

Обоснование рациональной дозировки закваски «Эвиталя» для безглютенового хлеба из амарантовой муки

Ирина М. Жаркова¹ zharir@mail.ru  0000-0001-8662-4559
Юлия А. Сафонова¹ kulakova7@yandex.ru  0000-0002-2995-1905

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Актуальной является разработка рецептур и технологий производства мучных изделий, которые предназначены для диетического профилактического питания, в том числе для людей, страдающих разными формами непереносимости глютена. К настоящему времени учеными разных стран и технологами промышленных предприятий разработан достаточно большой ассортимент безглютеновых мучных изделий, в частности, хлеба. Однако, «слабыми» местами таких разработок являются невысокие потребительские свойства продукции, ее низкая пищевая ценность, короткий срок хранения или высокая цена. Поэтому необходимо подобрать сырье, которое способно улучшить органолептические и физико-химические показатели качества данной категории хлеба, обогатить его эссенциальными микронутриентами, продлить срок сохранения свежести и замедлить микробиологическую порчу. Цель исследования – установление рациональной дозировки молочнокислой закваски «Эвиталя» в тесто на основе амарантовой муки при выработке безглютенового хлеба. Закваска «Эвиталя» отличается высокой биологической ценностью, обусловленной комбинацией молочнокислых бактерий – пробиотиков. Установлено, что образцы хлеба, в составе которых присутствовала молочнокислая закваска «Эвиталя» отличались более приятным вкусом и запахом с менее выраженным амарантовым оттенком; светлым и эластичным мякишем, более мелкой и равномерной пористостью мякиша. Применение данной закваски в дозировках 35–55% к массе мучной смеси позволило увеличить срок сохранения свежести изделий без микробиологической порчи до четырех суток, что в два раза больше по сравнению с безглютеновым хлебом, приготовленным из амарантовой муки, но без закваски.

Ключевые слова: безглютеновый хлеб, срок годности, микробиологическая порча, плесневение, черствение, закваска, молочнокислые бактерии

Substantiation of rational dosage of "Evitalia" sourdough culture for gluten-free bread from amaranth flour

Irina M. Zharkova¹ zharir@mail.ru  0000-0001-8662-4559
Julia A. Safonova¹ kulakova7@yandex.ru  0000-0002-2995-1905

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The development of recipes and technologies for the production of flour products, which are intended for preventive dietary nutrition, including for people suffering from various forms of gluten intolerance, is urgent. To date, scientists from different countries and technologists of industrial enterprises have developed a fairly large range of gluten-free flour products, in particular, bread. However, the "weak" points of such developments are the low consumer properties of the product, its low nutritional value, short shelf life or high price. Therefore, it is necessary to select raw materials that can improve the organoleptic and physicochemical indicators of the quality of this category of bread, enrich it with essential micronutrients, extend the shelf life of freshness and slow down microbiological spoilage. The aim of the study is to establish a rational dosage of the lactic acid sourdough "Evitalia" in dough based on amaranth flour when making gluten-free bread. The leaven "Evitalia" has a high biological value due to the combination of lactic acid bacteria – probiotics. It was found that bread samples containing lactic acid sourdough "Evitalia" were distinguished by a more pleasant taste and smell with a less pronounced amaranth hue; light and elastic crumb, finer and more uniform crumb porosity. The use of this sourdough in dosages of 35–55% by weight of the flour mixture allowed to increase the shelf life of products without microbiological spoilage up to four days, which is twice as much as compared to gluten-free bread made from amaranth flour, but without sourdough.

Keywords: gluten-free bread, shelf life, microbiological spoilage, mold, stale, leaven, lactic acid bacteria

Введение

В настоящее время важность вклада полноценного питания в формирование и поддержание здоровья людей признана на мировом уровне. Официальные данные свидетельствуют о том, что наиболее высокую летальность в мире провоцируют заболевания неинфекционной этиологии, в частности, сердечно-сосудистые, диабет, атеросклероз, гипертония, ожирение. Серьезным фактором, повышающим риск развития многочисленных неинфекционных заболеваний, является неполноценный рацион питания [1].

Для цитирования

Жаркова И.М., Сафонова Ю.А. Обоснование рациональной дозировки закваски «Эвиталя» для безглютенового хлеба из амарантовой муки // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 3. С. 174–181. doi:10.20914/2310-1202-2021-3-174-181

Среди всего обилия пищевых продуктов особо следует выделить хлебобулочные изделия, ассортимент которых насчитывает тысячи наименований. Для народов, населяющих Россию издавна характерно ежедневное потребление хлеба – источника энергии и многих незаменимых нутриентов [2].

В последние годы на рынке хлебобулочных изделий появились изделия, которые могут быть включены в рацион диетического (лечебного и профилактического) питания людей с различными заболеваниями, однако ассортимент такой

For citation

Zharkova I.M., Safonova Ju. Substantiation of rational dosage of "Evitalia" sourdough culture for gluten-free bread from amaranth flour. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 3. pp. 174–181. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-3-174-181

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

продукции достаточного скуден и не всегда она имеет высокие потребительские характеристики или доступную цену. Это в полной мере относится и к безглютеновому хлебу.

