

## Оценка функциональных свойств и показателей безопасности зернового хлеба с амарантовой мукой



Н. Н. Алехина\*<sup>ORCID</sup>, Е. И. Пономарева<sup>ORCID</sup>, И. М. Жаркова<sup>ORCID</sup>,  
А. В. Гребенщиков<sup>ORCID</sup>

Воронежский государственный университет инженерных технологий<sup>ORCID</sup>, Воронеж, Россия

Дата поступления в редакцию: 06.03.2021

Дата принятия в печать: 08.04.2021



\*e-mail: [nadinat@yandex.ru](mailto:nadinat@yandex.ru)

© Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева, И. М. Жаркова, А. В. Гребенщиков, 2021

### Аннотация.

**Введение.** Для борьбы с алиментарно-зависимыми заболеваниями разработаны различные рецептуры хлеба из пророщенного зерна, в том числе с амарантовой мукой. Для обеспечения выпуска безопасных и полезных для здоровья человека продуктов важно определение функциональных свойств и осуществление санитарно-гигиенической экспертизы. Целью исследования явилась оценка функциональных свойств и показателей безопасности хлеба из пророщенного зерна пшеницы с амарантовой мукой.

**Объекты и методы исследования.** В зерновом хлебе через сутки после выпекания определяли антиоксидантную активность амперометрическим методом. Гликемический индекс – из отношения площади под гликемической кривой для образца хлеба к площади под гликемической кривой для чистой глюкозы, выраженное в процентах. Перевариваемость белков мякиша устанавливали методом *in vivo* (на инфузориях *Paramecium caudatum*). Содержание фитина – колориметрическим методом. Показатели безопасности определяли в соответствии с ТР ТС 021/2011. Содержание связанной влаги определяли в течение трех суток хранения по изменению концентрации сахарозы на рефрактометре. Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов определяли по ГОСТ 10444.15-94.

**Результаты и их обсуждение.** Внесение амарантовой муки незначительно влияет на антиоксидантную активность зернового хлеба. Однако способствует снижению его гликемического индекса на 8,3 % и увеличению микробиологической чистоты в 1,4 раза, повышает перевариваемость белков мякиша изделия на 3,0 %, уменьшает содержание фитина на 7,0 %, замедляет процесс его черствения на 0,5 суток. По показателям безопасности полученный образец хлеба с добавлением амарантовой муки соответствует требованиям ТР ТС 021/2011.

**Выводы.** Проведенные исследования влияния амарантовой муки на функциональные свойства и оценка показателей безопасности зернового хлеба указывают на целесообразность ее применения в технологии изделий из пророщенного зерна пшеницы.

**Ключевые слова.** Пророщенное зерно, амарантовая мука, антиоксидантная активность, гликемический индекс, перевариваемость, фитин, показатели безопасности, хлеб

**Для цитирования:** Оценка функциональных свойств и показателей безопасности зернового хлеба с амарантовой мукой / Н. Н. Алехина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 2. С. 323–332. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-323-332>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/eng>

## Assessment of Functional Properties and Safety Indicators of Amaranth Flour Grain Bread

Nadezhda N. Alekhina\*<sup>ORCID</sup>, Elena I. Ponomareva<sup>ORCID</sup>,  
Irina M. Zharkova<sup>ORCID</sup>, Andrej V. Grebenshchikov<sup>ORCID</sup>

Voronezh State University of Engineering Technologies<sup>ORCID</sup>, Voronezh, Russia

Received: March 06, 2021

Accepted: April 08, 2021



\*e-mail: [nadinat@yandex.ru](mailto:nadinat@yandex.ru)

© N.N. Alekhina, E.I. Ponomareva, I.M. Zharkova, A.V. Grebenshchikov, 2021

## Abstract.

*Introduction.* Various formulations of sprouted grain breads, including those with amaranth flour, were developed to combat food-related diseases. Healthy food industry requires thorough assessment procedures and hygienic practices. The research objective was to assess the functional properties and safety indicators of amaranth bread made from sprouted wheat grain.

*Study objects and methods.* One day old grain bread was tested for antioxidant activity using amperometric method. Its glycemic index was determined according to the ratio of the area under the glycemic curve per bread sample to the area under the glycemic curve for pure glucose, expressed as a percentage. Crumb proteins digestibility was measured in vivo using ciliates *Paramecium caudatum*. Phytin content was measured by the colorimetric method, while safety indicators were compared to the Technical Regulations of the Customs Union No. 021/2011. Bound moisture content was determined with a refractometer after three days of storage according to the change in sucrose concentration. The number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (NMAFAnM) was described based on State Standard 10444.15-94.

*Results and discussion.* The amaranth flour slightly affected the antioxidant activity of the grain bread. It decreased the glycemic index by 8.3% and increased the microbiological purity by 1.4 times, raised the crumb proteins digestibility by 3.0%, reduced the phytin content by 7.0%, and slowed down the staleness process by 12 h. In terms of safety indicators, the obtained sample of amaranth grain bread met the TR CU 021/2011 requirements “On food safety”. The decrease in the glycemic index values could be explained by the lower activity of amylolytic enzymes in amaranth flour compared to sprouted wheat. The low digestibility of carbohydrates resulted from their effect on starch. The increase in digestibility and the decrease in phytin content were caused by the lower amount of dietary fiber. The high content of bound moisture explains the longer shelf life. Amaranth flour had lower microbiological contamination compared to wheat, which decreased the NMAFAnM.

*Conclusion.* Amaranth flour had a positive effect on the functional properties of grain bread safety indicators, which makes it possible to include it into sprouted wheat grain products.

**Keywords.** Sprouted grains, amaranth flour, antioxidant activity, glycemic index, digestibility, phytin, safety indicators, bread

**For citation:** Alekhina NN, Ponomareva EI, Zharkova IM, Grebenshchikov AV. Assessment of Functional Properties and Safety Indicators of Amaranth Flour Grain Bread. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(2):323–332. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-323-332>.

