

Научная статья

УДК 664.7:633.15:577.15

DOI: 10.55196/2411-3492-2026-3-53-139-147

Влияние биокаталитических и физических факторов замачивания на содержание фитиновой кислоты в зерне гибрида кукурузы BAZOKA

Диомед Нзейимана¹, Наталья Алексеевна Бугаец^{✉2}, Ольга Валентиновна Руденко³

^{1,2}Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, Краснодар, Россия, 350072

³Кубанский государственный университет, ул. Ставропольская, 149, Краснодар, Россия, 350040

¹nzeyimanadiomede@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-2770-6309>

^{✉2}kubanochka23@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4012-8837>

³olga_ned@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1831-621X>

Аннотация. Фитиновая кислота кукурузного зерна образует устойчивые комплексы с минеральными элементами, что обуславливает необходимость технологического снижения ее содержания при подготовке сырья к пищевой переработке. Цель исследования – оценить влияние фитазы, органических кислот, бактериального консорциума и ультразвуковой обработки на содержание фитиновой кислоты в зерне и pH замочной среды при замачивании гибрида кукурузы BAZOKA, выращенного в Республике Бурунди. Зерно замачивали на 4 ч при гидромодуле 1:3. В опытных вариантах использовали экзогенную фитазу, смесь аскорбиновой и лимонной кислот, консорциум молочнокислых и пропионовокислых бактерий и проводили предварительное ультразвуковое воздействие при частоте 40 кГц и мощности 60 Вт в течение 15 мин. Содержание фитиновой кислоты определяли спектрофотометрическим методом с реактивом Вэйда при 510 нм. В контрольном варианте показатель составлял 2,5%. При внесении фитазы он снижался до 2,2%, при сочетании фитазы и органических кислот – до 1,9%. Минимальное содержание фитиновой кислоты, равное 0,9%, установлено при совместном применении фитазы и бактериального консорциума; снижение относительно контроля достигало 64%; pH среды изменялся с 6,42 до 4,40. Предварительная ультразвуковая обработка не усиливала биокаталитическое воздействие: в соответствующих вариантах содержание фитиновой кислоты составляло 2,3 и 2,5%. Среди исследованных сочетаний наиболее результативным было замачивание с фитазой и бактериальным консорциумом без ультразвукового воздействия.

Ключевые слова: кукуруза, гибрид BAZOKA, фитиновая кислота, фитаза, замачивание, бактериальный консорциум, органические кислоты, ультразвуковая обработка, биомодификация зерна

Для цитирования: Нзейимана Д., Бугаец Н. А., Руденко О. В. Влияние биокаталитических и физических факторов замачивания на содержание фитиновой кислоты в зерне гибрида кукурузы BAZOKA // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2026. № 3(53). С. 139–147. DOI: 10.55196/2411-3492-2026-3-53-139-147

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории физико-химического анализа Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина за содействие в проведении аналитических исследований.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Original article

Effects of biocatalytic and physical soaking factors on phytic acid content in BAZOKA hybrid maize grain

Diomed Nzeyimana¹, Natalya A. Bugaets^{✉2}, Olga V. Rudenko³

^{1,2}Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya Street, Krasnodar, Russia, 350072

³Kuban State University, 149 Stavropolskaya Street, Krasnodar, Russia, 350040

¹nzeyimanadiomede@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-2770-6309>

^{✉2}kubanochka23@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4012-8837>

³olga_ned@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1831-621X>

Abstract. Phytic acid in maize grain forms stable complexes with mineral elements, which necessitates technological approaches to reduce its content during raw material preparation for food processing. The study aimed to evaluate the effects of phytase, organic acids, a bacterial consortium, and ultrasonic treatment on phytic acid content in the grain and the pH of the soaking medium for BAZOKA hybrid maize grown in the Republic of Burundi. The grain was soaked for 4 h at a grain-to-liquid ratio of 1:3. The treatments included exogenous phytase, a mixture of ascorbic and citric acids, a consortium of lactic acid and propionic acid bacteria, and preliminary ultrasonic exposure at 40 kHz and 60 W for 15 min. Phytic acid was determined spectrophotometrically with Wade reagent at 510 nm. The control contained 2.5% phytic acid. Phytase reduced the value to 2.2%, whereas phytase combined with organic acids reduced it to 1.9%. The lowest content, 0.9%, was obtained with phytase and the bacterial consortium; this corresponded to a 64% reduction relative to the control, while medium pH changed from 6.42 to 4.40. Preliminary ultrasonic treatment did not enhance the biocatalytic effect: phytic acid contents in the corresponding treatments were 2.3 and 2.5%. Under the experimental conditions, soaking with phytase and the bacterial consortium without ultrasonic treatment was the most effective combination.