С каждым годом в России, как и во всем мире, все чаще диагностируют заболевания, связанные с различными формами непереносимости глютена (отдельных представителей проламиновой фракции белков злаковых культур). Основные рекомендации медиков по лечению и профилактике данных заболеваний сводятся к соблюдению строгой безглютеновой диеты, исключая из рациона продукты питания, содержащие глютенную фракцию белка [3, 4, 5, 6]. При этом отмечается, что диета должна быть здоровой и полноценной, содержать все необходимые питательные вещества, витамины, минералы вещества и полноценный белок.

Резкое увеличение спроса на безглютеновые продукты питания, которое наблюдалось в двухтысячных годах в странах Европы и Северной Америки, вызвало интерес к данной категории изделий во всем мире. Осведомленность людей о существовании заболеваний, связанных с наличием в продуктах отдельных белковых фракций, становилась все больше, и соответственно, возрастал спрос на безглютеновые продукты. Поэтому производители стали разрабатывать рецептуры и технологии подобной продукции. Рынок безглютеновых продуктов неуклонно растет [7]. Основными ингредиентами являлись рисовая, кукурузная мука и различные виды крахмала (тапиоковый, кукурузный, картофельный). Однако производство безглютеновых мучных изделий сопряжено с рядом технологических сложностей, связанных с отсутствием основных структурообразующих компонентов – клейковинных белков. Глиадин и глютен, как основные белки муки, влияют на эластичность теста и его упругость, поэтому отсутствие их в составе сырья приводит к ухудшению реологических свойств теста и мякиша мучного продукта, в частности, повышается крошковатость мякиша. Можно констатировать, что хлеб является одним из наиболее сложных продуктов питания при производстве безглютеновых альтернатив [4]. Это связано, с одной стороны, с трудностями в поиске ингредиентов, способных в полной мере имитировать технологические свойства пшеничной клейковины в образовании текстуры хлеба [8, 9, 10]. С другой стороны, потребители, соблюдающие безглютеновую диету, зачастую имеют опыт употребления традиционных мучных изделий и вкусовые характеристики «простого» безглютенового

хлеба для них неприемлемы. Графическая интерпретация основных проблем, возникающих при производстве безглютенового хлеба и некоторых путей их решения представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. Основные проблемы при производстве безглютенового хлеба и пути их решения

Figure 1. The main problems in the production of gluten-free bread and ways to solve them

К настоящему времени учеными разных стран и технологами промышленных предприятий разработан достаточно большой ассортимент безглютеновых мучных изделий, в том числе, хлеба. Однако, «слабыми» местами таких разработок являются невысокие потребительские свойства продукции [10], ее низкая пищевая ценность [11], короткий срок хранения [8, 12, 13] или высокая цена [4]. С учетом того, что у пациентов, длительно соблюдающих безглютеновую диету, зачастую отмечается недостаточное потребление растительного белка, кальция, железа, витамина D, фолиевой кислоты, клетчатки при повышенных уровнях потребления жиров, особую актуальность приобретает задача повышения нутритивной плотности обозначенной группы хлебобулочных изделий [11, 14–16]. Это позволит избежать увеличения риска возникновения многих сопутствующих заболеваний, в частности остеопороза, остеопении, микро- и макроцитарной анемии, хронической слабости или неврологических симптомов [3].

Для повышения пищевой ценности безглютенового хлеба используют разнообразное сырье, содержащее дефицитные макро- и микронутриенты, в частности, псевдозлаковые культуры (киноа, амарант) [2, 6, 17], плоды каменного и пробкового дуба [18], молочные продукты (йогурт, творожный сыр) [19], белковые продукты из микроводорослей, насекомых или растительного сырья [20]. Зайцевой Л.В. с соавторами [21] для улучшения пищевой ценности безглютенового хлеба предложено использовать композицию муки из семян чиа, люпиновой муки и переэтерифицированный заменитель молочного жира.

Замедлить процессы микробиологической порчи хлеба можно с помощью различных химических консервантов, например, кислот: молочной, уксусной, пропионовой или их солей, комбинированных химических препаратов или путем применения нетрадиционного растительного сырья, а также заквасок со специально подобранным комплексом микроорганизмов [22–25]. Для решения проблемы быстрого черствения безглютенового хлеба предложено использовать различные гидроколлоиды (ксантан, гуар, каррагинан, камедь рожкового дерева) [26], нетрадиционное сырье, содержащее гидроколлоиды (семена дикого шалфея, базилика или кресс-салата) [8], ферменты, например, мальтогенную амилазу [12], комбинацию хитозана и трансклутаминазы [10], экзополисахариды, продуцируемые молочнокислыми бактериями [27]. Следует отметить, что экзополисахариды могут составить реальную конкуренцию коммерческим гидроколлоидам при производстве безглютеновой продукции.

Улучшение органолептических характеристик безглютенового хлеба, в том числе вкуса и запаха, может достигаться благодаря использованию разнообразных заквасок, в ходе брожения которых происходит накопление специфических соединений (альдегидов, кетонов, кислот и др.) [23].

Цель работы – обоснование целесообразности использования молочнокислой закваски «Эвиталия» для приготовления теста на основе амарантовой муки при выработке безглютенового хлеба и установление ее рациональной дозировки.

