

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Магомедов Г.О., Плотникова И.В., Магомедов М.Г., Чешинский В.Л.

САНИТАРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБА БЕЗ ДРОЖЖЕЙ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Воронеж

Разработан способ получения хлеба без использования хлебопекарных дрожжей с использованием муки из цельнозернового зерна пшеницы по принципиально новой технологии путём механического разрыхления теста. Для получения продукта работу проводили в три этапа: на первом изучали качество зерна на отдельных этапах его подготовки к измельчению; на втором анализировали качество цельнозерновой муки, полученной дезинтеграционно-волновым методом при слабом сверхвысокочастотном информационном воздействии; на третьем оценивали качество хлеба. Доказано, что тщательная очистка зерна, многократный пропуск его через обочные машины и измельчение его методом дезинтеграционно-волнового преобразования с энергией электромагнитного поля сверхвысокой частоты обеспечивает эффективное обеззараживание зерна от различных загрязнителей и позволяет снизить микробиологическую обсеменённость цельнозерновой муки и хлеба, полученного механическим способом разрыхления теста. Для улучшения вкусовых характеристик, повышения пищевой ценности и микробиологической чистоты хлеба в рецептуру дополнительно вносили концентрированный яблочный сок. Полученные показатели микробиологической обсеменённости полученного хлеба, упакованного в прозрачную полипропиленовую плёнку «BIAXPEN», после 7 сут хранения свидетельствуют, что в хлебе на основе муки из цельнозернового зерна пшеницы обсеменённость ниже на 32,6% по сравнению с хлебом из пшеничной обойной муки. Повышение микробиологической чистоты муки из цельнозернового зерна пшеницы стало возможным при использовании традиционных способов подготовки зерна к помолу, применении дезинтеграционно-волнового метода измельчения зерна в муку путём обеззараживания продукта энергией электромагнитного поля сверхвысокой частоты, внесении в рецептуру хлеба концентрированного яблочного сока. По сравнению с традиционным хлебом из пшеничной обойной муки разработанный хлеб имеет повышенную пищевую ценность, пониженную калорийность.

Ключевые слова: показатели качества зерна; дезинтеграционно-волновой метод измельчения зерна; качество цельнозерновой муки; качество хлеба; микробиологические показатели хлеба.

Для цитирования: Магомедов Г.О., Плотникова И.В., Магомедов М.Г., Чешинский В.Л. Санитарно-технологические мероприятия при производстве хлеба без дрожжей. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(7): 777-782. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-7-777-782>

Для корреспонденции: Магомедов Газибег Омарович, доктор техн. наук, проф. каф. технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств ФГБОУ ВО «ВГУИТ», 394036, Воронеж. E-mail: mmg@inbox.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Магомедов Г.О., Чешинский В.Л.; сбор и обработка материала – Магомедов Г.О., Плотникова И.В.; статистическая обработка – Плотникова И.В., Магомедов М.Г.; написание текста – Плотникова И.В., Магомедов М.Г.; редактирование – Магомедов Г.О., Чешинский В.Л.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Поступила 19.04.2019

Принята к печати 27.05.19

Опубликована 08.2019

Magomedov G.O., Plotnikova I.V., Magomedov M.G., Cheshinsky V.L.

SANITARY-TECHNOLOGICAL EVENTS OF BREAD PRODUCTION WITHOUT YEAST

Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, 394036, Russian Federation

A method of bread production without using baker's yeast by using whole-ground wheat flour according to fundamentally new technology through the mechanical loosening of dough was developed. To produce the product, the work was carried out in three stages: at the first stage - the quality of grain was studied at separate stages of its preparation for grinding; on the second - the quality of whole-grain flour obtained by the disintegrating-wave method with a weak microwave information effect was analyzed; in the third - the quality of bread was assessed. Thorough cleaning of the grain and it's repeated passing through scouring machines, grinding by the wave-disintegrating method with the energy of the electromagnetic field of ultra-high frequency has been proven to provide effective disinfection of grain from various pollutants and reduce the microbiological seeding of whole flour and bread obtained by a mechanical method of dough loosening. To improve the taste characteristics, nutritional value and microbiological purity of bread the concentrated apple juice was added to the bread's recipe. The obtained indices of microbiological contamination of the cooked bread, which packed in a transparent polypropylene film "BIAXPEN", after 7 days of storage, show that in the bread from the whole-grain wheat flour the contamination is lower by 32.6% compared to the bread from entire wheat flour. Improving the microbiological purity of whole-wheat flour became possible by using traditional methods of grain preparing for milling, using the wave-disintegrating method of grinding grain into flour by disinfecting the product with electromagnetic energy of ultra-high frequency, adding concentrated apple juice to the bread's

recipe. Compared with the traditional bread made from wheat flour, the developed bread has increased nutritional value and reduced calorie content.

