

## **Пищевая инженерия: технологии безглютеновых мучных изделий**

Барсукова Н.В., Решетников Д.А., Красильников В.Н. nvb911@rambler.ru

Санкт-Петербургский торгово-экономический институт

*В последние годы возросла потребность в безглютеновых продуктах питания для больных целиакией. В работе рассмотрены основные направления и тенденции при производстве мучных безглютеновых изделий. Определены основные группы безглютенового сырья для разработки новых рецептур и технологий производства мучных изделий и рассмотрены их свойства.*

Ключевые слова: безглютеновые продукты, гидроколлоиды, полисахариды.

В настоящее время стремительно развивается производство специализированных продуктов питания, в том числе продуктов питания, свободных от определенных ингредиентов, присутствие которых в пище не рекомендовано по определенным медицинским показаниям (аллергены, некоторые типы белков, олигосахаридов, полисахаридов и др.). Принимая во внимание успехи нутригеномики и нутригенетики, тенденция к индивидуализации диет будет возрастать, что приведет к увеличению рынка специализированных продуктов питания. По некоторым данным с 2003г. по 2008г. глобальный рынок продуктов питания, свободных от нежелательных ингредиентов, вырос на 75% (1).

Продукты питания, не содержащие глютена (проламинов зерновых), являются одним из сегментов этого рынка. За этот же период их производство увеличилось на 125%.

Известно, что пожизненное соблюдение безглютеновой диеты является единственным терапевтическим средством для лиц, страдающих целиакией. Целиакия является иммуннообусловленной энтеропатией, возникающей при потреблении проламинов пшеницы, ржи, ячменя.

Для пищевой инженерии безглютеновых мучных изделий характерны два принципиальных направления. Первое из них предусматривает конструирование изделий на основе природного безглютенового сырья, прежде всего растительного происхождения (безглютеновые зерновые, псевдозерновые, бобовые, орехи и корнеплоды и т.д.). Фактически весь ассортимент безглютеновых изделий сейчас производится по технологиям, относящимся к этому направлению. Второе, биокаталитическое направление, ориентировано на удаление или модификацию глютена в глютенсодержащем сырье. На данном этапе оно находится в стадии исследовательских разработок.

В первом случае речь идет о пищевой инженерии безглютеновых мучных изделий. При этом решается проблема моделирования хлебопекарных свойств глютеносодержащих пшеничной и ржаной муки. Речь идет, прежде всего, об имитации структурообразующих свойств этих продуктов. В пшеничной муке основными структурообразующими компонентами являются клейковина (глютен) и крахмал, а в ржаной муке – некрахмальные полисахариды и в меньшей степени – клейковина. Как правило, безглютеновые мучные смеси комбинируют из четырех групп пищевых компонентов (таблица 1).

Таблица 1

Основные виды сырья, используемые в мучных смесях, не содержащих глютена.

№ п/п	Основные группы структурообразователей	Сырьевые компоненты, входящие в определенные группы структурообразователей
I	Мука с высоким содержанием крахмальных и некрахмальных полисахаридов	Рисовая мука, кукурузная мука, овсяная мука, мука из псевдозерновых (амарант, греча) и крупяных культур (просо), мука из сорго, льняная мука, мука из арахиса, люпиновая мука и др.
II	Высокобелковые ингредиенты	Соевые изоляты и концентраты, изоляты белков гороха, люпина, казеинаты, концентраты сывороточных белков и др.
III	Гидроколлоиды	Ксантан, гуаровая камедь, различные виды натуральных и модифицированных крахмалов (картофельный, кукурузный, рисовый, сорго и др.), микробиальные полисахариды.
IV	Эмульгаторы, разрыхлители, вкусовые ингредиенты	Меланж, лецитин, пищевая сода, соль, сахар, ароматизаторы, красители, минеральные добавки.

Сырье указанных групп и их комбинации в конкретных рецептурах мучных блюд и изделий чрезвычайно разнообразны и определяются видом и заданной пищевой ценностью изделия, химическим составом и технологическими свойствами сырья. Структура проектируемых пищевых систем формируется первыми тремя группами сырья. Известны рецептуры мучных смесей для хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, в состав которых включены сырьевые компоненты:

- a) всех трех групп,
- b) 1-ой группы,
- c) 1-ой и 3-ей групп,
- d) 2-ой и 3-ей групп,
- e) 3-ей группы.

