ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

FOOD TECHNOLOGY

УДК 664.66

Оценка качества композитного хлеба из полбы с различными способами обработки семян амаранта

Базина И.П., Фролов Д.И.

Аннотация. В статье оценивалась возможность получения высококачественного композитного хлеба из полбы с добавлением амаранта, подвергнутого различным способам обработки. Использовались методы анализа хлебопекарных параметров, текстурного анализа мякиша и цифрового анализа изображений его структуры. В качестве объектов исследования выступали амарантовая мука из сырого зерна, мука из взорванного амаранта, пропаренное целое взорванное зерно, а также пропаренные варианты сырой и взорванной муки; все виды амаранта вносились с замещением 20% муки из полбы. Сырая и пропаренная амарантовая мука оказались наиболее подходящими ингредиентами, их добавление положительно повлияло на большинство показателей качества: выход хлеба, объем и твердость мякиша, однако пропаренная мука снижала эластичность и пористость мякиша. Следующим по пригодности является пропаренное целое взорванное зерно амаранта, не ухудшившее объем и твердость мякиша по сравнению с контролем. Новизна работы заключается в комплексной сравнительной оценке влияния различных способов обработки семян амаранта на качество композитного хлеба из полбы, что позволяет обоснованно выбирать форму амаранта для обогащения хлебобулочных изделий.

Ключевые слова: полба, амарант, композитный хлеб, мякиш, текстура, пористость.

Для цитирования: Базина И.П., Фролов Д.И. Оценка качества композитного хлеба из полбы с различными способами обработки семян амаранта // Инновационная техника и технология. 2026. Т. 13. № 4. С. 7–12.

Quality assessment of composite spelt bread containing amaranth seeds subjected to various processing methods

Bazina I.P., Frolov D.I.

Abstract. This study evaluated the feasibility of producing high-quality composite bread made from spelt flour supplemented with amaranth subjected to various processing methods. The research employed methods for analyzing baking parameters, crumb texture, and the digital imaging of crumb structure. The amaranth ingredients tested included raw amaranth flour, flour made from popped amaranth, whole popped amaranth grains (steamed), and steamed versions of both raw and popped amaranth flour; in each case, the amaranth component replaced 20% of the spelt flour. Raw and steamed amaranth flours proved to be the most suitable ingredients: their inclusion positively influenced several quality indicators–such as bread yield, loaf volume, and crumb hardness–though the steamed flour did reduce crumb elasticity and porosity. The next most suitable option was steamed whole popped amaranth grains, which did not negatively affect loaf volume or crumb hardness compared to the control samples. The novelty of this work lies in its comprehensive comparative assessment of how different processing methods for amaranth seeds affect the quality of composite spelt-based bread, providing a sound basis for selecting the optimal form of amaranth for the enrichment of bakery products.

Keywords: spelt, amaranth, composite bread, crumb, texture, porosity.

For citation: Bazina I.P., Frolov D.I. Quality assessment of composite spelt bread containing amaranth seeds subjected to various processing methods. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2026. Vol. 13. No. 4. pp. 7–12. (In Russ.).

Введение

Концепция композитных продуктов в хлебопечении не является новой. Она была предложена с целью определения комбинаций пшеницы с другими несодержащими глютен злаками или другим сырьем, обеспечивающих повышенную питательную ценность и приемлемые технологические характеристики [1]. Зерно амаранта признано перспективным несодержащим глютен материалом для композитных хлебобулочных изделий [2, 3].

Амарант относится к семейству псевдозлаков, что означает, что ботанически он не принадлежит к злакам, но проявляет схожие свойства. Сегодня он недостаточно используется, но вызывает все больший интерес благодаря своей питательной ценности и потенциалу выращивания в экологически чистой среде. Его питательная ценность выше, чем у большинства злаков, благодаря высокому содержанию белка, сбалансированному аминокислотному составу, высокому содержанию минеральных веществ, высокому уровню токотриенолов и сквалена [4]. Было доказано, что амарант оказывает выраженный холестериноснижающий эффект у крыс и цыплят. Амарант может потребляться в различных видах: поджаренным, взорванным, экструдированным или измельченным в муку. Его можно употреблять отдельно или в качестве ингредиента различных продуктов на зерновой основе, таких как хлеб, кексы, печенье, маффины, блины и т.д. Большинство опубликованных результатов сходятся в том, что уровни включения до 25 г/100 г являются наиболее приемлемыми в хлебопечении [5].