Key words: *assessment of the main standardized indicators of grain quality; including sanitary and hygienic indices; at the certain stages of grain preparation for grinding; disintegrator-wave method of grinding grain into flour; quality of whole-wheat flour and bread from it, produced by the mechanical method of the dough loosening; microbiological indices of bread.*

For citation: Magomedov G.O., Plotnikova I.V., Magomedov M.G., Cheshinsky V.L. Sanitary-technological events of bread production without yeast. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98(7): 777-782. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-7-777-782>

For correspondence: *Gazibeg O. Magomedov*, MD, Ph.D., DSci., Professor of the bakery technology, confectionery, pasta, and grain processing industries of the Department of the Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, 394036, Russian Federation. E-mail: mmg@inbox.ru

Information about the author:

Magomedov G.O., <http://orcid.org/0000-0002-7201-8387>; Plotnikova I.V., <http://orcid.org/0000-0001-5959-6652>; Magomedov M. G., <http://orcid.org/0000-0003-2494-4973>; Cheshinsky V.L., <http://orcid.org/0000-0003-3043-9631>

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Contribution: Concept and design of the study – Magomedov G.O., Cheshinsky V.L.; The collection and processing of the material – Magomedov G.O., Plotnikova I.V.; Statistical treatment – Plotnikova I.V., Magomedov M.G.; Writing text – Plotnikova I.V., Magomedov M.G.; Editing – Magomedov G.O., Cheshinsky V.L.; Approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all co-authors.

Received: 19 April 2019

Accepted: 27 May 2019

Published: August 2019

Введение

Для создания хлебопродуктов с различными функциональными свойствами необходимо разрабатывать принципиально новые технологии и оборудование, обеспечивающие комплексную переработку зернового сырья на основе современных электрофизических способов, которые не только бы сохраняли технологические свойства зерна и продуктов его переработки, но и улучшали качество хлебобулочных изделий, обеспечивая их микробиологическую чистоту.

Следует отметить, что для здорового питания предпочтнее отдаётся хлебу, приготовленному на основе муки из низких сортов или цельнозернового зерна различных злаковых культур [1].

На кафедре технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств ФГБОУ ВО ВГУИТ под руководством проф. Г.О. Магомедова разработан способ получения хлеба без использования хлебопекарных дрожжей на основе муки из цельнозернового зерна пшеницы по принципиально новой технологии путём механического разрыхления теста под избыточным давлением воздуха, поступающего при замесе теста в тестомесильную камеру сбивальной установки. Качество такого хлеба во многом зависит от качества используемого зерна, на поверхности которого в процессе выращивания содержится остаточное количество тяжёлых металлов, микотоксинов, пестицидов и других загрязнителей [2]. Для получения хлеба бездрожжевого механическим способом разрыхления теста необходимо тщательно проводить входной контроль зерна и предварительную подготовку его к помолу в муку, так как в данной технологии при получении теста отсутствует процесс брожения и образующиеся продукты метаболизма дрожжей (органические кислоты, этиловый спирт, ангидриды и др.), которые препятствуют развитию посторонней микрофлоры в продукте.

Целью работы являлось применение санитарно-технологических мероприятий при подготовке зерна к измельчению, получении муки из цельнозернового зерна пшеницы дезинтеграционно-волновым методом и хлеба на её основе механическим способом разрыхления теста без использования хлебопекарных дрожжей.

Для достижения поставленной цели работу проводили в три этапа: на первом изучали качество зерна на отдельных этапах его подготовки к измельчению; на втором анализировали качество цельнозерновой муки, полученной дезинтеграционно-волновым методом при слабом сверхвысокочастотном информационном воздействии; на третьем оценивали качество хлеба на основе муки из цельнозернового зерна пшеницы, полученного механическим способом разрыхления теста без хлебопекарных дрожжей.

Материал и методы

Для исследований использовали зерно мягкой пшеницы 3-го класса (ГОСТ Р 52554-2006), муку из цельнозернового зерна пшеницы (ТУ 9214-126-02068108-2010), сок концентрированный яблочный (ГОСТ 32102-2013), соль поваренную пищевую (ГОСТ Р 51574-2000), воду питьевую (СанПиН 2.1.4.1074-01).

Подготовка зерна к помолу проводилась на мукомольном комбинате «Воронежский» в соответствии с общепринятыми правилами на последовательно установленном оборудовании: воздушно-ситовом сепараторе марки А1-БИС-100, триерах марки А9-УТО-6 и зерноочистительных обоечных машинах марки РЗ-БГО-8 [3]. При этом были выделены следующие этапы подготовки: 1-й этап – приёмка зерна на переработку, предварительная подготовка и обработка его на триерах; 2, 3 и 4-й этапы соответствуют первому, второму и третьему проходу зерна через обоечные машины. Пробы зерна отбирали в соответствии с требованиями ГОСТ 13586.3-83. Исходное зерно представлено пробой № 1, зерно после подготовительных операций до поступления на первую обоечную машину – пробой № 2. Пробы зерна № 3, 4 и 5 отбирали после прохождения через обоечные машины первого, второго и третьего прохода.

