقت یک سامانه زیستی بسیار پیچیده متشکل از مخلوط فراورده‌های غلات، آب و میکروارگانیسم‌های فعال است که به دلایل خاص مانند بهبود عطر و طعم، زمان ماندگاری، ارزش تغذیه‌ای و یا حتی ایجاد خواص سلامتی‌بخش در فرایند تخمیر نان مورد استفاده قرار می‌گیرد [٦]. تولید اسید بعنوان متابولیت حائز اهمیت در طول فرایند تخمیر تصادفی و هدایت شده خمیرترش بر اجزای نشاسته و پروتئین آرد گندم تأثیر گذاشته و ضمن کاهش pH و کاهش فعالیت پروتئازی آرد گندم روی بیاتی نان تاثیر گذاشته و سبب افزایش تخلخل و نرمی بافت نان خمیرترشی می‌گردد. همچنین خمیرترش با ممانعت از فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز آرد، میزان هیدرولیز نشاسته را کاهش می‌دهد و این امر، آزادسازی دکسترین‌های با وزن مولکولی پایین را محدود کرده و سبب کاهش ژلاتینه شدن و واگشتگی می‌گردد [۷]. به‌کارگیری غلات بالاخص سبوس برنج سرشار از مواد مغذی، معدنی و فیبری بالا ضمن بهبود خصوصیات مهم کیفی و ارگانولپتیکی در صنعت نانوایی، سبب استحکام در ظرفیت اتصال به آب در ساختار خمیر در مقایسه با سایر منابع فیبر تجاری می‌گردد. از آن‌جایی که قابلیت حفظ هوا در ساختارهای تخمیری سبوس برنج به مراتب نسبت به سایر ترکیبات فیبری بیش‌تر بوده، در نتیجه سبب تسریع افزایش حجم در محصولات نانوایی می‌گردد [۸]. خاصیت «تازگی- طراوت» فراورده‌های نانوایی که ارتباط نزدیکی با نوع نان، افزودنی‌ها و کیفیت ساختاری آن دارد، در طول مدت ماندگاری به‌شدت تحت تأثیر افت کیفیت نسبی و فساد میکروبی قرار می‌گیرد. از این رو حفظ طعم و عطر، بهبود خصوصیات کیفی-میکروسکوپی و ارگانولپتیکی نان را می‌توان به عنوان اولین و مهم‌ترین بخش‌های مرتبط با کیفیت نان تولیدی دانست [۹]. بر این اساس تاکنون پژوهش‌های مختلفی در کشور و دنیا به منظور ارزیابی عوامل موثر در تخمیر کنترل شده خمیرترش بر خصوصیات کیفی نان خمیرترشی صورت گرفته است. بطور مثال در مطالعه ای، عابدفر [۱۰]، به بررسی فعالیت ضدمیکروبی و تأثیر خمیرترش آرد پوسته برنج تحت تاثیر دو سویه لاکتیکی بر میزان فیتیک اسید در نان نیمه حجیم پرداخت؛ نتایج نشان داد که اختلاف معناداری بین فعالیت ضدمیکروبی سوسپانسیون کشت فعال فاز لگاریتمی و فاز سکون هر دو جدایه لاکتیکی در روش

چاهک دیده نشد و بیشترین هاله عدم رشد مرتبط با باکتری *اشرشیای کلای* با **مقادیر (۱/۱۳± ۱۳/۲۲)** میلی‌متر مشاهده گردید. محتوی فیتیک اسید در تخمیر کنترل شده با هر یک از آغازگرها روند نزولی داشت، که تاثیر آغازگر *پدیوکوکوس پنتوسازئوس* در کاهش مقدار فیتیک اسید به مراتب بیشتر از گونه *لاکتی‌پلنتی‌باسیلیوس پلانتاروم* بود که در حقیقت تاثیر افزایش اسیدیته در تخمیر هدایت شده آن سبب کاهش محتوی فیتیک اسید با بیشترین خاصیت ضد میکروبی و هاله عدم رشد گردید. عابدفر و **همکاران** [۱۱]، به بررسی بهینه‌سازی تخمیر کنترل شده با *L.acidophilus* در خمیرترش سبوس برنج و ارزیابی خصوصیات کیفی نان حجیم با استفاده از روش (RSM) پرداختند؛ نتایج ارزیابی تناسب مدل‌های برازش شده نشان داد که با افزایش دما و زمان تخمیر به ازای محتوی شکر ثابت، اسیدیته قابل تیتر، پایش جمعیت میکروبی، حجم مخصوص، تخلخل، شاخص اختلاف کلّی رنگ پوسته نان بترتیب روند افزایشی و پیوستگی آن نیز به طور معنی‌داری روند کاهشی را نشان داد. همچنین، سفتی ارزیابی پذیرش کلّی بافت نان نیز روند کاهشی داشت (P<۰/۰۵). صادقی و همکاران [۱۲]، به بکارگیری باکتری‌های لاکتیکی غالب با توانایی ضدقارچی به عنوان یک کشت اولیه محافظ در نان خمیرترشی حجیم پرداختند. نتایج توالی یابی محصولات PCR منجر به شناسایی *L. reuteri* به عنوان ایزوله انتخابی شد. جدایه مذکور دارای قابلیت ضد آفلاتوکسینی مناسبی بود و بر اساس نتایج آنالیز HPLC باعث کاهش میزان آفلاتوکسین‌های B1، B2، G1 و G2 گردید. علاوه بر این، حضور خمیر ترش تخمیر شده با ایزوله انتخابی تأثیر معنی‌داری (P<۰/۰۵) بر کیفیت نان حجیم تولیدی از نظر سختی، حجم ویژه و محتوای اسید فیتیک داشت. **مانینی و** همکاران [۱۳] (۲۰۱۴)، به مطالعه تغییرات شیمیایی و ارزیابی میکروبی خمیرترش سبوس گندم و همچنین به بررسی مقدار ترکیبات زیست فعال در فرآوری تخمیر خمیرترش سبوس گندم پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد، بعد از اولین روز فرایند تخمیر سبوس گندم شمارش باکتری‌های اسید لاکتیک و مخمرها نیز به آرامی افزایش یافت و بعد از ۸ بار فرایند مایه‌گیری شمارش میکروبی به یک سطح ثابت رسید و همچنین تغییرات شیمیایی حاصل از تخمیر سبوس گندم نشان داد که میزان اسید فرولیک و اسید فیتیک در خمیرترش حاصل از سبوس تخمیری گندم به ترتیب افزایش و کاهش نسبت به سبوس معمولی داشت و ترکیبات زیست فعال حاصل از تخمیر سبوس گندم سبب حلالیت بیشتر فیبرهای محلول نظیر آربینوزایلان گشت. ایلوفا و همکاران [۱۴]، به بررسی تخمیر آرد برنج قهوه‌ای به عنوان ترکیبات عملگرا در مواد غذایی پرداختند، نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تخمیر باعث کاهش تاثیر منفی سبوس روی محصولات غلاتی شده از این رو آرد برنج قهوه‌ای به عنوان یک ترکیب غذایی عملگرا و افزایش در خصوصیات حسّی و بهبود ویژگی‌های ویسکوالاستیک محصول نهایی توصیه می‌گردد. کاتینا و همکاران [۱۵]، اثر افزودن سبوس را بر روی خواص رئولوژیکی خمیر و بافت نان حجیم مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، سبوس در سه سطح ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد افزوده شد. نتایج نشان داد که افزودن سبوس باعث کاهش کشش‌پذیری و مقاومت به کشش خمیر و کاهش حجم نان گردیده و دانسیته نان، بسته به مقدار سبوس افزوده شده بین ۰-۴۰ درصد افزایش یافته است. همچنین بررسی مورفولوژی مغز نان به صورت دو بعدی نشان داد که با افزایش سطح سبوس ظرافت، همسانی و توزیع یکنواخت حفرات کاهش یافت.

