

## بهبود سازی فرمولاسیون نان های فاقد گلوتن

محمدرضا دباغ مظهری<sup>۱</sup>، فروغ محترمی<sup>۲\*</sup>، صابر امیری<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، موسسه آموزش عالی صبا، ارومیه
۲. استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۳. دانشجوی دکتری تخصصی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\*نویسنده مسئول: mohtarami.f@gmail.com

### خلاصه :

محصولات غله‌ای بخصوص نان، به علت دارا بودن کیفیت تکنولوژیکی و تغذیه ای عمده ترین ترکیبات موجود در رژیم غذایی اکثر کشورها میباشند؛ اما بیماران سلیاکی قادر به مصرف نان و سایر محصولات تولید شده از آرد گندم نمی‌باشند. در نتیجه این عدم تحمل، به موکوس روده کوچک آسیب وارد شده و لذا به جذب نامناسب مواد تغذیه ای می انجامد. بنابراین تقاضای زیادی برای تولید نان‌های فاقد گلوتن توسط بیماران سلیاکی و افراد حساس به گندم وجود دارد. فرمولاسیون محصولات فاقد گلوتن شامل استفاده از منابع نشاسته ای مختلف و آردهایی چون برنج، ذرت، کاساوا و سیب زمینی است. در این مقاله مروری به بررسی اثر آردهای مختلف بر پارامترهای کیفی نانهای فاقد گلوتن و بهبود خواص تغذیه ای این محصولات پرداخته شده است.

**کلمات کلیدی:** فاقد گلوتن، صمغ، سلیاک

### ۱. مقدمه

گلوتن شامل پروتئین‌هایی است که نقش کلیدی و منحصر بفردی در ایجاد خاصیت قابل پخت گندم از طریق افزایش خاصیت جذب آب، تشکیل شبکه پروتئینی در خمیر، افزایش قابلیت نگهداری گاز در خمیر و بهبود ویسکوزیته و الاستیسیته آن دارد (1). پروتئینهای گلوتن را از نظر حلالیت در محلولهای آب - الکل (اتانول ۶۰٪) به گلیادین محلول و گلوتنین نامحلول تقسیم بندی میکنند (۲). گلیادین دارای اثر الاستیسیته و چسبندگی کمتر نسبت به گلوتنین است و در مقابل، گلوتنین که چسبندگی و الاستیسیته بیشتری دارد، عامل ایجاد مقاومت و کشش پذیری مطلوب خمیر است. جهت ایجاد ویژگیهای ویسکوالاستیک مطلوب و کیفیت مناسب فرآورده نهایی، وجود مخلوط مناسبی از هر دوی این پروتئینها نیاز است (3). بیماری سلیاک نوعی آسیب به موکوس روده کوچک در اثر مصرف گلوتن در افراد حساس به گلوتن است که منجر به جذب ضعیف مواد غذایی و در نتیجه کاهش وزن، اسهال، نفخ شکم و بیماریهای استخوانی میشود (4). نخستین نشانه این بیماری در سال ۱۸۸۸ توسط سامولگی با عنوان اختلال سلیاکی مشاهده شد که به نوعی اختلال شدید در هضم مواد غذایی افراد تمام سنین مخصوصا کودکان یک تا پنج سال بود. سلیاک یکی از بیماریهای رایج ژنتیکی است که

در میان جوامع اروپایی از هر ۱۳۰ تا ۳۰۰ نفر یک نفر به آن مبتلا میشود (5). امروزه تعداد افراد تحت تاثیر این بیماری افزایش یافته و بنا به گزارش سازمان بهداشت جهانی (WHO) حدود ۵ درصد از جمعیت کل جهان به این سندرم مبتلا هستند. به بیماران سلیاکی توصیه میشود که از رژیم غذایی بدون گلوتن به مدت طولانی استفاده کنند. این امر منجر به بازیافت پرزهای روده کوچک و کاهش عوارض نامطلوب میشود (6). جهت کاهش این بیماری بایستی تمام مواد غذایی حاوی گلوتن غلات مانند گندم، چاودار، جو و جودوسر از رژیم غذایی این بیماران حذف شوند. هرچند این امر کار آسانی نیست چرا که اکثر محصولات رایج نانوائی که به مصرف روزانه مردم میرسند مثل نان، کیک، بیسکویت، پیتزا و پاستا از آرد گندم تولید میشوند. در حال حاضر اکثر نانهای فاقد گلوتن موجود در بازار کیفیت پایین، طعم نامناسب و سطحی خشک دارند (7).

روش بررسی این مقاله یک مطالعه مروری است و مقالات مرتبط با موضوع از متون منتشر شده و سایت‌های معتبر انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت.

## نتایج و بحث :

مزایا و معایب استفاده از فرمولاسیون نان فاقد گلوتن چالش مهمی در تولید نان محسوب میشود، چرا که عامل اصلی در ایجاد کشش پذیری خمیر، حفظ قابلیت نگهداری گاز در آن و تولید نانی با پوسته سطحی مناسب، جز گلوتنی آرد است. امروزه از ترکیباتی چون آرد برنج، نشاسته سیب زمینی و پودر شیر خشک در فرمولاسیون نان بدون گلوتن استفاده می‌شود. در تحقیقات مک کارتی و همکاران در سال ۲۰۰۵ از روش سطح- پاسخ جهت بهینه کردن فرمولاسیون اینگونه نان استفاده شد. در مطالعات این دانشمندان از متغیرهای هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) و آب در فرمولاسیون نان فاقد گلوتن استفاده شد و مشاهده شد که با افزودن آب، 24 ساعت پس از پخت، حجم مخصوص نان به طرز محسوسی افزایش یافت و فرمولاسیون بهینه با میزان  $2\% \text{ HPMC}$  و  $79\% \text{ آب}$  به دست آمد (8). در شمال سودان (9)، کشورهای خاور میانه مثل لبنان (۱۰) و عراق (۱۱) موارد زیادی از عدم تحمل گلوتن در رژیم غذایی افراد گزارش شده است. لذا تلاش‌هایی در خصوص حذف گلوتن از رژیم غذایی این افراد آغاز شد. در فرمولاسیون نانهای فاقد گلوتن نیاز به موادی است که قادر باشند به نحوی خصوصیات ویسکوالاستیک گلوتن را در این نانها تقلید نمایند (۱۲). بنابراین در تحقیقات متعدد استفاده از چنین ترکیباتی مانند صمغها (۱۳)، پروتئین سویا (۱۴) و سفیده تخم مرغ (۱۵) گزارش شده است. علاوه بر این، اکثر محصولات فاقد گلوتن از نظر اجزای ریز تغذیه‌ای نیز کمبود دارند. لذا برای بهبود ساختار این محصولات (به طور مثال نان فاقد گلوتن بر پایه آرد برنج) به آنها سایر منابع پروتئینی میتوان افزود. از این میان پروتئینهای سویا و محصولات لبنی را میتوان نام برد. پروتئین‌های بقولات و غلات از نظر اسیدهای آمینه ضروری مکمل هم میباشند. امروزه از تکنیک‌های مختلفی برای غنی سازی برنج و تامین ویتامینها و مواد معدنی ضروری آن استفاده میگردد (۱۶). برای مثال کیسکینی و همکاران در سال ۲۰۰۷، نان فاقد گلوتن را به کمک آهن (به صورت پیروفسفات آهن) غنی سازی نمودند و مشاهده کردند که نان تولیدی از نظر خواص حسی و تغذیه‌ای بسیار مناسب بود (۱۷).