## Введение

Одна из важных задач государственной политики направлена на обеспечение сохранения здоровья населения страны. Наиболее значимым фактором, оказывающим воздействие на состояние здоровья человека, является питание. Функциональные свойства продуктов питания зависят от их пищевой ценности, качества и физиологического воздействия на организм человека. В основе создания лечебного и профилактического питания должны находиться следующие положения:

- включение в рацион пищевых веществ, улучшающих физиологические функции в организме человека;
- повышение сопротивляемости организма воздействию вредных веществ;
- обеспечение ускоренного выведения токсических веществ из организма.

Для профилактики вредного воздействия токсических соединений большое значение имеет содержание в рационе питания человека белка и микронутриентов: аминокислот, витаминов и минеральных веществ [1–3]. Изменение климатических условий, неблагоприятная экологическая обстановка и малоподвижный образ жизни требуют корректировки пищевого статуса населения. Следует отметить, что выработка функциональных продуктов питания и проблема их безопасности являются в последние годы наиболее актуальными [4].

В постановлении президиума РАН «Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России:

роль науки» приоритетной задачей названо понижение уровня смертности населения и снижение социально-значимых неинфекционных болезней [5].

Преобладание в пищевом рационе продуктов с низким содержанием антиоксидантов ослабляет иммунитет. Это ведет к росту патологических процессов и преждевременному старению. Антиоксиданты способны обезвреживать свободные радикалы и, благодаря неспаренному электрону молекулы последних, легко взаимодействуют с веществами, обладающими антиоксидантными свойствами, становясь полностью безопасными. Много антиоксидантов содержится в функциональных пищевых ингредиентах из зерновых культур и продуктах из них. При частом употреблении они оказывают положительный эффект на обменные процессы в организме человека. Эндогенный синтез антиоксидантов в организме человека зависит от их поступления с пищей [6–8]. Кроме того, концентрация глюкозы зависит от потребляемых продуктов. Чтобы оценить их влияние на уровень глюкозы в крови, ввели понятие «гликемический индекс», т. е. с какой скоростью адсорбируются углеводы изделий в организме человека.

С каждым годом количество людей с диагнозом сахарный диабет возрастает [9]. Если анализировать темпы роста числа заболевших в России, то можно сказать, что цифры удваиваются каждые 15 лет. Сахарный диабет сопровождается изменением

обмена веществ, что может привести к ожирению и заболеваниям сердечно-сосудистой системы организма человека [10].

В качестве профилактических мер для борьбы с алиментарно-зависимыми заболеваниями разработаны хлебобулочные изделия лечебной направленности [11]. Одно из перспективных направлений производства новых видов изделий – добавление пророщенных злаковых зерен [12]. Диетологи отмечают их полезные свойства, направленные на нормализацию вещественного обмена, улучшение работы ЖКТ, состояния нервной системы и т. д.

Положительные стороны производства хлеба из пророщенного зерна состоят в:

- сохранении в хлебе семенной оболочки и алейронового слоя, которые богаты БАВ, но удаляются при сортовых помоллах;
- исключении интенсивных механических воздействий при размоле зерна на мельзаводе, что снижает энергозатраты при его подготовке;
- сохранении зародыша неповрежденным из-за чего сохраняются БАВ и увеличивается их концентрация в результате прорастания зерна [13].

Применение пророщенного зерна позволяет снизить в хлебе количество фитиновой кислоты и ее солей. Эта кислота, характеризующаяся сильными хелатирующими свойствами, обладает способностью связывать важные для человека нутриенты (фосфор, магний, кальций, железо, цинк) и мешает их усвоению. Основное назначение кальция в организме – обеспечение правильного развития скелета и прочности костей. Магний снижает возбуждение нейронов, напряжение в мышце сердца, улучшает работоспособность. Фосфор формирует костную ткань, участвует в обмене веществ. Железо устраняет железодефицитную анемию. Цинк участвует в углеводном обмене и процессе дыхания. Фитаты также связываются с белками. Из-за этого меняется конформация белковых молекул, что влияет на их ферментативную активность, растворимость и усвояемость. При недостатке белка в питании замедляется рост и развитие у детей. У взрослых происходит глубокое изменение в печени, нарушается деятельность желез внутренней секреции, ухудшается усвоение питательных веществ, возникают проблемы с сердечной деятельностью, ухудшается память и работоспособность. Фитиновая кислота мешает воздействию пепсина и трипсина, которые нужны для переваривания пищи. Если количество фитиновой кислоты и ее солей в питании повышено, то это ведет к минеральной недостаточности и к проблемам сердечно-сосудистой системы, пищеварения, расстройству костеобразования [14–16].

Пищевая ценность хлеба – это не только полезные макро- и микронутриенты, но и его способность к усвоению. Ее определяют такие показатели, как рецептура и качество изделий, способность ферментов

пищеварения расщеплять субстраты при фермент-субстратном взаимодействии с образованием одного или нескольких конечных продуктов. Достичь улучшения показателей качества изделия, влияющих на его пищевую ценность, можно путем разных технологических мероприятий и применения добавок. Для оценки перевариваемости белков в лабораторных условиях применяют разные методы: химические, ферментативные (путем использования ферментов пищеварения *in vitro*), биологические (проведение опытов на животных или с применением популяции *Paramecium caudatum (in vivo)*). При этом метод, основанный на анализе роста популяции инфузорий, стал очень популярен в последнее время. Он прост, эффективен, не требует большого количества материалов для анализа. Кроме того, данный метод менее затратен по сравнению с содержанием лабораторных животных.