Keywords: maize, BAZOKA hybrid, phytic acid, phytase, soaking, bacterial consortium, organic acids, ultrasonic treatment, grain biomodification

For citation: Nzeyimana D, Bugaets NA, Rudenko OV. Effects of biocatalytic and physical soaking factors on phytic acid content in BAZOKA hybrid maize grain. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov*. 2026;(3):139–147. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2026-3-53-139-147

Acknowledgments. The authors acknowledge the staff of the Laboratory of Physicochemical Analysis of Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin for assistance with the analytical studies.

Financial support. The study received no external funding.

Введение. Кукуруза является важным сырьем для производства крупы, муки, крахмалопродуктов и комбинированных пищевых систем. Свойства зерна зависят от генотипа и условий выращивания. Исследование разных гибридов подтверждает влияние агротехнологических факторов на продуктивность и показатели качества, поэтому технологические режимы переработки должны уточняться применительно к конкретному гибриду [1, 2].

Фитиновая кислота представляет собой основную форму запасного фосфора семян и образует комплексы с железом, цинком,

кальцием и магнием. Деградация фитатов при переработке зерновых продуктов способна влиять на усвоение железа [3]. Для кукурузы показано, что сочетание ферментации с замачиванием и проращиванием снижает содержание фитатов и улучшает расчетные показатели доступности железа и цинка [4]. Вместе с тем уменьшение концентрации фитиновой кислоты не следует отождествлять с доказанным повышением биодоступности без прямой оценки минеральной абсорбции.

Замачивание обеспечивает гидратацию зерна, диффузию растворимых соединений и

активацию эндогенных ферментов, однако его результат зависит от структуры сырья. Для измельченной белой кукурузы снижение фитатов усиливалось при сочетании замачивания с другими приемами обработки [5], тогда как в цельном зерне простое водное замачивание было менее результативным [6]. Зависимость последующих преобразований от способа замачивания установлена и для других зерновых культур [7]. В предыдущей работе авторов были определены параметры гидратации кукурузы и сои, но содержание антипитательных соединений не являлось целевым откликом [8].

Экзогенные фитазы катализируют отщепление фосфатных групп от фитата; эффективность процесса определяется активностью препарата, pH, температурой, продолжительностью и доступностью субстрата. Возможность направленной конверсии зерновых полимеров фитолитическими ферментами подтверждена для пшеницы и кукурузы [9], а внесение ферментного препарата на стадии замачивания сопровождалось снижением фитатов в семенах сои [10]. Подкисление органическими кислотами и метаболическая активность бактериальных культур могут формировать среду, благоприятную для эндогенной и экзогенной фитазы. При молочнокислой ферментации зернового теста деградация фитатов была связана прежде всего с созданием соответствующего pH [11]; снижение антипитательных факторов также установлено в ферментированных кукурузных матрицах [12, 13].

Ультразвуковое воздействие рассматривается как способ интенсификации гидратации

и массопереноса. Его применение при подготовке зерна к проращиванию сопровождалось изменением пищевой ценности [14], а для кукурузных зерен – ускорением водопоглощения без существенного изменения свойств крахмала [15]. Физиолого-биохимический ответ кукурузы зависит от режима ультразвука [16, 17], а при обработке зернобобовых культур – также от состава жидкой среды [18]. Следовательно, ускорение гидратации не гарантирует усиления фитазного гидролиза. Практическая востребованность модифицированного и пророщенного зернового сырья подтверждается разработками пищевых продуктов на его основе [19]. Недостаточно изучено совместное влияние фитазы, органических кислот, бактериального консорциума и ультразвуковой предобработки на фитаты цельного зерна кукурузы при кратковременном замачивании.

Цель исследования – оценить влияние фитазы, органических кислот, бактериального консорциума и ультразвуковой обработки на содержание фитиновой кислоты в зерне и pH замочной среды при замачивании гибрида кукурузы BAZOKA.