В данной работе исследуется потенциал различным образом обработанного зерна амаранта (измельченного, взорванного, пропаренного и комбинированного) в производстве композитного хлеба из полбы и амаранта. Все варианты зерна амаранта включались при уровне замещения 20%.

Объекты и методы исследований

Мука из полбы была приобретена в магазине. Семена амаранта (Amaranthus cruentus) были получены на местном рынке. Семена амаранта взрывали на алюминиевой горячей плите при 200 °С в течение 10 с. Муку из взорванного амаранта получали путем измельчения взорванных семян на молотковой мельнице. Сырую амарантовую муку готовили путем пропускания целых зерен амаранта через мельницу. Фракцию отрубей отбрасывали. Пропаривание проводили путем смешивания материала, подлежащего пропариванию (муки или взорванных семян), с частью горячей воды и кипячения в течение нескольких минут. Перед смешиванием с другими ингредиентами пропаренный материал охлаждали до комнатной температуры.

Для разработки композитного хлеба из полбы и амаранта использовали модифицированную процедуру хлебопечения [6] и стандартную рецептуру

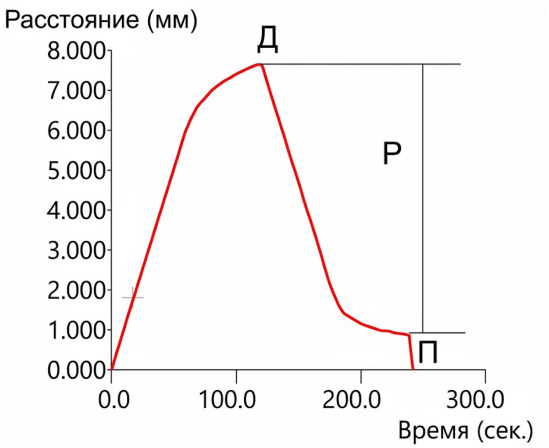


Рис. 1. Схема типичных кривых расстояние-время (элементы части восстановления: Д – общая деформация, Р – упругая деформация, П – пластическая деформация)

хлеба из полбы [7]. На основе литературных данных и предварительных экспериментов по выпечке в лаборатории муку из полбы замещали 20% различных форм амаранта.

Текстурный анализ мякиша выполняли на анализаторе текстуры. Твердость мякиша определяли в соответствии со стандартным методом. Эластичность мякиша определяли путем записи кривой восстановления. Измерение проводили в режиме сжатия при постоянной силе 0,7 Н с выдержкой в течение 300 с. По истечении этого периода нагрузку снижали до нуля и давали мякишу восстановиться в течение того же периода времени. Скорости предварительного, основного и завершающего испытаний составляли 1,0/0,5/10,0 мм/с соответственно. Изменения расстояния во времени регистрировали в ходе измерения (рис. 1). По кривым расстояние-время можно определить общую (D), упругую (R) и пластическую (P) деформации. Относительную эластичность рассчитывали как отношение упругой деформации к общей [8].

Для получения изображений мякиша хлеба ломтики хлеба из центральной части каждого батона сканировали на планшетном сканере с разрешением 300 dpi. Анализ изображений мякиша выполняли с помощью программного обеспечения ImageJ. Каждое цветное изображение преобразовывали в 8-битное полутоновое. Сегментацию проводили с применением алгоритма Оцу. Структуру мякиша образцов хлеба характеризовали путем расчета количества пор на см², средней площади пор и относительной пористости (отношение площади пор к общей площади).

Все анализы выполнялись как минимум в трех повторностях, сообщались средние значения. Дисперсионный анализ выполняли для анализа вариации данных (программный пакет Statistica 10). Средние значения считались статистически различающимися при $p \leq 0,05$.