Отбор проб зерна осуществляли по ГОСТ 13586.3, определение его органолептических показателей (состояние, запах, цвет) проводили по ГОСТ 10967, физико-химических показателей (массовую долю влаги оценивали по ГОСТ 13586.5, массовую долю и качество клейковины по ГОСТ 13586.1, стекловидность по ГОСТ 10987, натуру – по ГОСТ 10840, сорную и зерновую примесь по ГОСТ 30483, число падения по ГОСТ 27676, заражённость вредителями по ГОСТ 13586.4).

В поступившем и прошедшем все этапы подготовки зерне оценивали содержание различных загрязнителей – микотоксинов, тяжёлых металлов и пестицидов. Содержание микотоксинов (афлатоксин В1, Т-2 токсин, фузонин В1, охратоксин, зеараленон) определяли иммуноферментным методом по ГОСТ 31653-2012, дезоксиниваленола по ГОСТ Р 51116-97. Содержание свинца и кадмия определяли методом атомно-адсорбционной спектроскопии с помощью спектрометра марки МГА-915 по ГОСТ 26932 и ГОСТ 26933 соответственно. Содержание в зерне гексахлорана определяли методом газовой хроматографии по ГОСТ 32194-2013.

Измельчение очищенного зерна проводили дезинтеграционно-волновым методом при слабом сверхвысокочастотном информационном воздействии (десять доли микроватта) на длина волн порядка 8 мм по классической схеме возбуждения генератора на диоде Ганна. После генерации волны происходит резонансный обмен энергиями между частицами и волной, что приводит к бесстолкновительному затуханию волны и насыщению внутренней энергией частиц измельчаемого продукта,

Таблица 1

Основные показатели качества зерна пшеницы

Показатель	Зерно мягкой пшеницы 3-го класса	
	требования ГОСТ 52554-2006	урожаем 2017 г.
Состояние	В здоровом, не греющемся состоянии	
Запах	Свойственный здоровому зерну пшеницы, без плесневого, солодового, затхлого и других посторонних запахов	
Цвет	Свойственный здоровому зерну данного типа и подтипа	Свойственный здоровому зерну данного типа
Массовая доля белка, %, на сухое вещество	Не менее 12	16,1
Массовая доля влаги, %	Не более 14	12,4
Массовая доля сырой клейковины, %	Не менее 23	24,2
Качество сырой клейковины, ед. прибора ИДК*: не ниже группы II	20–100	74
Стекловидность, %	Не менее 40,0	44
Натура, г/л	Не менее 730	752
Сорная примесь, %	Не более 2,0	0,4
Зерновая примесь, %	Не более 5,0	3,6
Число падения, с	Не менее 150	233
Заражённость вредителями	Не допускается	Отсутствует

Примечание. * – ИДК – измеритель деформации клейковины.

в том числе информационному насыщению [4]. Способ получения муки заключается в следующем: зерно, предварительно очищенное от посторонних примесей, промытое до влажности $16 \pm 0,5\%$, подаётся через загрузочную воронку в рабочую камеру дезинтегратора. При включении электродвигателя движение измельчающих дисков осуществляется навстречу друг другу. За счёт тонкого зазора между штифтами дисков, их высокой частоты вращения – $300\text{--}420 \text{ с}^{-1}$ – зерно нагревается до температуры $60\text{--}100^\circ\text{C}$ и измельчается до более высокой степени дисперсности – $25\text{--}30 \text{ мкм}$ (до 85% частиц), чем на других видах мельниц [5].

Органолептические показатели качества муки из цельнозернового зерна пшеницы (цвет, запах, вкус, наличие минеральных примесей) определяли по ГОСТ 27558-88, массовую долю влаги по ГОСТ 9404-88, титруемую кислотность по ГОСТ 27493-87, массовую долю и качество сырой клейковины по ГОСТ 27839-88, число падения определяли на приборе ПЧП-3.

Хлеб, полученный механическим способом разрыхления теста, готовили путём замеса и сбивания рецептурных компонентов на полупромышленной смесительно-сбивальной-формующей установке при частоте вращения мешалок 16 с^{-1} , температуре $29 \pm 1^\circ\text{C}$, под избыточным давлением воздуха $0,4 \text{ МПа}$ в течение $1,5 \text{ мин}$. Выпечку отформованных тестовых заготовок осуществляли в ротационной печи марки RFS-9E при температуре $195 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение $36\text{--}38 \text{ мин}$. Анализ показателей качества хлеба проводили в соответствии с требованиями ТУ 9114-097-02068108-2008 «Хлеб бездрожжевой. Технические условия» [5].