Материалы, методы и объекты исследования. Объектом служило зерно гибрида кукурузы (*Zea mays L.*) BAZOKA, выращенное в Республике Бурунди. Базовыми условиями были гидромодуль 1:3 и продолжительность замачивания 4 ч. Эксперимент включал шесть вариантов, различавшихся внесением экзогенной фитазы, смеси органических кислот, бактериального консорциума и предварительным ультразвуковым воздействием (табл. 1).

Таблица 1. Схема обработки зерна гибрида кукурузы BAZOKA
Table 1. Treatment design for BAZOKA hybrid maize grain

№	Условия обработки	Температурный режим
1	Замачивание в воде, контроль	20 °C
2	Фитаза	37 °C
3	Фитаза + органические кислоты	37 °C
4	Фитаза + бактериальный консорциум	37 °C
5	Ультразвук + фитаза + органические кислоты	УЗ: 20–35 °C; далее 37 °C
6	Ультразвук + фитаза + бактериальный консорциум	УЗ: 20–35 °C; далее 37 °C

В вариантах с органическими кислотами в замочную жидкость вносили 0,2% аскорбиновой и 0,1% лимонной кислоты. Для биоло-

гической модификации использовали консорциум молочнокислых и пропионовокислых бактерий: *Lactococcus lactis*, *Streptococcus*

thermophilus, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus* и *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii*. Рабочая концентрация препарата в среде составляла $0,5 \cdot 10^9$ КОЕ/см³.

Фитазу вносили в диапазоне 100–200 ед. активности на 1 г зерна. Для фитазной обработки предусматривали температуру 37 °С согласно программе эксперимента.

Ультразвуковую предобработку проводили в дистиллированной воде при частоте 40 кГц и мощности 60 Вт в течение 15 мин. Начальная температура составляла 20 °С и повышалась примерно до 35 °С. После воздействия зерно промывали стерильной водой и переносили в соответствующую среду при гидромодуле 1:3. рН жидкой фазы регистрировали до и после замачивания.

Содержание фитиновой кислоты определяли спектрофотометрическим методом по Вэйдю, основанным на взаимодействии фитатов с ионами железа (III) и измерении остаточной концентрации железа в растворе. Метод применяли для сравнительной оценки образцов при идентичной пробоподготовке и условиях анализа.

Экстракцию фитиновой кислоты проводили из навески измельчённого образца массой $5,000 \pm 0,001$ г в 100 см³ раствора соляной кислоты с массовой долей 2,4 % в течение 24 ч при температуре 4–8 °С. В аликвоте экстракта объёмом 1 см³ фитиновую кислоту осаждали добавлением 4 см³ реактива Вэйда. Оптическую плотность измеряли спектрофотометром UNICO 2802S при длине волны 510 нм относительно контрольного раствора [20].

Расчёт содержания фитиновой кислоты ($C_{\text{фк}}$, %) проводили по формуле:

$$C(\text{фк}), \% = \frac{(Fe(III)_н - Fe(III)_{ост}) \cdot 2,9547 \cdot V_k \cdot 100}{V_{ал} \cdot g}, \quad (1)$$

где

$Fe(III)_н$ – начальное количество железа (III), мг;

$Fe(III)_{ост}$ – непрореагировавшее количество железа (III), мг;

2,9547 – коэффициент пересчёта ($M(Fe^{3+} \cdot \Phi K) / 4 \times Ar(Fe)$);

V_k – объём раствора 2,4% HCl, взятый для экстракции фитиновой кислоты, мл;

$V_{ал}$ – аликвотный объём экстракта, мл;

g – навеска сырья (5000 мг).

Метод применяли при идентичной пробоподготовке всех образцов. В отличие от инструментальных методов, позволяющих отдельно определять инозитолфосфаты [21], он характеризует суммарный фитатный отклик системы.

Аналитические определения выполнялись в трехкратной повторности. Сопоставлялись контрольный и опытные варианты, а также парные комбинации с ультразвуковой предобработкой и без нее. Работы выполнялись в Кубанском государственном технологическом университете, определение фитиновой кислоты – при участии лаборатории Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина.

Результаты исследования. Влияние исследованных сочетаний на рН среды и содержание фитиновой кислоты представлено в таблице 2.