Компоненты четвертой группы, хотя и входят в рецептуры изделий в сравнительно небольшом количестве, тем не менее, они оказывают существенное влияние на структурно-механические свойства пищевых систем, формируя рН, ионную силу, активность воды, комплексообразование.

Поскольку мучные изделия являются структурированными дисперсными системами, относящимися к пищевым пенам, гелям, эмульсиям или к смешанным типам, таким как гелево-эмульсионные, пенно-эмульсионные системы, то при их создании решается задача формирования желаемых реологических свойств пищевых продуктов, обеспечивающих текстуру, адекватную традиционным продуктам. В технологическом плане решение этой задачи сводится к поиску оптимального соотношения структурообразующих компонентов, выбора условий формирования устойчивой структуры пищевой системы, ее структурно-механических свойств, характеризуемых вязкостью, прочностью, пластичностью, упругостью. В научном аспекте проблема заключается в исследовании синергизма/антагонизма высокомолекулярных соединений (белков, полисахаридов).

Большинство публикуемых рецептов относятся к хлебу и булочным изделиям, ассортимент которых определяется национальными традициями, назначением в рационах и меню, специальными требованиями к пищевой ценности. Распространены мучные смеси для приготовления безглютеновых макарон и макаронных изделий. Разнообразны безглютеновые мучные композиты для широкого ассортимента мучных кондитерских изделий. В этом аспекте интересны разработки отечественных технологов (2-4).

Однако практически отсутствуют рецептуры мучных кулинарных изделий, не содержащих глютена, таких как клецки, пельмени, вареники и др. Разработка рецептов подобных специализированных блюд и изделий для кафе, ресторанов и других учреждений общественного питания становится все более актуальной, в связи с развитием туристического сервиса.

Сырье первой группы, используемое для приготовления безглютеновых мучных изделий, условно можно разделить на две подгруппы (таблица 2).

Таблица 2

Характеристика сырья с высоким содержанием крахмальных и некрахмальных полисахаридов

Подгруппа А	Подгруппа Б
сырье с высоким содержанием крахмала (рисовая мука, кукурузная мука, мука из сорго и др.)	сырье с высоким содержанием некрахмальных полисахаридов (гречневая мука, овсяная мука, мука из зерна амаранта, мука из семян льна и т.д.)
Недостатки	
низкая пищевая ценность, обусловленная высоким содержанием	технологические свойства некрахмальных полисахаридов

крахмала, низким содержанием пищевых волокон, витаминов, минеральных нутриентов	изучены недостаточно
Преимущества	
могут формировать вязко-эластичные свойства теста при нагревании	разнообразные физиологические свойства, высокая пищевая ценность, обусловленная сравнительно высоким содержанием белков сбалансированного аминокислотного состава, полифенолов и антиоксидантов, фолатов и витаминов группы В, пищевых волокон.

Классические рецептуры безглютенового хлеба основаны на рисовой и кукурузной муке (подгруппа А) в комбинации с белковыми изолятами, преимущественно соевыми. В качестве корректоров реологических свойств дисперсий (тесто, готовое изделие) используют такие гидроколлоиды как ксантан, модифицированные крахмалы в количестве 1-3% от веса муки.

Основным недостатком мучных изделий, выработанных по рецептурам, основанным на крахмалсодержащих продуктах, является их низкая пищевая ценность, обусловленная высоким содержанием крахмала, низким содержанием пищевых волокон, витаминов, минеральных нутриентов. Совершенствование технологии производства мучных изделий, производимых на сырье подгруппы А, с нашей точки зрения, должно основываться, во-первых, на исследовании коллоидно-химических свойств различных видов крахмала (в частности, определение соотношения амилозы и амилопектина) и, во-вторых, на разработке способов обогащения мучных изделий незаменимыми макро- и микронутриентами. В этом случае основная проблема состоит в формировании в составе готового продукта таких форм нутриентов-обогащителей, которые бы эффективно усваивались организмом, т.е. соответствовали бы ферментным системам организма человека. Конструирование обогащенных безглютеновых продуктов должно производиться не только с учетом комбинирования микроэлементов и биологически активных веществ в усвояемые формы, но и, по возможности, в технологически оправданные соединения, способствующие формированию требуемых потребительских свойств.

Этот тезис можно проиллюстрировать на примере продуктов, обогащенных кальцием. Известно, что усвояемость кальция возрастает в присутствии инулина, инулино-подобных фруктанов и олигофруктозы.