علی‌رغم مطالعات گسترده در جهان و داخل کشور در خصوص خمیرترش و عملکرد آن‌ها، هدف اصلی از این پژوهش، ارزیابی خصوصیات تکنیکی-عملکردی، ضدقارچی و حسّی نان نیمه حجیم حاوی خمیرترش آرد شلتوک برنج با استارتر تجاری DVS culture در طول مدت ماندگاری بود.

۲-مواد و روش‌ها

مواد اولیه مورد استفاده برای تهیه محصول نهایی شامل؛ آرد ستاره گندم و آرد شلتوک برنج (RHF) واریته طارم هاشمی برای آماده‌سازی خمیرترش آرد شلتوک برنج بترتیب از کارخانه آرد شاد (رشت، ایران) و گیلتاز (لنگرود، ایران) مطابق با استاندارد بین المللی AACC **[۱۶]**، به ترتیب با مقادیر درصد رطوبت (۰/۶۸±۱۳/۸۰؛ ۰/۲۸±۳/۷۰)، درصد پروتئین (۰/۳۲ ±۱۰/۹۰؛ ۰/۰۲±۳/۶۷)، محتوی چربی (۰/۲۶±۴/۲۵؛ ۰/۰۱±۰/۸۲)، درصد خاکستر (۰/۰۱±۷۵/۰؛ ۰/۰۵±۱۵/۵۵) و اسیدیته (۰/۱±۳/۵۱؛ ۴/۰±۲۸/۳) تهیه گردیدند. کپک عامل فساد غذایی *آسپرژیلوس نایجر* (PTCC 5319) از مرکز کلکسیون میکروبی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران و سویه تجاری لاکتیکی کشت خالص *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* (LA5) استفاده شده در این مطالعه بصورت کشت DVS استفاده گردید. محیط‌های کشت مصرفی شامل (Agar و Broth) MRS، (Agar و Broth) Nutrient و Potato Dextrose Agar (PDA) همچنین مواد شیمیایی از شرکت‌های ایبرسکو (زیست کاوش ایرانیان) و مرک آلمان تامین شدند.

۲-۱. فعال‌سازی پالیده کشت فعال سویه تجاری (LA5)

کشت DVS سویه لاکتیکی تجاری (LA5) هر چند خود پیش‌فعال بوده ولی برای احتیاط از عملکرد صحیح به احیاء سویه غالب مذکور نگهداری شده در شرایط کوتاه مدت پرداخته شد. نخست، کشت ذخیره بعد از خروج از فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد در ۱۰ میلی‌لیتر محیط کشت مغذی اختصاصی MRS broth تلقیح گردید و در ادامه به مدت ٤٨ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شد.

۲-۲. بررسی خاصیت ضد قارچی سویه تجاری (LA5)

برای ارزیابی خاصیت ضدقارچی کشت DVS تجاری از روش لکه‌گذاری استفاده گردید. بطورکلّی هر کدام ۲ سانتی متر روی محیط کشت MRS آگار کشت داده شدند، و سپس در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد **به مدت ۴۸ ساعت** انکوبه گردیدند. برای تهیه سوسپانسیون کپک، در محیط کشت PDA کشت داده شده و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت انکوبه شدند. سپس سوسپانسیون کپک با تعداد 10^4 Cfu/ml از محیط کشت PDA بر روی خطوط کشت داده شده جدایه لاکتیکی به صورت کشت دو لایه ریخته شد و پس از انعقاد لایه دوم، پلیت‌ها در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند [۱۷].

۲-۳. تخمیر هدایت شده خمیرترش آرد شلتوک برنج (RHFS)

ایجاد شرایط هدایت شده RHFS با ضریب عملکرد ۲۸۰ به همراه سویه تجاری LA5، در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت تا ایجاد 10^8 Cfu/gr (در مقایسه با لوله ۰/۵ مک فارلند) در محیط کشت MRS Broth کشت داده شد. در ادامه به میزان ۰/۹ درصد از زیست‌توده تولیدی (فاقد سوپرناتانت) که با سرعت $6000g$ در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ (Sigma 3-30KS, Germany) گردیده بود به بستر تخمیری غوطه‌وری RHFS با دور همزن ۳۰۰ rpm تا رسیدن به ٤/۳۳ =pH برای تعیین نقطه بهینه اضافه شد [۱۸].

۲-٤. بررسی خصوصیات کیفی نمونه بهینه نان نیمه حجیم (RHFS) در مقایسه با شاهد در طول مدت ماندگاری

بعد از تعیین نقطه بهینه (بهترین تیمار نمونه نان نیمه حجیم RHFS در روز نخست پخت)، به آماده‌سازی نمونه نان بهینه نیمه حجیم حاوی RHFS کنترل شده و نمونه شاهد مطابق با روش مگنین و همکاران [۱۹] با اندکی تغییر پرداخته شد. در ادامه، به بررسی خصوصیات کیفی، تکنیکی-عملکردی، ضدقارچی و حسّی در طول یک هفته در بازه‌های (روز نخست، روز سوم و هفتم) صورت گرفت.

۲-۵. ارزیابی خصوصیات محتوی رطوبت پوسته و مغز نان نیمه حجیم

برای اندازه‌گیری محتوی رطوبت در نان نیمه حجیم محتوی RHFS، قطعه‌ای از بخش پوسته و مغز نان وزن

گردید. سپس مقدار وزنی مساوی از هر بخش تا خشک شدن کامل در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد و پس از سرد شدن در دسیکاتور، هر بخش جداگانه وزن و میزان رطوبت هر بخش از اختلاف وزن قبل و پس از خشک شدن براساس معادله (۱) محاسبه گردید [۲۰].

