



ORIGINAL ARTICLE

Received:2022/12/27

Accepted:2023/3/5

Effect of inulin polymerization degree on nutritional and technological characteristics of gluten free bread

Ameneh Shiri(MS.c)¹, Mohammad Hassan Ehrampoush(Ph.D.)², Seyed Ali Yasini Ardakani(Ph.D.)³, Neda Mollakhalili-Meybodi(Ph.D.)⁴

1.Master of Science and Food Industry,Department of food science and technology, School of public health, Shahid sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

2.Professor, Environmental Science and Technology Research Center, Department of Environmental Health Engineering, School of public health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

3.Professor, Department of food science and technology, Islamic Azad University, Yazd, Iran.

4.Corresponding author:Assistant Professor, Research Center for Food Hygiene and Safety, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran. Email: Neda_mabodi@yahoo.com. Phone: (+98)3531492171.

Abstract

Introduction: Wheat bread is the staple food all over the world. Gluten intolerance in some people has led to the development of gluten-free ones although the absence of gluten has made it difficult to achieve the unique characteristics of gluten protein in these products. Inulin is a soluble dietary fiber with beneficial nutritional effects is able to restore the function of gluten in gluten-free products. The function of gluten depends on its polymerization degree. This study is aims to investigate the effect of inulin polymerization degree on the technological and nutritional characteristics of rice-acorn flour based gluten-free bread.

Methods: This experimental study investigated the effect of inulin polymerization degree on technological and nutritional characteristics of rice-acorn flour based gluten-free bread, the textural, physicochemical, sensory characteristics, and inulin stability of samples enriched inulin with different polymerization degree. All tests were done in triplicate. Data analysis was done with SPSS 25 software.

Results: The results indicated that the optimized technological characteristics and lowest inulin loss ratio (31% w/w⁻¹) was found in gluten-free bread samples containing 30% w/w⁻¹ of acorn flour and long-chain inulin fermented by MF-SD (A₃₀R₇₀SL). Long-chain inulin was able to restore gases produced during cooking process, which seems to be induced by its potential ability to form a gel.

Conclusion: Using long-chain inulin is recommended to achieve desirable technological characteristics and high nutritional value in the formulation of gluten-free bread.

Keywords: Gluten Free Bread, Inulin, Polymerization Degree, Acorn Flour, Rice Flour

Conflict of interest: The authors declared no conflict of interest.



This Paper Should be Cited as:

Author: Ameneh Shiri, Mohammad Hassan Ehrampoush, Seyed Ali Yasini Ardakani, Neda Mollakhalili-Meybodi. Effect of inulin polymerization degree on nutritional and technological characteristics of.....Toloobehdasht Journal. 2023;22(1)61-79.[Persian]



تأثیر درجه پلیمریزاسیون اینولین برویژگی‌های تغذیه‌ای و تکنولوژیکی نان بدون گلوتن

- نویسندگان: آمنه شیری^۱، محمد حسن احرامپوش^۲، سید علی یاسینی اردکانی^۳، ندا مالاخیلی میبیدی^۴
۱. کارشناس ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران.
۲. استاد مرکز تحقیقات علوم و فناوری محیطی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران.
۳. استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران.
۴. نویسنده مسئول: استادیار مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران.
- شماره تماس: (+۹۸)۳۵۳۱۴۹۲۱۷۱ | Email: Neda_mabodi@yahoo.com

چکیده

مقدمه: نان گندم از مهم‌ترین اجزاء تشکیل دهنده رژیم غذایی در سراسر جهان است. حساسیت برخی افراد به گلوتن، منجر به توسعه انواع بدون گلوتن شده است. اگرچه فقدان گلوتن، دستیابی به ویژگی‌های منحصر به فرد پروتئین گلوتن در این محصولات را دشوار کرده است. اینولین از فیبرهای تغذیه‌ای محلول با اثرات مفید تغذیه‌ای است که می‌تواند با ایجاد ساختار عملکرد گلوتن در فرآورده‌های بدون گلوتن را بازسازی کند. عملکرد گلوتن به درجه پلیمریزاسیون آن بستگی دارد. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر درجه پلیمریزاسیون اینولین بر ویژگی‌های تکنولوژیکی و تغذیه‌ای نان بدون گلوتن بر پایه آرد برنج-بلوط است.

روش بررسی: این مطالعه از نوع تجربی-آزمایشگاهی است. به منظور بررسی تأثیر درجه پلیمریزاسیون اینولین بر ویژگی‌های تکنولوژیکی و تغذیه‌ای نان بدون گلوتن بر پایه آرد برنج-بلوط، ویژگی‌های بافتی، فیزیکوشیمیایی، حسی و ماندگاری اینولین در نمونه‌های نان بدون گلوتن بر پایه آرد برنج-بلوط در حضور اینولین با درجه‌ی پلیمریزاسیون مختلف مورد بررسی قرار گرفت. کلیه آزمون‌ها در سه بار تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک نرم‌افزار SPSS۲۵ انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد مطلوب‌ترین ویژگی‌های تکنولوژیکی و کمترین میزان افت اینولین (۳۱ درصد وزنی-وزنی) در نمونه نان بدون گلوتن حاوی ۳۰ درصد وزنی-وزنی آرد بلوط و اینولین بلند زنجیر تخمیر شده با MF-SD (A₃₀R₇₀SL) است. اینولین بلند زنجیر، قادر به ایجاد ساختار با قابلیت نگهداری گازهای تولید شده طی فرآیند پخت است که به نظر می‌رسد ناشی از توانایی بالقوه آن در تشکیل ژل باشد.

نتیجه‌گیری: استفاده از اینولین بلند زنجیر برای دستیابی به ویژگی‌های تکنولوژیکی مطلوب و ارزش تغذیه‌ای بالا در فرمولاسیون نان بدون گلوتن توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نان بدون گلوتن، اینولین، درجه پلیمریزاسیون، آرد بلوط، آرد برنج

این مقاله حاصل از پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد می‌باشد.

طلوع بهداشت

دو ماهنامه علمی پژوهشی

دانشکده بهداشت یزد

سال بیست و دوم

شماره یکم

فروردین و اردیبهشت

شماره مسلسل: ۹۷

تاریخ وصول: ۱۴۰۱/۱۰/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۴

**مقدمه**

اینولین از فیبرهای تغذیه‌ای محلول با کاربرد گسترده در صنایع غذایی است. این ترکیب پری بیوتیکی در واقع پلی ساکارید ذخیره‌ای با منشأ گیاهی متشکل از واحدهای فروکتوز متصل شده با پیوندهای بتا ۱ به ۲ و با درجه پلیمریزاسیون ۶۰-۲ است که براساس درجه پلیمریزاسیون به انواع کوتاه زنجیر (درجه پلیمریزاسیون کمتر از ۱۰)، بلند زنجیر (درجه پلیمریزاسیون بالاتر از ۲۳) و انواع طبیعی (درجه پلیمریزاسیون ۶۰-۲) دسته بندی می‌شوند (۱).

مقدار کافی فیبر تغذیه‌ای در رژیم غذایی امروزه یک راهبرد پیشگیرانه در مقابل بیماری‌های غیر واگیر است (۳). پری بیوتیک‌ها فیبرهای تغذیه‌ای غیرقابل هضم هستند که در برابر اسید معده، هیدرولیز توسط آنزیم‌های پستانداران و جذب در بخش فوقانی دستگاه گوارش مقاوم‌اند و به طور انتخابی با تحریک رشد یا فعالیت یک یا چند باکتری پروبیوتیک در دستگاه گوارش بر سلامتی میزبان تأثیر گذار می‌باشند. کاهش ابتلا به بیماری‌های دیابت نوع ۲، سندرم متابولیک، پوکی استخوان، بیماری‌های التهابی روده، سندرم روده تحریک پذیر، چاقی و اسهال خونی از اثرات سلامت بخش پری بیوتیک‌ها می‌باشند (۴، ۵). ویژگی‌های سلامتی بخش پری بیوتیک‌ها به واسطه تأثیر آن بر میکرو فلور روده و فعالیت متابولیک میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شود (۶).

نان از مهم‌ترین ترکیبات رژیم غذایی است که با توجه به شیوع روزافزون بیماری سلیاک و سایر اختلالات مربوط به گلوتن در سراسر جهان و لزوم استفاده از رژیم‌های بدون گلوتن، تولید نان بدون گلوتن با ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای مطلوب مورد

دو ماهنامه علمی پژوهشی طلوع بهداشت یزد

توجه است. با عنایت به اهمیت پروتئین گلوتن در حفظ گاز تولید شده طی فرآیند تخمیر و ایجاد ویژگی‌های بافتی و ساختاری مطبوع نان، یکی از مشکلات اصلی نان بدون گلوتن، ساختار ضعیف آن است (۷، ۸). از رویکردهای پیشنهادی برای تولید محصولات نانوائی بدون گلوتن استفاده از انواع مختلف آردهای بدون گلوتن (برنج، ذرت، سورگوم، سویا، بلوط) است (۹) و توصیه می‌گردد برای دستیابی به ویژگی‌های بافتی و حسی مطلوب در محصولات بدون گلوتن از مخلوط آردهای بدون گلوتن بجای یک نوع آرد استفاده شود (۱۰).