Таблица 2. Влияние технологических факторов на рН и содержание фитиновой кислоты

Table 2. Effects of technological factors on pH and phytic acid content

№	Условия обработки	рН		Фитиновая кислота, %	Снижение к контролю, %
		начало	конец		
1	Замачивание в воде, контроль	6,27	6,25	2,5	0
2	Фитаза	6,32	4,41	2,2	12
3	Фитаза + органические кислоты	3,23	4,35	1,9	24
4	Фитаза + бактериальный консорциум	6,42	4,40	0,9	64
5	Ультразвук + фитаза + органические кислоты	3,23	4,54	2,3	8
6	Ультразвук + фитаза + бактериальный консорциум	5,95	5,80	2,5	0

Примечание. Снижение рассчитано относительно контрольного варианта.

Замачивание в воде практически не изменяло pH и сохраняло наиболее высокое содержание фитиновой кислоты. Это подтверждает ограниченную результативность гидратации цельного зерна как самостоятельного приема. Сходная закономерность установлена для немолотой кукурузы [6], тогда как более выраженный эффект, описанный для муки и дробленого зерна [5], связан с большей доступностью фитата для экстракции и ферментативного воздействия.

Применение экзогенной фитазы снизило показатель на 12% относительно контроля. Умеренная выраженность эффекта может быть связана с локализацией фитата в зародышевой и алейроновой тканях и ограниченным доступом фермента при сохранении целостности зерновки. Зависимость фитолитической конверсии от степени дезинтеграции сырья и условий обработки отмечена ранее [9, 10].

При сочетании фитазы с аскорбиновой и лимонной кислотами снижение достигало 24%, а конечный pH составлял 4,35. Кислая реакция среды могла повышать растворимость фитатных комплексов и приближать условия к области активности внесенной и эндогенной фитазы. Подобный механизм обсуждается для молочнокислой ферментации зернового сырья [11].

Наименьшее содержание фитиновой кислоты (0,9, или на 64% ниже контроля) установлено при совместном применении фитазы и бактериального консорциума. Одновременно pH снижался с 6,42 до 4,40. Направленность изменений согласуется с данными о деградации фитатов в ферментированных кукурузных матрицах [4, 12, 13]. Прямое количественное сопоставление ограничено различиями в состоянии сырья и продолжительности процесса: в опубликованных работах преимущественно исследовали муку, пасты или длительно ферментируемые системы, тогда как здесь использовали цельное зерно и четырехчасовое замачивание.

Ультразвуковая предобработка не усилила действие кислотной и бактериальной систем. В обеих парных комбинациях содержание фитиновой кислоты после ультразвука было

выше, чем без него; при сочетании ультразвука, фитазы и бактериального консорциума показатель достиг контрольного уровня. Следовательно, ускорение гидратации не тождественно повышению эффективности фитазного гидролиза. Это не противоречит данным об ускорении водопоглощения зерном кукурузы [15], поскольку фитаты в той работе не оценивали. Другие исследования также указывают на зависимость ответа кукурузы и зернобобовых культур от параметров ультразвука и состава среды [16–18].

В ходе ультразвуковой обработки температура повышалась приблизительно с 20 до 35 °C, поэтому наблюдаемый результат отражает совместное действие кавитации и нагрева. Возможной причиной снижения эффективности могло быть изменение активности фитазы или жизнеспособности микроорганизмов, однако это предположение требует отдельной проверки. Наиболее результативным среди исследованных вариантов было замачивание с фитазой и бактериальным консорциумом без ультразвука.

Выводы. При четырехчасовом замачивании зерна гибрида кукурузы BAZOKA применение фитазы снижало содержание фитиновой кислоты с 2,5 до 2,2%, а сочетание фитазы с аскорбиновой и лимонной кислотами – до 1,9%. Наиболее выраженный результат получен при совместном применении фитазы и бактериального консорциума: содержание фитиновой кислоты составляло 0,9%, что на 64% ниже контроля; pH среды снижался с 6,42 до 4,40. Ультразвуковая обработка при частоте 40 кГц и мощности 60 Вт в течение 15 мин не усиливала биокаталитическое воздействие: в соответствующих вариантах показатель составлял 2,3 и 2,5%. Сочетание фитазы и бактериального консорциума без ультразвука может служить основой для дальнейшего уточнения режима биомодификации кукурузного сырья. Для разделения вклада отдельных факторов необходим полный факторный эксперимент с фиксированной дозой фермента, контролем его остаточной активности, жизнеспособности микроорганизмов и содержания фитатов в замочной жидкости.