Материалы и методы

Выбор закваски «Эвиталия» обусловлен тем, что в ее состав входит комбинация молочнокислых бактерий – пробиотиков: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus* (*L. helveticus*, *L. lactis*, *L. acidophilus*), *Freudenreichii shermanii* subsp. (рисунок 2), благодаря которой в процессе брожения идет накопление веществ, способных улучшить органолептические характеристики безглютенового хлеба, его пищевую ценность (витамины В₁, В₂, В₆, В₁₂, фолиевая кислота, А, С, F, жирные кислоты), а также продляющих срок годности за счет замедления черствения (экзополисахариды) и микробиологической порчи (низин, ацидофилин, лактоцин, пропионовая кислота) [28].

Безглютеновый хлеб из амарантовой муки с использованием молочнокислой закваски «Эвиталия» готовили согласно способу, описанному в источнике [29]. В качестве сырья использовали муку амарантовую первого сорта,

соответствующую требованиям ТУ 9293–004–77872064–2011, крахмал кукурузный (ГОСТ 32159–2013), муку, получаемую из клубней чумы (ТУ 9293–016–778720064–2015), изолят соевого белка, соль поваренную пищевую (ГОСТ Р 51574–2018), сахар белый (ГОСТ 33222–2015), ксантановую камедь (свидетельство о государственной регистрации № ВУ.70.06.01.009.Е.001169.03.13), порошки яблочный и морковный (ТУ 9164–001–18419372), дрожжи хлебопекарные прессованные (ГОСТ Р 54731–2011), закваску «Эвиталия» (свидетельство о государственной регистрации № 77.99.23.3.У.1640.3.07), воду питьевую (СанПин 1.2.3685–21), масло подсолнечное (ГОСТ 1129–2013). Тесто замешивали до получения однородной массы, далее разделяли на куски массой 350 г., укладывали в формы и направляли на 90–120 мин на расстойку в термостат. Поверхность расстойшихся заготовок увлажняли и затем помещали в печь. Продолжительность выпечки составляла 30–50 мин при 180–220 °С.



Рисунок 2. Характеристика микрофлоры молочнокислой закваски «Эвиталия» и ожидаемых эффектов от её применения в хлебопечении

Figure 2. Characteristics of the microflora of the lactic acid starter culture "Evitalia" and the expected effects of its use in baking

В процессе расстойки оценивали газодерживающую способность теста – величину изменения объема куска теста массой 50 г., помещенного в мерный цилиндр при температуре 32±2 °С, а также активную кислотность полуфабриката с помощью рН-метра. У готовых изделий определяли органолептические и физико-химические показатели качества в соответствии со стандартизованными методами анализа: форма, состояние поверхности и мякиша, вкус и запах – ГОСТ 5667–65; влажность мякиша (ГОСТ 21094–75), его кислотность (ГОСТ 5669–96), пористость (ГОСТ 5669–96) и удельный объем (ГОСТ 27669–88).

Способность мякиша связывать воду определяли методом нерастворяющего объема, а его намокаемость – по методике, которая позволяет найти коэффициент намокаемости изделия, характеризующий долю поглощенной изделием влаги.

Для определения соотношения сырьевых компонентов в рецептуре безглютенового хлеба использовали специально разработанный программный продукт, в основе которого решение математической модели, учитывающей относительное изменение суммарной доли незаменимых аминокислот в белке проектируемого изделия по сравнению с идеальным белком. Математическая модель представляет собой целевую функцию:

$$f(x_j, \dots, x_n) = \sum_{l=1}^L \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^m (A_{jl} \cdot C_j^{\delta} \cdot x_j)}{A_l^{\text{эм}} \cdot \sum_{j=1}^m C_j^{\delta} \cdot x_j} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $A_{jl}, A_l^{\text{эм}}$ – количество незаменимой аминокислоты l в белке рецептурного ингредиента j и белке-этalone, соответственно, мг/1 г белка; C_j^{δ} – содержание белка в рецептурном ингредиенте j , %; x_j – количество рецептурного ингредиента j , г; $j = \overline{1, n}, l = \overline{1, L}$. Ограничения накладываются на массовую долю в готовом изделии белков, жиров, углеводов, пищевых волокон и кальция в диапазоне норм потребления данных веществ.

Результаты и обсуждение

Начальный этап работы включал проектирование ряда модельных рецептов теста на основе амарантовой муки для выработки безглютенового хлеба. Дозировка закваски «Эвиталия» находилась в интервале от 15 до 55% к массе мучной смеси. По спроектированным рецептурам осуществляли пробные лабораторные выпечки.

Увеличение дозировки молочнокислой закваски интенсифицирует процесс брожения в тестовых заготовках (рисунок 3), так образцы 4–6 отличались повышенным газообразованием и, соответственно, наблюдалось увеличение объема тестовых заготовок на 15–20% по сравнению с контролем. Наличие в закваске органических кислот и продуктов молочнокислого брожения благоприятно отражалось на жизнедеятельности дрожжевых клеток, так газодерживающая способность теста в процессе расстойки для контрольной пробы за 120 мин выдерживания в термостате составляла 89 см³, тогда как для опытных проб 2 и 3 аналогичный результат был достигнут за 112 мин, а для проб 4; 5 и 6 – за 85 мин, 90 мин и 95 мин, соответственно. Это позволит сократить продолжительность расстойки заготовок теста из амарантовой муки.