Таблица 1 – Параметры выпечки композитного хлеба из полбы и амаранта

Тип обработки семян амаранта	Тип хлеба	Объемный выход (см³)	Выход хлеба (%)	Потери при выпечке (%)
–	Контроль	499,47	144,05	1,11
Измельчение	Сырая амарантовая мука	520,89	147,74	1
Взрывание и измельчение	Мука из взорванного амаранта	465,28	149,89	0,45
Измельчение и пропаривание	Пропаренная амарантовая мука	508,52	146,01	0,97
Взрывание и пропаривание	Пропаренное целое взорванное зерно амаранта	491,04	145,01	1,07
Взрывание, измельчение и пропаривание	Пропаренная мука из взорванного амаранта	420,89	145,01	1,07

Таблица 2 – Свойства мякиша композитного хлеба из полбы и амаранта

Тип обработки семян амаранта	Тип хлеба	Твердость мякиша (Н)	Относительная эластичность мякиша (%)
–	Контроль	8,29	79,9
Измельчение	Сырая амарантовая мука	6,26	78,3
Взрывание и измельчение	Мука из взорванного амаранта	10,68	83,5
Измельчение и пропаривание	Пропаренная амарантовая мука	6,92	63,2
Взрывание и пропаривание	Пропаренное целое взорванное зерно амаранта	8,9	65,9
Взрывание, измельчение и пропаривание	Пропаренная мука из взорванного амаранта	16,22	57,6

Таблица 3 – Структура мякиша (цифровой анализ изображений) композитного хлеба из полбы и амаранта

Тип обработки семян амаранта	Тип хлеба	Пор/см²	Средняя площадь пор (мм²)	Относительная пористость (%)
–	Контроль	126	0,302	38,28
Измельчение	Сырая амарантовая мука	120	0,398	47,76
Взрывание и измельчение	Мука из взорванного амаранта	101	0,361	36,68
Измельчение и пропаривание	Пропаренная амарантовая мука	110	0,303	33,35
Взрывание и пропаривание	Пропаренное целое взорванное зерно амаранта	104	0,373	38,79
Взрывание, измельчение и пропаривание	Пропаренная мука из взорванного амаранта	138	0,274	38,24

Результаты и их обсуждение

Параметры, описывающие хлебопекарное качество хлеба, представлены в таблице 1. Объемный выход снижался для образцов, изготовленных с использованием непропаренной и пропаренной муки из взорванного амаранта, а также пропаренного целого взорванного зерна амаранта. В остальных случаях объемный выход существенно не отличался от контроля. Объемный выход хлеба с добавлением сырой и пропаренной амарантовой муки показал даже более высокий объемный выход, хотя увеличение не было статистически значимым. Добавление сырой и пропаренной амарантовой муки и муки из взорванного амаранта значительно увеличило выход хлеба (146–147,7%) по сравнению с контролем (144%). Потери при выпечке существенно не отличались от контроля, за исключением того, что они были намного ниже для хлеба с добавлением муки из взорванного амаранта.

Важными показателями качества хлеба являются свойства мякиша, твердость и эластичность. Добавление как сырой, так и пропаренной амарантовой муки значительно размягчило мякиш хлеба, тогда как непропаренная и пропаренная мука из взорванного амаранта и пропаренное целое зерно амаранта значительно увеличили твердость мякиша (таблица 2). Относительная эластичность мякиша описывает долю восстанавливаемой деформации в мякише. Сырая амарантовая мука и мука из взорванного амаранта улучшили эластичность мякиша, тогда как другие формы амаранта значительно снизили эластичность.

Результаты анализа зернистости мякиша обобщены в таблице 3. Были обнаружены значительные различия между несколькими образцами в отношении количества пор, средней площади пор и относительной пористости. Наибольшая разница в количестве пор была между хлебом с добавлением муки из взорванного амаранта (101 пор/см²) и про-

паренного целого взорванного зерна амаранта (138 пор/см²). Три типа добавок амаранта (сырая амарантовая мука, пропаренная и непропаренная мука из взорванного амаранта) показали тенденцию к увеличению размера пор, хотя и незначительно по сравнению с контролем; пропаренная амарантовая мука не отличалась от контроля по размеру пор, тогда как пропаренное целое взорванное зерно амаранта уменьшило размер пор, но также незначительно по сравнению с контролем. Что касается относительной пористости, образцы хлеба можно разделить на 3 группы: значительно наибольшая относительная пористость наблюдалась у хлеба с добавлением сырой амарантовой муки, тогда как наименьшая относительная пористость была у хлеба с пропаренной амарантовой мукой.

Принимая во внимание наиболее важные свойства, определяющие качество хлеба, данное исследование показало, что сырая и пропаренная амарантовая мука являются наиболее подходящими ингредиентами для включения в рецептуру хлеба. Их добавление положительно повлияло на большинство показателей качества: выход хлеба, объем и твердость мякиша. Основным недостатком пропаренной амарантовой муки может быть ее негативное влияние на эластичность мякиша и относительную пористость. Следующим по пригодности в хлебопечении ингредиентом является пропаренное целое взорванное зерно амаранта, поскольку его добавление не ухудшило объем и твердость мякиша по сравнению с контролем.