Список литературы

1. Повышение продуктивности и качества зерна гибрида кукурузы в зависимости от применения микроудобрений / А. Л. Бозиев, Х. Т. Ногмов, К. З. Кашева, М. Ж. Аширбеков // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2024. № 2(44). С. 16–24. DOI: 10.55196/2411-3492-2024-2-44-16-24. EDN: MSBSMK
2. Разработка элементов технологии возделывания гибридов кукурузы в условиях КБР / В. Г. Сычев, И. М. Ханиева, Ю. М. Шогенов, К. З. Кашева // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2024. № 2(44). С. 25–33. DOI: 10.55196/2411-3492-2024-2-44-25-33. EDN: OTVKBG
3. Phytate degradation determines the effect of industrial processing and home cooking on iron absorption from cereal-based foods / R.F. Hurrell, M.B. Reddy, J. Burri, J.D. Cook // The British journal of nutrition. 2002. Vol. 88. No. 2. Pp. 117–123. DOI: 10.1079/BJN2002594
4. Nsabimana S., Ismail T., Lazarte C. E. Enhancing iron and zinc bioavailability in maize (*Zea mays*) through phytate reduction: the impact of fermentation alone and in combination with soaking and germination // Frontiers in Nutrition. 2024. Vol. 11. Article 1478155. DOI: 10.3389/fnut.2024.1478155
5. Hotz C., Gibson R.S. Assessment of home-based processing methods to reduce the phytate content and phytate/zinc molar ratio of white maize (*Zea mays*) // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2001. Vol. 49. No. 2. Pp. 692–698. DOI: 10.1021/jf000462w
6. Kruger J., Oelofse A., Taylor J.R.N. Effects of aqueous soaking on the phytate and mineral contents and phytate:mineral ratios of wholegrain normal sorghum and maize and low phytate sorghum // International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2014. Vol. 65. No. 5. Pp. 539–546. DOI: 10.3109/09637486.2014.886182
7. Семенюта А. А., Танашкина Т. В. Солодоращение гречихи: способы замачивания зерна и их влияние на качество солода // Вестник КрасГАУ. 2021. № 1(166). С. 143–149. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-1-143-149. EDN: LDVMIO
8. Нзейimana Д., Бугаец Н. А., Руденко О. В. Оптимизация параметров замачивания кукурузы и сои для повышения эффективности проращивания // Новые технологии. 2025. Т. 21. № 4. С. 79–88. DOI: 10.47370/2072-0920-2025-21-4-79-88. EDN: KBYATG
9. Конверсия полимеров зерна пшеницы и кукурузы под влиянием фитолитических и протеолитических ферментов / Л. В. Римарева, М. Б. Оверченко, Е. М. Серб [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 2. С. 374–383. DOI: 10.15389/agrobiology. 2021.2.374rus. EDN: EBFQNJ
10. Челомбиткин М. А. Применение ферментного препарата Ultraflo Max на стадии замачивания семян сои для снижения содержания фитиновой кислоты и ее солей / М. А. Челомбиткин, Н. В. Баракова, А. С. Басковцева, А. В. Нечитайло // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2021. № 3(49). С. 60–65. DOI: 10.17586/2310-1164-2021-14-2-60-65. EDN: HHZNLO
11. The importance of lactic acid bacteria for phytate degradation during cereal dough fermentation / A. Reale, U. Konietzny, R. Coppola [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007. Vol. 55. No. 8. Pp. 2993–2997. DOI: 10.1021/jf063507n
12. Roger T., Ngouné Léopold T., Carl Moses Funtong M. Nutritional properties and antinutritional factors of corn paste (Kutukutu) fermented by different strains of lactic acid bacteria // International Journal of Food Science. 2015. Vol. 2015. Article 502910. DOI: 10.1155/2015/502910.
13. Terefe Z.K., Omwamba M.N., Nduko J.M. Effect of solid state fermentation on proximate composition, antinutritional factors and in vitro protein digestibility of maize flour // Food Science & Nutrition. 2021. Vol. 9. No. 11. Pp. 6343–6352. DOI: 10.1002/fsn3.2599
14. Пономарёва Е. И., Алёхина Н. Н., Скворцова О. Б. Изменение пищевой ценности зерна гречихи при проращивании с использованием обработанной ультразвуком воды // Известия вузов. Пищевая технология. 2020. № 1(373). С. 30–33. DOI: 10.26297/0579-3009.2020.1.8. EDN: CPVVCG
15. Miano A.C., Ibarz A., Augusto P.E.D. Ultrasound technology enhances the hydration of corn kernels without affecting their starch properties // Journal of Food Engineering. 2017. Vol. 197. Pp. 34–43. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.10.024
16. Effect of ultrasonic induction on the main physiological and biochemical indicators and γ -aminobutyric acid content of maize during germination / L. Zhang, N. Hao, W. Li [et al.] // Foods. 2022. Vol. 11. No. 9. Article 1358. DOI: 10.3390/foods11091358
17. Gong M. Ultrasonic treatment can improve maize seed germination and abiotic stress resistance / M. Gong, M. Kong, Q. Huo [et al.] // BMC Plant Biology. 2024. Vol. 24. Article 758. DOI: 10.1186/s12870-024-05474-x