Аминокислотный состав белков хлеба определяли методом ионообменной хроматографии на автоматическом аминокислотном анализаторе ААА Т-399, белок определяли по Кьельдалю (ГОСТ 10846-91), триптофан по методу Лоренцо–Андрю и Франдзена, сахар по ГОСТ 5668-68, клетчатку по ГОСТ 31675-2012, органические кислоты по ГОСТ Р 56373-2015, витаминный состав по ГОСТ 7047-55, минеральный состав по ГОСТ 30502-97, 26657-97, 32250-2013, 26570-85, 26928-86. Биологическую ценность белка хлеба определяли на основании данных аминокислотного состава и оценивали по показателю сора

Таблица 2

Изменение содержания микотоксинов в зерне пшеницы

Содержание микотоксинов, мкг/кг	Номер пробы зерна				
	1	2	3	4	5
Афлатоксин В1	4,3	3,3	2,8	1,3	Отсутствует
Т-2 токсин	91,4	74,3	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Фумонизин В1	768	631	151	22	Отсутствует

незаменимых аминокислот, коэффициенту различия аминокислотного сора (КРАС), биологической ценности пищевого белка, рассчитанных с помощью программы «COMPLEX». Энергетическую ценность хлеба определяли по суммарному содержанию в готовом изделии белков, жиров, углеводов расчётным путём.

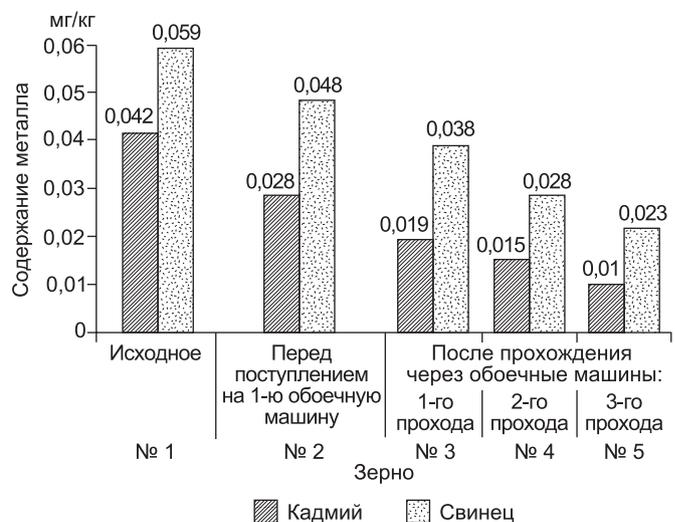
Микрофлору хлеба анализировали в течение 7 сут хранения по количеству мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), определяемых по ГОСТ 10444.15-94, наличию плесени, дрожжей по ГОСТ 10444.12-88, бактерий группы кишечной палочки (БГКП) по ГОСТ Р 52816-2007. Появление плесени на хлебе определяли визуально, при этом ежедневно наблюдали за развитием в изделиях картофельной болезни, которую оценивали в соответствии с инструкцией по предупреждению картофельной болезни хлеба.

Результаты

С целью обеспечения качества и безопасности муки из цельнозернового зерна пшеницы проведена оценка качества используемого зерна мягкой пшеницы 3-го класса. По всем органолептическим и физико-химическим показателям зерно соответствовало нормируемым требованиям ГОСТ 52554-2006 (табл. 1).

Динамика изменения содержания микотоксинов, свинца и кадмия в исследуемом зерне пшеницы на определённых этапах его подготовки к помолу представлена в табл. 2 и на рисунке.

В исходном образце зерна пшеницы № 1 содержание микотоксинов, свинца и кадмия не превышало значений предельно допустимых концентраций, указанных в требованиях технического регламента ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна». После предварительной обработки зерна на зерноочистительном воздушно-ситовом сепараторе и триерах (куколе- и овсюгоотборнике) в образце № 2 содержание афлатоксина В1 снизилось на $23,3\%$, Т-2 токсина – на $18,7\%$, фумонизина В1 – на $17,8\%$, кадмия и свинца – на $33,3$ и $18,6\%$ соответственно. После прохождения зёрен через первую обочную машину, где происходит сухая очистка их поверхности от пыли, грязи, песка, надорванных в процессе обработки плодовых оболочек, посторонних



Изменение содержания свинца и кадмия (мг/кг) в образцах зерна пшеницы.