Сочетание подобных углеводов с органическими кислотами и белковыми полимерами создает эффективный пребиотический комплекс. С учетом этого обстоятельства оправдано обогащение хлеба такими солями как казеинат кальция и цитрат кальция. Одновременно установлено, что

присутствие этих солей в рецептурах безглютенового хлеба улучшает текстурные свойства хлеба – объем и пористость (1).

Таблица 3

Основные физиологические свойства неперевариваемых углеводных фракций

Неперевариваемые углеводные фракции	Основные физиологические свойства
Некрахмальные полисахариды	Улучшение перистальтики кишечника, возрастание ощущения сытости (насыщения), снижение холестерина (только для некоторых форм, таких как высоковязкие волокна, например, $\beta$ -глюкан и пектины); источник короткоцепочечных жирных кислот (ацетаты, пропионаты, бутираты)
Неперевариваемые олигосахариды (не- $\alpha$ -глюкана)	Источник короткоцепочечных жирных кислот, изменяют баланс микрофлоры (т.е. действуют как пребиотики); играют роль иммуномодуляторов (сообщалось об улучшении барьерных функций желудка против инфекции); повышают адсорбцию кальция; возможна роль как пребиотика.
Резистентный крахмал	Источник короткоцепочечных жирных кислот; предположение о положительном влиянии на гликемический индекс и липиды крови.

Современные технологии производства безглютеновых мучных изделий преимущественно основаны на сырье растительного происхождения с высоким содержанием некрахмальных полисахаридов (подгруппа Б). Несомненным достоинством некрахмальных полисахаридов являются их разнообразные физиологические свойства (Таблица 3).

Для этой группы химических соединений обобщающим термином является пищевое волокно (диетические волокна). Согласно директиве ЕС 100/2008 «волокно» определяется как «углеводные полимеры, состоящие из трех и более мономерных единиц, которые не перевариваются и не адсорбируются в тонком кишечнике человека, и включают в себя:

- один или более пищевые углеводные полимеры, естественно присутствующие в потребляемой пище;
- углеводные полимеры, которые получены из пищевого сырья физическими, ферментативными или химическими методами;
- пищевые синтетические полимеры, которые имеют положительный физиологический эффект, подтвержденный общепринятыми научными свидетельствами».

Технологические свойства некрахмальных полисахаридов изучены недостаточно.

В технологии безглютеновых мучных изделий используются некрахмальные полисахариды, естественно присутствующие в таких видах

пищевого сырья как псевдозерновые, овес, биомасса некоторых микроорганизмов (Таблица 4).

Таблица 4

Естественные некрахмальные полисахариды, используемые в безглютеновых мучных изделиях.

Наименование полисахарида	Природный источник
пентозаны	амарант, греча, рисовые отруби
лигнаны, пентозаны	лен, конопля
$\beta$ -глюканы	овес
микробиальные экзо-полисахариды	микроорганизмы рода Lactobacillus, Weisella, Leiconostoc

Несомненным преимуществом этих видов сырья является их высокая пищевая ценность, обусловленная сравнительно высоким содержанием белков сбалансированного аминокислотного состава, полифенолов и антиоксидантов, фолатов и витаминов группы В, пищевых волокон. Их высокая пищевая ценность определяет интерес к этим видам сырья для создания специализированных продуктов питания.

#### **Пентозансодержащее сырье**

Пентозансодержащее сырье (семена и мука льна, гречихи, амаранта, рисовые отруби) используют для имитации хлебопекарных свойств ржаной муки, в которой водосвязывающая и водоудерживающая способность определяются в основном некрахмальными полисахаридами.

С технологической точки зрения необходимо отметить следующие особенности сырья данного типа:

- значительная вариабельность по содержанию некрахмальных полисахаридов, в частности пентозанов, которые характеризуются высокой водоудерживающей способностью и текстурообразующей способностью;
- специфической микробиотой, существенно отличающейся от микробиоты зерна пшеницы и ржи;
- специфическими органолептическими характеристиками, не свойственными традиционным зерновым культурам.

Известно, что вода существенно влияет на реологические свойства безглютенового теста, его эластичность и устойчивость к деформации, газоудерживающую способность. Более того, водоудерживающая способность теста влияет на качество хлеба, а именно его текстуру, внешний вид, вкус, черствение.

Установлено что модельные смеси, содержащие такое же количество пентозанов и крахмала, как и ржаная мука, существенно различаются по показателю адсорбции воды, что связано с химической природой пентозанов и сопутствующих веществ (1).