18. Mazi B.G., Çağlayan K. Ultrasound-assisted soaking and solution effects on the anti-nutritional quality and physical properties of legume seeds // *Food Science & Nutrition*. 2025. Vol. 13. No. 4. Article e70152. DOI: 10.1002/fsn3.70152
19. Снегирева А. В., Мелёшкина Л. Е. Использование пророщенного зерна овса голозерного в технологии смузи // *Ползуновский вестник*. 2022. Т. 1. № 4. С. 187–193. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.024. EDN: CKNPSR
20. Latta M., Eskin M. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1980. Vol. 28. No. 6. Pp. 1313–1315. DOI: 10.1021/jf60232a049.
21. Tanilas K., Kriščiunaite T. Development of LC-MS-ESI-TOF method for quantification of phytates in food using ¹³C-labelled maize as internal standard // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2022. Vol. 414. No. 2. Pp. 1539–1552. DOI: 10.1007/s00216-021-03770-1

References

1. Boziev AL, Nogmov KhT, Kasheva KZ, Ashirbekov MZh. Increasing the productivity and grain quality of hybrid corn depending on the use of microfertilizers. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2024;(2):16–24. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2024-2-44-16-24. EDN: MSBSMK
2. Sychev VG, Khanieva IM, Shogenov YuM, Kasheva KZ. Development of elements of maize hybrid cultivation technology under the conditions of the Kabardino-Balkarian Republic. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2024;(2):25–33. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2024-2-44-25-33. EDN: OTVKBG
3. Hurrell RF, Reddy MB, Burri J, Cook JD. Phytate degradation determines the effect of industrial processing and home cooking on iron absorption from cereal-based foods. *The British journal of nutrition*. 2002;88(2):117–123. DOI: 10.1079/BJN2002594
4. Nsabimana S, Ismail T, Lazarte CE. Enhancing iron and zinc bioavailability in maize (*Zea mays*) through phytate reduction: the impact of fermentation alone and in combination with soaking and germination. *Frontiers in Nutrition*. 2024;11:1478155. DOI: 10.3389/fnut.2024.1478155
5. Hotz C, Gibson RS. Assessment of home-based processing methods to reduce the phytate content and phytate/zinc molar ratio of white maize (*Zea mays*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001;49(2):692–698. DOI: 10.1021/jf000462w
6. Kruger J, Oelofse A, Taylor JRN. Effects of aqueous soaking on the phytate and mineral contents and phytate:mineral ratios of wholegrain normal sorghum and maize and low phytate sorghum. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2014;65(5):539–546. DOI: 10.3109/09637486.2014.886182
7. Semenyuta AA, Tanashkina TV. Buckwheat malting: grain steeping methods and their influence on malt quality. *Bulletin of KSAU*. 2021;(1):143–149. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-1-143-149. EDN: LDVMIO
8. Nzeyimana D, Bugaets NA, Rudenko OV. Optimization of corn and soybean soaking parameters to improve germination efficiency. *Novye tekhnologii*. 2025;21(4):79–88. (In Russ.). DOI: 10.47370/2072-0920-2025-21-4-79-88. EDN: KBYATG
9. Rimareva LV, Overchenko MB, Serba EM [et al.]. Influence of phytolytic and proteolytic enzymes on conversion of wheat and corn grain polymers. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2021;56(2):374–383. (In Russ.). DOI: 10.15389/agrobiology.2021.2.374rus. EDN: EBFQNJ
10. Chelombitkin MA, Barakova NV, Baskovtseva AS, Nechitaylo AV. Using the enzyme Ultraflo Max to reduce phytic acid and phytates in soybeans during steeping. *Scientific Journal Processes and Food Production Equipment*. 2021;(3):60–65. (In Russ.). DOI: 10.17586/2310-1164-2021-14-2-60-65. EDN: HHZNLO
11. Reale A, Konietzny U, Coppola R [et al.]. The importance of lactic acid bacteria for phytate degradation during cereal dough fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007;55(8):2993–2997. DOI: 10.1021/jf063507n
12. Roger T, Ngouné Léopold T, Carl Moses Funtong M. Nutritional properties and antinutritional factors of corn paste (Kutukutu) fermented by different strains of lactic acid bacteria. *International Journal of Food Science*. 2015;2015:502910. DOI: 10.1155/2015/502910
13. Terefe ZK, Omwamba MN, Nduko JM. Effect of solid state fermentation on proximate composition, antinutritional factors and in vitro protein digestibility of maize flour. *Food Science & Nutrition*. 2021;9(11):6343–6352. DOI: 10.1002/fsn3.2599