آرد برنج به واسطه بی‌رنگی، طعم ملایم و عدم ایجاد حساسیت یکی از مناسب‌ترین آردهای غلات در تهیه محصولات بدون گلوتن است که معمولاً به عنوان آرد پایه استفاده می‌شود. آرد برنج میزان خیلی کمی پروتئین با خاصیت پلاستیک کشسانی (همانند پروتئین گندم)، سدیم، چربی، فیبر و مقدار زیادی کربوهیدرات با قابلیت هضم راحت دارد (۱۱، ۱۲). آرد بلوط با دارا بودن ویتامین‌های گروه B، E، پتاسیم، فسفر، منیزیم، آهن، فیبرهای رژیمی، اسیدهای چرب ضروری و آمینواسیدهای ضروری می‌تواند در بهبود کیفیت تغذیه‌ای نان بدون گلوتن مؤثر باشد (۱۳). علاوه بر آن استفاده از آرد بلوط موجب بهبود خواص عملکردی، رنگ، عطر و طعم محصولات پختی فاقد گلوتن می‌شود (۱۴).

فرآیند تخمیر یکی از مراحل اساسی در تهیه نان است که با هدف بهبود ارزش تغذیه‌ای فرآورده و کیفیت نان انجام می‌شود (۱۵). از فرآیندهای تخمیر مورد استفاده در تهیه نان می‌توان به استفاده از مخمر ساکارومایسس سرویزیه (یا مخمر نانوائی) و خمیر ترش اشاره کرد (۱۶). خمیر ترش مخلوطی از

سال بیست و دوم، شماره اول، فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۲



نتایج نشان داد هیدرولیز فروکتان طی تخمیر نان های بدون گلوتن تخمیر شده به نوع تخمیر و درجه پلیمریزاسیون اینولین بستگی دارد. به گونه‌ای که استفاده از مخمرهای با فعالیت اینورتاز پایین برای نان های غنی شده با اینولین توصیه می‌شود(۳).

با توجه به وابستگی ویژگی‌های عملکردی اینولین به درجه پلیمریزاسیون آن، لزوم حفظ ساختار دست نخورده طی فرآوری به منظور ایجاد اثرات فراسودمند تغذیه‌ای تحت تأثیر درجه پلیمریزاسیون؛ هدف از این مطالعه بررسی تأثیر درجه پلیمریزاسیون اینولین بر ماندگاری اینولین و ویژگی‌های رئولوژیکی و کیفی نان بدون گلوتن تخمیر شده با تخمیر ترکیبی بر پایه خمیرترش حاوی آرد بلوط-برنج است.

روش بررسی

مواد مورد نیاز: آرد برنج (رطوبت $6/98 \pm 0/01$ درصد وزنی-وزنی، خاکستر $0/39 \pm 0/05$ درصد وزنی-وزنی، پروتئین $9/33 \pm 0/01$ درصد وزنی-وزنی و چربی $1/32 \pm 0/03$ درصد وزنی-وزنی) از شرکت گل‌های ایران خریداری شد. آرد بلوط (رطوبت $6/82 \pm 0/39$ درصد وزنی-وزنی، خاکستر $5/95 \pm 0/01$ درصد وزنی-وزنی، پروتئین $5/40 \pm 0/03$ درصد وزنی-وزنی و چربی $8/47 \pm 0/13$ درصد وزنی-وزنی) از بازار محلی (ایلام، ایران) تهیه شد.

اینولین مشتق شده از کاسنی شامل زنجیره کوتاه (S) (Frutalose OFP، محتوای اینولین $\leq 92\%$)، زنجیره بلند (L) (Frutafit TEX، $DP \leq 10$) و اینولین طبیعی (N) (Frutafit HD محتوای اینولین $\leq 60, 90\%$ ، $DP: 2-60$) از شرکت اکبریه (تهران، ایران) اهدا شد.

آب و آرد تخمیر شده با باکتری های اسید لاکتیک (LAB) و مخمرها است. وجود اسید لاکتیک باکتری ها در نان تهیه شده با خمیرترش موجب بهبود ویژگی های رئولوژیکی خمیر، حجم نان، ساختار مغزنان، عطر و طعم، ارزش تغذیه ای و ماندگاری نان می شود، بنابراین استفاده از خمیرترش اثرات مثبتی بر نان بدون گلوتن دارد(۱۷).

استفاده از فروکتان‌های از نوع اینولین نیز می تواند علاوه بر اثرات مفید تغذیه ای، با افزایش آبگیری و ایجاد ساختار، قابلیت نگهداری گاز را بهبود داده و به ایجاد محصولی با حجم ویژه بالا و ویژگی های بافتی مطلوب کمک کند و بهبود ویژگی های حسی و پذیرش کلی محصول را در پی داشته باشد(۱۸، ۱۹). با این حال ایجاد اثرات مفید سلامتی بخش پری بیوتیک اینولین مستلزم دریافت مقدار کافی از این ترکیب به صورت دست نخورده توسط میکروارگانیسم‌های روده بزرگ است(۲۰). اگرچه ساختار بتای این ترکیب منجر به مقاومت آن در برابر آنزیم‌های دستگاه گوارش می‌گردد، حفظ ساختار ترکیب طی فرآوری محصولات غذایی از اهمیت به سزایی برخوردار است(۳).

در مطالعه ای توسط Ziobro و همکاران (۲۰۱۳)؛ تأثیر افزودن اینولین بر ویژگی‌های فیزیکی و نرخ بیاتی نان بدون گلوتن بررسی شد. نتایج نشان داد که افزودن اینولین باعث افزایش حجم و کاهش سختی مغز نان بدون گلوتن می شود که این تأثیر به درجه پلیمریزاسیون اینولین بستگی دارد(۲۱). Morreale و همکاران (۲۰۱۹)؛ در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر افزودن اینولین و نوع تخمیر بر ویژگی های تکنولوژیکی نان بدون گلوتن (بر پایه آرد برنج) پرداختند.



وزنی- وزنی آرد بلوط-برنج (۳۰:۷۰ درصد وزنی- وزنی)، حاوی ۱۰ درصد وزنی- وزنی اینولین با درجه پلیمریزاسیون متفاوت (کمتر از ۱۰، بیشتر از ۲۳ و ۶۰-۲) و ۶۰ درصد وزنی- وزنی آب تعیین شده با دستگاه رئومتر، تهیه شد. پس از مخلوط کردن، خمیر به مدت ۲۰ ساعت در محفظه تخمیر با دمای 29 ± 0.5 درجه سانتی گراد نگهداری شد. سپس ۴۰ درصد وزنی- وزنی دیگر آرد برنج-بلوط (۳۰:۷۰ درصد وزنی- وزنی)، محتوی ۱۰ درصد وزنی- وزنی اینولین با درجه پلیمریزاسیون متفاوت (کمتر از ۱۰، بیشتر از ۲۳ و ۶۰-۲) و آب با شکر، نمک، روغن و مخمر خشک فعال به ترتیب در مقدار های $1.0, 1.3, 1.5, 2.2$ درصد وزنی-وزنی مخلوط و با خمیر مرحله قبل مخلوط شد. این مخلوط به مدت ۴ ساعت در دمای 29 ± 0.5 درجه سانتی گراد در محفظه تخمیر قرار داده شد. بخشی از هر کدام از نمونه های خمیر (۳۰ گرم) برای تعیین ویژگی های رئولوژیکی استفاده شد. مابقی نمونه قالب گیری شده مجدد به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 29 ± 0.5 درجه سانتی گراد فرآیند تخمیر را طی کرد. سپس فرآیند پخت در یک اجاق گاز همرفت (مدل KF900، شرکت پاک اندیشان، ایران) به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 220 ± 0.5 درجه سانتی گراد انجام گرفت (۲۲).

آزمون های رئولوژی با استفاده دستگاه رئومتر چرخشی Physica MCR 301 (اتریش، آنتون پار) با بکارگیری ژئومتری صفحه موازی در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد انجام شد. نمونه های خمیر به مدت ۴۵ دقیقه برای استراحت بر روی صفحه قرار داده شد. آزمون رویش کرنش برای تعیین محدوده ویسکوالاستیک خطی انجام شد. از آنجا که محدوده

سایر مواد تشکیل دهنده نان های بدون گلوتن (نمک، شکر، روغن و مخمر خشک فعال) از سوپرمارکت های محلی خریداری شد.