معادله (۱) $$\%MC_{wb} = [\frac{(Wib-Wfdb)}{Wib}] \times 100$$

W_{ib} وزن نمونه نان، W_{fdb} وزن نمونه نان خشک شده

۲-۶. بررسی خصوصیات بافتی نان نیمه حجیم محتوی RHFS در طول مدت ماندگاری

بررسی تغییرات سفتی به کمک آزمون بافت‌سنجی انجام گرفت. بدین منظور با تکنیک آزمون TPA در نمونه نان نیمه حجیم محتوی RHFS به وسیله دستگاه تحلیل‌گر بافت (مدل Brookfield CT3، آمریکا)، با پروب آلومینیومی استوانه‌ای (TA25/1000) با سرعت پروب ۳۰ mm/min و تا ۵۰ درصد فشردگی از ارتفاع اولیه در طول مدت ماندگاری (یک هفته بعد از پخت) برای تخمین خصوصیات بافت نان با ارزیابی تنها دو ویژگی از مجموع چند خصوصیت شامل (سختی و پیوستگی) مورد ارزیابی قرار گرفت [۲۱].

۲-۷. بررسی حجم مخصوص و تخلخل نان نیمه حجیم محتوی RHFS در طول مدت ماندگاری

بررسی حجم مخصوص نان نیمه حجیم محتوی RHFS تولیدی در طول مدت ماندگاری به‌طور جداگانه و در شرایط معین، درون بسته‌های پلی‌اتیلنی دربدار بهداشتی و در دمای محیط به روش جایگزینی دانه کلزا در مقایسه با نمونه شاهد ارزیابی گردید. از تکنیک پردازش تصویر به منظور بررسی مقادیر تخلخل برشی به ابعاد ۲ در ۲ cm از مغز نان نیمه حجیم محتوی RHFS تهیه گردید و به وسیله دوربین با پیکسل بالا تصویر برداری شد. سپس تصویر تهیه شده در اختیار نرم افزار Image J (نسخه، ۱/۴۵) قرارگرفت. تصاویر موجود در این نرم افزار، مجموعه‌ای از نقاط تاریک و روشن بود که با محاسبه نسبت نقاط روشن به تاریک به عنوان شاخصی از میزان تخلخل در طول مدت ماندگاری در مقایسه با نمونه شاهد برآورد گردید [۲۲ و ۲۳].

۲-۸. برآیند خصوصیات رنگی، شاخص قهوه‌ای شدن، شاخص زردی و سفیدی پوسته نان نیمه حجیم محتوی RHFS

آنالیز برایند رنگ (Delta E*) پوسته نان نیمه حجیم محتوی RHFS در مقایسه با نمونه شاهد در طول مدت ماندگاری با تعیین سه شاخص L^*، a^* و b^* مرتبط با نمونه تیمار شده و L_0^*، a_0^* و b_0^*ابعاد رنگ مربوط به نان شاهد مطابق با معادله (۲) صورت پذیرفت. جهت اندازه‌گیری این شاخص‌ها ابتدا برشی به ابعاد معین از پوسته نان تهیه گردید، بعد تصویر برداری، تصاویر در اختیار نرم افزار Image J قرار گرفت. با فعال کردن فضای Lab در بخش Plugins، شاخص‌های فوق محاسبه می‌شود. در ادامه برای اندازه‌گیری شاخص قهوه‌ای شدن[1] (BI) که از واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی حاصل می‌شود با معادله (۲) و اندیس زردی[2] (YI) با معادله (۳) و شاخص سفیدی[3] (WI) پوسته نان نیمه حجیم RHFS طی معادله (٤) محاسبه گردید [۲٤].

معادله (۲) Delta

$$E^* = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

$$BI = \frac{100(x - 0.31)}{0.172}$$

$$x = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)}$$

1 -Browning index

2 -Yellowness Index

3- Whiteness index

معادله (۳)

$$YI = \frac{142.86 * b}{L}$$

معادله (٤)

$$WI = \frac{100 - [(100 - L)^2 + a^2 + b^2]}{2}$$

۹-۲. ارزیابی پذیرش کلّی نمونه نان نیمه حجیم محتوی RHFS در طول مدت ماندگاری در مقایسه با شاهد

برای ارزیابی حسّی تعدادی پانلیست در بازه سنی ۲۵ تا ٤۵ سال از مرد و زن (دانشجویان و کارمندان دانشگاه)، بطور کاملا تصادفی به بررسی خصوصیات نان‌های تولیدی در جهت تعیین میزان پذیرش کلّی، رنگ پوسته، قابلیت جویدن، سفتی بافت، طعم، تخلخل و خاصیت ارتجاعی بر مبنای مقیاس ۵-۱ (۱کمترین و ۵ بالاترین امتیاز) پرداختند و در نهایت با اعمال ضریب ارزشیابی برای هر صفت، پذیرش کلّی کیفیت نان نیمه حجیم محتوی RHFS در طول مدت ماندگاری ارزیابی گردید [۲۵].

۱۰-۲. آنالیز آماری

نتایج حاصل از این پژوهش بر اساس طرح آماری پایه کاملا تصادفی به روش فاکتوریل، در سه تکرار و با استفاده از نرم افزارهای SAS (نسخه ۹.۱) و Microsoft Office Excel (۲۰۱۳) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) در سطح ۹۵٪ انجام شد.