Химический состав хлеба из пророщенного зерна пшеницы имеет свои преимущества в сравнении с традиционным хлебом. Однако у него отмечается небольшое количество белка и дефицит лизина. Здесь можно говорить об амаранте и амарантовой муке (ТУ 9293-004-77872064-2011) [17, 18]. Большее количество незаменимых аминокислот (лизин, тирозин, фенилаланин и изолейцин) в белке амаранта увеличивает его биологическую ценность на  $16,5 \pm 1,5$  % по сравнению с белком пшеницы. Кроме того, в амаранте содержится сквален. Он регулирует липидный и стероидный обмен (предшественник ряда гормонов, холестерина и витамина D), может понижать уровень холестерина в сыворотке крови и печени, повышать количество в тканях атомарного кислорода, который противодействует на молекулярном уровне свободным радикалам. С этим связана его высокая антиоксидантная активность. Кафедрой технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств ФГБОУ ВО «ВГУИТ» была разработана рецептура зернового хлеба «Злаковик» с применением муки амарантовой.

Качество изделия зависит от показателей безопасности. Номенклатура показателей качества зерна и изготавливаемых из него изделий должна удовлетворять требованиям ТР ТС 021/2011. Показатели следующие: количество токсичных элементов, микотоксинов, пестицидов, радионуклидов и обсемененность микроорганизмами. Наличие указанных показателей в продуктах питания изменяет иммунную активность организма. Это приводит к иммунодефициту и серьезным нарушениям функционального состояния организма человека. Пищевое сырье загрязняется такими элементами, как свинец, кадмий, мышьяк и ртуть, из-за плохой экологической обстановки. К элементам, оказывающим значительное воздействие на ферменты даже в небольших дозах, относятся свинец и кадмий

(суперэкоксиканты). Они поступают в зерно из почвы, которая аккумулирует токсичные элементы. При этом последствия загрязнения ими почвы устраняются достаточно трудно. Токсикологическая опасность мышьяка и ртути обусловлена их взаимодействием с сульфгидрильными группами белков, что приводит к изменению их свойств. Они также способствуют инактивации некоторых ферментов. Когда зерно набухает в питьевой воде, то при росте его влажности в диапазоне от 15,0 до 35,0 % содержание пестицидов снижается в 3–6 раз [19]. Повышенное количество влаги и биодоступные пищевые вещества способствуют созданию условий, наиболее благоприятствующих развитию микроорганизмов. Патогенные бактерии производят эндо- и экзотоксины. Непатогенные микроорганизмы развиваются самопроизвольно в продуктах питания, что приводит к их порче и значительному материальному ущербу. Микотоксины, выделяемые микроскопическими грибами, имеют кумулированное действие и поражают нервную систему, органы ЖКТ [20, 21]. Для оценки качества изделий с точки зрения гигиены питания наиболее широко распространен показатель, который учитывает основные группы микроорганизмов (бактерии, плесневые грибы, дрожжи). Это количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ).

Сведений о влиянии амарантовой муки на функциональные свойства зернового хлеба и показатели его безопасности недостаточно.

Целью исследования явилась оценка функциональных свойств и показателей безопасности хлеба из пророщенного зерна пшеницы с амарантовой мукой.

#### Объекты и методы исследования

Для опыта отбирали два образца хлеба: 1 – «Колосок» (контроль, ТУ 9114-036-02068108-2005) из пророщенной пшеницы; 2 – «Злаковик» (ТУ 10.71.11-462-02068108-2018) с добавлением 6 % амарантовой муки первого сорта (ООО «Русская Олива», Россия), которую вносили взамен части пророщенного зерна пшеницы. Пшеницу 3-го класса (ГОСТ 9353-2016), предварительно очищенную от примесей, промывали и подвергали набуханию в воде из разводной сети температурой  $19,0 \pm 1,0$  °С в течение суток. Воду меняли 4–5 раз. Затем зерно проращивали в течение 0,5 суток. Измельчение зерна производили путем двукратного пропускания через матрицу с отверстиями диаметром 0,002 м. Тесто с массовой долей влаги 47,0 % готовили ускоренным способом с применением подкислителей: молочной сыворотки и аскорбиновой кислоты. Через 24 ч после выпечки в готовых изделиях оценивали функциональные свойства по антиоксидантной активности, гликемическому индексу, перевариваемости белков мякиша и содержанию фитина. В течение 72 ч в процессе хранения исследовали количество связанной влаги, КМАФАнМ

(в хлебе «Злаковик» также находили содержание токсичных элементов, пестицидов, микотоксинов и радионуклидов). В зернопродуктах и хлебобулочных изделиях суммарное содержание антиоксидантов в пересчете на кверцетин оценивали амперометрическим методом на жидкостном хроматографе «ЦветЯуза-01-АА» (НПО «Химавтоматика», Россия).

Гликемический индекс находили по методологии, описанной в [22]. В эксперименте были задействованы 20 добровольцев (обучающиеся и преподаватели вуза) от 19 до 39 лет. Противопоказаниями являются сахарный диабет, метаболическая декомпенсация, беременность, инсулинопотребность, эндокринная патология, обострения хронических заболеваний ЖКТ и другие острые заболевания, когнитивные нарушения, индекс массы тела более 25 кг/м<sup>2</sup>. Испытуемых проинформировали об эксперименте и правилах поведения в ходе опыта. Было собрано письменное информированное согласие. После съедания заданной порции продукта (хлеб, чистая глюкоза), содержащей 50 г углеводов, находили уровень глюкозы в крови, используя глюкометр «Accu Chek Go» (Roche, Германия). Гликемический индекс выводили из отношения площади под гликемической кривой для образца хлеба к площади под гликемической кривой для чистой глюкозы, выраженное в процентах.

Перевариваемость белков мякиша хлеба оценивали по биотическому потенциалу (БП) популяции *Paramecium caudatum* и стандартизованной относительной биологической ценности (СОБЦ). СОБЦ – показатель, по которому судят о перевариваемости белков изделия. Также указанные показатели определяли на этапах, когда БП популяции *P. caudatum* был максимальным [23].