Основные показатели качества муки из цельносомлотого зерна пшеницы

Показатель качества	Характеристика муки из цельносомлотого зерна пшеницы (норма по ТУ 9214-126-02068108-2010)	Мука из цельносомлотого зерна пшеницы	
		I партия (получена на дезинтеграторе марки Д-150)	II партия (получена на вальцовый мельнице)
<i>Органолептические показатели</i>			
Цвет	Белый с сероватым оттенком		
Вкус	Свойственный данному виду муки, без посторонних привкусов, не кислый, не горький		
Запах	Свойственный данному виду муки, без посторонних запахов, не затхлый, не плесневый		
Наличие минеральной примеси	При разжевывании муки не должно ощущаться хруста	Хруст не ощущается	
Заражённость вредителями	Не допускается	Не обнаружена	
<i>Физико-химические показатели</i>			
Массовая доля влаги, %	Не более 15	12,2	13,5
Массовая доля золы в пересчёте на сухое вещество, %	Не менее чем на 0,07% ниже зольности зерна до очистки, но не более 2%	1,6	1,5
Массовая доля сырой клейковины, %	Не менее 20	24	22
Деформация сжатия сырой клейковины, ед. прибора ИДК	–	58,3	62,1
Качество сырой клейковины, усл. ед. прибора ИДК	Не ниже II группы	I	I
Крупность помола, %:	Не более 2	Дисперсность частиц муки, мкм/%	
остаток на сите из проволочной сетки по НД*	Сито № 045	0–25/7,5	0–60/15
проход через сито по ГОСТ 4403	Не менее 50 из шёлковой ткани № 38 или полиамидной ткани № 41/43 ПА	25–30/85 30–100/7,5	60–90/80 90–100/5
Число падения (ЧП), с	Не менее 160	294	285
Титруемая кислотность, град.	–	3,7	3,4
Металломагнитная примесь, мг в 1 кг муки; размером отдельных частиц в наибольшем линейном измерении 0,3 мм и (или) массой не более 0,4 мг	Не более 3	1,7	1,8

Примечание. * – НД – нормативные документы.

примесей (лёгких, минеральных, ферропримесей), а также после частичного шелушения, отделения оболочек и повреждённого зерна [3], в образце № 3 содержание афлатоксина В1 снизилось ещё на 15,2%, фумонизина В1 – на 76,1%, кадмия и свинца – на 32,1 и 20,8% соответственно, содержание Т-2 токсина вовсе не было обнаружено. После ещё двукратной обработки зерна на второй и третьей обочных машинах с одновременной очисткой его поверхности с помощью щёточных устройств в образце № 4 содержание афлатоксина В1 снизилось ещё на 53,6%, фумонизина В1 – на 85,4%, кадмия и свинца – на 21,1 и 26,3% соответственно, в образце № 5 содержание микотоксинов не обнаружено, а содержание кадмия и свинца снизилось на 21,1 и 26,3% соответственно. В общем, относительно первоначальных значений содержание кадмия и свинца снизилось на 76,2 и 61% соответственно, а дезоксиниваленол, ократоксин и зеараленон в исследуемых пробах не обнаруживались.

Исходное содержание пестицида гексахлорана в зерне составило 0,22 мг/кг, что является допустимым по требованиям технического регламента. В ходе подготовительных операций концентрация пестицида в зерне заметно снизилась до 0,18 мг/кг (примерно на 20%), а после измельчения зерна в муку методом дезинтеграционно-волнового преобразования были обнаружены только следы исследуемого пестицида. Значительное уменьшение остатков пестицидов в зерне может быть объяснено в том числе воздействием на продукт физического метода, в частности нагревания [6].

Доказано, что тщательная очистка зерна, многократный пропуск его через обочные машины и измельчение его методом дезинтеграционно-волнового преобразования с энергией электромагнитного поля сверхвысокой частоты обеспечивают эффективное обеззараживание зерна от различных загрязнителей, что позволяет в том числе снизить микробиологическую об-

семенённость цельносомлотой муки и обеспечить безопасность хлеба, полученного механическим способом разрушения теста.

Результаты анализа показателей качества двух партий муки из цельносомлотого зерна пшеницы, полученных различными способами и отличающихся степенью измельчения [7, 8], представлены в табл. 3.

Цельносомлотая мука, полученная путём измельчения зерна на дезинтеграторе, имеет меньшую влажность – 12,2%, так как при более тонком измельчении происходит сильный нагрев продукта и частичное удаление капиллярно-связанной влаги, и большее содержание сырой клейковины – 24% (на сухое вещество) (см. табл. 3). Суммарная доля свободных аминокислот в белке в среднем увеличивается на 1,5–2% (на сухое вещество). При тонком измельчении происходят два непрерывных процесса: механическое деформирование и эндогенный нагрев продукта, при этом происходит разрушение кристаллической решётки крахмальных зёрен и высвобождение из них так называемого свободного крахмала, содержащего незначительную часть заземлённых и адсорбционно связанных белков, причём чем интенсивнее воздействие измельчающих механизмов на зерно, тем больше образуется деформированного крахмала с разрушенной кристаллической решёткой. В данном случае, при измельчении мягкой пшеницы в муку образуется до 45% свободного крахмала, количество белка в котором составляет около 2,7% [9]. За счёт повышения дисперсности и удельной поверхности частиц муки, полученной в дезинтеграторе, доля свободных водорастворимых белков – альбуминов – увеличивается на 7,5 мг, глобулинов – на 15,3 мг (на 100 г продукта), что в среднем выше на 1,4 и 4,9% соответственно, чем в муке, измельчённой вальцовым способом. Водорастворимые белки, как поверхностно-активные вещества, в первую очередь ответственны за формирование в сбивном тесте пенной структуры. В процессе ин-