## تولید محصولات فاقد گلوتن حاوی برنج:

برنج جزء عمده ترین ماده تشکیل دهنده رژیم غذایی است که سطح زیر کشت زیادی را نیز به خود اختصاص داده است و غذای بیش از دو سوم مردم جهان یعنی جمعیتی معادل  $2/5$  بلیون را تامین میکند. تولید برنج حدود ۲۹ درصد از کل تولید غلات جهان را به خود اختصاص میدهد. برنج منبع ارزانی از پروتئین است و غنی از کربوهیدرات، مواد معدنی، ویتامینها (مخصوصا ویتامین ب) بوده و فاقد کلسترول میباشد. هرچند بخاطر محدودیت‌های اسید آمینه‌ای پروتئین برنج مصرف مداوم آن ممکن است منجر به سوء تغذیه گردد. این اثر در بیماران سلیاکی مشهودتر است. ترکیب مواد تغذیه‌ای موجود در برنج بسته به شرایط کشت، شرایط محیطی و نوع فرآیند انجام گرفته میباشد. با حذف پوسته برنج طی فرآیند

میزان زیادی از مواد فیبری، پروتئینی، چربی، ویتامین، مواد معدنی از دست می‌رود. آهن، فسفر، پتاسیم و منگنز عمده ترین مواد معدنی موجود در برنج به شمار می‌روند. نشاسته حدود ۸۰٪ از وزن دانه های برنج را به خود اختصاص می‌دهد. نشاسته برنج که به دلیل دارا بودن پروتئینهای هیپوآلرژیک غیر حساسیت زا است؛ پلیمری از آمیلوز و آمیلوپکتین است که مقدار دقیق هر فراکسیون در برنج بسته به واریته آن متغیر است. (۱۸). آرد برنج دارای خواص مطلوبی مثل دارا بودن طعم ملایم و خواص هیپوآلرژیک است. علت این امر میزان کم گلوتن موجود در آن است که حالت ویسکوالاستیسیته کمتر را در آن ایجاد میکند (۱۹). لذا نان‌های فاقد گلوتن حاوی آرد برنج به ترکیبات پلیمری که خواص ویسکوالاستیک گلوتن گندم را تقلید کنند نیاز دارند تا قادر به حفظ ساختمان و نگهداری گاز در آن باشند (۱۲). صمغ‌ها و هیدروکلوئیدهایی مثل هیدروکسی پروپیل متیل سلولز قادر به جذب مناسب آب و حفظ گاز و نیز بهبود خواص حسی محصول می‌باشند (۱۹). جهت ایجاد ساختمان مناسب در نان، خمیر حاصل از آرد برنج در مقایسه با آرد گندم به درجه هیدراسیون بالاتری نیاز دارد که این امر با افزودن مقدار نسبتاً زیادی آب در خمیر برنج بدست می‌آید. با توجه به اینکه خصوصیات آردهای برنج متفاوت بر ویژگی های خمیر حاصل از آن موثرند لذا انتخاب درست گونه برنج مناسب برای تولید خمیر نان بسیار حائز اهمیت است (۱۸). از گونه های برنج واکسی (مومی) نمیتوان آرد مناسب برای تولید نان به دست آورد. زیرا این گونه برنج ها دارای آمیلوز کم (حدود ۱٪) و دمای پایین ژلاتینیزاسیون (۶۲-۶۱ درجه سانتیگراد) می باشند (۲۰) در سالهای اخیر از پکتین، CMC، آگارز، گزانتان یا بتاگلوکان‌های جو دوسر در فرمولاسیون محصولات فاقد گلوتن بر پایه آرد برنج، نشاسته ذرت و کازئینات سدیم استفاده شده است (۲۱). این امر در بهبود و افزایش حجم محصولات حاصله موثر است. علاوه بر این که افزودن ۲٪ CMC بر ویژگی‌های حسی نان تولیدی اثرگذار است. افزودن HPMC به خمیر برنج سبب ایجاد قوام و خاصیت رئولوژیکی مشابه با خمیر حاصل از آرد گندم میشود (۲۲). افزودن مقدار ۴٪ HPMC بر اساس مقدار آرد برنج) منجر به افزایش معناداری در حجم قرص نان میشود. علاوه بر این از سایر صمغ‌های گیاهی مثل صمغ لوبیای لوکاست، گوار، کاراجینان، گزانتان و آگار به عنوان جایگزین گلوتن در نان برنجی استفاده شده است (۲۳ و ۲۴) و مشاهده شده است که تمام این هیدروکلوئیدها بجز گزانتان، در افزایش حجم نان برنجی موثرند و نیز افزایش مقدار تمام این هیدروکلوئیدها (بجز پکتین) از ۱ تا ۲ درصد حجم نان را کاهش داد. آرد برنج بر خلاف آرد گندم فاقد بسیاری از آنزیم‌ها است. هرچند مطالعات متعددی نشان داده است که افزودن برخی آنزیم‌ها به محصولات حاوی آرد برنج میتواند مفید باشد. برای مثال افزودن آنزیم سیکلودکسترین گلیکوزیل ترانسفراز (CGTase) در نرم شدن بافت نان برنجی موثر است (۲۴). مکانیسم عمل این آنزیم مشابه آلفا آمیلاز است و میتواند سیکلودکسترین‌هایی با کمپلکس ترکیباتی جامد، مایع و گازی تشکیل دهد. در واقع عمل این آنزیم در آرد برنج بصورت ایجاد کمپلکس‌هایی چربی‌ها و پروتئین‌ها با سیکلودکسترین‌ها است. علاوه بر این این آنزیم در افزایش زمان ماندگاری نان هم نقش دارد. آلفا آمیلاز که یک اندو آنزیم (آنزیم درون سلولی) است که بطور تصادفی پیوندهای آلفا ۴-۱ را در پلی ساکاریدها میشکند و ترکیبات کوتاه زنجیره قابل تخمیر توسط مخمرها تولید میکند. این آنزیم در بهبود زمان ماندگاری نانهای فاقد گلوتن موثر است چرا که نرمی و الاستیسیته بافت را زیاد میکند. دیگر آنزیم‌های مفید در فرمولاسیون نان برنجی عبارت از گلوکز اکسیداز و ترانس گلوتامیناز می‌باشند. این آنزیم‌ها به طریق کاتالیز پیوندهای عرضی داخل و خارج مولکولی شبکه پروتئینی مناسبی در آرد برنج تشکیل میدهند. هرچند این شبکه پروتئینی تمام خواص کاربردی گلوتن گندم را ندارد و لذا به میزان کمتری هیدروکلوئید نیاز دارند (۲۵). یک روش دیگر در تولید نان‌های فاقد گلوتن، استفاده از مخلوط آرد برنج و آردهای دیگر یا منابع نشاسته ای دیگر میباشد (۲۸). در این خصوص استفاده از نشاسته ذرت، برنج قهوه ای و آرد سویا گزارش شده است (۲۶). این ترکیبات ممکن است دارای اثر ترد و شکنندگی شدن بر نان حاصله شوند که این اثر را میتوان با افزودن پودر شیر پس چرخ بهبود بخشید. در تحقیقات لویز و همکاران در سال ۲۰۰۴، از ترکیب ۴۵ درصدی آرد برنج، ۳۵ درصدی آرد ذرت و ۲۰ درصدی نشاسته کاساوا در تولید نانهای بدون گلوتن استفاده شد و مشاهده شد که نان‌های تولیدی بافتی

مناسب و یکنواخت، طعم و ظاهر نیز مطلوب بودند (۲۷). سانچز و همکاران در مطالعات خود در سال ۲۰۰۲، از ترکیب آرد برنج (۱۷/۲٪)، نشاسته ذرت (۷۴/۲٪) و نشاسته کاساوا (۸/۶٪) در تولید نان‌های بدون گلوتن استفاده کردند و کیفیت محصول تولیدی بسیار مناسب بود (۲۸).