Согласно данным, представленным на рисунке 4, можно отметить, что применение

в рецептуре хлеба из амарантовой муки молочнокислой закваски «Эвиталия» отражается на показателе активной кислотности теста, т. е. с увеличением доли закваски наблюдается снижение pH теста с 5,65 (контроль) до 4,85 (образец 6). Опытные пробы имеют начальную кислотность выше, что способствует активизации микробиологических и биохимических процессов и возможно сокращение продолжительности расстойки тестовых заготовок на 25–35 мин для образцов 4–6 по сравнению с контролем.

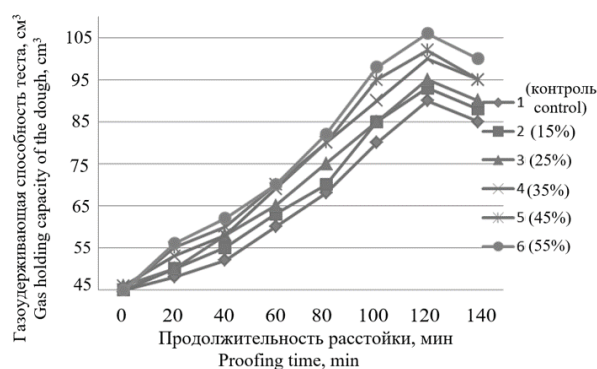


Рисунок 3. Изменение газодерживающей способности теста в процессе расстойки

Figure 3. Change in the gas holding capacity of the dough during the proving process

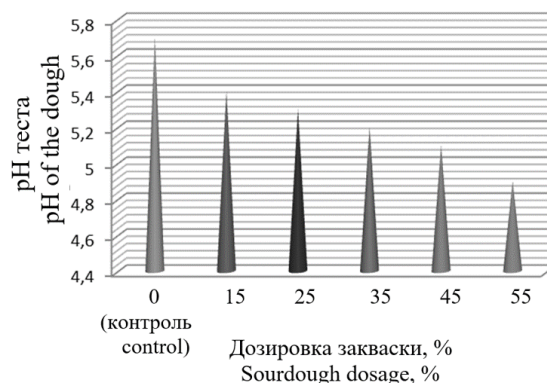


Рисунок 4. Влияние дозировки закваски «Эвиталия» на активную кислотность (pH) теста на основе амарантовой муки для безглютенового хлеба

Figure 4. Influence of the dosage of the Evitalia starter culture on the active acidity (pH) of dough based on amaranth flour for gluten-free bread

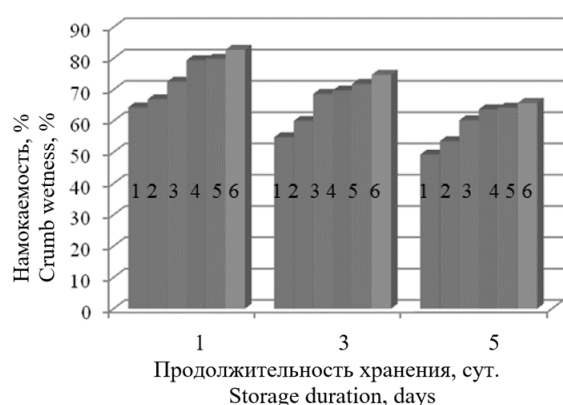
В ходе исследований установлено, что образцы хлеба, в составе которых присутствовала молочнокислая закваска «Эвиталия» отличались более приятным вкусом и запахом с менее выраженным амарантовым оттенком; более светлым и эластичным мякишем, более мелкой и равномерной пористостью мякиша. Пористость хлеба с дозировкой закваски 55% почти на 2% превышала показатель контрольного образца, кислотность – в 1,6 раз, что оказывает положительное воздействие на вкус изделий (таблица 1).

Показатели качества безглютенового амарантового хлеба

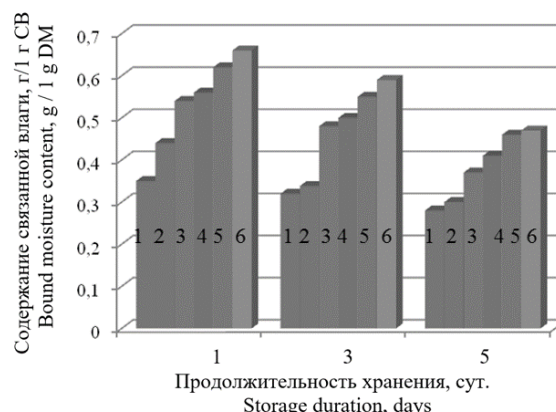
Table 1.