Таблица 4

Органолептические и физико-химические показатели хлеба бездрожжевого

Показатель	Значение показателя
Органолептический:	
поверхность	Шероховатая, без крупных трещин и подрывов
цвет	Золотисто-жёлтый
вкус и запах	Соответствуют хлебу из муки цельнозернового зерна, без постороннего вкуса и запаха
состояние мякиша	Пропечённый, не влажный на ощупь, без комочков и следов непромеса
Физико-химический:	
влажность мякиша, %	51,7
пористость, %	76
кислотность, град	3,1

тенсивного замеса муки и воды вначале происходит смачивание частиц муки водой, затем гидратация молекул воды гидрофильной поверхностью, набухание частиц муки и переход в раствор водорастворимых веществ, в том числе и водорастворимых белков. В муке из цельнозернового зерна пшеницы водорастворимых белков содержится около 2 г/100 г продукта. Увеличение в тесте даже и незначительной доли водорастворимых белков способствует ускорению формирования пенистых плёнок воздушных пузырьков и лучшему насыщению теста воздухом. При высокоинтенсивном замесе теста аминокислоты с полярными и неполярными, положительно и отрицательно заряженными боковыми цепями как клейковинных, так и водорастворимых фракций белков, а также увеличенное количество клейстеризованного крахмала при выпечке участвуют в формировании структуры мякиша хлеба с повышенной влажностью [10]. Результаты оценки связи влаги в хлебе термогравиметрическим методом показали увеличение доли мономолекулярно-связанной влаги на 7–9%, что способствует снижению активности воды в хлебе и замедлению процесса черствения и развития микроорганизмов при его хранении.

Органолептические и физико-химические показатели хлеба, полученного механическим способом разрыхления теста без хлебопекарных дрожжей на основе муки из цельнозернового зерна пшеницы, соответствуют требованиям ТУ 9114-097-02068108-2008 «Хлеб бездрожжевой. Технические условия» и представлены в табл. 4 [5].

Результаты определения и расчёта пищевой и энергетической ценности хлеба без использования хлебопекарных дрожжей на основе муки из цельнозернового зерна пшеницы представлены в табл. 5.

По сравнению с традиционным хлебом из пшеничной обойной муки разработанный хлеб имеет повышенную пищевую ценность и пониженную калорийность. В его составе содержится больше белков – в 1,5 раза, углеводов – в 1,2 раза, а также кальция, калия, магния и фосфора – в 3,2; 2; 1,3; 1,2 раза соответственно. Полученное изделие в своём составе содержит значительное количество клетчатки, витаминов В₁ и РР, степень удовлетворения в которых составляет 20,9; 20,7; 24,5% соответственно.

Биологическая ценность белка согласно методу аминокислотных шкал определяется составом незаменимых (не синтезируемых в организме) аминокислот. За химический скор испытуемого белка принимается наименьшее отношение, полученное для содержания какой-либо из незаменимых аминокислот в изучаемом белке к её содержанию в эталонном белке. Для оценки биологической ценности белка хлеба бездрожжевого рассчитывали его аминокислотный скор относительно аминокислотного сора эталонного белка [11]. Биологическая ценность белка хлеба бездрожжевого лимитируется содержанием лизина и составляет 52,9%. Содержание незаменимых аминокислот и некоторые показатели биологической ценности белка хлеба бездрожжевого представлены в табл. 6.

Таблица 5

Пищевая и энергетическая ценность хлеба бездрожжевого, степень удовлетворения суточной потребности организма в основных пищевых веществах

Пищевое вещество	Среднесуточная потребность организма человека по ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части её маркировки»	Содержание в 1 порции (100 г хлеба)	Удовлетворение суточной потребности, %
Белки, г	75	8,7	11,6
Жиры, г	83	1,1	1,3
Усвояемые углеводы, г	365	36,3	9,9
Клетчатка, г	30	6,26	20,9
Органические кислоты, г	2	3,3	165
Минеральные вещества, г:			
калий	3500	198,7	5,7
кальций	1000	31,7	3,2
магний	400	60,3	15,1
фосфор	1000	310,5	31,1
железо	14	3,31	23,6
Витамины, мг:			
В ₁	1,5	0,31	20,7
В ₂	1,8	0,11	4,3
РР	20	4,9	24,5
Энергетическая ценность (ЭЦ), ккал (кДж)	2500 (10 467)	169 (708)	6,8

Избыток других содержащихся в белке незаменимых аминокислот может быть использован на энергетические нужды организма. Средняя величина избытка аминокислотного сора незаменимых аминокислот по сравнению со значением лимитирующей аминокислоты, характеризуется КРАС (%), который показывает избыточное количество незаменимых аминокислот, используемых на пластические нужды, в данном случае это значение составляет 48,2%. Потенциальная (теоретическая) биологическая ценность белка бездрожжевого хлеба составляет 51,8%.