## استفاده از فرآورده‌های لبنی در محصولات فاقد گلوتن :

استفاده از فرآورده‌های لبنی که دارای خواص تغذیه‌ای و کاربردی هستند در محصولات نانوائی سبب افزایش سطح پروتئین و کلسیم، بهبود طعم و بافت و افزایش زمان ماندگاری این محصولات میشود (۲۹). گالاغیر و همکاران در سال ۲۰۰۳ استفاده از محصولات لبنی در فرمولاسیون نان فاقد گلوتن گزارش نموده و نتیجه گرفتند که این امر منجر به بهبود رنگ و مغز پوسته، افزایش حجم نان و اثر نرم شونده‌گی بر مغز و پوسته نان میشود (۳۰). امروزه از فرآورده‌های لبنی به طور وسیع در صنعت تولید غلات استفاده میشود. زیرا افزودن این ترکیبات به غلات در افزایش ویژگیهای کاربردی محصول، آسانی فرآیند تولید و افزایش خواص تغذیه‌ای محصول نهایی می‌انجامد (۳۱). استفاده از این ترکیبات در محصولات فاقد گلوتن نیز گزارش شده است. مثلا استفاده از کازئین و کازئینات در محصولات نانوائی، پنیر، کافی کرم، بستنی، پاستا، محصولات کشت داده شده شیر، محصولات قنادی و فرآورده‌های گوشتی گزارش شده است (۳۲، ۳۳). استفاده از پروتئین آب پنیر در محصولاتی مانند نوشیدنی‌ها، فرآورده‌های قنادی، دسرها و محصولات گوشتی مشاهده شده است (۳۴). مزیت دیگر استفاده از محصولات لبنی در فرآورده‌های فاقد گلوتن، افزایش عمر ماندگاری این فرآورده‌هاست (۲۹). یک مسئله مهم در مورد غنی سازی محصولات فاقد گلوتن با فرآورده‌های لبنی، میزان لاکتوز موجود در این فرآورده‌هاست؛ چرا که بیماران سلیاکی قادر به تحمل و جذب لاکتوز نیستند (۳۵). طبق مطالعات مورای در سال ۱۹۹۹ حدود نیمی از افراد سلیاکی قادر به تحمل لاکتوز نیستند (۳۶). مورد مهم دیگر در این خصوص، انتخاب منبع نشاسته‌ای مورد استفاده است. معمولا در فرآورده‌های فاقد گلوتن از نشاسته گندم استفاده میشود که بایستی عاری از گلوتن و گلیادین باشد. از آنجا که حذف کامل گلیادین کاری بس دشوار است لذا این محصولات حاوی مقدار اندکی پروتئینهای آلرژیک میباشند. استفاده از سویا در محصولات فاقد گلوتن سویا که غنی از پروتئین میباشد به خانواده لوبیائیان تعلق دارد و دارای خواص کاربردی منحصر بفردی است. ایزوفلاوونهای سویا اثر مثبتی بر بافت استخوانی دارند و لذا استفاده از سویا و ترکیبات آن در غذاهای کاهش دهنده خطر ابتلا به بیماریهای استخوانی، موثر است (۳۷). علاوه بر این ایزوفلاوونهای سویا در کاهش حملات قلبی، اکسیداسیون لیپوپروتئینهای با دانسیته کم و جلوگیری از سرطان پستان نیز مفید اند. امروزه از سویا و فرآورده‌های آن به عنوان ماده افزایش دهنده سطح پروتئینی و بهبود خواص ساختاری محصولات فاقد گلوتن استفاده میشود. برای مثال، سانچز و همکاران در سال ۲۰۰۲ گزارش نمودند که افزایش نیم درصدی سویا در فرمولاسیون غذاهای فاقد گلوتن در بهبود بافت و افزایش حجم محصول مؤثر است (۲۸). تنها مشکل استفاده از سویا میزان بالای عوامل آلرژیک زای موجود در آن است که لذا بایستی در مورد استفاده آن در محصولات فاقد گلوتن دقت شود (۳۸). محصولات فاقد گلوتن برپایه تخم مرغ افزودن تخم مرغ به محصولات نانوائی با هدف افزایش شدت طعم، رنگ، ارزش تغذیه‌ای و امولسیفایری صورت میگیرد (۳۹). زرده تخم مرغ غنی از ویتامینهای محلول در چربی و نیز فسفولیپیدها (مانند لستین) است. از نظر ارزش تغذیه‌ای، تخم مرغ منبع مناسبی از پروتئین، چربی، ویتامین و مواد معدنی (مخصوصا آهن) است. نقش امولسیفایری تخم مرغ در محصولاتی مانند کیک سبب پایداری چربی در خمیر این محصولات میشود. حتی گزارش شده است که آلبومین تخم مرغ در ایجاد پیوندهای مستحکمتر بین گرانولهای نشاسته نیز مؤثر است (۴۰). در نانهای فاقد گلوتن، میتوان از پروتئین موجود در تخم مرغ در تشکیل مخلوطی ویسکوز و ساختار شبکه‌ای مانند گلوتن گندم بهره جست (۲۶). گزارش شده است که آنزیم ترانس گلوتامیناز در بهبود ویژگیهای این شبکه پروتئینی نقش دارد (۴۱).

محصولات فاقد گلوتن برپایه هیدروکلوئیدها :

در سالهای اخیر استفاده از هیدروکلوئیدهایی مانند هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC)، کربوکسی متیل سلولز (CMC)، متیل سلولز، بتا گلوکان، صمغ دانه لوبیای لوکاست، صمغ گوار و گزانتان در فرمولاسیون محصولات بدون گلوتن گزارش شده است (۴۱ و ۴۲). بر طبق مطالعات راسل و همکاران در سال ۲۰۰۱، هیدروکلوئیدها در افزایش قابلیت نگهداری گاز در خمیر، افزایش ویسکوزیته و افزایش حجم نان نقش دارند (۴۲). در سال ۱۹۹۴ در تولید نان با آرد برنج از HPMC استفاده شد و حجم مطلوبی در محصول نهایی به دست آمد (۴۳). این امر تا افزودن حد مجازی از هیدروکلوئید مربوطه مشاهده شد و بالاتر از آن مقدار، حجم قرص نان کاهش یافت. در سال ۲۰۰۷ اثر پکتین، CMC، آگارز، گزانتان و بتاگلوکان موجود در جو دوسر بر خواص رئولوژیکی نان فاقد گلوتن بررسی شد و مقاومت و الاستیسیته خمیر حاصله به ترتیب CMC > آگارز > بتاگلوکان گزارش شد: (۲۱). نحوه اثر پنج هیدروکلوئیدها بر کیفیت نان بسته به نوع هیدروکلوئید و غلظت مورد استفاده آن میباشد. تخلخل و الاستیسیته مهمترین پارامترهای فیزیکی شیمیایی مؤثر بر کیفیت نان میباشند (۲۱). مشاهده شده است که افزودن غلظت یک درصدی CMC و بتاگلوکان و غلظت دو درصدی پکتین سبب ایجاد تخلخل بالا در محصولات فاقد گلوتن میشود، علاوه بر اینکه تخلخل در نانهای حاوی ۲ درصد گزانتان حداقل است. اضافه نمودن CMC، پکتین و گزانتان تا ۲ درصد الاستیسیته مطلوبی در مغز نان ایجاد میکند. در خصوص رنگ ظاهری نان، بتاگلوکان به میزان یک درصد رنگ روشنی را در سطح پوسته نان به وجود می آورد. گزانتان در افزایش ثبات و استحکام محصولات فاقد گلوتن نیز مؤثر است. لذا میتوان این چنین نتیجه گیری نمود که افزودن هیدروکلوئیدها به فرمولاسیون محصولات فاقد گلوتن اثرات وسیع و متفاوتی را در پی دارد.