Различное влияние по-разному обработанного зерна амаранта на качество хлеба, вероятно, является следствием различных факторов: характеристик нативного амарантового крахмала, степени повреждения и клейстеризации крахмала в процессе обработки (измельчение, взрывание, пропаривание), наличия поверхностно-активных компонентов и т.д. Положительное влияние сырой и взорванной амарантовой муки на эластичность мякиша обычно объясняется высоким содержанием полярных липидов в амаранте, которые могут оказывать газостабилизирующий эффект [9], хотя взрывание может вызвать снижение содержания полярных липидов на 10%, как показали авторы [10], хотя это не было специально подтверждено в случае взрывания A. cruentus. Высокое содержание липидов в амаранте также связывают с эффектом размягчения мякиша.

Негативное влияние пропаривания на эластичность мякиша может быть обусловлено эффектом более высокой степени набухания крахмала, вызванного пропариванием. В процессе выпечки хлеба крахмал в тесте служит температурно-зависимым стоком для воды, поскольку он поглощает воду из глютена путем клейстеризации, загущает тесто, стабилизирует газовые ячейки и предотвращает разрушение хлеба при охлаждении. Крахмал практически задает структуру выпеченной системы. Следовательно, состояние крахмала в значительной степени определяет текстуру выпеченного продукта. В процессе пропаривания крахмал подвергается влаготепловой обработке. Этот процесс вызывает физическую модификацию (набухание) крахмала без клейстеризации и повреждения целостности гранул. Набухшая гранула крахмала, встроенная в глютеновую сеть, могла нарушить естественно слабую глютеновую сеть полбы, тем самым ухудшив эластичность мякиша.

Во время взрывания зерна амаранта происходит частичная клейстеризация крахмала. Негативное влияние муки из взорванного амаранта, как пропаренной, так и непропаренной, на твердость и эластичность мякиша, вероятно, обусловлено более высоким уровнем предварительно клейстеризованного крахмала или комбинацией набухшего и частично предварительно клейстеризованного крахмала, что может ухудшить текстуру мякиша хлеба. Будет ли предварительно клейстеризованный крахмал положительно влиять на мякиш или нет, зависит от многих факторов (баланс между ингредиентами в рецептуре, происхождение крахмала, степень амилолитической деградации), и в литературе сообщалось как о положительных, так и об отрицательных эффектах.

Выводы

В композитном хлебе из полбы и амаранта различным образом обработанное зерно амаранта оказало различное влияние на качество хлеба. Результаты показали, что сырая и пропаренная амарантовая мука являются наиболее подходящими ингредиентами для включения в рецептуру хлеба, поскольку они улучшили выход хлеба, объем и твердость мякиша. Единственным ограничением пропаренной муки было то, что она в определенной степени ухудшала эластичность мякиша. Пропаренное целое взорванное зерно амаранта является следующим по пригодности ингредиентом. Практическая значимость исследования заключается в обосновании выбора формы амаранта для обогащения хлебобулочных изделий из полбы с сохранением их высокого качества. Перспективы дальнейших исследований связаны с изучением влияния комбинированных обработок амаранта на структурно-механические свойства теста и готового хлеба, а также с оценкой питательной ценности и потребительских свойств полученных композитных изделий.

Литература

[1] Гарькина П. К., Пшеницын Д. С. Фруктовое и овощное сырье в технологии хлебобулочных и мучных кондитерских изделий //Инновационная техника и технология. – 2022. – Т. 9. – №. 3. – С. 12-18.

[2] Menegassi B., Pilosof A. M. R., Arêas J. A. G. Comparison of properties of native and extruded amaranth (Amaranthus cruentus L.–BRS Alegria) flour //LWT-Food Science and Technology. – 2011. – Т. 44. – №. 9. – С. 1915-1921.

[3] Venskutonis P. R., Kraujalis P. Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: a review on composition, properties, and uses //Comprehensive reviews in food science and food safety. – 2013. – Т. 12. – №. 4. – С. 381-412.

[4] Маркова Ю. М., Сидорова Ю. С. Зерновые продукты из амаранта, киноа и гречихи: роль в питании человека и поддержании кишечного микробиома // Вопросы питания. – 2022. – Т. 91. – №. 6 (544). – С. 17-29.