مواد شیمیایی شامل سدیم هیدروکسید، ساکارز، سدیم بوروهیدرید، معرف متیل رد، پارا هیدروکسی بنزوتیک اسید (PAHBAH)، دی فروکتوز، معرف اسید مالئیک (گرید HPLC) و استات سدیم از شرکت مرک خریداری شدند. در حالی که آنزیم های مورد نیاز شامل پولولاناز میکروبی، مالتاز (آلفا-گلیکوزیداز برنج)، آلفا-آمیلاز، بتا-آمیلاز، اینولیناز (از اسپرژیلوس نیچر)، آلفا-سلولاز، اینورتاز (از مخمر نانویی ساکارومایسس سرویزیه) و سوکراز از شرکت سیگما آلدریج خریدار شدند.

در این مطالعه تأثیر جایگزینی اینولین در سه درجه پلیمریزاسیون، شامل زنجیره کوتاه (S)، زنجیره بلند (L) و اینولین بومی طبیعی (N) در ۱۰ درصد وزنی-وزنی در مخلوط های آرد (نسبت آرد بلوط به برنج در ۷۰:۳۰) بررسی شد. فرآیند تخمیر بر اساس تخمیر ترکیبی بر پایه خمیرترش (Mixed fermentation based on sourdough (MF-SD)) جذب آب در مخلوط آرد حاوی ۱۰٪ وزنی-وزنی اینولین با درجه ی پلیمریزاسیون مختلف با تنظیم رئومتر (Anton Paar MCR301, GmbH, Germany) برای دستیابی به قوام بهینه خمیر تعیین شد.

به منظور تهیه نان، انواع تهیه شده به روش تخمیر ترکیبی بر پایه خمیرترش بر اساس روش دو مرحله ای اسفنج و خمیر (dough&Sponge) با نسبت ۴۰:۶۰ (اسفنج: خمیر) تهیه شد (AACC Method 10.11.01) (۲۲). اسفنج با ۶۰ درصد

دو ماهنامه علمی پژوهشی طلوع بهداشت یزد

سال بیست و دوم، شماره اول، فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۲



$$\text{درصد رطوبت} = \frac{\text{وزن ظرف و نمونه خشک شده} - \text{وزن ظرف و نمونه مرطوب}}{\text{وزن نمونه مرطوب}} \times 100$$

ویژگی‌های مکانیکی مغزنان با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (Texture analyzer, KOOPA, TA20, Iran) اندازه‌گیری شد. این دستگاه از ۲ سیکل فشردن نمونه تشکیل شده است. قطعه‌ای از هر قرص نان با ابعاد ۲۰ × ۲۰ × ۲۵ میلی‌متر بریده و در هر اندازه‌گیری این قطعات نان برش داده دو مرتبه در مرکز با استفاده از یک پروب استوانه‌ای (قطر ۴۳ میلی‌متر) با وزنه ۵ کیلوگرم به فاصله ۱۰ میلی‌متر (کرنش ۵۰٪) با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه فشرده شد (۲۶).

برای اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها در سیستم a^* , b^* , L^* از اسپکتروفتومتر جذب اتمی UV-Visible استفاده شد. رنگ پوسته و مغز نان هر قرص نان اندازه‌گیری شد. نتایج بر اساس شاخص‌های L^* (روشنایی-صفر: سیاه و ۱۰۰: سفید)، a^* (سبز: منفی و قرمز: مثبت) و b^* (آبی: منفی و زرد: مثبت) گزارش شده است (۲۷). شاخص سفیدی بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (۲۸).

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$$

مقدار اینولین در نمونه‌های نان با استفاده از روش آنزیمی فروکتان‌ها (AOAC, 2002) تعیین گردید. در این راستا، نمونه‌های نان پس از حل شدن در آب داغ (۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه) با سوکراز / آمیلاز، پولولاناز و مالتاز تیمار شدند. پس از آن، از محلول بوروهیدرید قلیایی برای حذف گلوکز و فروکتوز به عنوان قندهای احیاء استفاده شد. سپس محلول خنثی شد و بوروهیدرید اضافی با استفاده از اسید استیک رقیق حذف شد. فروکتان با استفاده از انکوباسیون با مخلوطی از فروکتاناز (exo-inulinase, endo-inulinase)

ویسکوالاستیک خطی نمونه‌های خمیر در کرنش کمتر از ۰/۱٪ مشاهده می‌شود، آزمایش نوسانی فرکانس در کرنش ثابت ۰/۰۱٪ و دامنه فرکانس ۱-۱۰۰ Hz انجام شد.

فاکتور افت ($\tan \delta$) و مدول مدول کمپلکس (G^*) به شرح زیر تعیین شد (۳۴):

$$\tan \delta = G''/G'$$

$$G^* = \sqrt{G'^2 + G''^2}$$

حجم نان‌ها با استفاده از روش جایگزینی دانه کلزا تعیین و حجم ویژه آن از تقسیم حجم نان بر وزن (AACC Method (10-05.01، تقریباً ۱ ساعت پس از خروج از فر محاسبه شد (۲۳). به منظور تعیین pH و اسیدیته، ۵ گرم نمونه را در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای اتاق همگن کرده و مقدار pH با استفاده از pH متر (SANA SL-901. Iran) تعیین و اسیدیته کل قابل تیتر (Total titratable acidity (TTA)) از طریق تیتراسیون با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال محاسبه شد (۲۴).

همچنین رطوبت نمونه‌ها با استفاده از روش خشک کردن با آون تعیین گردید (AACC Method 44-16). ابتدا قالب نمونه را در آون تنظیم شده در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳-۴ ساعت قرار داده، سپس در دسیکاتور خنک تا رسیدن به دمای محیط سرد شد و سپس وزن گردید. نمونه‌ها در ظرف با وزن معین، وزن و به آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شد.

فرآیند خشک کردن تا زمانی که تغییرات وزن در دو فاصله‌ی متوالی وزن کردن در ۱۵ دقیقه به کمتر از ۰/۱ درصد وزنی-وزنی رسید ادامه یافت و مقدار رطوبت با معادله زیر محاسبه گردید (۲۵).



$162/180 =$ عاملی که برای تبدیل فروکتوز آزاد به آنهیدروفروکتوز (و آنهیدروگلوکز) استفاده شد.

ارزیابی حسی نمونه‌های تهیه شده در این مطالعه با استفاده از مقیاس هدونیک ۹ نقطه‌ای، با رتبه ۱ (نمونه بسیار ناخوشایند)، ۵ (نمونه قابل قبول) و ۹ (نمونه بسیار خوشایند از نظر حسی)، بررسی شدند. ارزیابی با توجه به طعم، رنگ، بافت و همچنین پذیرش کلی توسط ۳۰ ارزیاب نیمه آموزش دیده از دانشجویان و کارکنان (نسبت مرد به زن برابر و محدوده سنی ۵۸-۱۸ سال) از دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد دانشکده بهداشت انجام شد. سلامتی و تمایل شرکت کنندگان جهت شرکت در آزمون در نظر گرفته شد. برای ارزیابی حسی، برش‌های نمونه نان رمزگذاری شده به طور تصادفی ارزیابی شدند (۳۰).

در این مطالعه برای توصیف ویژگی‌های کمی از آمار توصیفی به کمک میانگین و انحراف معیار استفاده شد. به منظور حصول بیشترین صحت در نتایج آنالیز آماری، آزمون‌های مربوطه در ۳ بار تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک نرم‌افزار SPSS۲۵ انجام شد. برای بررسی اثر متغیر مستقل بر متغیرهای وابسته از آزمون one-way ANOVA استفاده شد. برای مقایسه‌های چندگانه بین ترکیب سطوح مختلف متغیرهای مستقل از پس آزمون توکی استفاده شد. برای بررسی اثر متغیرهای مستقل و بر هم کنش آنها بر ویژگی‌های حسی آزمون‌های غیرپارامتریک انجام شد. سطح معنی داری در تمام آزمون‌های انجام شده ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند. این مطالعه شامل هیچ آزمایش انسانی یا حیوانی نمی‌باشد. رضایت کتبی آگاهانه از همه شرکت کنندگان در مطالعه اخذ شد. این مطالعه توسط

در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ دقیقه به فروکتوز و گلوکز هیدرولیز شد. سپس معرف پارا هیدروکسی بنزوئیک اسید هیدرازید (para-hydroxybenzoic acid hydrazide) (PAHBH)) به نمونه‌ها اضافه شد و به مدت ۶ دقیقه در آب جوش انکوبه شد. پس از سرد شدن، جذب در طول موج ۴۱۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر که توسط محلول استاندارد سازی دی فروکتوز و معرف بلانک تهیه شده بود اندازه‌گیری شد.