۳-نتایج و بحث

۱-۳. ارزیابی خاصیت ضد قارچی سویه لاکتیکی تجاری (LA5) بعد از فعال‌سازی

بعد از فعال‌سازی پالیده کشت فعال سویه تجاری، به بررسی مهار رشد و پراکندگی قارچ پرداخته شد. نتایج نشان داد که در روز نخست و روز سوم گرمخانه‌گذاری در پلیت رشد میسلیوم قارچ (*Aspergillus niger*) بعنوان شاخص پراکندگی آلودگی در مواد غذایی مشاهده نشد اما با گذشت هفت روز، رشد *A. niger* و تراکم هیف‌های آن بر روی پلیت‌ها مشاهده گردید. در واقع گونه DVS تجاری *L. acidophilus* مورد نظر از رشد *A. niger* جلوگیری نمود، که در مقایسه با یک سویه لاکتیکی بومی (RHFS)، مقاوت کافی برای جلوگیری از رشد قارچ *A. niger* را داشت (شکل ۱-A). در حقیقت خاصیت ضد قارچی گونه‌های لاکتیکی نه تنها به تولید اسیدهای آلی (اسید استیک و اسید لاکتیک) بلکه به دیپپتیدهای حلقوی و ترکیبات فعال نظیر ٤-هیدروکسی فنیل پروپانوئیک اسید، فنیل پروپانوئیک اسید و فنیل لاکتیک اسید ارتباط خواهد داشت [۲۰ و ۲۶]. نتایج بررسی خاصیت ضد قارچی نمونه نان نیمه حجیم تولیدی با خمیرترش حاوی استارتر DVS حاصل از این پژوهش در مقایسه با نمونه کنترل (فاقد خمیرترش) مطابق با شکل (۱-B) در طول مدت یک هفته کاملا مشهود بود. در واقع تاثیر خاصیت ضد قارچی را می‌توان به واسطه تولید مجموعه‌ای از ترکیبات ضدقارچی نظیر اسیدهای آلی و متابولیت‌های ثانویه خارج سلولی تولیدی آن سویه نسبت داد.

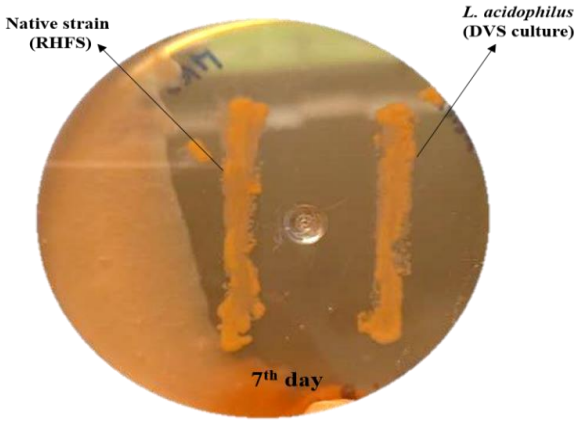

Fig 1 (A). Comparison of the antifungal properties of the DVS culture (LA5) with those of the native strain (after 7 days).

Fig 1 (B). Antifungal properties of RHFS semi-bulk bread sample compared to the control sample.

۳-۲. ارزیابی لفت رطوبت پوسته و مغز نمونه‌های نان محتوی RHFS در طول مدت ماندگاری

انتقال حرارت عامل اصلی در تبخیر آب می‌باشد، بطورکلّی جابجایی رطوبت از طریق تبخیر به سمت سطح خارجی نان تحت عملکرد انتقال جرم انجام می‌شود [۲۷]. نتایج حاصل از آنالیز واریانس تغییرات محتوی رطوبت پوسته و مغز نان نیمه حجیم محتوی RHFS در طول مدت (یک هفته) در مجاورت استارتر DVS در مقایسه با نمونه شاهد (فاقد خمیرترش) در سطح ۵ درصد در جدول (۱) نشان داد. بر این اساس در طول مدت ماندگاری (۷ روز بعد از پخت) از مقادیر رطوبت مغز نان کاسته و بر میزان رطوبت پوسته نان افزوده شد، در این میان نرخ افت رطوبت در نمونه نان نیمه حجیم محتوی RHFS به مراتب نسبت به نمونه نان شاهد آهسته‌تر نشان داد، که این اختلاف در سطح ۵ درصد بسیار نزدیک معنی‌دار بود. نمونه نان نیمه حجیم محتوی RHFS به دلیل دارا بودن مقادیر بالای فیبر، پروتئین و داشتن گروه‌های هیدروکسیل آزاد در ساختار خود و توانایی پیوند با مولکول‌های آب موجود در فرمولاسیون خمیر، قادر است میزان رطوبت محصول نهایی را در سیستم‌های مدل غذایی افزایش دهد [۲۸].

Table 1. Evaluation of the moisture content* of crust and crust of SBB containing DVS culture during shelf life

Shelf Life	SBB with RHFS	SBB without RHFS (Control)
Moisture content* (Crust bread) %		
1 day	21.113 ± 0.178 ^{bA}	20.018 ± 1.101 ^{cA}
3 day	22.001 ± 0.052 ^{bA}	21.256 ± 0.114 ^{bB}
7 day	25.068 ± 0.128 ^{aB}	29.089 ± 0.304 ^{aA}
Moisture content* (Crumb bread) %		
1 day	38.235 ± 0.205 ^{aA}	37.590 ± 0.213 ^{aA}
3 day	36.174 ± 0.226 ^{bA}	32.110 ± 0.840 ^{bB}
7 day	32.006 ± 0.301 ^{cA}	29.816 ± 0.087 ^{cB}

Results expressed as mean values of triplicates ± standard deviation
a-d Different superscript letters in the same column between samples denote signifcant differences (P< 0.05)
A-B-C Different superscript letters in the same row between samples denote signifcant differences (P< 0.05)

۳-۳. ارزیابی ویژگی‌های بافت نمونه نان نیمه حجیم محتوی RHFS در طول مدت ماندگاری

پدیده سفت شدن ساختار بافت نان (Hardness) عمدتاً می‌تواند تحت تاثیر دو پارامتر باشد، نخست؛ سفتی که ناشی از انتقال رطوبت از مغز به پوسته و دوم؛ سفت

شدن ذاتی مواد سلول که به کریستالیزاسیون مجدد نشاسته بر می‌گردد [۲۹]. نتایج حاصل از اندازه‌گیری سفتی بافت مغز نان نیمه حجیم محتوی RHFS در طی دوره نگهداری هفت روزه در جدول (۲) نشان داده شد. نتایج نشان داد نیروی لازم برای فشردن نان نیمه حجیم با گذشت زمان در نمونه‌های نان افزایش یافت. کمترین مقدار سفتی بافت نان در نمونه نان نیمه حجیم فرآوری شده با محتوی RHFS روز نخست در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان سفتی بافت در نمونه فرآوری شده حاصل از روز هفتم پس از پخت در نمونه شاهد مشاهده گردید. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین تغییرات سفتی بافت نان در سطح ۵ درصد نیز نشان داد که در شرایط اعمال شده در این پژوهش، زمان ماندگاری تاثیر معنی‌داری بر میزان تغییرات سفتی بافت نان نیمه حجیم خصوصاً در نان محتوی RHFS داشتند، زیرا حضور ترکیبات فیبری و عناصری با داشتن گروه‌های هیدروکسیل آزاد باعث استحکام شبکه گلوتنی می‌گردد که با جذب آب از هدر رفتن رطوبت در طی پخت جلوگیری می‌کند همچنین توانایی واکنش با مولکول‌های نشاسته را داشته در نتیجه فرآیند رتروگراداسیون را در محصول نهایی به تعویق می‌اندازند و از بیاتی جلوگیری می‌کنند [۳۰].