#### کاربرد جو دوسر در محصولات فاقد گلوتن:

میزان بالای فیبر با اثر سلامتی بخش و فواید بیولوژیکی، استفاده از جو دوسر را در رژیمهای غذایی فاقد گلوتن امکان پذیر نموده است. جو دوسر حاوی مقادیر زیادی بتا گلوکان محلول است که حدود ۷-۲ درصد از کل وزن مغز دانه آن را به خود اختصاص میدهد (۴۴). دریافت مقادیر کافی از بتاگلوکان به طور روزانه در کاهش حملات قلبی و تصلب شرائین نقش موثری دارد. علاوه بر بتاگلوکان، پوسته جودوسر دارای بالاترین میزان فیبر نسبت به سایر آردهای فاقد گلوتن است. میزان محتوای پروتئینی جودوسر نیز در مقایسه با برنج یا ذرت بالاتر است. جودوسر دارای میزانی بالاتری از اسیدهای چرب غیر اشباع نیز هست. میزان کل چربیها در جودوسر حدود ۹-۳ درصد است (۴۵). قسمت عمده این چربیها را اسیدهای چرب غیر اشباع و مخصوصا اسید اولئیک و اسید لینولئیک تشکیل میدهند. جو دوسر حاوی ترکیبات آنتی اکسیدانی (مخصوصا ترکیبات توکولی) نیز میباشد (۴۶). سایر ترکیبات موجود در جو دوسر شامل ترکیبات فنولی و استرولها هستند. بر اساس مطالعات آزمایشگاهی صورت گرفته در بسیاری کشورها از جو دوسر در رژیم غذایی فاقد گلوتن استفاده میشود که برای رژیم غذایی بیماران سلیاکی نیز مفید میباشد (۴۷). هولم و همکاران در سال ۲۰۰۶ گزارش کردند که کودکان سلیاکی قادر به مصرف جو دوسر در رژیم غذایی خود میباشند (۴۸). اما استفاده از جودوسر به تنهایی در تولید محصولات نانوایی تجاری مناسب نیست و بهتر است که مقداری آرد گندم نیز به این نوع فرمولاسیون اضافه گردد. در واقع شبکه پروتئینی نان حاصل از جو دوسر میتواند با افزودن آرد گندم غنی شود. در این صورت اینگونه نانها مناسب بیماران سلیاکی نیستند. یکی از معایب نانهای فاقد گلوتن عدم وجود عطر و طعم دلپذیر و یا ساختار مناسب در آنها میباشد که ثابت شده است با افزودن جودوسر به ترکیب چنین نانهایی عطر، طعم و بافت مورد نظر را در آنها ایجاد نمود. مطالعات دانشمندان بسیاری در خصوص توسعه تکنولوژی استفاده از جودوسر در تولید نان گزارش شده است (۴۹). علاوه بر تولید نان، از جودوسر در تولید اسنک هم استفاده میشود (اسنکهای فاقد گلوتن). محصول تخمیری جودوسر که مشابه ماست میباشد برای بیماران سلیاکی، افراد حساس به شیر و یا کسانی که قادر به تحمل لاکتوز نیستند میتواند مفید باشد.

#### استفاده از خمیر ترش در محصولات فاقد گلوتن:

خمیر ترش شامل مخلوطی از آرد (گندم یا چاودار)، آب و سایر اجزاء مانند نمک است که به طور طبیعی توسط باکتریهای اسید لاکتیک و مخمرها تخمیر میشود. در واقع، خمیر ترش یک ماده استارتر طبیعی برای ورآمدن خمیر طی تخمیر است (50). عمده ترین باکتری ها و مخمرهای موجود در خمیر ترش به ترتیب به جنسهای ساکارومایسس (گونه های لاکتوباسیلوس، لوکونستوک و پدیوکوکوس) و کاندیدا تعلق دارند. موارد اندکی در خصوص استفاده از خمیر ترش در فرآورده های بدون گلوتن گزارش شده است؛ که این گزارشات نشاندهنده بر اثر مفید خمیر ترش بر کیفیت پخت، حجم، بافت و طعم محصول نهایی هستند. رشد باکتریهای اسید لاکتیک در خمیرهای فاقد گلوتن مشابه خمیرهای حاصل از آرد گندم میباشد (51). خمیر ترش الاستیسیته نان را افزایش میدهد (52)؛ علت این امر مربوط به شکستن پروتئینهای غیر گلوتنی و ترکیبات نشاسته ای توسط باکتریهای اسید لاکتیک موجود در خمیر ترش است. نان تخمیر شده با خمیر ترش برای بیماران سلیاکی قابل هضم است و با ترکیب مناسب باکتری های اسید لاکتیک، آرد غیر سمی و استفاده از زمان تخمیر طولانی میتوان مقدار گلوتن مصرفی در محصولات را کاهش داد (53).

### بهبود خواص تغذیه ای نان های فاقد گلوتن :

از آنجا که قسمت اعظم محصولات فاقد گلوتن از آرد تصفیه شده تولید میشوند، ارزش تغذیه ای چندان بالایی نخواهند داشت. در تحقیقاتی که بر روی بیماران سلیاکی صورت گرفت دیده شد که این افراد به دلیل استفاده مداوم از فرآورده های بدون گلوتن دارای کمبود فیبر در بدن خود میباشند (54). لذا غنی سازی محصولات بدون گلوتن با مواد فیبری امری ضروری است. علاوه بر اینکه این غنی سازی در بهبود بافت و پایداری ساختمانی این محصولات مؤثر میباشد (55). اینولین از جمله موادی است که به منظور افزایش محتوای فیبری محصولات فاقد گلوتن مورد استفاده قرار میگیرد. اینولین که از بسیاری منابع گیاهی به دست می آید، یک پلی ساکارید ذخیره ای با پیوندهای بتا ۱-۲ فروکتوز و یک مولکول گلوکز انتهایی میباشد (56). اینولین به عنوان جایگزین چربی نیز در بسیاری محصولات به کار میرود. مکانیسم عمل آن بعنوان جایگزین چربی به صورت افزایش برهمکنش میان اینولین و هیدروکلئیدها و لذا افزایش ویسکوزیته مخلوط آنها است. کوروس و همکارانش در سال ۲۰۰۶ اثر پریبیوتیک ها از جمله اینولین را بر کیفیت نانهای فاقد گلوتن بررسی نمودند (57). این دانشمندان مشاهده کردند که افزودن ۵ درصدی اینولین بهترین خواص حسی را در محصول ایجاد میکند. لذا این نتیجه حاصل شد که در میان پریبیوتیک های مصرفی در فرمولاسیون محصولات بدون گلوتن، اینولین بهترین ترکیب است که در افزایش فیبر محصول هم نقش دارد.

### استفاده از آنزیمها در بهبود کیفیت محصولات فاقد گلوتن:

استفاده از آنزیمها در بهبود کیفیت نان کاربردی وسیع دارد (58). آنزیم ها (مانند آمیلاز، پروتئاز، همی سلولاز، لیپاز و اکسیداز) در رنگ زدائی، افزایش حجم، بافت و زمان ماندگاری مواد غذایی نقش دارند (59). پروتئین های برنج و ذرت که به طور وسیعی در تولید نانهای فاقد گلوتن مورد استفاده قرار میگیرند، فاقد قدرت ایجاد شبکه پروتئینی منسجم به مانند آرد گندم میباشند و لذا نمی توانند گاز دی اکسید کربن تولیدی طی فرآیند تولید نان را به طور مناسب در خود نگهدارند. بنابراین استفاده از آنزیمهایی با قدرت پیوند عرضی مانند ترانس گلوتامیناز و گلوکز اکسیداز در محصولات فاقد گلوتن مفید است (41). در نانهای تولیدی با آرد برنج حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز ویژگی پیوند عرضی در آنزیم مورد استفاده سبب ایجاد خاصیت ویسکوالاستیک و ویسکوزیته مناسب در خمیر میشود؛ که افزایش حجم مناسب خمیر و کشش و مقاومت آن را در پی دارد. گزارش شده است که افزودن گلوکز اکسیداز به فرمولاسیون آرد برنج نیز این خاصیت را در پی دارد (25).