Quality indicators of gluten-free amaranth bread

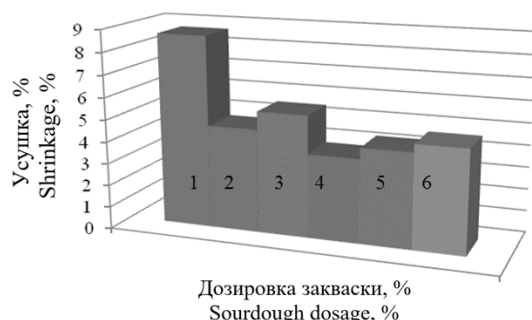
Показатель Indicators	Значение для изделий по образцам*: Value for products based on samples *:					
	контроль control	2	3	4	5	6
Органолептические показатели Organoleptic indicators						
Внешний вид: Appearance						
Форма Shape	Правильная, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, с несколько выпуклой верхней коркой Correct, corresponding to the bread form in which the baked goods were made, with a slightly convex upper crust					
Поверхность Surface	Слегка шероховатая, без подрывов Slightly rough, no debris					
Цвет корки Peel color	От светло-коричневого до коричневого Light brown to brown					
Состояние мякиша: Crumb condition:	Хорошо пропеченный мякиш, без следов нечистоты Well-baked crumb, no traces of impurities					
Пористость Porosity	Развитая, неравномерная Developed, uneven					
	Крупнопористая Large pore	Среднепористая Medium-porous			Среднепористая Medium-porous	
Вкус Taste	Свойственный изделиям из амарантовой муки Peculiar to products made from amaranth flour			Более приятный вкус, без ощущения специфического амарантового привкуса A more pleasant taste, without the feeling of a specific amaranth aftertaste		
Запах Smell	С оттенком, присущим хлебу из амарантовой муки With a touch of amaranth flour bread			С наименее выраженным оттенком, присущим хлебу из амарантовой муки With the least pronounced shade inherent in amaranth flour bread		Без ярко выраженного оттенка, присущим хлебу из амарантовой муки Without the pronounced shade inherent in amaranth flour bread
Физико-химические показатели Physical and chemical indicators						
Массовая доля влаги, % Moisture content, %	49,5	49,0	49,0	50,0	49,5	49,7
Кислотность мякиша, град. Crumb acidity, degrees	1,5	1,75	1,85	2,05	2,2	2,45
Пористость, % Porosity, %	61,88	62,03	62,54	63,05	62,89	63,05
Удельный объем, см³/г Specific volume, cm³/g	1,96	1,96	1,963	1,964	1,97	1,98



(a)



(b)



(c)

Рисунок 5. Изменение показателя в процессе хранения безглютенового амарантового хлеба с различными дозировками закваски «Эвиталия» (%): (а) намокаемость; (б) содержание связанной влаги; (с) усушка мякиша для образцов – 1 – 0 (контроль), 2 – 15, 3 – 25, 4 – 35, 5 – 45, 6 – 55

Figure 5. Change in the indicator during storage of gluten-free amaranth bread with different dosages of Evitalia sourdough culture (%): (a) wetness; (b) bound moisture content; (c) crumb shrinkage for samples - 1 - 0 (control), 2 - 15, 3 - 25, 4 - 35, 5 - 45, 6 - 55

Изучение процесса хранения безглютенового хлеба из амарантовой муки позволило оценить степень микробиологической порчи готовых изделий. Визуальные признаки плесневения для контрольного образца наблюдались на вторые сутки, так были отмечены очаги видимых колоний плесневых грибов и резкий выраженный неприятный запах. В опытных изделиях, приготовленных с применением молочнокислой закваски «Эвиталия» в дозировке 35–55%, признаки плесневения появлялись на пятые сутки хранения, что объясняется замедлением процесса микробиологической порчи за счёт наличия в тесте пропионовой кислоты, которая является результатом жизнедеятельности бактерий *Propionibacterium freudenreichii shermanii* subsp. вносимых с закваской, а также бактериоцинов низина, ацидофилина и лактоцина, образующихся молочнокислыми бактериями *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus acidophilus*.

Заключение

Внесение в рецептуру безглютенового хлеба из амарантовой муки молочнокислой закваски «Эвиталия» в дозировках 35–55% к массе мучной смеси благоприятно отразилось на потребительских характеристиках готовых изделий. Опытные образцы хлеба, в составе которых присутствовала молочнокислая закваска «Эвиталия» отличались более приятным вкусом и запахом с менее выраженным амарантовым оттенком; светлым и эластичным мякишем, более

мелкой и равномерной пористостью мякиша. Показатель пористости опытных проб увеличился на 1,9%, а усушка сократилась в 1,8 раза, по сравнению с контрольным изделием, приготовленным без закваски. Значения намокаемости мякиша амарантового хлеба с закваской на первые и пятые сутки хранения возрастали на 28,6–33,4%, содержание связанной влаги увеличилось на 88,6–67,8% соответственно, по сравнению с изделием без закваски. Применение данной закваски в указанных дозировках позволило увеличить срок сохранения свежести изделий без микробиологической порчи до четырех суток, что в два раза больше по сравнению с безглютеновым хлебом, приготовленным из амарантовой муки, но без закваски.

Готовый безглютеновый хлеб из амарантовой муки содержит, %: белка – 6,3; углеводов – 41,7; пищевых волокон – 2,17, а также 124 мг/100 г. кальция.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке прикладных научных исследований Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по соглашению о предоставлении субсидии № 14.577.21.0256 от 26 сентября 2017 г. Уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI5 7717X0256.