محتوای کل فروکتان با استفاده از رابطه زیر اندازه‌گیری شد (۲۹).

$$A = F \times 5 \times V \times \frac{1/1}{2/1} \times 100 / W \times 1/1000 \times 162/180$$

= درصد اینولین کل

A = جذب PAHBH محلول واکنشی (۰/۲ میلی لیتر) در برابر معرف بلانک خوانده شد.

F = عاملی که برای تبدیل مقادیر جذب به میکروگرم فروکتوز (۵۴/۵ میکروگرم فروکتوز / مقدار جذب برای ۵۴/۵ میکروگرم فروکتوز) استفاده شد.

۵ = عاملی که برای تبدیل ۰/۲ میلی لیتر به ۱ میلی لیتر استفاده شد.

V = حجم (میلی لیتر) عصاره‌ای که استفاده شد.

$\frac{1/1}{2/1} =$ ۰/۲ میلی لیتر، از ۱/۱ میلی لیتر آنزیم هضم کننده برای تجزیه و تحلیل استفاده شد.

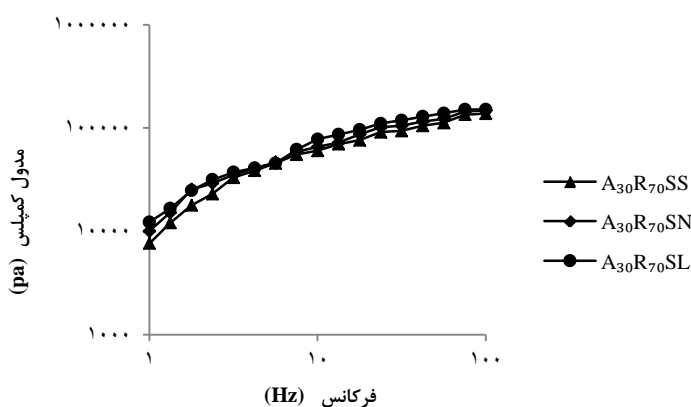
W = وزن (میلی گرم) عصاره‌ای که استفاده شد.

$100/W =$ عاملی که برای بیان اینولین به عنوان درصدی از وزن پودر استفاده شد.

$1/1000 =$ عاملی که برای تبدیل میکروگرم به میلی گرم استفاده شد.



در کل محدوده فرکانسهای زاویه ای، مدول ذخیره بیشتر از مدول افت ($G' > G''$) بود، که نمایانگر شکل گیری رفتار الاستیک مانند خمیر بدون گلوتن است (۳۳). کمترین مدول کمپلکس و بالاترین فاکتور افت در نمونه تهیه شده با تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین کوتاه زنجیر ($A_{30}R_{70}SS$) مشاهده شد. به طور کلی نتایج نشان داد که با افزایش درجه پلیمریزاسیون اینولین نمونه ها مدول کمپلکس بالاتر و تانژانت افت پایین تری نشان می دهند. همچنین نتایج نشان دهنده آن است که نمونه تهیه شده با تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین بلند زنجیر $A_{30}R_{70}SL$ دارای بالاترین مدول کمپلکس و کمترین فاکتور افت است که به معنی افزایش ویژگی الاستیک این نمونه می باشد.

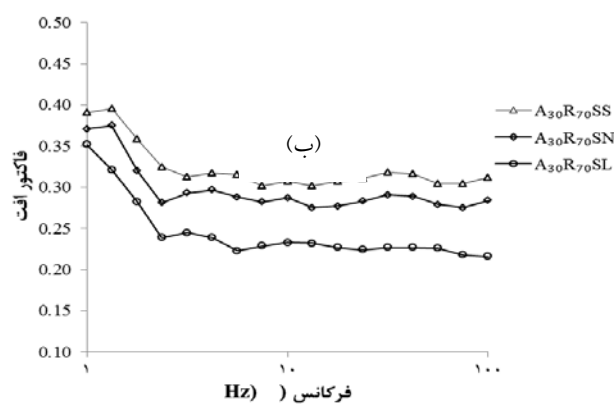


هیئت بازمینی نهادهی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی با شناسه IR.SSU.SPH.REC.1399.014 تایید شد.

یافته ها

ویژگی های ویسکوالاستیک نمونه های خمیر بدون گلوتن برای بررسی تأثیر تغییرات در فرمولاسیون تعیین شده است (۳۱). مدول کمپلکس و تانژانت افت اطلاعات ارزشمندی در مورد قدرت نمونه ها با در نظر گرفتن هر دو ویژگی الاستیک و ویسکوز فراهم می کنند (۳۲).

تغییرات مدول کمپلکس ($|G^*|$) و فاکتور افت ($\tan \delta$) در شکل ۱ نشان داده شده است. برای تمام فرمولاسیونها در کل محدوده فرکانسهای زاویه ای، مدول برای تمام فرمولاسیون ها



شکل ۱. منحنی های رفت و برگشت فرکانسی نمونه های خمیر بدون گلوتن (منحنی ها میانگین حداقل دو تکرار هستند) (الف) و (ب) به ترتیب مدول کمپلکس ($|G^*|$) و فاکتور افت ($\tan \delta$) هستند.

A_a = سطح آرد بلوط (A_{30} : ۳۰ درصد وزنی-وزنی)، R_b = سطح آرد برنج (R_{70} : ۷۰ درصد وزنی-وزنی)، X = نوع تخمیر (S = تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش)، I = درجه پلیمریزاسیون اینولین (S: اینولین با زنجیره کوتاه؛ N: اینولین طبیعی)؛ L: اینولین با زنجیره بلند).



افزایش پیدا کرد ($p \leq 0/05$). افزودن اینولین حجم ویژه تمام نمونه‌های نسبت به نمونه کنترل کاهش داد که در پی آن سختی افزایش یافت. با افزایش درجه پلیمریزاسیون اینولین، سختی نمونه‌های نان بدون گلو تن کاهش یافت ($p \leq 0/05$).

پیوستگی نمونه‌ها هنگام افزودن اینولین نسبت به نمونه‌های کنترل بدون اینولین به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0/05$). این کاهش با افزایش درجه پلیمریزاسیون کمتر می‌شود، به گونه‌ای که اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های تهیه شده با تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین بلند زنجیر $A_{30}R_{70}SL$ و نمونه کنترل تخمیر شده با مخمر بدون اینولین $A_{30}R_{70}Y(C)$ مشاهده نشد ($p \geq 0/05$).

نتایج آنالیز رنگ پوسته و مغزنان بر اساس پارامترهای a^* ، L^* ، b^* و WI که به ترتیب شاخص‌های روشنایی، سبز (-) / قرمز (+)، آبی (-) / زرد (+) و شاخص سفیدی را نشان می‌دهد، در جدول ۳ گزارش شده است. رنگ پوسته و مغز نان عمدتاً به ترتیب تحت تأثیر محصولات واکنش میلارد و اجزای فرمولاسیون است (۳۵). نتایج نشان داد افزودن اینولین تحت تأثیر درجه پلیمریزاسیون آن بر پارامترهای رنگ اثر گذاشته است. در رابطه با رنگ پوسته بیشترین و کمترین روشنایی به ترتیب در نمونه‌های تهیه شده با تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین کوتاه زنجیر $A_{30}R_{70}SS$ و تهیه شده با تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین بلند زنجیر $A_{30}R_{70}SL$ با مقدار L^* $88/67 \pm 0/11$ و $84/95 \pm 0/15$ مشاهده شد. در رابطه با رنگ مغزنان بیشترین و کمترین روشنایی L^* به ترتیب در نمونه‌های تهیه شده با تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین کوتاه زنجیر $A_{30}R_{70}SS$ و تهیه شده با تخمیر ترکیبی بر پایه

ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های نان بدون گلو تن با جایگزینی ۳۰ درصد وزنی-وزنی آرد بلوط، ۱۰ درصد وزنی-وزنی اینولین با سه درجه پلیمریزاسیون متفاوت و تخمیر شده با تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش تهیه شدند. نتایج در جدول ۱ آورده شده است.

کمترین و بیشترین میزان رطوبت به ترتیب در نمونه‌هایی با کمترین و بیشترین میزان جذب آب مشاهده شده است. افزودن اینولین میزان رطوبت نمونه‌ها را کاهش داده است ($p \leq 0/05$). با این حال هنگام بکارگیری اینولین بلند زنجیر، تفاوت معنی‌داری میان میزان رطوبت نمونه‌ها ($A_{30}R_{70}SL$) با نمونه کنترل بدون اینولین مشاهده نشد ($p > 0/05$).