[5] Юрна Д. А., Назаркина Ю. А., Гарькина П. К. Перспективы использования нетрадиционного сырья в производстве изделий из слоеного теста повышенной пищевой и биологической ценности // Инновационная техника и технология. – 2025. – Т. 12. – №. 1. – С. 51-54.

[6] Filipčev B. et al. Comparison of the bread-making performance of spelt varieties grown under organic conditions in the environment of northern Serbia and their responses to dough strengthening improvers // Chemical Industry/Hemijska Industrija. – 2013. – Т. 67. – №. 3. – С. 443.

[7] Бадамшина Е. В. и др. Технологические приемы переработки зерна полбы в продукты питания // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2019. – №. 1. – С. 10.

[8] Титов Д. В., Долганова Н. В. Исследование и анализ структурно-механических свойств фаршевых кулинарных изделий, приготовленных в пароконвектомате //Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2021. – №. 4 (69). – С. 24.

[9] Aderibigbe O. R. et al. Exploring the potentials of underutilized grain amaranth (Amaranthus spp.) along the value chain for food and nutrition security: A review //Critical reviews in food science and nutrition. – 2022. – Т. 62. – №. 3. – С. 656-669.

[10] Rastogi A., Shukla S. Amaranth: a new millennium crop of nutraceutical values //Critical reviews in food science and nutrition. – 2013. – Т. 53. – №. 2. – С. 109-125.

References

[1] Gar'kina P.K., Pshenitsyn D.S. Fruit and vegetable raw materials in bakery and flour confectionery technology // Innovative equipment and technology. - 2022. - Vol. 9. - No. 3. - Pp. 12-18.

[2] Menegassi B., Pilosof A.M.R., Arêas J.A.G. Comparison of properties of native and extruded amaranth (Amaranthus cruentus L.–BRS Alegria) flour // LWT-Food Science and Technology. - 2011. - Vol. 44. - No. 9. - Pp. 1915-1921.

[3] Venskutonis P.R., Kraujalis P. Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: a review on composition, properties, and uses // Comprehensive reviews in food science and food safety. – 2013. – Vol. 12. – No. 4. – P. 381-412.

[4] Markova Yu. M., Sidorova Yu. S. Cereal products from amaranth, quinoa and buckwheat: the role in human nutrition and maintenance of the intestinal microbiome // Nutrition Issues. – 2022. – Vol. 91. – No. 6 (544). – P. 17-29.

[5] Yurna D. A., Nazarkina Yu. A., Gar'kina P. K. Prospects for the use of non-traditional raw materials in the production of puff pastry products with increased nutritional and biological value // Innovative equipment and technology. – 2025. – Vol. 12. – No. 1. – P. 51-54.

[6] Filipčev B. et al. Comparison of the bread-making performance of spelt varieties grown under organic conditions in the environment of northern Serbia and their responses to dough strengthening improvers // Chemical Industry/Hemijska Industrija. - 2013. - Vol. 67. - No. 3. - P. 443.

[7] Badamshina E. V. et al. Technological methods for processing spelt grain into food products // Technology and commodity science of innovative food products. - 2019. - No. 1. - P. 10.

[8] Titov D. V., Dolganova N. V. Research and analysis of the structural and mechanical properties of minced culinary products prepared in a combi steamer // Technology and commodity science of innovative food products. - 2021. - No. 4 (69). - P. 24.

[9] Aderibigbe O. R. et al. Exploring the potentials of underutilized grain amaranth (Amaranthus spp.) along the value chain for food and nutrition security: A review //Critical reviews in food science and nutrition. – 2022. – T. 62. – No. 3. – pp. 656-669.

[10] Rastogi A., Shukla S. Amaranth: a new millennium crop of nutraceutical values //Critical reviews in food science and nutrition. – 2013. – T. 53. – No. 2. – pp. 109-125.

Сведения об авторах	Information about the authors
Базина Ирина Петровна студент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 **E-mail:**	**Bazina Irina Petrovna** student of the department «Food productions» Penza State Technological University **E-mail:**
Фролов Дмитрий Иванович кандидат технических наук доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 **Тел.:** +7(937) 408-35-28 **E-mail:** surr@bk.ru	**Frolov Dmitriy Ivanovich** PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University **Phone:** +7(937) 408-35-28 **E-mail:** surr@bk.ru