Литература

- 1 Всемирная организация здравоохранения. Европейское региональное бюро. Доклад о состоянии здравоохранения в европе 2018: Больше, чем просто цифры: фактические данные для всех. URL: <https://www.euro.who.int/ru/data-and-evidence/european-health-report/european-health-report-2018-more-than-numbers-evidence-for-all-2018>
- 2 Бавыкина И.А., Звягин А.А., Мирошниченко Л.А. и др. Эффективность продуктов из амаранта в безглютеновом питании детей с непереносимостью глютена // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 2. С. 91–99.
- 3 Gładys K., Dardzińska J., Guzek M., Adrych K. et al. Expanded Role of a Dietitian in Monitoring a Gluten-Free Diet in Patients with Celiac Disease: Implications for Clinical Practice // Nutrients. 2021. V. 13. №. 6. P. 1859. doi: 10.3390/nu13061859
- 4 El Khoury D., Balfour-Ducharme S., Joye J. A Review on the Gluten-Free Diet: Technological and Nutritional Challenges // Nutrients. 2018. V. 10. № 10. P. 1410. doi: 10.3390/nu10101410
- 5 Bascuñán K.A., Vespa M.C., Araya M. Celiac disease: understanding the gluten-free diet // European Journal of Nutrition. 2017. V. 56. № 2. P. 449–459. doi: 10.1007/s00394-016-1238-5
- 6 Жаркова И.М., Звягин А.А., Мирошниченко Л.А. и др. Оптимизация безглютеновой диеты новыми продуктами // Вопросы детской диетологии. 2017. № 6. С. 59–65.
- 7 Gorgitano M.T., Sodano V. Gluten-Free Products: From Dietary Necessity to Premium Price Extraction Tool // Nutrients. 2019. V. 11. № 9. P. 1997. doi: 10.3390/nu11091997
- 8 Salehi F. Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review // Food science & nutrition. 2019. V. 7. №. 11. P. 3391–3402. doi: 10.1002/fsn3.1245.
- 9 Biesiekierski J.R. What is gluten? // J. Gastroenterol Hepatol. 2017. V. 32. №. 1. P. 78–81. doi: 10.1111/jgh.13703
- 10 Silva H.A., Paiva E.G., Lisboa H.M., Duarte E. et al. Role of chitosan and transglutaminase on the elaboration of gluten-free bread // J. Food Sci Technol. 2020. V. 57. №. 5. P. 1877–1886. doi: 10.1007/s13197-019-04223-5
- 11 Allen B., Orfila C. The Availability and Nutritional Adequacy of Gluten-Free Bread and Pasta // Nutrients. 2018. V. 10. №. 10. P. 1370. doi: 10.3390/nu10101370
- 12 Haghighat-Kharazi S., Reza Kasaai M., Milani J.M., Khajeh K. Antistaling properties of encapsulated maltogenic amylase in gluten-free bread // Food Science & Nutrition. 2020. V. 8. №. 11. P. 5888–5897. doi: 10.1002/fsn3.1865

- 13 Azizi S., Azizi M.H., Moogouei R., Rajaei P. The effect of Quinoa flour and enzymes on the quality of gluten-free bread // *Food Science & Nutrition*. 2020. V. 8. №. 5. P. 2373–2382. doi: 10.1002/fsn3.1527
- 14 Sue A., Dehlsen K., Ooi C. Y. Paediatric patients with coeliac disease on a gluten-free diet: nutritional adequacy and macro- and micronutrient imbalances // *Current gastroenterology reports*. 2018. V. 20. №. 1. P. 1–12. doi:10.1007/s11894-018-0606-0
- 15 Fry L., Madden A.M., Fallaize R. An investigation into the nutritional composition and cost of gluten-free versus regular food products in the UK // *J. Hum. Nutr. Diet*. 2018. № 31. P. 108–120.
- 16 Romão B., Botelho R.B.A., Alencar E.R., da Silva V.S.N. et al. Chemical Composition and Glycemic Index of Gluten-Free Bread Commercialized in Brazil // *Nutrients*. 2020. V. 12. №. 8. P. 2234. doi: 10.3390/nu12082234.
- 17 Урубков С.А., Хованская С.С., Смирнов С.О. Содержание селена в безглютеновой пищевой продукции // *Вопросы питания*. 2021. Т. 90. № 1 (533). С. 102–107.
- 18 Beltrão Martins R., Gouvêas L., Nunes M.C., Alcides Peres J. et al. Acorn Flour as a Source of Bioactive Compounds in Gluten-Free Bread // *Molecules*. 2020. V. 25. №. 16. P. 3568. doi: 10.3390/molecules25163568
- 19 Graça C., Mota J., Lima A., Boavida Ferreira R. et al. Glycemic Response and Bioactive Properties of Gluten-Free Bread with Yogurt or Curd-Cheese Addition // *Foods*. 2020. V. 9. №. 10. P. 1410. doi: 10.3390/foods9101410
- 20 Skendi A., Papageorgiou M., Varzakas T. High Protein Substitutes for Gluten in Gluten-Free Bread // *Foods*. 2021. V. 10. №. 9. P. 1997. doi: 10.3390/foods10091997
- 21 Zaytseva L.V., Yudina T.A., Ruban N.V., Bessonov V.V. et al. Modern approaches to the development of gluten-free bakery formulations // *Voprosy pitaniia*. 2020. V. 89. №. 1. P. 77–85. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10009
- 22 Дубровская Н.О., Кузнецова Л.И., Парахина О.И. Способ повышения микробиологической устойчивости безглютенового хлеба // *Хлебопечение России*. 2017. № 4. С. 22–24.
- 23 Цыганова Т.Б., Невская Е.В., Толмачева И.П., Головачева О.В. Разработка закваски на основе штамма *Lactobacillus acidophilus* а 146 с использованием питательных смесей из разных видов муки // *Устойчивое развитие, экологически безопасные технологии и оборудование для переработки пищевого сельскохозяйственного сырья; импортоопережение: мат. междунар. науч.-практ. конф., Краснодар, 21–22 июня 2016 г.* 2016. С. 314–320.
- 24 Невская Е.В., Цыганова Т.Б., Головачева О.В. Антимикробные свойства молочнокислых бактерий, используемых в хлебопечении для приготовления заквасок // *Кондитерское и хлебопекарное производство*. 2016. № 7–8 (166). С. 46–47.
- 25 Шмалько Н.А. Современные технологии ржано-пшеничного хлеба с использованием амарантовой муки // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2021. № 2–3 (380–381). С. 6–9.
- 26 Ren Y., Linter B.R., Linforth R., Foster T.J. A comprehensive investigation of gluten free bread dough rheology, proving and baking performance and bread qualities by response surface design and principal component analysis // *Food & function*. 2020. V. 11. №. 6. P. 5333–5345. doi: 10.1039/d0fo00115e.
- 27 Lynch K.M., Coffey A., Arendt E.K. Exopolysaccharide producing lactic acid bacteria: Their techno-functional role and potential application in gluten-free bread products // *Food research international*. 2018. V. 110. P. 52–61. doi: 10.1016/j.foodres.2017.03.012
- 28 Био-комплекс URL: <http://www.bio-complex.ru/evitaliya/kompleks-sukhikh-mikroorganizmov-probiotikov-zakvaska>
- 29 Пат. № 2718517, RU, A21 D 13/04. Способ производства безглютенового хлеба / Жаркова И.М., Гусинович В.Г., Самохвалов А.А., Колева Т.Н., Тихонова М.Ю., Слепокурова Ю.И. № 2019122617; Заявл. 18.07.2019; Опубл. 08.04.2020, Бюл. № 10.