### استفاده از ذرت و سورگوم در تولید محصولات فاقد گلوتن:

استفاده از ذرت و سورگوم در تولید محصولات غذایی سابقه ای بس طولانی دارد. استفاده از سورگوم در تولید نانهای با مخلوط آرد گندم - سورگوم در تحقیقات بسیاری از دانشمندان به چشم میخورد (60، 61). دانشمندان زیادی از سورگوم

در تولید نانهای فاقد گلوتن استفاده کرده اند (۶۲). هارت و همکاران در سال ۱۹۷۰ اولین گزارشات مبنی بر تولید نان سورگومی را منتشر نمودند (۶۳). این محققان در تولید محصول خود اثر افزودن صمغها، نشاسته ها، آزیمها، امولسیفایرها و شورتینگ های مختلف و نیز استفاده از خمیر ترش را نیز بر ویژگی های نهایی نان تولیدی بررسی کردند. نشاسته های مورد استفاده از منابع سورگوم معمولی، سورگوم واکسی (مومی)، ذرت، کاساوا و سیب زمینی به دست آمدند. آزیمهای مورد استفاده نیز شامل آلفا آمیلاز و پروتئاز بودند. از متیل سلولز نیز به منظور افزایش قابلیت نگهداری گاز استفاده شد. با ترکیب منابع نشاسته ای با متیل سلولز ساختمان بسیار مناسب تری در نان تولیدی مشاهده شد و در این خصوص نوع نشاسته مورد استفاده اثر گذار نبود. آلفا آمیلاز، پروتئاز و امولسیفایرها اثر تضعیف کنندگی بر ساختمان نان داشتند ولی مخلوط شورتینگ با متیل سلولز عکس این اثر را داشت. خمیر ترش در این خصوص بی تاثیر بود. اضافه نمودن صمغ گزانتان در نان سورگومی منجر به تولید محصولی با کیفیت خوب میشود اما از طرفی استفاده از تکنیک مناسب برای این افزودن نکته مهمی است (۶۰). مثلاً افزودن گزانتان خیس خورده در آب نسبت به گزانتان خشک اثر مطلوب تری دارد. گزارش شده است که استفاده از نشاسته کاساوا پیش ژلاتینه شده میتواند در افزایش حجم نان حاصل از سورگوم موثر باشد (۶۴). Cauvain در سال ۱۹۹۸ از ترکیبات افزودنی متعددی مانند پودر شیر پس چرخ، سدیم کربوکسی متیل سلولز، جوش شیرین، آرد سویا، در فرمولاسیون نان سورگومی استفاده نمود (۶۵). به منظور ارزیابی تفاوت های میان گونه های (هیبریدهای) متفاوت سورگوم بر کیفیت نان حاصله، Schober و همکاران در سال ۲۰۰۵ از نه گونه مختلف سورگوم و یک گونه معمول تجاری در تولید نان سورگومی استفاده کردند. آنها در تحقیق خود از تکنیک اکستروژن و زمان تخمیر زیادتر از حد معمول برای تولید نان استفاده کردند (۶۶). Olatunji و همکاران در سال ۱۹۹۲، از همین روش اما با فرمولاسیون ساده تر که شامل آرد سورگوم، نشاسته ذرت به همراه آب، نمک، شکر و مخمر بود استفاده کردند (۶۷). نوع گونه سورگوم مورد استفاده بر افزایش حجم نان تولیدی اثر گذار نبود اما تفاوت های قابل توجهی در بافت و ساختمان نهایی محصولات دیده شد. موارد اندکی از تولید نانهای حاوی ذرت به چشم میخورد. دلیل این امر میتواند طعم خاص ذرت باشد. علاوه بر اینکه محصول توریتلا که به طور عمده ای از ذرت تشکیل شده است در بسیاری از مناطق به طور وسیعی تولید میشود Olatunji و همکاران در سال ۱۹۹۲ از همان روش تولید نان سورگومی در تهیه نان حاوی آرد ذرت استفاده کردند (۶۷). همچنین گزارشاتی مبنی بر استفاده از آرد ذرت و نشاسته ذرت به نسبت (۷۰:۳۰) به همراه آرد سویا و یا مخلوط آرد سویا و آرد ذرت در تولید نان ذرت در دست است (۱، ۶۸).

#### کیک و کلوچه

علاوه بر تولید نان، کیک و کلوچه نیز از آرد ذرت و سورگوم به دست می آیند. در این مورد نیز تحقیقات صورت گرفته بر روی سورگوم بیشتر از ذرت میباشد. یک مثال از تولید موفق کیک و بیسکویت از آرد سورگوم در تحقیقات Oyidi در سال ۱۹۷۶ آورده شده است (۶۹). علاوه بر این در سال ۱۹۹۲ نیز با استفاده از آرد سورگوم و نیز نشاسته ذرت و کاساوا (به نسبت ۷۰:۳۰) کیک تولید شد (۶۷). دو محقق به نام های Badi و Hosney در سال ۱۹۷۶ موفق به تولید کلوچه از آرد سورگوم به تنهایی شدند (۷۰). اما کلوچه های هفت تولیدی بافت نامناسب داشتند و نیز ترک های ریزی در قسمت سطح بالایی هرکدام دیده میشد. محققان دلیل این امر را به ساختار اسید چربی این محصولات نسبت دادند. با افزودن چربی آرد گندم این نقیصه برطرف شد. همچنین افزودن لسیتین سویای تصفیه نشده یا لسیتین تصفیه شده به همراه مونوگلیسریدها نیز در بهتر شدن کیفیت این کلوچه ها موثر بود. نیز عمل پیش خیساندن آرد سویا چندین ساعت قبل از فرآیند به همراه عصاره مالت یا در آب و سپس خشک نمودن آن تحت تاثیر هوا و یا افزایش PH خمیر کلوچه ها به کمک کربنات سدیم نیز نقش مفیدی در بهتر شدن کیفیت محصولات داشت.

اسنک

محصولات اسنکی بدون گلوتن زیادی از ذرت و سورگوم قابل استحصال است. از ذرت به طور اختصاصی در تولید اسنک های اکستروود شده استفاده میشود. تولید مواد غذایی اسنکی حاوی آرد ذرت یا سورگوم در درمان بیماران سلیاکی نیز میتواند مفید باشد. علاوه بر ذرت، میتوان به روش کاهش غلظت آهک مصرفی در مراحل پخت و خیساندن دانه ها، از سورگوم نیز تورتیلایی با کیفیت بسیار مناسب تولید نمود (۷۱). در سال ۱۹۹۸، از روش سرخ کردن عمیق مغز خشک دانه های سویا و پخت آنها در شرایط قلیایی یک ماده اسنکی با بافت مناسب حاصل شد (۷۲). تولید چنین اسنکی با استفاده از سورگوم واکسی (مومی) کیفیت بسیار پایینی داشت. تولید اسنک از ذرت امروزه به صنعت بزرگی تبدیل شده است. چرا که امروزه قسمت زیادی از محصولات اسنکی (مخصوصا محصولات اکستروود شده) از ذرت به دست می آیند (73). علاوه بر اسنکهای اکستروود شده، محصولات اسنکی سرخ شده نیز از ذرت به دست می آیند. نمونه ای از این محصولات چیپس تورتیلا میباشد. مورد استفاده دیگر ذرت در تولید غلات صبحانه ای است (۷۳) که میتوان در فرمولاسیون این محصولات از گندم یا عصاره چاودار هم استفاده نمود. لذا بیماران سلیاکی بایستی در هنگام مصرف این محصولات دقت نمایند و یا از اسنکهای ذرتی فاقد گندم استفاده کنند.