Образцы изделий отбирались так, чтобы количество белка в среде культивирования *P. caudatum* было 4 кг/м<sup>3</sup>. От указанной концентрации белка проводили последовательные разведения. Исследуемые образцы хлеба изучались в концентрациях 0,17, 0,34 и 0,68 кг/м<sup>3</sup>, соответствующих расчетному количеству белков 1, 2 и 4 кг/м<sup>3</sup>.

Оценивали перевариваемость образцов хлеба по белку яйца (альбумин, стандарт), который был взят в концентрациях 1, 2, 4 кг/м<sup>3</sup>. В среду для культивирования популяции *P. caudatum* дополнительно не добавляли минеральные вещества и витамины. В качестве растворителя использовали дистиллированную воду. Продолжительность инкубации *P. caudatum* составляла 4 суток.

Биотический потенциал популяции (БП) вычисляли:

$$\text{БП} = \frac{N_t}{2000} \div t, \quad (1)$$

где  $N_t$  – количество организмов *P. caudatum*, которые культивируются в определенное время инкубации в среде на основе белка яйца (хлеба);  $t$  – продолжительность инкубации (от 1 до 4 суток).



Стандартизованная относительная биологическая ценность продукта СОБЦ, %:

$$\text{СОБЦ} = \frac{N_{ot}}{N_c} \cdot 100 \quad (2)$$

где  $N_{ot}$  – количество организмов *P. caudatum*, которые выросли в определенное время инкубации в среде на основе образцов хлеба;  $N_c$  – количество организмов *P. caudatum*, которые выросли в то же время инкубации в среде на основе белка яйца (стандарт).

Методика определения фитина основана на извлечении его хлороводородной кислотой с дальнейшим осаждением хлорным железом. После озолония фосфор фитина находили по Фиске-Суббароу колориметрическим методом на спектрофотометре ПЭ-5400 УФ (Экохим, Россия) при длине волны 625 нм. Далее масса полученного фосфора умножалась на 1,55. Так находилось количество фитина в пересчете на фитиновую кислоту.

Изменение содержания связанной влаги и КМАФАНМ находили в течение трех суток хранения хлебобулочных изделий, которые были упакованы в полиэтиленовый пакет. Метод нахождения количества связанной влаги основан на определении на рефрактометре изменения концентрации сахарозы при смешивании ее с изучаемым продуктом. КМАФАНМ исследовали по ГОСТ 10444.15-94.

В хлебе «Злаковик», в соответствии с ТР ТС 021/2011, определяли содержание следующих токсичных элементов: свинца – по ГОСТ 26932-86; мышьяка – по ГОСТ 26930-86; кадмия – по ГОСТ 26933-86; ртути – по ГОСТ 26927-86; пестицидов: гексахлорциклогексана ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -изомеры); ДДТ и его метаболитов по методикам из [24]; микотоксинов: афлатоксина В<sub>1</sub> – по МУ 4082-86; дезоксиниваленола – по ГОСТ Р 51116-97; Т-2 токсина – по МУ 3184-84; зеараленона – по ГОСТ 31691-2012; радионуклидов: цезия-137 и стронция-90 – по МУК 2.6.1.1194-03.

Статистически обрабатывали данные в среде «Microsoft Excel 2010» (Microsoft Corporation, США). Критический уровень значимости ( $P$ ) при проверке статистических гипотез принимался равным 0,05. Результаты экспериментальных данных представлены

Таблица 1. Антиоксидантная активность зернопродуктов и образцов хлеба ( $P < 0,05$ )

Table 1. Antioxidant activity of grain products and bread samples ( $P < 0.05$ )

Наименование образцов	Суммарное содержание антиоксидантов, мг/100 г СВ
Пророщенное зерно пшеницы	24,40 ± 1,22
Мука амарантовая первого сорта	20,00 ± 1,00
Хлеб «Колосок»	2,43 ± 0,12
Хлеб «Злаковик»	2,40 ± 0,12

в виде  $M \pm m$ , где  $M$  – средний показатель значений,  $m$  – среднее квадратичное отклонение.

### Результаты и их обсуждение

Выявлено, что по содержанию антиоксидантов опытный образец незначительно уступал контрольному. В хлебе «Колосок» их было на 0,03 мг/100 г больше, чем в хлебе «Злаковик» (табл. 1). Меньшая антиоксидантная активность опытного образца объясняется наличием в его рецептуре амарантовой муки, содержащей на 18 % меньше антиоксидантов по сравнению с пророщенной пшеницей. Ранее установлено, что в пророщенной зерновке образуются мощные антиоксиданты (биофлаваноиды, витамин Е) и высвобождается цинк из связанного состояния при воздействии на фитин эндогенной фитазы зерна. Известно, что данный микроэлемент входит в состав фермента супероксиддисмутазы, обладающего антиоксидантным действием [16, 25].

В ходе эксперимента уровень глюкозы в крови через 0,5 ч после употребления образца 1 был 5,8 ммоль/л, образца 2 – 5,6 ммоль/л (рис. 1). Через 2 ч исследуемый показатель для контрольной и опытной пробы был одинаковым – 5,0 ммоль/л.

Гликемический индекс образца 1 был выше на 8,3 %, чем у образца 2, т. е. высокий гликемический индекс наблюдался в контрольном образце (рис. 2). Это связано с тем, что контрольная проба изготавливалась на основе пророщенной пшеницы, которая отличается активным ферментативным комплексом, по сравнению с амарантовой мукой, входящей в состав опытного образца. При этом под действием амилолитических ферментов крахмал пророщенного зерна пшеницы гидролизуется в большей степени, что способствует большему повышению уровня сахара в крови.