Table 2. Evaluation of Hardness of SBB samples during shelf-life in comparison to the control sample.

Shelf Life	SBB with RHFS	SBB without RHFS (Control)
Hardness* (Crust bread) %		
1 day	6.624 ± 0.233^{Bc}	9.156 ± 0.081^{Ac}
3 day	11.490 ± 0.342^{Bb}	13.801 ± 1.069^{Ab}
7 day	17.006 ± 0.482^{Ba}	21.055 ± 0.371^{Aa}

Results expressed as mean values of triplicates ± standard deviation

پیوستگی و به دور از هم گسستگی در ساختار نان اتباط تنگاتنگی با بیاتی نان دارد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد پیوستگی نمونه نان نیمه حجیم فرآوری شده با محتوی RHFS با گذشت زمان کاهش یافت، نتایج این پژوهش با مطابقت با اهداف پژوهشی فیتزگرالد و همکاران [۳۱] داشت. بر این اساس، بیشترین مقدار پیوستگی در نمونه نان فرآوری شده حاصل از (RHFS) در روز نخست در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده شد. همچنین کمترین میزان پیوستگی در نمونه فرآوری شده حاصل از ۷ روز پس از پخت در نمونه شاهد مشاهده گردید (شکل ۲). علاوه بر این، در طول مدت ماندگاری تغییرات ناچیزی در کاهش پیوستگی بدلیل شکستگی ساختار درونی و عدم حفظ آب آزاد در ساختار سلول‌های نان بوجود خواهد آمد [۳۲].

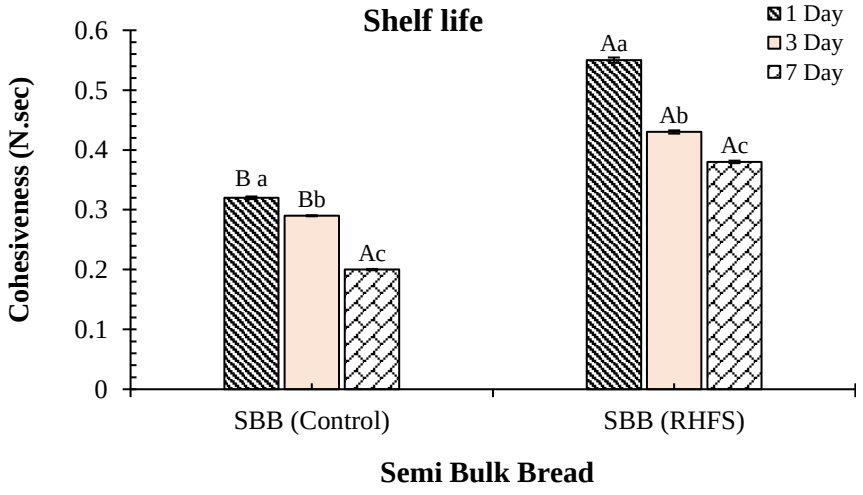

Fig 2. Evaluation of cohesiveness of SBB samples during shelf-life in comparison to the control sample.
Results expressed as mean values of triplicates ± standard deviation

۳-٤. ارزیابی بررسی حجم مخصوص و تخلخل نان نیمه حجیم محتوی RHFS در طول مدت ماندگاری

یکی از آیتم‌های کنترل شاخص بیاتی بررسی حجم مخصوص است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که حضور خمیرترش محتوی RHFS در ساختار نان نیمه حجیم سبب بهبود جزئی و همچنین تغییرات افزایش حجم مخصوص محسوس در نان نیمه حجیم می‌گردد. در واقع، با افزایش زمان انبارمانی در طول یک هفته، حجم مخصوص نان‌های تولیدی به طور معنی‌داری (P≤۰/۰۵) کاهش یافت در حالیکه همواره از نمونه شاهد بیشتر بود (جدول ۳). در حقیقت احتمالا دلیل این پارامتر در اثر ژلاتیناسیون نشاسته، ویسکوزیته خمیر روند صعودی داشته و اتساع‌پذیری آن کاهش می‌یابد. در نتیجه فشار گاز موجود در سلول‌ها زیادشده و دیواره‌های سلولی تخریب می‌کند. علاوه بر این قدرت بالای جذب آب ترکیبات سلیسی در پوسته شلتوک و کاهش فعالیت آبی آزاد در نهایت منجر به بهبود و افزایش حجم مخصوص نان می‌گردد [۳۳]. با افزایش زمان نگهداری و توسعه تغییرات فیزیکوشیمیایی در ساختمان شبکه پروتئین محصولات غلّه‌ی با مقادیر بالای سلیس و فیبر، تخلخل روند نزولی خواهد داشت زیرا سبب بر هم ریختن شبکه نشاسته-گلوتن می‌شود [۳٤]. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین تغییرات تخلخل مغز نان نیمه حجیم در سطح ۵ درصد نشان داد که افزایش زمان نگهداری تاثیر معنی‌داری (P≤۰/۰۵) بر میزان تخلخل بافت نان نیمه حجیم محتوی خمیرترش RHFS با استارتر تجاری در طی یک هفته نگهداری پس از پخت در مقایسه با نمونه شاهد داشتند. در این میان کمترین مقادیر تخلخل مربوط به نمونه شاهد بعد از ۷ روز نگهداری بود (جدول ۲). در حقیقت، بافت نان طی گذشت زمان به دلیل از دست دادن رطوبت، فشرده و شکننده شده و تخلخل موجود در بافت نان مقاومت کافی جهت نگهداری گاز دی‌اکسید کربن در شبکه گلوتنی را نداشته و گاز در نان به طور مناسب توزیع نمی‌گردد و این ناهماهنگی در کاهش اندازه حفرات موجود در بافت نان موثر خواهد بود.

Table 3. Evaluation of the specific volume and porosity sourdough SBB containing DVS culture during shelf life

Shelf Life	SBB with RHFS	SBB without RHFS (Control)
Specific volume (cm^3/gr)		
1 day	2.553 ± 0.171 ^{aA}	2.424 ± 0.153 ^{aA}
3 day	2.167 ± 0.021 ^{bA}	1.829 ± 0.014 ^{bB}
7 day	1.880 ± 0.066 ^{cA}	1.361 ± 0.030 ^{cB}
Porosity (%)		
1 day	21.836 ± 1.052 ^{aA}	19.959 ± 1.290 ^{aA}
3 day	18.921 ± 1.138 ^{bA}	16.143 ± 0.803 ^{bB}
7 day	15.134 ± 0.042 ^{cA}	13.225 ± 0.609 ^{cB}

Results expressed as mean values of triplicates ± standard deviation
a-d Different superscript letters in the same column between samples denote signifcant differences (P< 0.05)
A-B Different superscript letters in the same row between samples denote signifcant differences (P< 0.05).