علاوه بر آن نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد اثر افزودن اینولین بر فرآیند اسیدیفیکاسیون تحت تأثیر درجه پلیمریزاسیون اینولین قرار گرفته است، بطوری که بکارگیری اینولین کوتاه زنجیر نسبت به اینولین بلند زنجیر تأثیر بیشتری بر کاهش pH و افزایش اسیدیته کل قابل تیتر دارد ($p \leq 0/05$).

شاخص حجم ویژه، تعیین‌کننده توانایی خمیر در حفظ گاز دی‌اکسید کربن تولید شده طی فرآیند تخمیر و قابلیت مساعد شدن آن طی فرآیند پخت است (۳۴)، که در محدوده بین ۱/۱۲-۱/۴۹ گزارش شده است (جدول ۲). افزودن اینولین حجم ویژه نمونه‌ها را کاهش داد ($p \leq 0/05$). با این وجود حجم ویژه نمونه $A_{30}R_{70}SL$ تهیه شده با تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین بلند زنجیر با نمونه کنترل بدون اینولین $A_{30}R_{70}Y(C)$ تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($p > 0/05$).

تغییر در حجم ویژه نان با تغییر سختی همراه است. با افزودن اینولین، سختی تمام نمونه‌ها نسبت به نمونه کنترل (بدون اینولین)

دو ماهنامه علمی پژوهشی طلوع بهداشت یزد



خمیرترش و اینولین بلند زنجیر $A_{30}R_{70}SL$ با مقدار سفیدی پوسته و مغز نان نتایج مشابه ای با شاخص روشنایی $90/77 \pm 0/07$ و $84/73 \pm 0/07$ مشاهده شد. علاوه بر آن شاخص نشان دادند.

جدول ۱: ویژگی های فیزیکوشیمیایی نان های بدون گلوتن

تیمارها	پارامترها			
	جذب آب	رطوبت	pH	اسیدیته
$A_{30}R_{70}Y(C)$	$74/00 \pm 0/07^a$	$39/96 \pm 0/06^a$	$5/61 \pm 0/01^a$	$0/36 \pm 0/06^b$
$A_{30}R_{70}SS$	$57/00 \pm 0/01^d$	$34/78 \pm 0/02^c$	$5/25 \pm 0/01^d$	$0/48 \pm 0/07^a$
$A_{30}R_{70}SN$	$60/00 \pm 0/06^c$	$36/70 \pm 0/10^b$	$5/37 \pm 0/00^c$	$0/39 \pm 0/05^b$
$A_{30}R_{70}SL$	$64/00 \pm 0/04^b$	$40/01 \pm 0/11^a$	$5/42 \pm 0/03^b$	$0/30 \pm 0/08^{cb}$

* داده های گزارش شده میانگین شاخص ها \pm انحراف معیار هستند.

** مقادیر با حروف کوچک مختلف در هر ستون به معنای اختلاف معنی دار است ($p < 0/05$).

*** A_a = سطح آرد بلوط (A_{30} : ۳۰ درصد وزنی-وزنی)، R_b = سطح آرد برنج (R_{70} : ۷۰ درصد وزنی-وزنی)، X = نوع تخمیر (S = تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش)، I = درجه پلیمریزاسیون اینولین (S : اینولین با زنجیره کوتاه)؛ N : (اینولین طبیعی)؛ L : اینولین با زنجیره بلند). نمونه های کنترل با $A_aR_bY(C)$ نشان داده می شوند.

جدول ۲: آنالیز ویژگی های بافتی نمونه های نان های بدون گلوتن

تیمارها	ویژگی های بافتی			
	حجم ویژه	سختی (g)	قابلیت ارتجاعی	پیوستگی (-) قابلیت جویدن (mJ)
	($cm^3 g^{-1}$)		(mm)	
$A_{30}R_{70}Y(C)$	$1/49 \pm 0/03^a$	$3062/07 \pm 95/01^d$	$9/28 \pm 0/29^a$	$0/41 \pm 0/03^a$
$A_{30}R_{70}SS$	$1/12 \pm 0/01^c$	$8725/98 \pm 82/13^a$	$8/73 \pm 0/01^c$	$0/25 \pm 0/04^c$
$A_{30}R_{70}SN$	$1/25 \pm 0/00^b$	$6885/20 \pm 70/50^b$	$10/63 \pm 0/26^b$	$0/30 \pm 0/01^b$
$A_{30}R_{70}SL$	$1/47 \pm 0/04^a$	$4177/71 \pm 89/10^c$	$12/50 \pm 0/21^a$	$0/40 \pm 0/02^d$

* داده های گزارش شده میانگین شاخص ها \pm انحراف معیار هستند.

** مقادیر با حروف کوچک مختلف در هر ستون به معنای اختلاف معنی دار است ($p < 0/05$).

*** A_a = سطح آرد بلوط (A_{30} : ۳۰ درصد وزنی-وزنی)، R_b = سطح آرد برنج (R_{70} : ۷۰ درصد وزنی-وزنی)، X = نوع تخمیر (S = تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش)، I = درجه پلیمریزاسیون اینولین (S : اینولین با زنجیره کوتاه)؛ N : (اینولین طبیعی)؛ L : اینولین با زنجیره بلند). نمونه های کنترل با $A_aR_bY(C)$ نشان داده می شوند.



جدول ۳. پارامترهای رنگ (*L, a*, b* و شاخص سفیدی) پوسته و مغزنان نمونه‌های بدون گلوتن

تیمارها	ویژگی‌های پوسته				ویژگی‌های مغزنان			
	WI	b*	a*	L*	WI	b*	a*	L*
A ₃₀ R ₇₀ Y(C)	۶۸/۲۷±۰/۰۶ ^b	۲۵/۸۳±۰/۳۳ ^b	۱۱/۶۱±۰/۰۱ ^b	۸۵/۶۸±۰/۱۴ ^b	۷۰/۲۸±۰/۱۴ ^a	۲۶/۵۲±۰/۰۶ ^b	۸/۵۵±۰/۰۱ ^c	۸۹/۶۶±۰/۱۱ ^b
A ₃₀ R ₇₀ SS	۷۰/۰۳±۰/۱۴ ^a	۲۷/۵۳±۰/۱۲ ^a	۱۰/۰۹±۰/۱۲ ^d	۸۸/۶۷±۰/۱۱ ^a	۷۰/۳۲±۰/۰۶ ^a	۲۷/۱۰±۰/۱۲ ^a	۷/۸۲±۰/۰۲ ^d	۹۰/۷۷±۰/۰۷ ^a
A ₃₀ R ₇₀ SN	۶۸/۲۳±۰/۰۷ ^b	۲۵/۵۷±۰/۲۰ ^c	۱۲/۰۸±۰/۱۴ ^a	۸۵/۶۴±۰/۵۵ ^c	۶۹/۰۲±۰/۰۸ ^b	۲۶/۲۱±۰/۰۱ ^c	۱۰/۴۳±۰/۰۹ ^b	۸۷/۳۷±۰/۱۱ ^c
A ₃₀ R ₇₀ SL	۶۸/۲۵±۰/۰۶ ^b	۲۵/۷۳±۰/۱۹ ^d	۱۱/۵۳±۰/۰۶ ^c	۸۴/۹۵±۰/۱۵ ^d	۶۸/۷۲±۰/۱۰ ^c	۲۴/۸۵±۰/۰۶ ^d	۱۱/۳۱±۰/۰۲ ^a	۸۴/۷۳±۰/۰۷ ^d

* داده‌ها گزارش شده میانگین شاخص‌ها ± انحراف معیار هستند.

** مقادیر با حروف کوچک مختلف در هر ستون به معنای اختلاف معنی دار است (p < ۰/۰۵).

*** A_a = سطح آرد بلوط (A₃₀: ۳۰ درصد وزنی-وزنی)، R_b = سطح آرد برنج (R₇₀: ۷۰ درصد وزنی-وزنی)، X = نوع تخمیر (S = تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش)، I = درجه پلیمریزاسیون اینولین (S: اینولین با زنجیره کوتاه)؛ N: (اینولین طبیعی)؛ L: اینولین با زنجیره بلند). نمونه‌های کنترل با A_aR_bY(C) نشان داده می‌شوند.