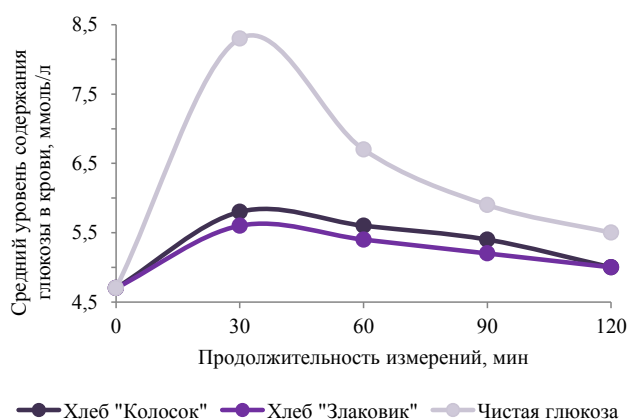


Рисунок 1. Изменение содержания глюкозы в крови после употребления продуктов

Figure 1. Change in blood glucose after eating the test samples

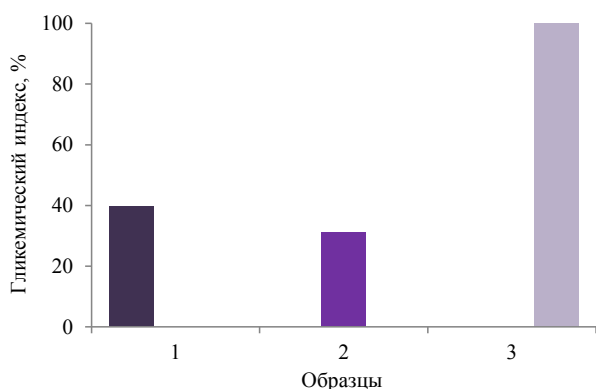


Рисунок 2. Гликемический индекс продуктов: 1 – хлеб «Колосок»; 2 – хлеб «Злаковик»; 3 – чистая глюкоза

Figure 2. Glycemic index of products: 1 – Kolosok bread; 2 – Zlakovik bread; 3 – pure glucose

Значения гликемического индекса для хлеба «Колосок» и «Злаковик» низкие по классификации ВОЗ, т. к. входят в диапазон 0–55.

При наблюдении за популяциями *Paramecium caudatum*, которые развивались в средах, содержащих 1, 2 и 4 кг/м<sup>3</sup> протеинов, было выявлено отсутствие биоцидного действия на них. При подсчете количества *P. caudatum*, которые культивировались в средах на основе исследуемых образцов хлеба, по сравнению с инфузориями, которые развивались в среде на основе белка яйца, была выявлена их меньшая генеративная функция при данных концентрациях (табл. 2).

БП *P. caudatum*, которые культивировались на субстрате из образцов хлеба во всех трех концентрациях, был значительно ниже, чем на субстрате с белком яйца на протяжении всего периода их жизни.

Таблица 2. Количество популяции и биотический потенциал *Paramecium caudatum*, культивируемой в среде на основе белка яйца и образцов хлеба ( $P < 0,05$ )

Table 2. Population size and biotic potential of *Paramecium caudatum* cultured in a medium of egg protein and bread samples ( $P < 0.05$ )

Количество белка, кг/м <sup>3</sup>	Количество популяции и биотический потенциал при продолжительности инкубации в течение			
	одних суток	двух суток	трех суток	четырёх суток
В среде на основе белка яйца				
1,0	21900 ± 1009* 0,460 ± 0,004**	28900 ± 1110* 0,300 ± 0,006**	38100 ± 1050* 0,260 ± 0,006**	37550 ± 1050* 0,200 ± 0,005**
2,0	27700 ± 1060* 0,580 ± 0,005**	38650 ± 1009* 0,400 ± 0,005**	44100 ± 1140* 0,310 ± 0,011**	41300 ± 1120* 0,220 ± 0,006**
4,0	29600 ± 1109* 0,620 ± 0,006**	60250 ± 1070* 0,630 ± 0,006**	56300 ± 1290* 0,390 ± 0,004**	69400 ± 1350* 0,360 ± 0,005**
В среде на основе образца 1 (хлеб «Колосок»)				
1,0	6789 ± 1050* 0,140 ± 0,007**	13583 ± 1009* 0,140 ± 0,010**	16383 ± 1060* 0,110 ± 0,012**	15020 ± 1050* 0,080 ± 0,007**
2,0	9418 ± 1070* 0,200 ± 0,012**	19325 ± 1009* 0,200 ± 0,011**	19404 ± 1050* 0,130 ± 0,020**	17346 ± 1110* 0,090 ± 0,014**
4,0	10360 ± 1140* 0,220 ± 0,008**	30728 ± 1060* 0,320 ± 0,009**	27587 ± 1070* 0,190 ± 0,021**	29842 ± 1060* 0,160 ± 0,005**
В среде на основе образца 2 (хлеб «Злаковик»)				
1,0	8900 ± 1110* 0,190 ± 0,005**	14166 ± 1050* 0,150 ± 0,007**	15052 ± 1050* 0,100 ± 0,009**	15068 ± 1070* 0,080 ± 0,009**
2,0	12977 ± 1050* 0,270 ± 0,004**	19945 ± 1110* 0,210 ± 0,006**	19895 ± 1110* 0,140 ± 0,011**	17996 ± 1140* 0,090 ± 0,005**
4,0	14896 ± 1060* 0,310 ± 0,005**	32523 ± 1110* 0,340 ± 0,004**	26107 ± 1060* 0,180 ± 0,005**	29236 ± 1110* 0,150 ± 0,005**
Образец 1 в % к белку яйца				
1,0	31	47	43	40
2,0	34	50	44	42
4,0	35	51	49	43
Образец 2 в % к белку яйца				
1,0	41	49	40	40
2,0	47	52	45	44
4,0	50	54	46	42

\* В числителе значения по количеству популяции;

\*\* В знаменателе значения по биотическому потенциалу.

\* The numerator contains values by the number of the population;

\*\* The denominator is the biotic potential value.