References

- 1 World Health Organization. Regional Office for Europe. Europe health report 2018: More than numbers: evidence for all. Available at: <https://www.euro.who.int/ru/data-and-evidence/european-health-report/european-health-report-2018/european-health-report-2018-more-than-numbers-evidence-for-all-2018> (in Russian).
- 2 Bavykina I.A., Zvyagin A.A., Miroshnichenko L.A. et al. The effectiveness of amaranth products in gluten-free nutrition of children with gluten intolerance. *Nutrition issues*. 2017. vol. 86. no. 2. pp. 91–99. (in Russian).
- 3 Gładys K., Dardzińska J., Guzek M., Adrych K. et al. Expanded Role of a Dietitian in Monitoring a Gluten-Free Diet in Patients with Celiac Disease: Implications for Clinical Practice. *Nutrients*. 2021. vol. 13. no. 6. pp. 1859. doi: 10.3390/nu13061859
- 4 El Khoury D., Balfour-Ducharme S., Joye J. A Review on the Gluten-Free Diet: Technological and Nutritional Challenges. *Nutrients*. 2018. vol. 10. no. 10. pp. 1410. doi: 10.3390/nu10101410
- 5 Bascuñán K.A., Vespa M.C., Araya M. Celiac disease: understanding the gluten-free diet. *European Journal of Nutrition*. 2017. vol. 56. no. 2. pp. 449–459. doi: 10.1007/s00394-016-1238-5
- 6 Zharkova I.M., Zvyagin A.A., Miroshnichenko L.A. and other Optimization of a gluten-free diet with new products. *Questions of children's dietology*. 2017. no. 6. pp. 59–65. (in Russian).
- 7 Gorgitano M.T., Sodano V. Gluten-Free Products: From Dietary Necessity to Premium Price Extraction Tool. *Nutrients*. 2019. vol. 11. no. 9. pp. 1997. doi: 10.3390/nu11091997
- 8 Salehi F. Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review. *Food science & nutrition*. 2019. vol. 7. no. 11. pp. 3391–3402. doi: 10.1002/fsn3.1245
- 9 Biesiekierski J.R. What is gluten? *J. Gastroenterol Hepatol*. 2017. vol. 32. no. 1. pp. 78–81. doi: 10.1111/jgh.13703
- 10 Silva H.A., Paiva E.G., Lisboa H.M., Duarte E. et al. Role of chitosan and transglutaminase on the elaboration of gluten-free bread. *J. Food Sci Technol*. 2020. vol. 57. no. 5. pp. 1877–1886. doi: 10.1007/s13197-019-04223-5
- 11 Allen B., Orfila C. The Availability and Nutritional Adequacy of Gluten-Free Bread and Pasta. *Nutrients*. 2018. vol. 10. no. 10. pp. 1370. doi: 10.3390/nu10101370
- 12 Haghighat-Kharazi S., Reza Kasaii M., Milani J.M., Khajeh K. Antistaling properties of encapsulated maltogenic amylase in gluten-free bread. *Food Science & Nutrition*. 2020. vol. 8. no. 11. pp. 5888–5897. doi: 10.1002/fsn3.1865