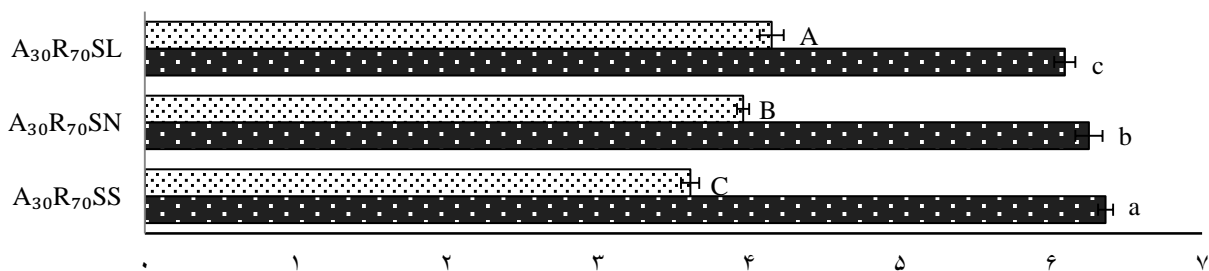
خمیر ترش و اینولین بلند زنجیر A₃₀R₇₀SL و تهیه شده با تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین کوتاه زنجیر A₃₀R₇₀SS به ترتیب با مقدارهای ۴/۱۵ ± ۰/۰۸ و ۳/۶۱ ± ۰/۰۶ بود. با افزایش درجه پلیمریزاسیون میزان ماندگاری اینولین افزایش پیدا کرد و نمونه‌های حاوی اینولین بلند زنجیر میزان ماندگاری بالاتری نسبت به نمونه‌های حاوی اینولین کوتاه زنجیر نشان دادند (p < ۰/۰۵). ارزیابی حسی، رفتار مصرف کنندگان نسبت به محصول را می‌سنجد و در ارائه فرمولاسیون‌های جدید مواد غذایی نقش بسزایی دارد. ویژگی‌های حسی نمونه نان بدون گلوتن تهیه شده در این پژوهش شامل طعم، بافت، رنگ و پذیرش کلی در فرمولاسیون‌ها مختلف بر اساس درجه پلیمریزاسیون اینولین ارزیابی و نتایج آن در شکل ۳ گزارش شد. نمونه تخمیر شده با تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین بلند زنجیر A₃₀R₇₀SL با رتبه ۸/۶۶ ± ۰/۱۸ و ۸/۲۲ ± ۰/۰۷ بالاترین رتبه را از نظر بافت دریافت کرد. نمونه تخمیر شده با تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین کوتاه زنجیر A₃₀R₇₀SS با دریافت رتبه ۷/۸۸ ± ۰/۲۵ بالاترین رتبه را از نظر طعم دریافت کرد.

بری بیوتیک اینولین از فیبرهای تغذیه‌ای محلول است که دریافت مقدار مشخص و منظم آن توسط باکتری‌های مفید روده می‌تواند باعث کاهش پاسخ گلیسمی، افزایش جذب کلسیم و مواد معدنی، تقویت سلامت دستگاه گوارش، تأثیر بر متابولیسم چربی‌ها و کاهش خطر ابتلا به پوکی استخوان، ابتلا به سرطان روده بزرگ، سرطان پستان و رشد تومور شود (۳، ۳۶). اگرچه وجود ساختار بتا در اینولین منجر به مقاومت آن در برابر هضم به وسیله آنزیم‌های دستگاه گوارش شده است (۳۶)، ماندگاری آن در محصول نهایی می‌تواند تحت تأثیر فرآیند پخت (ترکیب دما و زمان)، فرمولاسیون خمیر، نوع فرآیند تخمیر و درجه پلیمریزاسیون اینولین قرار گیرد (۳۷-۳۹). به منظور حذف اثر فرآیند تخمیر و دمای فرآیند پخت برای همه نمونه‌ها از یک نوع تخمیر (تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش) و دمای ثابت ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. نتایج مربوط به میزان ماندگاری اینولین نان در شکل ۲ گزارش شده است.

بالاترین و پایین‌ترین میزان ماندگاری اینولین پس از فرآیند پخت مربوط به نمونه‌های تهیه شده با تخمیر ترکیبی بر پایه



محتوای اینولین

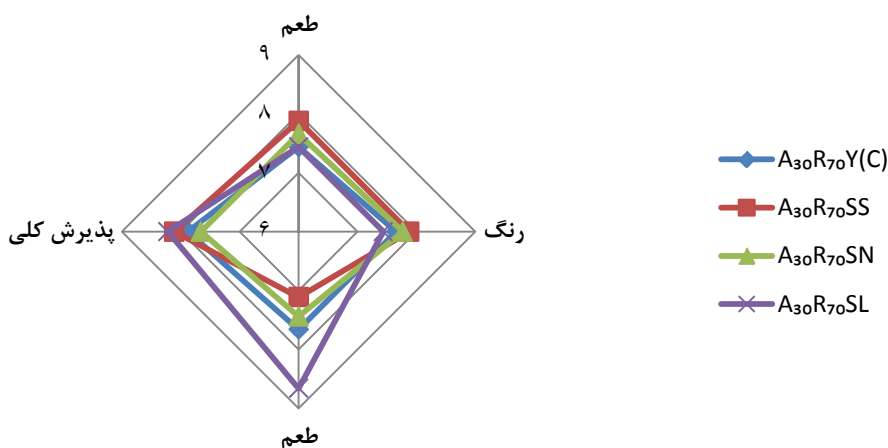


□ مقدار اینولین در ماده خشک نان (گرم در صد گرم بعد از پخت)

■ مقدار اینولین در ماده خشک خمیر (گرم در صد گرم بعد از مخلوط کردن)

شکل ۲: محتوای اینولین نان های بدون گلوتن

A_a=سطح آرد بلوط (A₃₀: ۳۰ درصد وزنی-وزنی)، R_b= سطح آرد برنج (R₇₀: ۷۰ درصد وزنی-وزنی)، X=نوع تخمیر (S= تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش)، I=درجه پلیمریزاسیون اینولین (S: اینولین با زنجیره کوتاه)؛ N: (اینولین طبیعی)؛ L: اینولین با زنجیره بلند).



شکل ۳: نمودار ارزیابی حسی نان بدون گلوتن تهیه شده با فرمولاسیون های مختلف

A_a=سطح آرد بلوط (A₃₀: ۳۰ درصد وزنی-وزنی)، R_b= سطح آرد برنج (R₇₀: ۷۰ درصد وزنی-وزنی)، X=نوع تخمیر (S= تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش)، I=درجه پلیمریزاسیون اینولین (S: اینولین با زنجیره کوتاه)؛ N: (اینولین طبیعی)؛ L: اینولین با زنجیره بلند). نمونه های کنترل با A_aR_bY(C) نشان داده می شوند.



بحث و نتیجه گیری

نشان دهنده رفتار الاستیک بالا و ویسکوز پایین آن می باشد که تانژانت افت و بطور همزمان بالاترین مدول کمپلکس بالا، که به عنوان نمونه‌ای با ویژگی رئولوژی مطلوب در نظر گرفته شد.

افزایش میزان رطوبت نمونه نمونه تهیه شده با خمیر حاصل از ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین بلند زنجیر (A₃₀R₇₀SL) ناشی از اثرات هم‌افزایی اینولین بلند زنجیر و آگزوپلی ساکاریدهای تولید شده توسط باکتری‌های اسید لاکتیک برای ایجاد ژل با دمای ژلاتینه شدن پایین تر است (۴۴). تشکیل ژل منجر به محدودیت فضا می شود و پیوند متقابل مولکول‌های نشاسته را برای ایجاد ساختار منظم کاهش می دهد، از مهاجرت رطوبت در ژل جلوگیری می کند و در نتیجه ظرفیت نگهداری آب را افزایش می دهد (۴۶، ۴۵).

اثر هم‌افزایی آگزوپلی ساکاریدهای تولید شده در تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین بلند زنجیر در ایجاد ساختار مطلوبی که توانایی نگهداری گاز را دارد افزایش حجم ویژه را در پی داشته است (۴۷). همانطور که در مطالعه Capriles و Arêas (۲۰۱۳) بیان شد اینولین بلند زنجیر قابلیت بالاتری در ایجاد ساختار و افزایش حجم ویژه نمونه‌های نان بدون گلوتن و در پی آن کاهش سختی نسبت به اینولین کوتاه زنجیر نشان می دهد (۱۵). علاوه بر آن پارامتر قابلیت جویدن نیز روند تغییری مشابه سختی مشاهده شد که مشابه یافته‌های مطالعه Abdelghafor و همکاران است (۴۸).

علی رغم وابستگی پارامتر پیوستگی به اجزای فرمولاسیون (۴۹) و با توجه به تأثیر اینولین در تضعیف ساختار (۵۰) بهبود پیوستگی در نمونه نمونه تهیه شده با خمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین بلند زنجیر (A₃₀R₇₀SL) می تواند مربوط

مطالعات مختلف نشان داده اند که استفاده از اینولین به عنوان یک پری بیوتیک باعث بهبود خواص تغذیه‌ای و سلامتی در انواع نان ها می شود بدون اینکه هیچ گونه تأثیر نامطلوبی بر ویژگی های رئولوژیکی و ارگانولپتیکی نان داشته باشد (۴۰). افزودن اینولین به خمیر می تواند باعث بهبود خواص رئولوژی خمیر شود (۴۱).