Это предопределяет целесообразность исследования физико-химических свойств основных структурообразующих компонентов в

исходном сырье. В практическом плане для каждой мучной смеси при производстве качественного хлеба предусматривается определение выхода теста. В целом из пентозансодержащего сырья можно получать качественный хлеб без дополнительного введения гидроколлоидов (1).

**Бета-глюкансодержащее сырье.**

Бета-глюканы являются полисахаридами, состоящими в основном из олигомеров типа 4-0 связанного  $\beta$ -D-глюкопиранозила и 3-0 связанного  $\beta$ -D-глюкопиранозила (20).

Эти полисахариды характеризуются высокой технологической функциональностью, в частности водоудерживающей способностью (Таблица 5).

Таблица 5

Влияние  $\beta$ -глюканов на водоудерживающую способность безглютенового теста

Пищевые волокна	Содержание пищевых волокон в тесте, % в пересчете на муку	Водоудерживающая способность теста, % в пересчете на муку
$\beta$ -глюкан овса	5,6	132,0
$\beta$ -глюкан дрожжей	0,6	97,7
$\beta$ -глюкан водорослей	0,6	91,3

Для технологии безглютеновых мучных изделий особый интерес представляет овес, поскольку согласно EU Commission regulation EC №41/2009 от 20 января 2009г. овсы рассматриваются как безглютеновое сырье.

Овсы филогенетически отличаются от зерновых рода Triticum и это отражается на составе белков. Овсы содержат только около 10% проламинов, и они отличаются по первичной структуре от проламинов пшеницы. Пентапептиды R<sub>5</sub>, токсичные при целиакии, отсутствуют в овсах. Основной белковой фракцией в овсах являются глобулины (солерастворимые белки), подобные глицинину сои.

Основные требования к овсяной муке из цельного зерна хорошего хлебопекарного качества обобщены в таблице 6.

Таблица 6

Основные требования к качеству хлебопекарной овсяной муки (1)

Показатели	Единицы измерения	Значение показателей.
Водоудерживающая способность	Мл/г	0,70 – 0,75
Общий крахмал	%	65 - 70
Общий белок	%	12 – 13
Поврежденный крахмал	%	2 – 5
Степень измельчения		грубое

Однако этих показателей для характеристики хлебопекарных свойств овсяной муки недостаточно. В частности, учитывая дифференциацию различных образцов по содержанию  $\beta$ -глюканов.

Остается открытым вопрос о влиянии химического состава зерна овса различных сортов на качество овсяного хлеба.

Установлено, что высокая активность  $\alpha$ -амилазы отрицательно сказывается на качестве хлеба.

Не найдено корреляции между качеством овсяного хлеба и активностью таких ферментов зерна, как  $\beta$ -амилаза, протеаза или пероксидаза.

### Микробиальные полисахариды.

Производство микробиальных полисахаридов, как технологически функциональных полисахаридов, находится в стадии становления. Выделенные микробиальные полисахариды используются в пищевых системах как загустители.

В частности, в случае безглютенового хлеба из рисовой и гречневой муки (добавка экзополисахаридов 1% от веса муки) экзополисахарид из *L.curvatus* показал наилучшие коллоидно-химические свойства. Он может быть использован для замены или снижения содержания традиционных гидроколлоидов в безглютеновом хлебе.

Влияние некоторых микробиальных полисахаридов на качество безглютенового теста представлено в таблице 7.

Таблица 7

Гетерополисахариды, синтезируемые микробиотой зерна сорго и пшеницы (1)

Культура	Субстрат	Состав моносахаридов	Молекулярная масса, Да	Ген	Влияние на тесто из муки сорго
<i>L.casei</i>	Овсяный напиток	Галактоза, рамноза, глюкоза, неидентифицированный компонент	$10^4 - 10^5$	GTF	+
<i>L.paracasei</i>	Овсяный напиток	Галактоза, рамноза, глюкоза, неидентифицированный компонент	$10^4 - 10^5$	GTF	+
<i>L.parakefiri</i>	Хлебный напиток	Галактоза, глюкоза, неидентифицированный компонент	$10^4 - 10^5$	GTF	+
<i>Weissella cibaria</i>	Хлебный напиток	Глюкоза	$2 \times 10^4 - 5 \times 10^5$	Декстран-сукраза	Не определено

Экзополисахариды могут быть получены при ферментации *L.sanfranciscensis* (леван), *L.renteri* (декстран), *L.curvatus* (декстрин).



### Биотехнологические процессы.

Современной тенденцией улучшения текстуры, пищевой ценности, условий машинной обработки, повышения сроков годности мучных изделий является использование кислого теста, ферментированного определенной микробиотой.