## پاستا و نودل

در سال ۲۰۰۰ از آرد سورگوم پوست گیری شده به همراه آب و نمک و به روش پیش حرارتی، اکستروژن و خشک نمودن نودل تولید شد. در خصوص نوع سورگوم مورد استفاده، سورگوم معمولی نسبت به سورگوم مومی هتروزن محصول مناسب تری تولید نمود. نودل های تولیدی از سورگوم مومی هتروزن بسیار نرم و چسبنده بودند و طی پخت از دست رفتگی وزن آنها نیز زیاد بود (۶۱).

## نتیجه گیری کلی :

حذف مواد غذایی حاوی گلوتن از رژیم غذایی کار آسانی نیست چرا که اکثر محصولات رایج نانوائی که به مصرف روزانه مردم میرسند مثل نان، کیک، بیسکویت، پیتزا و پاستا از آرد گندم تولید میشوند. در حال حاضر اکثر نان های فاقد گلوتن موجود در بازار کیفیت پایین، طعم نامناسب و سطحی خشک دارند (۷). در فرمولاسیون نان های فاقد گلوتن نیاز به موادی است که قادر باشند به نحوی خصوصیات ویسکوالاستیک گلوتن را در این نانها تقلید نمایند (۱۲). بنابراین در تحقیقات متعدد استفاده از چنین ترکیباتی مانند صمغها (۱۳)، پروتئین سویا (۱۴) و سفیده تخم مرغ (۱۵) گزارش شده است. نان های فاقد گلوتن از نظر کیفیت، طعم، رنگ و بافت نسبتا نامطلوب اند زیرا گلوتن یک پروتئین ساختاری مهم در این محصولات میباشد و در ایجاد یک شبکه پروتئینی قابل انعطاف موثر است. در محصولات بدون گلوتن، عدم وجود گلوتن منجر به افزایش حرکت و انتقال آب از لایه های درونی نان به پوسته و لذا ایجاد پوسته نرمتر و ساختمان داخلی سفت و خشک تر در محصول نهایی شود (۳۰). علاوه بر این، اکثر محصولات فاقد گلوتن از نظر اجزای ریز تغذیه ای نیز کمبود دارند. لذا برای بهبود ساختار این محصولات (به طور مثال نان فاقد گلوتن بر پایه آرد برنج) به آنها سایر منابع پروتئینی میتوان افزود. از این میان پروتئین های سویا و محصولات لبنی را میتوان نام برد. پروتئینهای بقولات و غلات از نظر اسیدهای آمینه ضروری مکمل هم میباشند. امروزه از تکنیک های مختلفی برای غنی سازی برنج و تامین ویتامینها و مواد معدنی ضروری آن استفاده میگردد (۱۶). در بسیاری از تحقیقات مشاهده شده است که میتوان منابع معدنی خاصی را به صورت مجزا طی فرآیند تولید محصولات غذایی افزود (۱۷). در خصوص استفاده از برنج در فرمولاسیون نان های فاقد گلوتن جهت ایجاد ساختمان مناسب در نان، خمیر حاصل از آرد برنج در مقایسه با آرد گندم به درجه هیدراسیون بالاتری نیاز دارد که این امر با افزودن مقدار نسبتا زیادی آب در خمیر برنج بدست می آید. با توجه به اینکه خصوصیات آردهای برنج متفاوت بر ویژگی های خمیر حاصل از آن موثرند لذا انتخاب درست گونه برنج مناسب برای تولید خمیر نان بسیار



حائز اهمیت است (۱۸). از آرد برنج در تولید محصولات نانویی به عنوان جایگزین آرد گندم برای افراد حساس به گلوتن یا بیماران سلیاکی استفاده میشود. در واقع می توان گفت آرد برنج مناسب ترین غله برای تولید محصولات فاقد گلوتن است زیرا دارای محتوای پروتئین، سدیم و پرولامین کم و کربوهیدراتهای قابل هضم میباشد. علیرغم دارا بودن فواید تغذیه ای فراوان، پروتئین های برنج خواص کاربردی نامناسبی در فرآیند تولید مواد غذایی دارند. به دلیل طبیعت غیر قطبی پروتئین های برنج، این پروتئین ها قادر به ایجاد خواص ویسکوالاستیک مناسب در خمیر و قابلیت نگهداری گاز دی اکسید کربن طی فرآیند تولید محصولات نانویی نیستند. محتوای پرولامینی کم آرد برنج مانع تشکیل شبکه پروتئینی مناسب در خمیر حاصل از آن میشود و به دلیل عدم تولید کافی دی اکسید کربن، محصول نهایی حجم نامطلوبی را به دست میدهد (۷۴). از میان مشتقات سلولز، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) مناسب ترین ماده جایگزین گلوتن در فرمولاسیون نان های حاصل از آرد برنج میباشد زیرا تامین کننده قابلیت نگهداری گاز و ایجاد ساختار مناسب در نان میباشد. پروتئین های شیر به دلیل خواص کاربردی خود قادر به جایگزینی با گلوتن در محصولات پخت میباشد (۳۳). استفاده از فرآورده های لبنی در افزایش محتوای کلسیم، پروتئین و اسیدهای آمینه ضروری (مانند لیزین، متیونین و تریپتوفان) محصولات موثر است (۷۵). علاوه بر اینکه این ترکیبات قابلیت جذب آب را در خمیرهای فاقد گلوتن زیاد میکنند (۷۶). نحوه اثر هیدروکلوئیدها بر کیفیت نان بسته به نوع هیدروکلوئید و غلظت مورد استفاده آن میباشد. افزودن هیدروکلوئیدها به فرمولاسیون محصولات فاقد گلوتن اثرات وسیع و متفاوتی را در پی دارد. چنانکه افزودن CMC و بتاگلوکان و پکتین سبب ایجاد تخلخل بالا در محصولات فاقد گلوتن میشود؛ بتاگلوکان به میزان یک درصد رنگ روشنی را در سطح پوسته نان به وجود می آورد و گزانتان در افزایش ثبات و استحکام محصولات فاقد گلوتن مؤثر است. در میان پریبیوتیک های مصرفی در فرمولاسیون محصولات بدون گلوتن، اینولین بهترین ترکیب است که در افزایش فیبر محصول هم نقش دارد (۵۷). حذف پوسته سورگوم هرچند سبب کاهش ترکیبات تغذیه ای میشود اما در افزایش کیفیت محصول نهایی مؤثر است. عامل مهم دیگر در کیفیت نهایی محصول، ساختمان و بافت آن میباشد. از این نظر آمیلوز اثر خوبی دارد چرا که سریعتر تجزیه میشود. لذا بایستی از سورگوم مومی در تولید آرد سورگوم اجتناب کرد. افزایش میزان آب نیز تا حد مجاز در بهبود کیفیت نهایی محصول میتواند مفید باشد. فاکتور مهم دیگر که بایستی در نظر گرفته شود، مقاومت خمیر است که بسته به وجود مقدار زیادی نشاسته آسیب دیده طی فرآیند مکانیکی است. این فاکتور بر میزان آب مورد نیاز هم مؤثر است. چرا که آردی با میزان زیاد نشاسته آسیب دیده تولید خمیر بسیار چسبنده ای میکند لذا آب بیشتری باید به آن اضافه شود. جهت افزایش حجم بیشتر نان و ایجاد ساختار مناسب تر در آن، میتوان ۲٪ هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) به آن افزود. از ارزن نیز در تولید محصولات فاقد گلوتن بطور وسیعی استفاده میشود. این ماده دارای خواص آنتی اکسیدانی و ضد سرطانی نیز هست. با توجه به تکنولوژی های جدید ارائه شده این امکان وجود خواهد داشت که گلوتن به طور کامل به وسیله محصولات لبنی با خواص کاربردی جایگزین شود. علاوه بر این میتوان از مخلوط صمغها، هیدروکلوئیدها و پروتئین های لبنی نیز در این خصوص استفاده نمود (۲۱)

#### منابع:

- 1) Moore MM, Schober TJ, Dockery P and Arendt EK. Textural comparison of gluten-free and wheat based doughs, batters and breads. *Cereal Chemistry*. 2004; 81: 567–575.
- 2) Lindsay MP and Skerritt JH. The gluten in macropolymer of wheat flour doughs: structure-function perspective. *Trends of Food Science and Technol*. 1999; 10: 247–253.
- 3) Wieser H. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 2007; 24: 115-119.