نتایج این مطالعه نشان داد نمونه های خمیر با افزایش درجه پلیمریزاسیون اینولین مدول کمپلکس بالاتر و تانژانت افت پایین تری نشان می دهند.

افزودن اینولین با درجه پلیمریزاسیون بالا ویژگی الاستیک خمیر را افزایش می دهد و ساختاری مطلوب را در خمیر ایجاد می کند در حالی که اینولین کوتاه زنجیر باعث افزایش ویژگی ویسکوز می شوند (۴۲).

همچنین نتایج نشان دهنده آن است که نمونه تهیه شده با خمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین بلند زنجیر A₃₀R₇₀SL دارای بالاترین مدول کمپلکس و کمترین فاکتور افت است که به معنی افزایش ویژگی الاستیک این نمونه می باشد. در واقع، آگزوپلی ساکاریدهای تولید شده توسط اسید لاکتیک باکتری ها در تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش می تواند با اینولین بلند زنجیر در ایجاد یک ساختار ژل مانند اثر هم‌افزایی داشته باشد و منجر به ویژگی الاستیک بالای خمیر و در نتیجه کاهش تانژانت افت شود.

این نتایج با یافته‌های مطالعه Galle و همکاران مطابقت داشت (۴۳). بنابراین نمونه نمونه تهیه شده با خمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین بلند زنجیر (A₃₀R₇₀SL) با کمترین مقدار

دو ماهنامه علمی پژوهشی طلوع بهداشت یزد



pH پایین تر و اسیدیته کل قابل تیتر بالاتر نسبت به اینولین بلند زنجیر ایجاد کرده است (جدول ۱) و به دمای پخت حساسیت بالاتری نشان داده است (۳۹). و به طور کلی میزان ماندگاری اینولین طی فرآیند پخت تحت تأثیر درجه پلیمریزاسیون اینولین طی ۴۳-۳۱ افت نشان داد. به عبارت دیگر، میزان افت اینولین طی فرآیند پخت در فرمولاسیون حاوی اینولین کوتاه زنجیر ($A_{30}R_{70}SS$)، ۴۳٪ بود اما در نمونه حاوی اینولین بلند زنجیر ($A_{30}R_{70}SL$) میزان افت ۳۱٪ بود.

نمونه نمونه تهیه شده با خمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین بلند زنجیر $A_{30}R_{70}SL$ به دلیل اثر هم افزایی تشکیل ژل توسط آگرو پلی ساکارید های تولید شده در تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و استفاده از اینولین بلند زنجیر حجم ویژه بالاتر و بافت مطلوبی ارائه داده است که انتظارات مصرف کنندگان را تا حد بالایی برآورده می کرد (۲۴،۵۳) افزودن اینولین کوتاه زنجیر طعم شیرین تری نشان می دهد و موجب پذیرش طعم شده است (۵۴). با این وجود با توجه به رنگ غالب آرد بلوط تفاوت معنی داری در پذیرش رنگ تحت تأثیر درجه پلیمریزاسیون اینولین مشاهده نشد. بنابراین با توجه به بالاترین امتیاز بافت و طعم به ترتیب در نمونه های نمونه های تهیه شده با خمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش و اینولین بلند زنجیر $A_{30}R_{70}SL$ و نمونه تخمیر شده با تخمیر ترکیبی و اینولین کوتاه زنجیر $A_{30}R_{70}SS$ محبوب ترین نمونه ها از نظر پذیرش کلی نیز بودند.

در نتیجه بکارگیری اینولین بلند زنجیر به طور بالقوه موجب بهبود ویژگی های تکنولوژیکی نان بدون گلو تن شد، که به اثر هم افزایی اینولین بلند زنجیر و آگرو پلی ساکارید های تولید شده در تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش در ایجاد ساختار و تشکیل

به آگرو پلی ساکارید های تولید شده توسط اسید لاکتیک باکتری های موجود در تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش باشد که در ایجاد یک ساختار ژل مانند با اینولین بلند زنجیر اثر هم افزایی داشته و موجب افزایش پیوستگی و قابلیت ارتجاعی شده است (۴۳). نتایج قابلیت ارتجاعی با نتایج ویژگی های رئولوژی سازگار بود. کاهش pH با کاهش واکنش میلارد و افزایش شاخص روشنایی پوسته همراه است (۴۵). به نظر می رسد اینولین کوتاه زنجیر با قابلیت هیدرولیز آسان تر در تخمیر ترکیبی بر پایه خمیر ترش pH کمتری را ایجاد کرده که در پی آن واکنش میلارد کاهش و L^* افزایش یافت و a^* ، b^* کمترین مقدار را نشان داد. در واقع در هنگام بکارگیری اینولین با درجه پلیمریزاسیون بالاتر و حجم ویژه افزایش می یابد. حجم ویژه بالاتر با افزایش حباب های هوا و پراکنش نور همراه است که باعث کاهش L^* و تیرگی بیشتر محصول می شود (۵۱).

مقایسه نتایج سختی (جدول ۲) با شاخص های رنگ مغز نان نشان می دهد که افزایش سختی نمونه ها باعث افزایش L^* مغز نان می شود. در واقع به نظر می رسد به دلیل کاهش قدرت نگهداری گاز و ایجاد حباب در نمونه هایی با سختی بالا پراکنش نور کم شده و روشنی افزایش یافته است. شاخص سفیدی پوسته و مغز نان نتایج مشابهی با شاخص روشنایی نشان دادند. در مطالعه Hsieh و همکاران، مشاهده شد که L^* مغز نان ارتباط مستقیمی با شاخص سفیدی دارد (۵۲).

در رابطه با ماندگاری اینولین نتایج مطالعه Glibowski و همکاران نشان داد، اینولین بلند زنجیر ماندگاری بیشتری نسبت به اینولین کوتاه زنجیر در طی فرآیند تخمیر و پخت دارند. علاوه بر آن بنظر می رسد با توجه به این که اینولین کوتاه زنجیر



تضاد منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض منافی وجود ندارد.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی کمال تشکر و قدردانی را داریم.

ژل نگهداری گازها بالاتری نسبت داده شد. علاوه بر آن بکارگیری اینولین بلند زنجیر با کمترین میزان افت ۳۱٪ بالاترین میزان ماندگاری (۴/۱۵ ± ۰/۰۸) اینولین را نشان داد.

با این وجود، استفاده از اینولین بلند زنجیر برای دستیابی به ویژگی‌های تکنولوژیکی مطلوب و ارزش تغذیه‌ای بالا در فرمولاسیون نان بدون گلوتن توصیه می‌شود.

References

- 1-Drabińska N, Rosell CM, Krupa-Kozak U. Inulin-type fructans application in gluten-free products: functionality and health benefits. *Bioactive Molecules in Food*. 2017;1:1-40.
- 2-Drabińska N, Rosell C, Krupa-Kozak U. Inulin-type fructans application in gluten-free products: functionality and health benefits. *Bioactive Molecules in Food, Reference Series in Phytochemistry*; Mérillon, JM, Ramawat, K, Eds. 2018.
- 3-Morreale F, Benavent-Gil Y, Rosell CM. Inulin enrichment of gluten free breads: Interaction between inulin and yeast. *Food chemistry*. 2019;278:545-51.
- 4-Slavin J. Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*. 2013;5(4):1417-35.
- 5-Cascone G, Crescente G, Sorrentino A, Volpe MG, Moccia S. Physicochemical characterization of a functional chestnut sweet cream enriched with carotenoids and fiber. *LWT*. 2023;177:114583.
- 6-Alexiou H, Franck A. Prebiotic inulin-type fructans: nutritional benefits beyond dietary fibre source. *Nutrition Bulletin*. 2008;33(3):227-33.
- 7-Biesiekierski JR. What is gluten? *Journal of gastroenterology and hepatology*. 2017;32:78-81.
- 8-Moore MM, Heinbockel M, Dockery P, Ulmer H, Arendt EK. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal chemistry*. 2006;83(1):28-36.
- 9-Rai S, Kaur A, Chopra C. Gluten-free products for celiac susceptible people: A review. *Frontiers in nutrition*. 2018;5:116.
- 10-Arendt EK, Morrissey A, Moore MM, Dal Bello F. Gluten-free breads 13. *International Series*. 289.
- 11-Demirkesen I, Mert B, Sumnu G, Sahin S. Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of food Engineering*. 2010;96(2):295-303.