Микробиота традиционного кислого теста для пшеничной и ржаной муки приблизительно одинакова. Однако технология кислого теста для безглютеновых зерновых и псевдозерновых требует подбора микробиоты, адаптированной к специфическим свойствам новых субстратов. Различие в составе микробиоты оказывает такое же влияние на технологические свойства теста, как и сырье.

Например, при ферментации овсяной муки из цельного зерна при 28<sup>0</sup>С доминирует микробиота, в состав которой входит *Leuconostoc argentinum*, *Pediococcus pentosaceus* и *Weissella cibaria*, а при 37<sup>0</sup>С – *Lactobacillus coagulans*. Применение технологии кислого теста позволяет улучшить качество овсяного хлеба – увеличивается его объем, пористость. Для теста характерна высокая газодерживающая способность, улучшенные реологические характеристики (1).

Бактерии рода *Weissella* успешно применяются как стартерная культура при приготовлении хлеба из муки сорго.

Наилучшие результаты при выпечке хлеба из амарантовой муки получены при использовании микробиоты, в состав которой входят *Lactobacillus plantarum*, *L.fermentum*, *L.paracasei*, *L.paralimentarius*, *L.helveticus*, *Leuconostoc argentinum*, *Sacharomyces pastorianus*. Брожение проводили при 26<sup>0</sup>С в течение 16 часов.

### ВЫВОДЫ:

1. Производство и ассортимент безглютеновых мучных изделий как одного из сегментов специализированных продуктов питания расширяется.
2. Перспективно построение безглютеновых продуктов на основе цельного зерна, что способствует повышению пищевой ценности изделий.
3. Перспективна разработка ассортимента кулинарной продукции для системы общественного питания.
4. Технологические исследования в этой области развиваются в трех основных направлениях:
  - Определение оптимальных пропорций и технологических режимов переработки композитов, состоящих из безглютенового сырья, гидроколлоидов и регуляторов рН ионной силы, водной среды, имитирующих глютенную матрицу традиционных продуктов;
  - Разработка технологий обогащения безглютеновых мучных изделий эссенциальными и квазиэссенциальными веществами, формирующими

структуры, которые соответствуют ферментным системам организма и определяют высокую усвояемость БАВ;

- Разработка биотехнологических способов производства мучных изделий, основанных на исследовании микробиоты безглютенового сырья и модифицированных заквасок безглютенового теста (технология кислого теста).

### **Список литературы**

1. Book of abstracts the Second International Simposium on gluten-free cereal products and beverages, Tampere, Finland, June 8-11, 2010. – 204 p.
2. Красильников В.Н., Попов В.С., Тимошенко Ю.А., Гаврилюк И.П., Лоскутов И.Г. «Состав для приготовления мучного кондитерского изделия для диетического питания». Патент на изобретение № 2337550. Приоритет от 13.02.2007.
3. Красильников В.Н., Леонтьева Н.А., Барсукова Н.В., Кузнецова Л.И., Синявская Н.Д. «Способ приготовления безглютенового мучного кондитерского изделия на основе крахмалсодержащего теста». Патент на изобретение № 2295244. Приоритет от 25.07.2005.
4. Барсукова Н.В., Красильников В.Н. Новые технологические подходы к созданию специализированных продуктов питания для безглютеновой диеты // Материалы V Российского Форума «Здоровое питание с рождения: медицина, образование, пищевые технологии. Санкт-Петербург-2010», 12-13 ноября 2010 г. – СПб., 2010. – С. 7-8.
5. Красильников В.Н., Мехтиев В.С., Панкина И.А. Люпин как перспективная культура для производства пищевых продуктов функционального назначения// Материалы 3-го Международного конгресса «Хлеб и зерно России», 13-15 ноября 2007 г. – СПб., 2007. – С. 127-128.

## **Food engineering: technology of gluten-free baked products**

Barsukova N.V., Reshetnikov D.A., Krasilnikov V.N. nvb911@rambler.ru

**Saint-Petersburg Institute of Commerce and Economics**

*In recent years, there has been increased the demand of gluten free products for the customers with coeliac disease. In the study, the basic trends and directions for production gluten free foods was considered. It was defined the basic groups of gluten free raw materials for development of new formulations and technologies in production flour goods and was consider their properties.*

Key words: gluten free products, hydrocolloids, starch and non-starch polysaccharides, pentosan, raw materials,  $\beta$ -glucan, exopolysaccharides.