- 4) Blades M. Food allergies and intolerances: an update. *Nutricion and Food Science*, 1997;4 : 146-151.
- 5) Horvath K and Mehta DI. Celiac disease—A world-wide problem. *Indian J. Pediatrics* . 2000; 67:757-763.
- 6) Seraphin P and Mobarhan S. Mortality in patients with celiac disease. *Nutr. Rev.* 2002;
- 7) Arendt EK, O'Brien CM, Schober TJ, Gallagher E and Gormley TR. Development of gluten-free cereal products. *Farm Food*. 2002; 12:21-27.
- 8) McCarthy, D. F., Gallagher, E., Gormley, T. R., Schober, T. J., Arendt, E.K. Application of Response Surface Methodology in the Development of Gluten-Free Bread. *Cereal Chemistry*. 2005; 82 (5): 602-615.
- 9) Suliman, G. E. Celiac disease in Sudanese children. 1978; 19:121-125.
- 10) Bitar, G. J., Salem, A. A., and Nasr, A. T. Celiac disease from the Middle East. *Leban. Med. J.* 1970; 23:423- 444.
- 11) Al.Hassany, M. Celiac disease in Iraki children. *J. Trop. Pediatr.* 1975; 21: 178-179. 9
- 12) Toufeili, I., Dagher, S., Shadarevian, S., Nouredine, A., Sarakbi, M., and Farran, T. M. Formulation of glutenfree pocket-type flat breads: Optimization of methyl- cellulose, gum arabic, and egg albumen levels by response surface methodology. *Cereal Chem* . 1994; 71:594–601.
- 13) Kim, J. C., and De Ruiter, D. Bread from non-wheat flours. *Food Technology*. 1968;
- 14) Ranhotra, G. S., Loewe, R. J., and Puyat, L. V. Prepara- tion and evaluation of soy- fortified gluten free bread. *Journal of Food Science*. 1975; 40:62-64.
- 15) Eggleston, G. O., Omaka, P. E., and Ihedioha, D. O. Development and evaluation of products from cassava flour as new alternatives to wheaten breads. *Journal of Science Food Agricultural*. 1992; 59:377-385.
- 16) Nunes, G. S., Gomes, J. C., Cruz, R., and Jordao, C. P. Mineral enrichment of rice during hidrothermal processing. *Arch. Biol. Technol.* 1991; 34: 571–582.
- 17) Kiskini, A., Argiri, K., Kalogeropoulos, M. et al . Sensory characteristics and iron dialyzability of gluten-free bread fortified with iron. *Food Chemistry* . 2007; 102: 309–316.
- 18) Arendt, E. K. and Dallbello, F. 2008. Gluten-free cereal products and beverages.
- 19) Kadan, R. S., Robinson, M. G., Thibodeaux, D. P., and Pepperman, A. B. Texture and other physicochemical properties of whole rice bread. *J. Food Sci.* 2001; 66:940-944.
- 20) Bean, M. M., Esser, C. A., and Nishita, K. D. Some physicochemical and food application characteristics of California waxy rice varieties. *Cereal Chem* . 1984; 61: 475–480.
- 21) Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., and Biliaderis, C. G. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *J. Food Eng.* 2007; 79: 1033–1047.
- 22) Sivaramakrishnan, H. P., Senge, B., and Chattopadhyay, P. K. Rheological properties of rice dough for making rice bread. *J. Food Eng.* 2004; 62: 37–45.

- 23) Kang, M. Y., Choi, Y. H., and Choi, H. C. Effects of gums, fats and glutens adding on processing and quality of milled rice bread. *Korean J. Food Sci. and Technol.* 1997; 29: 700–704.
- 24) Gujral, H. S. and Rosell, C. M. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Res. Int.* 2004a; 37: 75–81.
- 25) Gujral, H. S. and Rosell, C. M. Functionality of rice flour with a microbial transglutaminase. *J. Cereal Sci.* 2004b; 39: 225–230.
- 26) Moore, M. M., Schober, T. J., Dockery, P., and Arendt, E. K. Textural comparison of gluten-free and wheat based doughs, batters and breads. *Cereal Chemistry* . 2004; 81: 567–575.
- 27) Lopez, A. C. B., Pereira, A. J. G., and Junqueira, R. G. Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten free white bread. *Brazilian Arch. Biol. Technol.* 2004; 47: 63–70.
- 28) Sanchez, H. D., Osella, C. A., and De La Torre, M. A. Optimization of gluten free bread prepared from corn starch, rice flour and cassava starch. *J. Food Sci.* 2002; 67: 416–419.
- 29) Mannie, E., and Asp, E. H. Dairy ingredients in baking. *Cereal Foods World* . 1999;
- 30) Gallagher, E., Gormley, T. R., and Arendt, E. K. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering.* 2003a; 56: 153–161.
- 31) Gallagher, E., Kunkel, A., Gormley, T. R., and Arendt, E. K. The effect of dairy and rice powder addition on loaf and crumb characteristics, and on shelflife (intermediate and long term) of gluten-free breads stored in a modified atmosphere. *Eur. J. Food Res* . 2003b; 218:44–48.
- 32) Damodaran, S. Food proteins: an overview. In: Damodaran, S. and Paraf, A. ed. *Food Proteins and their Applications*. New York: Marcel Decker. 1997.
- 33) Mulvihill, D. M. Production, functional properties, and utilisation of milk protein products. In: Fox, P. F. ed. *Advanced Dairy Chemistry* , 1992; Vol. 1: Proteins. London: Elsevier.
- 34) De Wit, J. N. The use of whey protein products. In: Fox, P. F. ed. *Developments in Dairy Chemistry* , 1989; Vol. 4: Functional Milk Proteins. London: Elsevier.
- 35) Ortolani, C. and Pastorello, E. A. Symptoms of food allergy and food intolerance. In: *Study of Nutritional Factors in Food Allergies and Food Intolerance*. Luxembourg:CEC,pp. 1997; 26–45.
- 36) Murray, J. A. The widening spectrum of celiac disease. *Am. J. Clin. Nutr* . 1999; 69: 354–363.
- 37) Brouns, F. Soyaisoflavones: a new and promising ingredient for the health foods sector. *Food Res. Int* . 2002; 35:187–193.
- 38) Fernandez-Rivas, M. and Ballmer-Weber, B. Food allergy: current diagnosis and management. In: Mills, C., Wichers, H., and Hoffmann-Sommergruber, K. eds. *Managing Allergens in Food* . Wood head Publish, Food Sci. Technol. Nutr . 2007; 1:3–28.