- 13 Azizi S., Azizi M.H., Moogouei R., Rajaei P. The effect of Quinoa flour and enzymes on the quality of gluten-free bread. *Food Science & Nutrition*. 2020. vol. 8. no. 5. pp. 2373–2382. doi: 10.1002/fsn3.1527
- 14 Sue A., Dehlens K., Ooi C. Y. Paediatric patients with coeliac disease on a gluten-free diet: nutritional adequacy and macro- and micronutrient imbalances. *Current gastroenterology reports*. 2018. vol. 20. no. 1. pp. 1-12. doi:10.1007/s11894-018-0606-0
- 15 Fry L., Madden A.M., Fallaize R. An investigation into the nutritional composition and cost of gluten-free versus regular food products in the UK. *J. Hum. Nutr. Diet*. 2018. no. 31. pp. 108–120.
- 16 Romão B., Botelho R.B.A., Alencar E.R., da Silva V.S.N. et al. Chemical Composition and Glycemic Index of Gluten-Free Bread Commercialized in Brazil. *Nutrients*. 2020. vol. 12. no. 8. pp. 2234. doi: 10.3390/nu12082234.
- 17 Urubkov S.A., Khovanskaya S.S., Smirnov S.O. Selenium content in gluten-free food products. *Nutrition issues*. 2021. vol. 90. no. 1 (533). pp. 102-107. (in Russian).
- 18 Beltrão Martins R., Gouvêas I., Nunes M.C., Alcides Peres J. et al. Acorn Flour as a Source of Bioactive Compounds in Gluten-Free Bread. *Molecules*. 2020. vol. 25. no. 16. pp. 3568. doi: 10.3390/molecules25163568
- 19 Graça C., Mota J., Lima A., Boavida Ferreira R. et al. Glycemic Response and Bioactive Properties of Gluten-Free Bread with Yoghurt or Curd-Cheese Addition. *Foods*. 2020. vol. 9. no. 10. pp. 1410. doi: 10.3390/foods9101410
- 20 Skendi A., Papageorgiou M., Varzakas T. High Protein Substitutes for Gluten in Gluten-Free Bread. *Foods*. 2021. vol. 10. no. 9. pp. 1997. doi: 10.3390/foods10091997
- 21 Zaytseva L.V., Yudina T.A., Ruban N.V., Bessonov V.V. et al. Modern approaches to the development of gluten-free bakery formulations. *Voprosy pitaniia*. 2020. vol. 89. no. 1. pp. 77-85. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10009
- 22 Dubrovskaya N.O., Kuznetsova L.I., Parakhina O.I. A method for increasing the microbiological stability of gluten-free bread. *Khlebopechenie Rossii*. 2017. no. 4. pp. 22-24. (in Russian).
- 23 Tsyganova T.B., Nevskaya E.V., Tolmacheva I.P., Golovacheva O.V. Development of a starter culture based on the lactobacillus acidophilus a 146 strain using nutritional mixtures of different types of flour. Sustainable development, environmentally friendly technologies and equipment for processing food agricultural raw materials; import operezhdenie: mat. international scientific-practical Conf., Krasnodar, June 21–22, 2016. pp. 314–320. (in Russian).
- 24 Nevskaya E.V., Tsyganova T.B., Golovacheva O.V. Antimicrobial properties of lactic acid bacteria used in baking for the preparation of starter cultures. *Confectionery and bakery production*. 2016. no. 7-8 (166). pp. 46–47. (in Russian).
- 25 Shmalko N.A. Modern technologies of rye-wheat bread using amaranth flour. *News of higher educational institutions. Food technology*. 2021. no. 2-3 (380-381). pp. 6-9. (in Russian).
- 26 Ren Y., Linter B.R., Linforth R., Foster T.J. A comprehensive investigation of gluten free bread dough rheology, proving and baking performance and bread qualities by response surface design and principal component analysis. *Food & function*. 2020. vol. 11. no. 6. pp. 5333-5345. doi: 10.1039/d0fo00115e
- 27 Lynch K.M., Coffey A., Arendt E.K. Exopolysaccharide producing lactic acid bacteria: Their techno-functional role and potential application in gluten-free bread products. *Food research international*. 2018. vol. 110. pp. 52-61. doi: 10.1016/j.foodres.2017.03.012
- 28 Bio-complex. Available at: <http://www.bio-complex.ru/evitaliya/kompleks-sukhikh-mikroorganizmov-probiotikov-zakvaska> (in Russian).
- 29 Zharkova I.M., Gustinovich V.G., Samokhvalov A.A., Koleva T.N., Tikhonova M.Yu., Slepokurova Yu.I. Method for the production of gluten-free bread. Patent RF, no. 2718517, 2020.

Сведения об авторах

Ирина М. Жаркова д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, zharir@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8662-4559>

Юлия А. Сафонова к.т.н., доцент, кафедра высшей математики и информационных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kulakova7@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2995-1905>

Information about authors

Irina M. Zharkova Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, zharir@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8662-4559>

Julia A. Safonova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, higher mathematics and information technologies department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kulakova7@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2995-1905>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 09/07/2021	После редакции 21/07/2021	Принята в печать 02/08/2021
Received 09/07/2021	Accepted in revised 21/07/2021	Accepted 02/08/2021