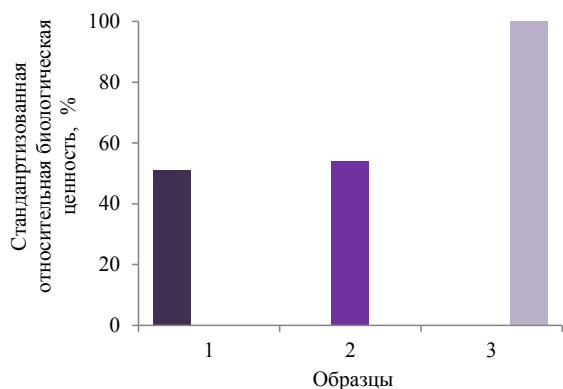


Рисунок 3. Стандартизованная относительная биологическая ценность образцов: 1 – хлеб «Колосок»; 2 – хлеб «Злаковик»; 3 – яичный белок

Figure 3. Standardized relative biological value of samples: 1 – Kolosok bread; 2 – Zlakovik bread; 3 – egg white

СОБЦ образцов хлеба вычисляли через двое суток инкубирования при уровне белка в среде культивирования 4 кг/м<sup>3</sup>, т. к. в этот период БП хлеба «Колосок» был максимальным – 0,320 ± 0,009, БП хлеба «Злаковик» – 0,340 ± 0,004.

Установлено, что СОБЦ хлеба «Колосок» на 3 % меньше, чем у хлеба «Злаковик». Следовательно, перевариваемость белков мякиша хлеба опытного образца выше, чем у контрольного (рис. 3).

Перевариваемость белков мякиша образца 2 возросла из-за внесения муки амарантовой взамен части пророщенной пшеницы. Это обусловлено меньшим размером частиц и количеством пищевых волокон в муке амарантовой (6,0 г/100 г муки) по сравнению с пророщенной пшеницей (8,5 г/100 г зерна). Это свидетельствует о большей усвояемости белковых веществ опытного образца изделия.

Установлено, что наименьшее количество фитина наблюдалось в хлебе «Злаковик» (0,27 г/100 г СВ),

Таблица 3. Изменение количества связанной влаги при хранении образцов хлеба ( $P < 0,05$ )

Table 3. Bound moisture during storage of bread samples ( $P < 0.05$ )

Продолжительность хранения, ч	Количество связанной влаги, г/1 г СВ	
	«Колосок»	«Злаковик»
0	1,15 ± 0,06	1,21 ± 0,06
12	1,08 ± 0,05	1,15 ± 0,06
24	1,01 ± 0,05	1,08 ± 0,05
36	0,97 ± 0,05	1,04 ± 0,05
48	0,93 ± 0,05	1,00 ± 0,05
60	0,89 ± 0,04	0,95 ± 0,05
72	0,82 ± 0,04	0,89 ± 0,04

Таблица 4. Микробиологические показатели образцов хлеба ( $P < 0,05$ )

Table 4. Microbiological indicators of bread samples ( $P < 0.05$ )

Продолжительность хранения, ч	КМАФАнМ, КОЕ/г	
	«Колосок»	«Злаковик»
24	0,5×10 <sup>3</sup>	0,3×10 <sup>3</sup>
48	1,1×10 <sup>3</sup>	0,9×10 <sup>3</sup>
72	1,9×10 <sup>3</sup>	1,5×10 <sup>3</sup>

наибольшее – в хлебе «Колосок» (0,29 г/100 г СВ). Это обусловлено большим содержанием в пророщенной пшенице пищевых волокон, в которых находится наибольшая часть фитина зерновки, по сравнению с мукой амарантовой, взамен части которой ее вносили при замесе теста.

У образцов со временем уменьшалось количество связанной влаги, что говорит о протекании процесса черствения (табл. 3). В хлебе «Злаковик» массовая доля связанной влаги через 3 суток составила 0,89 г/г СВ. Количество связанной влаги (0,89 г/г СВ) в хлебе «Колосок» отмечалось через 2,5 суток хранения, т. е. образец хлеба с амарантовой мукой сохраняет свежесть на 0,5 суток дольше.

КМАФАнМ в образцах хлеба возрастало в течение 72 ч их хранения (табл. 4). Через 3 суток хранения хлеб «Злаковик» (1,5×10<sup>3</sup> КОЕ/г) обладал большей микробиологической чистотой в сравнении с хлебом

Таблица 5. Показатели безопасности в зерновом хлебе ( $P < 0,05$ )

Table 5. Safety indicators in grain bread ( $P < 0.05$ )

Наименование показателя	Содержание, мг/кг (Бк/кг*)	
	в хлебе «Злаковик» менее	по ТР ТС 021/2011 не более
Токсичные элементы:		
свинец	0,06	0,35
мышьяк	0,083	0,150
кадмий	0,02	0,07
ртуть	0,001	0,015
Пестициды:		
гексахлорциклогексан (α-, β-, γ-изомеры)	0,00008	0,5
ДДТ и его метаболиты	0,002	0,200
Микотоксины:		
афлатоксин В <sub>1</sub>	0,0025	0,0050
дезоксиниваленол	0,2	0,7
Т-2 токсин	0,05	0,10
зеараленон	0,1	0,2
Радионуклиды:		
цезий-137	2*	40*
стронций-90	20*	20*

«Колосок» ( $1,9 \times 10^3$  КОЕ/г). Это связано с меньшей микробиологической обсемененностью амарантовой муки ( $2,0 \times 10^5$  КОЕ/г) в сравнении с пророщенной пшеницей ( $7,0 \times 10^5$  КОЕ/г).

Установлено, что содержание токсичных элементов, пестицидов, микотоксинов и радионуклидов в хлебе «Злаковик» находится в допустимых пределах (табл. 5). Поэтому хлеб «Злаковик» отвечает требованиям безопасности ТР ТС 021/2011. На него получена декларация о соответствии ЕАЭС N RU Д-РУ. АГ82.В.02799/18.