Для улучшения вкусовых характеристик, повышения пищевой ценности и микробиологической чистоты хлеба бездрожжевого в рецептуру дополнительно вносили концентрированный яблочный сок в количестве 3% массы теста [12–14]. Полученные

Таблица 6

Аминокислотный скор белка хлеба бездрожжевого на основе муки из цельнозернового зерна пшеницы

Незаменимая аминокислота	Эталон ФАО/ВОЗ, г/100 г белка	Содержание кислоты, г/100 г белка продукта	Аминокислотный скор, %
Лизин	4,5	2,38	52,9*
Лейцин	5,9	5,87	99,5
Изолейцин	3,0	3,08	102,7
Валин	3,9	3,62	92,8
Метионин + цистин	2,2	1,26	57,3
Треонин	2,3	2,52	109,6
Триптофан	0,6	1,05	175
Фенилаланин + тирозин	3,8	4,54	119,5

Примечание. * – лимитирующая аминокислота.

Таблица 7

Микробиологические показатели хлеба бездрожжевого

Показатель	Хлеб из пшеничной обойной муки (контроль)	Хлеб на основе муки из цельнозернового зерна пшеницы, полученной дезинтеграционно-волновым методом
КМАФАнМ, КОЕ/г	$4,6 \times 10^2$	$3,1 \times 10^2$
Плесени, КОЕ/г	19	13
Дрожжи, КОЕ/г	Менее 10	Менее 10
БГКП (колиформы)	Отсутствуют	Отсутствуют

показатели микробиологической обсеменённости полученного хлеба с яблочным концентрированным соком, упакованного в прозрачную полипропиленовую пленку «VIAXPEN», после 7 сут хранения представлены в табл. 7 [15].

Обсуждение

Результаты свидетельствуют, что в хлебе на основе муки из цельнозернового зерна пшеницы обсеменённость ниже на 32,6 % по сравнению с хлебом из пшеничной обойной муки (контроль). Это доказывает, что тщательная обработка зерна в электромагнитном поле дезинтегратора, а также использование в рецептуре хлеба концентрированного яблочного сока, в составе которого содержится значительное количество яблочной, лимонной и винной органических кислот, способствующих угнетению роста микрофлоры и оказывающих на неё ингибирующее воздействие, позволяет повысить микробиологическую чистоту изделия и продлить его срок годности [16]. Исследования в образцах хлеба бездрожжевого наличия плесени показали, что в контроле плесень появилась на пятые сутки, а в разработанном хлебе – на седьмые. БГКП отсутствовали в обоих образцах, картофельная болезнь в процессе хранения ни в одном образце не была обнаружена.

Заключение

Результаты экспериментальных исследований иллюстрируют эффективность реализации всех санитарных и технологических методов очистки и подготовки зерна к измельчению, получения муки из целого зерна пшеницы и хлеба на её основе путём механического разрыхления теста без использования хлебопекарных дрожжей по принципиально новой технологии. Повышение микробиологической чистоты муки из цельнозернового зерна пшеницы стало возможным при использовании традиционных способов подготовки зерна к помолу, применении дезинтеграционно-волнового метода измельчения зерна в муку, внесении в рецептуру хлеба бездрожжевого концентрированного яблочного сока, что позволило получить продукт повышенной пищевой ценности.

Литература (пп. 10, 11 см. References)

1. Витавская А.В., Хасиев Х.Х., Пронина Ю.Г. Зерновой хлеб – уникальное питание. *Научные итоги года: достижения, проекты, гипотезы*. 2011; 1: 286-90.
2. Загрязнение пищевых продуктов пестицидами. Питание при неблагоприятном воздействии внешних факторов. 31 июля 2018 года. Available at: <http://meddaily.info/?cat=article&id=542>.
3. Медведева З.М., Шипилин Н.Н., Бабарыкина С.А. *Технология хранения и переработки продукции растениеводства: Учебное пособие*. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2015: 340.
4. Комаров В.И., Кустов В.Ю., Садыгова М.К., Чертов Е.Д., Шишов С.В. Доминирующая роль СВЧ-КВЧ излучения в бифуркационных состояниях дезинтеграционно-волнового преобразования биопродуктов и минералов. *Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова*. 2012; 5: 60-3.
5. Магомедов Г.О., Пономарева Е.И. *Научные и практические основы технологии сбивных функциональных хлебобулочных изделий: Монография*. Воронеж: ВГУИТ, 2010: 241.
6. Гашко Е.С., Почтовик Е.С., Гучева Н.В. Способы снижения остаточного содержания пестицидов в зерне. *Молодой исследователь Дона*. 2017; 6 (9): 13-21.