۳-۵. ارزیابی شاخص‌های رنگی مشتق شده پوسته نان نیمه حجیم محتوی RHFS در طول مدت ماندگاری

اختلاف شاخص‌های رنگی بوجود آمده در پوسته نمونه‌های نان نیمه حجیم بی شک متاثر ازتخمیر میکروارگانیسم‌ها، استفاده از آرد مختلف و فرایندهای تخمیر در حضور برخی افزودنی‌ها متفاوت بوده که می‌تواند منجر به تولید ترکیبات فعال مختلفی در فرایند قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی در طی پخت گردد. در واقع در اثر پخت نان تغییراتی در رنگ پوسته نان اتفاق می‌افتد که این تغییرات مربوط به انجام واکنش‌های میلارد و بر هم‌کنش‌های میان قندهای احیاء کننده و گروه آمینی پروتئین‌ها (واکنش کاراملیزه شدن) و بر هم‌کنش میان قندها بوده که نتیجه چنین واکنش‌هایی ایجاد رنگ قهوه‌ای-طلایی در پوسته نان

می‌گردد [۳۵]. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین برایند خصوصیات رنگ‌سنجی پوسته نان‌های نیمه حجیم خمیرترشی در مقایسه با نمونه شاهد در طول مدت ماندگاری اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) مشاهده گردید. علاوه بر این تاثیر زمان ماندگاری روند نزولی در مقادیر شاخص قهوه‌ای شدن داشت، در حالیکه در شاخص زردی این روند کاملا معکوس بود و اختلاف معنی‌داری در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده گردید (جدول ۳). اندیس سفیدی پوسته نان مقادیر به مراتب کمتری در مقایسه با نمونه شاهد از خود نشان دادند که شاید علت را بتوان به عدم حضور خمیرترش و نداشتن تخمیر کامل در آن نسبت داد. اسکالن و زاغل [۳۶] به بررسی حضور آنزیم پروتئاز و افزایش نسبی اسیدهای آمینه نتیجه پروتئولیز در خمیرنان پرداختند، که در واقع حضور این ترکیبات سبب تشدید واکنش قهوه ای شدن غیر آنزیمی در سطح پوسته نان شد.

Table 3. Evaluation of the Delta E*, BI, YI and WI of crust SBB containing DVS culture during shelf life

Shelf Life	Semi-bulk bread (RHFS)	Semi-bulk bread (Control)
Delta E* index		
1 day	5.828 ± 0.762^{c}	-
3 day	10.996 ± 0.931^{b}	-
7 day	13.415 ± 1.018^{a}	-
Browning index (BI)		
1 day	37.203 ± 1.184^{aA}	35.640 ± 1.081^{aA}
3 day	24.308 ± 1.160^{bA}	21.201 ± 2.066^{bA}
7 day	19.802 ± 1.259^{cA}	15.377 ± 1.102^{cB}
Yellow index (YI)		
1 day	58.060 ± 2.189^{cA}	36.020 ± 1.134^{cB}
3 day	68.355 ± 1.052^{bA}	52.616 ± 2.542^{bB}
7 day	78.825 ± 3.214^{aA}	72.978 ± 1.083^{aA}
White index (WI)		
1 day	10.070 ± 1.231^{cA}	7.133 ± 2.018^{cA}
3 day	26.169 ± 2.642^{bB}	42.608 ± 3.021^{bA}
7 day	36.300 ± 1.515^{aB}	59.410 ± 1.033^{aA}

Results expressed as mean values of triplicates ± standard deviation
a-d Different superscript letters in the same column between samples denote signifcant differences (P< 0.05)
A-B-C Different superscript letters in the same row between samples denote signifcant differences (P< 0.05).

۶-۳. پذیرش کلّی نمونه نان نیمه حجیم RHFS در طول مدت ماندگاری

پذیرش کلّی نشان دهنده پذیرش مجموع خواص حسّی نان است، بر این اساس روند پذیرش نهایی خصوصیات حسّی نان‌های نیمه حجیم حاصل از خمیرترش آرد پوسته خارجی برنج به عنوان تابعی از حضور خمیرترش در طول مدت ماندگاری و شرایط تخمیر کنترل شده در شکل (۳) نشان داده شد. براساس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری، سطوح مختلف در طول مدت ماندگاری اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) بر میزان پذیرش نهایی نان نیمه حجیم داشتند. میزان پذیرش نهایی نمونه‌های تولیدی با افزایش مدت ماندگاری کاهش یافت. در نمونه نان تیمار شده به مراتب پذیرش کلّی بالاتری در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده گردید. کاتینا و همکاران [۳۷] گزارش کردند که شدت طعم تازگی و تیزی، طعم کلی و پس طعم ما بین تیمارهای حاوی خمیرترش و نان شاهد معنی‌دار بود، همچنین درجه برشته پوسته نان با خمیرترش‌های حاوی تنها یک آغازگر افزایش بیشتری دارد. بکارگیری خمیرترش در تهیه نان به میزان محدود پروتئولیز را کاهش داده و سبب جلوگیری در تجزیه بیشتر گلوتن

گردیده و سبب رهاسازی مناسب و کافی اسیدآمینه برای پیش‌سازهای طعمی می‌گردد [۳۸].

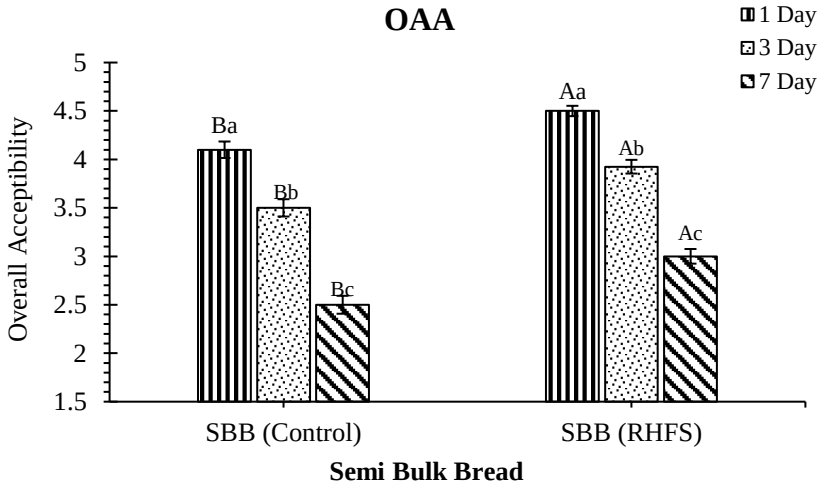

Fig 3. Evaluation of OAA of sourdough SBB samples during shelf-life in comparison to the control sample.