#### Выводы

В результате эксперимента установлено, что амарантовая мука незначительно влияет на антиоксидантную активность зернового хлеба, способствует снижению его гликемического индекса на 8,3 % и увеличению микробиологической чистоты в 1,4 раза, повышает перевариваемость белков мякиша изделия на 3,0 %, уменьшает содержание в нем фитина на 7,0 %, замедляет процесс черствения на 0,5 суток. По показателям безопасности хлеб «Злаковик» соответствует требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Проведенные исследования влияния амарантовой муки на функциональные свойства и оценка

показателей безопасности зернового хлеба указывают на целесообразность ее применения в технологии изделий из пророщенного зерна. Зерновой хлеб на основе пророщенной пшеницы и амарантовой муки может быть рекомендован людям в профилактических целях (снижение риска сахарного диабета, сердечно-сосудистых заболеваний, остеопороза).

#### Критерии авторства

Вклад в выполненную работу: Н. Н. Алехина – 40 %, Е. И. Пономарева – 20 %, И. М. Жаркова – 20 %, А. В. Гребенщиков – 20 %.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Contribution

N.N. Alekhina was responsible for 40% of the research, E.I. Ponomareva – 20%, I.M. Zharkova – 20%, and A.V. Grebenshchikov – 20%.

#### Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

#### Список литературы

1. Improvement of glucose and lipid metabolism via mung bean protein consumption: clinical trials of GLUCODIA™ isolated mung bean protein in the USA and Canada / M. Kohno [et al.] // Journal of Nutritional Science. 2018. Vol. 7. <https://doi.org/10.1017/jns.2017.68>.
2. Optimisation modelling to improve the diets of first nations individuals / L. Johnson-Down [et al.] // Journal of Nutritional Science. 2019. Vol. 8. <https://doi.org/10.1017/jns.2019.30>.
3. Micronutrient supplementation and fortification interventions on health and development outcomes among children under-five in low-and middleincome countries: a systematic review and meta-analysis / E. Tam [et al.] // Nutrients. 2020. Vol. 12. № 2. <https://doi.org/10.3390/nu12020289>.
4. Birch C. S., Bonwick G. A. Ensuring the future of functional foods // International Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 54. № 5. P. 1467–1485. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14060>.
5. Постановление Президиума РАН № 178 от 27.11.2018 г. «Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки». М., 2018. 8 с.
6. Нилова Л. П., Пилипенко Т. В. Оценка антиоксидантных свойств обогащенных хлебобулочных изделий в эксперименте на лабораторных животных // Вопросы питания. 2016. Т. 85. № 6. С. 39–47.
7. Amarowicz R., Pegg R. B. Natural antioxidants of plant origin // Advances in food and nutrition research. Vol. 90 / I. C. F. R. Ferreira, L. Barros editors. Elsevier, 2019. P. 1–81. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.011>.
8. Hidalgo F. J., Zamora R. Food processing antioxidants // Advances in food and nutrition research. Vol. 81 / F. Toldrá editor. Elsevier, 2017. P. 31–64. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2016.10.002>.
9. Шарофова М. У., Сагдиева Ш. С., Юсуфи С. Д. Сахарный диабет: современное состояние вопроса (часть 1) // Вестник Авиценны. 2019. Т. 21. № 3. С. 502–512.
10. Obesity indicators that best predict type 2 diabetes in an indian population: insights from the Kerala Diabetes Prevention Program / N. Kapoor [et al.] // Journal of Nutritional Science. 2020. Vol. 9. <https://doi.org/10.1017/jns.2020.8>.
11. New aspects of application of microalgae Dunaliella Salina in the formula of the enriched bread / T. N. Tertychnaya [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 422. № 1. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012021>.
12. Grain bread with buckwheat bran flour for a healthy diet / N. N. Alekhina [et al.] // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11. № 12. P. 2623–2627.



13. Sprouted grains: A comprehensive review / P. Benincasa [et al.] // *Nutrients*. 2019. Vol. 11. № 2. <https://doi.org/10.3390/nu11020421>.
14. Popova A., Mihaylova D. Antinutrients in plant-based foods: A review // *The Open Biotechnology Journal*. 2019. Vol. 13. № 1. P. 68–76. <https://doi.org/10.2174/1874070701913010068>.
15. Samtiya V., Aluko R. E., Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview // *Food Production, Processing and Nutrition*. 2020. Vol. 2. № 6. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>.
16. Assessment of the bioavailability of minerals and antioxidant activity of grain bread in the *in vivo* experiment / N. N. Alekhina [et al.] // *Russian Open Medical Journal*. 2018. Vol. 7. № 4. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2018.0409>.
17. Gebreil S. Y., Ali M. I. K., Mousa E. A. M. Utilization of amaranth flour in preparation of high nutritional value bakery products // *Food and Nutrition Sciences*. 2020. Vol. 11. № 5. P. 336–354. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.115025>.
18. Amaranth as a bread enriching ingredient / N. M. Derkanosova [et al.] // *Foods and Raw Materials*. 2020. Vol. 8. № 2. P. 223–231. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-223-231>.
19. Урбанчик Е. Н., Касьянова Л. А. Продукты питания из пророщенного зерна // *Хлебопек*. 2004. № 5. С. 22–23.
20. Andrade P. D., Caldas E. D. Aflatoxins in cereals: worldwide occurrence and dietary risk assessment // *World Mycotoxin Journal*. 2015. Vol. 8. № 4. P. 415–431. <https://doi.org/10.3920/WMJ2014.1847>.
21. Aspects of environmental safety improving of whole grain bakery products / E. Khmeleva [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 421. № 3. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/3/032062>.
22. Carbohydrates in human nutrition. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. Rome: Food and Agriculture Organization, 1998. 140 p.
23. Черемных Е. Г., Кулешин А. В., Кулешина О. Н. Биотестирование пищевых добавок на инфузориях // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2011. № 3. С. 5–12.
24. Методы определения микроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах, внешней среде. Т. 2 / М. А. Клисенко [и др.]. М.: Агропромиздат, 1992. 413 с.
25. Masisi K., Beta T, Moghadasian M. H. Antioxidant properties of diverse cereal grains: A review on *in vitro* and *in vivo* studies // *Food Chemistry*. 2016. Vol. 196. P. 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.021>.