- 39) Mine, Y. Recent advances in egg protein functionality in the food system. *World's Poultry Sci. J.* 2002; 58: 31–39.
- 40) Jonagh, G., Slim, T., and Greve, H. Bread without gluten. *Baker's Digest* . 1968; 6: 24–29. 10
- 41) Moore, M. M., Heinbockel, M., Dockery, P., Ulmer, H. M., and Arendt, E. K. Network formation in gluten-free bread with the application of transglutaminase. *Cereal Chem* . 2006; 83:28–36.
- 42) Rosell, C. M., Haros, M., Escriva, C., and Benedito De Barber, C. Experimental approach to optimise the use of alpha-amylases in breadmaking. *Journal Agricultural Food Chemistry* . 2001; 49:2973–2977.
- 43) Haque, A. and Morris, E. R. Combined use of ispaghula and HPMC to replace or augment gluten in bread making .*Food Res. Int* . 1994; 27:379–393.
- 44) Wood, P. J. Oat -glucan: Structure, location and properties. In: Webster, F. H. ed. *Oats: Chemistry and Technology* . St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 1986; 121–152.
- 45) Brown, C. M. and Craddock, J. C. Oil content and groat weight of entries in the world oat collection. *Crop Sci* . 1972; 12:514–515.
- 46) Peterson, D. M. and Qureshi, A. A. Genotype and environment effects on tocopherols in barley and oats. *Cereal Chem* . 1993; 70: 157–162.
- 47) Kupper, C. Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterology*. 2005; 128: 121–127.
- 48) Holm, K., Maki, M., Vuolteenaho, N. et al . Oats in the treatment of childhood coeliac disease: a 2-year controlled trial and a long-term clinical follow-up study. *Aliment. Pharmacol. Ther* . 2006; 23:1463–1472
- 49) Flander, L., Salmenkallio-Marttila, M., Suortti, T., and Autio, K. Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. *Lebensm. Wiss. Technol* . 2007; 40: 860–870.
- 50) Röcken, W. and Voysey, P. A. Sour-dough fermentation in bread making. *J. Appl. Bacteriol.* 1995; 79: 38S–48S.
- 51) Clarke, C. I., Schober, T. J., and Arendt, E. K. The effect of single strain and traditional mixed strain starter cultures on rheological properties of wheat dough and bread quality. *Cereal Chem.* 2002; 79: 640–647.
- 52) Ryan, L. A., Dal Bello, F., Renzetti, S., and Arendt, E. K. The use of selected lactic acid bacteria to improve the baking and rheological quality of gluten-free batter and bread. *Meeting Abstract, San Francisco*. 2006.
- 53) Di Cagno, R., Angelis, M. D., Auricchio, S. et al . Sourdough bread made from wheat and nontoxic flours and started with selected lactobacilli is tolerated in celiac sprue patients. *Appl. Environ. Microbiol.* 2004; 70: 1088–1096.

- 54) Grehn, S., Fridell, K., Lilliecreutz, M., and Hallert, C. Dietary habits of Swedish adult celiac patients treated by a gluten-free diet for 10 years. *Scand. J. Nutr.* . 2002; 45: 178–182.
- 55) Sharma, S. C. Gums and hydrocolloids in oil-water emulsion. *Food Technology* . 1981;
- 56) Leite-Toneli, J. T. C., Mürr, F. E. X., Martinelli, P., DalFabbro, I. M., and Park, K. J. Optimization of a physical concentration process for inulin. *J. Food Eng.* . 2007; 80:832–838.
- 57) Korus, J., Grzelak, K., Achremowicz, K., and Sabat, R. Influence of prebiotic additions on the quality of glutenfree bread and on the content of inulin and fructooligosaccharides. *Food Sci. Technol.* . 2006; 12:489–495.
- 58) Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., and Delcour, J. A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends Food Sci. Technol.* . 2005; 16: 12–30.
- 59) Sahlström, S. and Brathen, E. Effects of enzyme preparations for baking, mixing time and resting time on bread quality and bread staling. *Food Chem.* . 1997; 58:75–80.
- 60) Satin, M. Bread without wheat. Novel ways of making bread from cassava and sorghum could reduce the Third World's dependence on imported wheat for white bread. *New Sci.* . 1988; 28 : 56–59.
- 61) Suhendro, E. L., Kunez, C. F., McDonough, C. M., Rooney, L. W., and Waniska, R. D. Cooking characteristics and quality of noodles from food sorghum. *Cereal Chem.* . 2000;
- 62) Taylor, J., Schober, T., and Bean, S. R. Non-traditional uses of sorghum and pearl millet. *J. Cereal Sci.* . 2006; 44:252–271.
- 63) Hart, M. R., Graham, R. P., Gee, M., and Morgan Jr., A. I. Bread from sorghum and barley flours. *J. Food Sci.* . 1970; 35:661–665.
- 64) Hugo, L. F., Waniska, R. D., and Rooney, L. W. Production of bread from composite flours. In: *Harnessing Cereal Science and Technology for Sustainable Development* . CSIR ICC-SA Symposium, Pretoria, South Africa, pp. 1997; 100–114.
- 65) Cauvain, S. P. Other cereals in breadmaking. In: Cauvain, S. P. and Young, L. S. eds. *Technology of Breadmaking* . London: Blackie Academic & Professional, pp. 1998; 330–346. 11
- 66) Schober, T. J., Messerschmidt, M., Bean, S. R., Park, S. H., and Arendt, E. K. Gluten-free bread from sorghum: quality differences among hybrids. *Cereal Chem.* . 2005; 82:394–404.
- 67) Olatunji, O., Koleoso, O. A., and Oniwinde, A. B. Recent experience on the milling of sorghum, millet, and maize for making nonwheat bread, cake, and sausage in Nigeria. In: Gomez, M. I., House, L. R., Rooney, L. W., and Dendy, D. A. V. eds. *Utilization of Sorghum and Millets* . Patancheru, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, pp. 1992a; 83–88.
- 68) Edema, M. O., Sanni, L. O., and Sanni, A. I. Evaluation of maize-soybean flour blends for sour maize bread production in Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.* . 2005; 4:911–918.

- 69) Oyidi, O. The vegetative characters and food uses of a mutant sorghum with twin-seeded spikelets, in Northern Nigeria. *Samaru Agric. Newslett.* 1976; 18: 44–49.
- 70) Badi, S. M. and Hosney, R. C. Use of sorghum and pearl millet flours in cookies. *Cereal Chem.* 1976; 53:733–738.
- 71) Serna-Saldivar, S. O., Gomez, M. H., Almeida-Dominguez, H. D., Islas-Rubio, A., and Rooney, L. W. A method to evaluate the lime cooking properties of corn ( *Zea mays* ). *Cereal Chem.* 1993; 70:762–764.
- 72) Suhendro, E. L., McDonough, C. M., Rooney, L. W., Waniska, R. D., and Yetneberk, S. Effects of processing conditions and sorghum cultivar on alkaline-processed snacks. *Cereal Chem.* 1998; 75: 187–193.
- 73) Rooney, L. W. and Serna-Saldivar, S. O. Food use of whole corn and dry-milled fractions. In: White, P. J. and Johnson, L. A. eds. *Corn Chemistry and Technology* , 2nd edn. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 2003; 495–535.
- 74) He, H. and Hosney, R. C. Gas retention of different cereal flours. *Cereal Chem.* 1991; 68: 334–336.
- 75) Kenny, S., Wehrle, K., Stanton, C., and Arendt, E. K. Incorporation of dairy ingredients into wheat bread: effects on dough rheology and bread quality. *Eur. Food Res. Technol.* 2000; 210: 391–396.
- 76) Gallagher, E., Gormley, T. R., and Arendt, E. K. Recent advances in the formulation of gluten free cerealbased products. *Trends Food Sci. Technol.* 2004; 15:143–152.