Results expressed as mean values of triplicates ± standard deviation

٤- نتیجه‌گیری

کنترل نقطه بهینه با هدف تولید و افزایش ماندگاری فرآورده‌های تخمیری از طریق بهبود ویژگی‌هایی همچون طعم، خواص بافتی، تغذیه‌ای و به تأخیر انداختن بیاتی و فساد میکروبی برای محصولات فراسودمند و فرآورده‌های غنی از ترکیبات رژیمی و سرشار از املاح معدنی همچون نان بعنوان قوت قالب کشور در طول مدت ماندگاری امری بنظر ضروری و بعنوان رویکرد جدید محققین صنعت غذا به حساب می‌رود. بر این اساس، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، تاثیر هدایت تخمیر خمیرترش در طول مدت ماندگاری سبب بهبود خصوصیات حسّی و ضد قارچی شد و همچنین آنالیز واریانس و مقایسه میانگین تمام آزمون‌های کیفی و تکنیکی-عملکردی نمونه‌های نان محتوی خمیرترش شلتوک برنج در طول مدت ماندگاری در مقایسه با نمونه شاهد در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. در نهایت در بررسی نرخ بیاتی، ژلاتینه شدن و واگشتگی نمونه نان نیمه حجیم تیمار شده با خمیرترش در مقایسه با نمونه شاهد روند مطلوبتری داشت، که میتوان از این پژوهش برای تولید محصول در حجم نیمه صنعتی و صنعتی بهره برد.

٥- تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه گیلان که هزینه‌های اجرای این پژوهش را در قالب طرح پژوهشی جایگزین گرنت گروه صنایع غذایی با شماره نامه تصویب (۹۷٤۲۱ /ک) مربوط به تاریخ (۱٤۰۲/۰۸/۰۲) تامین نمودند، تشکر می‌شود. همچنین از آقای دکتر امیر پورفرزاد برای هماهنگی جهت تهیه آرد شلتوک برنج از شرکت گیلتاز (لنگرود) و سرکار خانم مهندس رحمانی کارشناس بخش میکروبی آزمایشگاه تخصصی ویرومد رشت، قدردانی می‌گردد.

٦-منابع

[1] Qian, M., Liu, D., Zhang, X., Yin, Z., Ismail, B. B., Ye, X., & Guo, M. (2021). A review of active packaging in bakery products: Applications and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, *114*, 459–471.

[2] Abedfar, A., Hosseininezhad, M., Sadeghi, A., Raeisi, M., & Feizy, J. (2018). Investigation on "spontaneous fermentation" and the productivity of microbial exopolysaccharides by *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus pentosaceus* isolated from wheat bran sourdough. LWT, 96, 686-693.

[3] Amr, A. S., & Alkhamaiseh, A. M. (2022). Sourdough use in bread production. Jordan Journal of Agricultural Sciences, 18(2), 81-98.
[4] Zharkova, I. M., Roslyakov, Y. F., & Ivanchikov, D. S. (2023). Sourdoughs of Spontaneous (Natural) Fermentation in Modern Bakery Production. J. Food Process, 53(3), 525-544.
[5] Islam, M. A., & Islam, S. (2024). Sourdough bread quality: Facts and Factors. Foods, 13(13), 2132.
[6] Poutanen, K., Flander, L., & Katina, K. (2009). Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. Food microbiology, 26(7), 693-699.
[7] Fernández-Peláez, J., Paesani, C., & Gómez, M. (2020). Sourdough technology as a tool for the development of healthier grain-based products: An update. Agronomy, 10(12), 1962.
[8] Espinales, C., Cuesta, A., Tapia, J., Palacios-Ponce, S., Peñas, E., Martínez-Villaluenga, C. & Cáceres, P. J. (2022). The effect of stabilized rice bran addition on physicochemical, sensory, and techno-functional properties of bread. Foods, 11(21), 3328.
[9] Dong, Y., & Karboune, S. (2021). A review of bread qualities and current strategies for bread bioprotection: Flavor, sensory, rheological, and textural attributes. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20(2), 1937-1981.
[10] Abedfar, A. (2024). Investigating the antimicrobial activity (anti-fungal and antibacterial) and the effect of sourdough of two dominant strains of lactic acid bacteria in rice husk flour on the amount of phytic acid in semi bulk bread. Journal of food industry engineering research, 24 (76), 115-128.
[11] Abedfar, A., Hosseinnezhad, M., Sadeghi, A., & Abbaszadeh, F. (2019). Optimization of controlled fermentation in rice bran sourdough and evaluation of quality characteristics of pan bread by using Response Surface Method. *Journal of New Food Technologies*, *6*(3), 379–397.
[12] Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Mortazavi, S. A., & Abedfar, A. (2019). Application of the selected antifungal LAB isolate as a protective starter culture in pan whole-wheat sourdough bread. Food Control, 95, 298-307.
[13] Manini, F., Brasca, M., Plumed-Ferrer, C., Morandi, S., Erba, D., & Casiraghi, M. C. (2014). Study of the chemical changes and evolution of microbiota during sourdoughlike fermentation of wheat bran. Cereal chemistry, 91(4), 342-349.
[14] Ilowefah, M., Chinma, C., Bakar, J., Ghazali, H. M., Muhammad, K., & Makeri, M. (2014). Fermented brown rice flour as functional food ingredient. Foods, 3(1), 149-159.
[15] Katina, K., Juvonen, R., Laitila, A., Flander, L., Nordlund, E., Kariluoto, S. & Poutanen, K. (2012). Fermented wheat bran as a functional ingredient in baking. Cereal chemistry, 89(2), 126-134.
[16] AACC (2010). Moisture 44-19, protein 46-10, wet gluten 38-12, and ash 08-01 methods. In. St. Paul, MN, USA: American association of cereal chemists 357 (AACC) international.
[17] Mauch, A., Dal Bello, F., Coffey, A., & Arendt, E. K. (2010). The use of Lactobacillus brevis PS1 to in vitro inhibit the outgrowth of Fusarium culmorum and other common Fusarium species found on barley. International Journal of Food Microbiology, 141(1-2), 116-121.
[18] Abedfar, A., Hosseininezhad, M., & Rafe, A. (2020). Effect of microbial exopolysaccharide on wheat bran sourdough: Rheological, thermal and microstructural characteristics. International journal of biological macromolecules, 154, 371-379.
[19] Meignen, B., Onno, B., Gélinas, P., Infantes, M., Guilois, S., & Cahagnier, B. (2001). Optimization of sourdough fermentation with Lactobacillus brevis and baker's yeast. Food microbiology, 18(3), 239-245.
[20] Mazidi, S., Eskandari, M. H., Niakosari, M., Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, R., & Fazaeli, M. (2024). Physicochemical Properties and Microbial Storage Stability of Tiri Traditional Iranian Flat Bread. International Journal of Nutrition Sciences.
[21] Terrazas-Avila, P., Palma-Rodríguez, H. M., Navarro-Cortez, R. O., Hernández-Uribe, J. P., Piloni-Martini, J., & Vargas-Torres, A. (2024). The effects of fermentation time on sourdough bread: An analysis of texture profile, starch digestion rate, and protein hydrolysis rate. Journal of Texture Studies, 55(2), 12831.
[22] Xu, X., Yang, Q., Luo, Z., & Xiao, Z. (2022). Effects of sourdough fermentation and an innovative compound improver on the baking performance, nutritional quality, and antistaling property of whole wheat bread. ACS Food Science & Technology, 2(5), 825-835.
[23] Verdonck, C., De Bondt, Y., Pradal, I., Bautil, A., Langenaeken, N. A., Brijs, K., & Courtin, C. M. (2023). Impact of process parameters on the specific volume of wholemeal wheat bread made using sourdough-and baker's yeast-based leavening strategies. International Journal of Food Microbiology, 396, 110193.
[24] Srisuk, N., & Jirasatid, S. (2023). Development of Instant Pumpkin-Fingerroot Drink Powder and Its Shelf Life Modeling. Life Sciences and Environment Journal, 24(1), 161-182.
[25] Abedfar, A., & Sadeghi, A. (2019). Response surface methodology for investigating the