#### References

1. Kohno M, Sugano H, Shigihara Y, Shiraishi Y, Motoyama T. Improvement of glucose and lipid metabolism via mung bean protein consumption: clinical trials of GLUCODIA™ isolated mung bean protein in the USA and Canada. *Journal of Nutritional Science*. 2018;7. <https://doi.org/10.1017/jns.2017.68>.
2. Johnson-Down L, Willows N, Kenny T-A, Ing A, Fediuk K, Sadik T, et al. Optimisation modelling to improve the diets of first nations individuals. *Journal of Nutritional Science*. 2019;8. <https://doi.org/10.1017/jns.2019.30>.
3. Tam E, Keats EC, Rind F, Das JK, Bhutta ZA. Micronutrient supplementation and fortification interventions on health and development outcomes among children under-five in low-and middleincome countries: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients*. 2020;12(2). <https://doi.org/10.3390/nu12020289>.
4. Birch CS, Bonwick GA. Ensuring the future of functional foods. *International Journal of Food Science and Technology*. 2019;54(5):1467–1485. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14060>.
5. Postanovlenie Prezidiuma RAN № 178 ot 27.11.2018 g. “Ob aktual’nykh problemakh optimizatsii pitaniya naseleniya Rossii: rol’ nauki” [Resolution No. 178 of November 27, 2018 of the Presidium of the Russian Academy of Sciences “On topical problems of optimizing the nutrition of the population of Russia: the role of science”]. Moscow, 2018. 8 p.
6. Nilova LP, Pilipenko TV. Evaluation of antioxidant properties of enriched bakery products in experiment on laboratory animals. *Problems of Nutrition*. 2016;85(6):39–47. (In Russ.).
7. Amarowicz R, Pegg RB. Natural antioxidants of plant origin. In: Ferreira ICFR, Barros L, editors. *Advances in food and nutrition research*. Vol. 90. Elsevier; 2019. pp. 1–81. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.011>.
8. Hidalgo FJ, Zamora R. Food processing antioxidants. In: Toldrá F, editor. *Advances in food and nutrition research*. Vol. 81. Elsevier; 2017. pp. 31–64. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2016.10.002>.
9. Sharofova MYu, Sagdieva ShS, Yusufi SD. Diabetes mellitus: the modern state of the issue (part 1). *Avicenna Bulletin*. 2019;21(3):502–512. (In Russ.).
10. Kapoor N, Lotfaliany M, Sathish T, Thankappan KR, Thomas N, Furler J, et al. Obesity indicators that best predict type 2 diabetes in an indian population: insights from the Kerala Diabetes Prevention Program. *Journal of Nutritional Science*. 2020;9. <https://doi.org/10.1017/jns.2020.8>.
11. Tertychnaya TN, Manzhesov VI, Andrianov EA, Yakovleva SF. New aspects of application of microalgae *Dunaliella Salina* in the formula of the enriched bread. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;422(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012021>.

12. Alekhina NN, Ponomareva EI, Lukina SI, Smirnykh AA. Grain bread with buckwheat bran flour for a healthy diet. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016;11(12):2623–2627.
13. Benincasa P, Falcinelli B, Lutts S, Stagnari F, Galieni A. Sprouted grains: A comprehensive review. *Nutrients*. 2019;11(2). <https://doi.org/10.3390/nu11020421>.
14. Popova A, Mihaylova D. Antinutrients in plant-based foods: A review. *The Open Biotechnology Journal*. 2019;13(1):68–76. <https://doi.org/10.2174/1874070701913010068>.
15. Samtiya V, Aluko RE, Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2020;2(6). <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>.
16. Alekhina NN, Ponomareva EI, Zharkova IM, Grebenshchikov AV. Assessment of the bioavailability of minerals and antioxidant activity of grain bread in the *in vivo* experiment. *Russian Open Medical Journal*. 2018;7(4). <https://doi.org/10.15275/rusomj.2018.0409>.
17. Gebreil SY, Ali MIK, Mousa EAM. Utilization of amaranth flour in preparation of high nutritional value bakery products. *Food and Nutrition Sciences*. 2020;11(5):336–354. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.115025>.
18. Derkanosova NM, Stakhurlova AA, Pshenichnaya IA, Ponomareva IN, Peregonchaya OV, Sokolova SA. Amaranth as a bread enriching ingredient. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(2):223–231. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-223-231>.
19. Urbanchik EN, Kas'yanova LA. Produkty pitaniya iz proroshchennogo zerna [Food products from sprouted grain]. *Khlebopek [Baker]*. 2004;(5):22–23. (In Russ.).
20. Andrade PD, Caldas ED. Aflatoxins in cereals: worldwide occurrence and dietary risk assessment. *World Mycotoxin Journal*. 2015;8(4):415–431. <https://doi.org/10.3920/WMJ2014.1847>.
21. Khmeleva E, Berezina N, Khmelev A, Kunitsyna T, Makarova N. Aspects of environmental safety improving of whole grain bakery products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;421(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/3/032062>.
22. Carbohydrates in human nutrition. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. Rome: Food and Agriculture Organization; 1998. 140 p.
23. Cheremnykh EG, Kuleshin AV, Kuleshina ON. Screening of foods additives on infusoria. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2011;(3):5–12. (In Russ.).
24. Klisenko MA, Kalinina AA, Novikova KF, Khokhol'kova GA. Metody opredeleniya mikrokolichestv pestitsidov v produktakh pitaniya, kormakh i vneshney srede. Tom 2 [Determination of micro-amounts of pesticides in food, feed, and environment. Vol. 2]. Moscow: Agropromizdat; 1992. 413 p. (In Russ.).
25. Masisi K, Beta T, Moghadasian MH. Antioxidant properties of diverse cereal grains: A review on *in vitro* and *in vivo* studies. *Food Chemistry*. 2016;196:90–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.021>.