7. Чертов Е.Д., Пономарева Е.И., Кустов В.Ю. Физико-химические показатели муки из цельнозернового зерна пшеницы, полученной разными способами измельчения. *Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. Материалы Международной научно-практической конференции*. Йошкар-Ола; 2011: 326-28.
8. Чертов Е.Д., Пономарева Е.И., Кустов В.Ю. Изменение свойств муки из цельнозернового зерна пшеницы в зависимости от размера частиц. *Хлебопродукты*. 2011; 11: 50-1.
9. Магомедов Г.О., Лукина С.И., Садыгова М.К., Кустов В.Ю. Влияние дезинтеграционно-волнового помола на фракционный и аминокислотный состав белков нута. *Вестник ВГУИТ*. 2013; 1: 94-7.
12. Юсупова Г.Г., Юсупов Р.Х. Обеспечение микробиологической безопасности хлебопекарного сырья. *Хлебопродукты*. 2012; 3: 40-1.
13. Полякова С.П., Сидорова О.А. Повышение устойчивости кондитерских и хлебобулочных изделий к микробиологической порче. *Пищевая промышленность*. 2012; 5: 16-8.
14. Гавриленко Н.В., Гончар В.В., Росляков Ю.Ф. Влияние различных технологий хлебобулочных изделий на микробиологическую чистоту. *Современные наукоемкие технологии*. 2004; 2: 148.
15. Паньковский Г.А. Методы и средства повышения микробиологической безопасности хлебобулочных изделий. *Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал*. 2005; 1: 98.
16. Лабунский А. Новые средства и оборудование промышленной санитарии и гигиены для безопасности предприятий хлебопродуктов. *Хлебопродукты*. 2011; 10: 20-2.

References

1. Vitavskaya A.V., Hasiev H.H., Pronina Yu.G. Cereal bread is a unique food. *Nauchnye itogi goda: dostizheniya, proekty, gipotezy [Scientific results of the year: achievements, projects, hypotheses]*. 2011; 1: 286-90. (in Russian).
2. Pollution of food with pesticides. Nutrition with adverse effects of external factors. Available at: <http://meddaily.info/?cat=article&id=542> (accessed 31 July 2018).
3. Medvedeva Z.M., Shipilin N.N., Babarykina S.A. Technology of storage and processing of crop production: Textbook. Novosibirsk: Information Center "Golden Spike", 2015: 340. (in Russian).
4. Komarov V.I., Kustov V.Yu., Sadygova M.K., Chertov E.D., Shishov S.V. The dominant role of microwave-EHF radiation in bifurcation states of the disintegration-wave transformation of bioproducts and minerals. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova. [Bulletin of the Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilov]*. 2012; 5: 60-3. (in Russian).
5. Magomedov G.O., Ponomareva E.I. *Scientific and practical fundamentals of technology of chopped functional bakery products: Monografiya*. Voronezh: VSTA, 2010: 241. (in Russian).
6. Gashko E.S., Pochtovik E.S., Gucheva N.V. Methods for reducing the residual content of pesticides in grain. *Molodoy issledovatel' Dona. [The young researcher of the Don]*. 2017; 6 (9): 13-21. (in Russian).
7. Chertov E.D., Ponomareva E.I., Kustov V.Yu. Physicochemical parameters of flour from whole-wheat grain obtained by different grinding methods. *Actual issues of improving the technology of production and processing of agricultural products [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]*. Yoshkar-Ola; 2011: 326-28. (in Russian).
8. Chertov E.D., Ponomareva E.I., Kustov V.Yu. Change the properties of flour from whole-wheat grain, depending on the particle size. *Hleboprodukty. [Bread products]*. 2011; 11: 50-1 (in Russian).
9. Magomedov G.O., Lukina S.I., Sadygova M.K., Kustov V.Yu. Influence of disintegration-wave grinding on the fractional and amino acid composition of chick proteins. *Vestnik VGUIT [Bulletin VGUIT]*. 2013; 1: 94-7 (in Russian).
10. Cauvain S. Technology of Breadmaking: Textbook. 3rd edn. New York, USA: Springer; 2017: 416 (in USA).
11. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. World Health Organization, 2007: 150 (in Switzerland).
12. Yusupova G.G., Yusupov R.H. Provision of microbiological safety of bakery raw materials. *Hleboprodukty. [Bread products]*. 2012; 3: 40-1. (in Russian).
13. Polyakova S.P., Sidorova O.A. Increasing the resistance of confectionery and bakery products to microbiological damage. *Pishchevaya promyshlennost' [Food industry]*. 2012; 5: 16-8 (in Russian).
14. Gavrilenco N.V., Gonchar V.V., Roslyakov Yu.F. Influence of various technologies of bakery products on microbiological purity. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii [Modern high technologies]*. 2004; 2: 148. (in Russian).
15. Pan'kovskij G.A. Methods and means of enhancing the microbiological safety of bakery products. *Pishchevaya i pererabatyvayushchaya promyshlennost' [Food and processing industry. Abstract Journal]*. 2005; 1: 98. (in Russian).
16. Labunskij A. New means and equipment for industrial sanitation and hygiene for the safety of bakeries. *Hleboprodukty. [Bread products]*. 2011; 10: 20-2. (in Russian).