effects of sourdough fermentation conditions on Iranian cup bread properties. Heliyon, 5(10).
[26] Alkay, Z., Kılmanoğlu, H., & Durak, M. Z. (2020). Prevention of sourdough bread mould spoliage by antifungal lactic acid bacteria fermentation. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18), 379-388.
[27] Zhang, L., Lucas, T., Doursat, C., Flick, D., & Wagner, M. (2007). Effects of crust constraints on bread expansion and CO2 release. Journal of Food Engineering, 80(4), 1302-1311.
[28] Naghipour, F., Sahraiyan, B., Soleimani, M., & Sedaghat, N. (2015). Effect of Temperature, Relative Humidity and Packaging Film on Maintaining the Quality and Increasing the Shelf-life of Sorghum Gluten-free Bread. Iranian. Journal of Nutrition Sciences & Food Technology, 10(1), 61-70.
[29] Maleki, G., Milani, J. M., & Amiri, Z. (2012). Effect of different hydrocolloids on staling of barbari bread. Advace Food Science, 34, 36-42.
[30] Sudha, M. L., Baskaran, V., & Leelavathi, K. (2007). Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. Food chemistry, 104(2), 686-692.
[31] Fitzgerald, C., Gallagher, E., Doran, L., Auty, M., Prieto, J., & Hayes, M. (2014). Increasing the health benefits of bread: Assessment of the physical and sensory qualities of bread formulated using a renin inhibitory Palmaria palmata protein hydrolysate. LWT-Food Science and Technology, 56(2), 398-405.
[32] Gambuś, H., Gibiński, M., Pastuszka, D., Mickowska, B., Ziobro, R., & Witkowicz, R. (2011). The application of residual oats flour in bread production in order to improve its quality and biological value of protein. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 10(3), 317-325.
[33] Galle, S., Schwab, C., Dal Bello, F., Coffey, A., Gänzle, M. G., & Arendt, E. K. (2012). Influence of in-situ synthesized exopolysaccharides on the quality of gluten-free sorghum sourdough bread. International journal of food microbiology, 155(3), 105-112.
[34] Huang, H., Lin, P., & Zhou, W. (2007). Moisture transport and diffusive instability during bread baking. SIAM Journal on Applied Mathematics, 68(1), 222-238.
[35] de Conto, L. C., Oliveira, R. S. P., Martin, L. G. P., Chang, Y. K., & Steel, C. J. (2012). Effects of the addition of microencapsulated omega-3 and rosemary extract on the technological and sensory quality of white pan bread. LWT-Food Science and Technology, 45(1), 103-109.
[36] Scanlon, M. G., & Zghal, M. C. (2001). Bread properties and crumb structure. Food research international, 34(10), 841-864.
[37] Katina, K., Heiniö, R. L., Autio, K., & Poutanen, K. (2006). Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. LWT-Food Science and Technology, 39(10), 1189-1202.
[38] Gänzle, M. G., Loponen, J., & Gobbetti, M. (2008). Proteolysis in sourdough fermentations: mechanisms and potential for improved bread quality. Trends in food science & technology, 19(10), 513-521.

.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Evaluation of the technical-functional, antifungal and sensory properties of semi-bulk bread with rice husk flour sourdough in the presence of commercial starter *L. acidophilus* (LA5) during shelf-life

Abbas Abedfar [*1], Alireza Mehregan Nikoo [1]

1. Department of Food Science & Technology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received:2024/10/19

Accepted:2024/1/6

Keywords:

Rice husk Flour sourdough (RHFS),
L. acidophilus DVS culture,
Antifungal properties,
Technical & functional properties.

DOI: 10.22034/FSCT.22.161.151.

*Corresponding Author E-

a.abedfar@guilan.ac.ir

ABSTRACT

With increasing consumer knowledge, the production of healthy foods without unnatural preservatives has had a significant impact on the development of functional and strategic foods. In this study, by using a commercial DVS starter (LA5) and determining the optimal fermentation control point with a potential capability appropriate to the fitted models, with an accuracy and reliability coefficient of 78%, the technical-functional, antifungal and sensory properties of semi-loaf bread produced during a 7-day shelf life were evaluated. ANOVA and comparison of the means of all qualitative and technical-functional tests of bread samples containing rice husk flour sourdough (RHFS) showed a significant difference in shelf life compared to the control sample at the 5% level ($P<0.05$). The decrease in water activity and cross-linking in the RHFS bread sample compared to the control sample during shelf-life resulted in a decrease in moisture loss (4% and 10% respectively) and a slower release of moisture content in the core and crust compared to the control. Two quality indicators, specific volume and porosity showed a decreasing trend over the shelf life and the TCD color indices, BI index, YI and WI and anti-fungal properties were significantly different from the control sample. Compared to the control sample, the texture characteristics as the staling index during shelf life showed a more favorable trend. Finally, the effect of controlling RHFS fermentation during shelf-life improved the gelatinization and spreadability, sensory and anti-fungal properties of the bread sample.