- 12-Kadan R, Robinson M, Thibodeaux D, Pepperman Jr A. Texture and other physicochemical properties of whole rice bread. *Journal of food science*. 2001;66(7):940-4.
- 13-Sacchetti G, Pinnavaia G, Guidolin E, Dalla Rosa M. Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products. *Food Research International*. 2004;37(5):527-34.
- 14-Demirkesen I, Mert B, Sumnu G, Sahin S. Utilization of chestnut flour in gluten-free bread formulations. *Journal of food engineering*. 2010;101(3):329-36.
- 15-Capriles VD, Arêas JA. Effects of prebiotic inulin-type fructans on structure, quality, sensory acceptance and glycemic response of gluten-free breads. *Food & function*. 2013;4(1):104-10.
- 16-Hutkins RW. *Microbiology and technology of fermented foods*: John Wiley & Sons; 2008.
- 17-Üçök G, Hayta M. Effect of sourdough addition on rice based gluten-free formulation: rheological properties of dough and bread quality. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*. 2015;7(5):643-9.
- 18-Capriles VD, Arêas JA, function. Effects of prebiotic inulin-type fructans on structure, quality, sensory acceptance and glycemic response of gluten-free breads. 2013;4(1):104-10.
- 19-Ziobro R, Korus J, Juszczak L, Witczak T. Influence of inulin on physical characteristics and staling rate of gluten-free bread. 2013;116(1):21-7.
- 20-Stephen AM, Champ MM-J, Cloran SJ, Fleith M, Van Lieshout L, Mejbourn H, et al. Dietary fibre in Europe: current state of knowledge on definitions, sources, recommendations, intakes and relationships to health. *Nutrition research reviews*. 2017;30(2):149-90.
- 21-Ziobro R, Korus J, Juszczak L, Witczak T. Influence of inulin on physical characteristics and staling rate of gluten-free bread. *Journal of Food Engineering*. 2013;116(1):21-7.
- 22-Gamel TH, Abdel-Aal E-SM, Tosh SM. Effect of yeast-fermented and sour-dough making processes on physicochemical characteristics of β -glucan in whole wheat/oat bread. *LWT-Food Science and Technology*. 2015;60(1):78-85.
- 23-Gerrard J, Brown P, Fayle S. Maillard crosslinking of food proteins III: the effects of glutaraldehyde, formaldehyde and glyceraldehyde upon bread and croissants. *Food Chemistry*. 2003;80(1):45-50.



- 24-Katina K, Salmenkallio-Marttila M, Partanen R, Forssell P, Autio K. Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. *LWT-Food Science and Technology*. 2006;39(5):479-91.
- 25-Lu Y, Zhang M, Sun J, Cheng X, Adhikari B. Drying of Burdock Root Cubes Using a Microwave-Assisted Pulsed Spouted Bed Dryer and Quality Evaluation of the Dried Cubes. *Drying Technology*. 2014;32(15):1785-90.
- 26-Steffe JF. *Rheological methods in food process engineering*: Freeman press; 1996.
- 27-Ghaderi, A. A., Sarem Nejad, S., & Azizi, M. H. (2017). Investigation on the effect of edible coatings based on xanthan, carboxy methyl cellulose and sodium alginate, on extending of baguette bread shelf life. *Journal of food science and technology (Iran)*, 13(59), 133-141.
- 28-Sardabi F, Azizi MH, Gavlighi HA, Rashidinejad A. The effect of Moringa peregrina seed husk on the in vitro starch digestibility, microstructure, and quality of white wheat bread. *LWT*.136:110332.
- 29-McCleary BV, Murphy A, Mugford DC. Measurement of total fructan in foods by enzymatic/spectrophotometric method: collaborative study. *Journal of AOAC International*. 2000;83(2):356-64.
- 30-Menon L, Majumdar SD, Ravi U. Development and analysis of composite flour bread. *Journal of food science and technology*. 2015;52(7):4156-65.
- 31-Witczak T, Juszczak L, Ziobro R, Korus J. Rheology of gluten-free dough and physical characteristics of bread with potato protein. *Journal of Food Process Engineering*. 2017;40(3):e12491.
- 32-Fevzioglu M, Hamaker BR, Campanella OH. Gliadin and zein show similar and improved rheological behavior when mixed with high molecular weight glutenin. *Journal of cereal science*. 2012;55(3):265-71.
- 33-Upadhyay R, Ghosal D, Mehra A. Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure. *Journal of Food Engineering*. 2012;109(1):104-13.
- 34-Nunes MHB, Moore MM, Ryan LA, Arendt EKJEFR, Technology. Impact of emulsifiers on the quality and rheological properties of gluten-free breads and batters. 2009;228(4):633-42.



- 35-Conforti FD, Davis SF. The effect of soya flour and flaxseed as a partial replacement for bread flour in yeast bread. *International journal of food science & technology*. 2006;41:95-101.
- 36-Kalyani Nair K, Kharb S, Thompkinson D. Inulin dietary fiber with functional and health attributes—a review. *Food Reviews International*. 2010;26(2):189-203.
- 37-Chiavaro E, Vittadini E, Corradini C. Physicochemical characterization and stability of inulin gels. *European Food Research and Technology*. 2007;225(1):85-94.
- 38-Silva EK, Arruda HS, Eberlin MN, Pastore GM, Meireles MAA. Effects of supercritical carbon dioxide and thermal treatment on the inulin chemical stability and functional properties of prebiotic-enriched apple juice. *Food research international*. 2019;125:108561.
- 39-Glibowski P, Wasko A. Effect of thermochemical treatment on the structure of inulin and its gelling properties. *International journal of food science & technology*. 2008;43(11):2075-82.
- 40-Ansari F, Pimentel TC, Pourjafar H, Ibrahim SA, Jafari SM. The Influence of Prebiotics on Wheat Flour, Dough, and Bread Properties; Resistant Starch, Polydextrose, and Inulin. *Foods*. 2022;11(21):3366.
- 41-Yue C, Tang Y, Qi W, Zhao Y, Liu P, Hu J, et al. Influences of Na₂CO₃, NaHCO₃, K₂CO₃ on the rheological, water distribution, and microstructural properties of 5% long-chain inulin dough and quality of steamed bread. *LWT*. 2023:114501.
- 42-Juszczak L, Witczak T, Ziobro R, Korus J, Cieślik E, Witczak M. Effect of inulin on rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Carbohydrate polymers*. 2012;90(1):353-60.
- 43-Galle S, Schwab C, Dal Bello F, Coffey A, Gänzle MG, Arendt EK. Influence of in-situ synthesized exopolysaccharides on the quality of gluten-free sorghum sourdough bread. *International journal of food microbiology*. 2012;155(3):105-12.
- 44-Shiri A, Ehrampoush MH, Yasini Ardakani SA, Shamsi F, Mollakhalili-Meybodi N. Technological characteristics of inulin enriched gluten-free bread: Effect of acorn flour replacement and fermentation type. *Food Science & Nutrition*. 2021;9(11):6139-51.
- 45-Paciulli M, Rinaldi M, Cirlini M, Scazzina F, Chiavaro E. Chestnut flour addition in commercial gluten-free bread: A shelf-life study. *LWT*. 2016;70:88-95.
- 46-Yang H, Wang Y, Li Q, Shuang Y, Song J, Pan X, et al. Role of inulin in dough and bread during freezing storage. *International Journal of Food Science & Technology*.



- 47-Kim Y, Faqih M, Wang S. Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate Polymers*. 2001;46(2):135-45.
- 48-Abdelghafor R, Mustafa A, Ibrahim A, Krishnan P. Quality of bread from composite flour of sorghum and hard white winter wheat. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2011;3(1):9-15.
- 49-Wahyono A, Lee S-B, Yeo S-H, Kang W-W, Park H-D. Effects of concentration of Jerusalem artichoke powder on the quality of artichoke-enriched bread fermented with mixed cultures of *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulaspora delbrueckii* JK08 and *Pichia anomala* JK04. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2016:242-50.
- 50-Liu J, Luo D, Chen R, Xu B, Liu J. Effects of short-chain inulin on quality of Chinese steamed bread. *Journal of Food Quality*. 2016;39(4):255-63.
- 51-Rinaldi M, Paciulli M, Caligiani A, Sgarbi E, Cirlini M, Dall'Asta C, et al. Durum and soft wheat flours in sourdough and straight-dough bread-making. *Journal of food science and technology*. 2015;52(10):6254-65.
- 52-Hsieh P-H, Weng Y-M, Yu Z-R, Wang B-J. Substitution of wheat flour with wholegrain flours affects physical properties, sensory acceptance, and starch digestion of Chinese steam bread (Mantou). *LWT*. 2017;86:571-6.
- 53-Sirbu A, Arghire C. Functional bread: Effect of inulin-type products addition on dough rheology and bread quality. *Journal of cereal science*. 2017;75:220-7.
- 54-A. Parnell J, A. Reimer R. Prebiotic fiber modulation of the gut microbiota improves risk factors for obesity and the metabolic syndrome. *Gut microbes*. 2012;3(1):29-34.