14. Ponomareva EI, Alekhina NN, Skvortsova OB. Changing the nutritional value of buckwheat grains when germination with using ultrasound-treated water. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*. 2020;(1):30–33. (In Russ.). DOI: 10.26297/0579-3009.2020.1.8. EDN: CPVVCG
15. Miano AC, Ibarz A, Augusto PED. Ultrasound technology enhances the hydration of corn kernels without affecting their starch properties. *Journal of Food Engineering*. 2017;197:34–43. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.10.024
16. Zhang L, Hao N, Li W [et al.]. Effect of ultrasonic induction on the main physiological and biochemical indicators and γ -aminobutyric acid content of maize during germination. *Foods*. 2022;11(9):1358. DOI: 10.3390/foods11091358
17. Gong M, Kong M, Huo Q [et al.]. Ultrasonic treatment can improve maize seed germination and abiotic stress resistance. *BMC Plant Biology*. 2024;24:758. DOI: 10.1186/s12870-024-05474-x
18. Mazi BG, Çağlayan K. Ultrasound-assisted soaking and solution effects on the anti-nutritional quality and physical properties of legume seeds. *Food Science & Nutrition*. 2025;13(4):e70152. DOI: 10.1002/fsn3.70152
19. Snegireva AV, Meleshkina LE. Use of sprouted grain of naked oats in smoothie technology. *Polzunovskiy vestnik*. 2022;1(4):187–193. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.024. EDN: CKNPSR
20. Latta M, Eskin M. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. *J Agric Food Chem*. 1980;28(6):1313–1315. DOI: 10.1021/jf60232a049
21. Tanilas K, Kriščiunaite T. Development of LC-MS-ESI-TOF method for quantification of phytates in food using ^{13}C -labelled maize as internal standard. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2022;414(2):1539–1552. DOI: 10.1007/s00216-021-03770-1

Сведения об авторах

Нзейимана Диомед – аспирант по научной специальности 4.3.3. Пищевые системы, кафедра общественного питания и сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Кубанский государственный технологический университет», SPIN-код: 1373-7424

Бугаец Наталья Алексеевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры общественного питания и сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Кубанский государственный технологический университет», SPIN-код: 7790-3426

Руденко Ольга Валентиновна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вычислительных технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Кубанский государственный университет», SPIN-код: 7989-4286

Information about the authors

Diomed Nzeyimana – Postgraduate Student in scientific specialty 4.3.3 Food Systems, Department of Public Catering and Service, Kuban State Technological University, SPIN-code: 1373-7424

Natalya A. Bugaets – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Public Catering and Service, Kuban State Technological University; SPIN-code: 7790-3426

Olga V. Rudenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer Technologies, Kuban State University, SPIN-code: 7989-4286

Авторский вклад. Д. Нзейимана – проведение эксперимента, подготовка зерна и образцов, сбор первичных данных; Н. А. Бугаец – концепция, постановка задачи, методология, интерпретация результатов, подготовка и редактирование рукописи, руководство исследованием; О. В. Руденко – обработка и систематизация данных, расчеты, сравнительный анализ, участие в интерпретации и редактировании. Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант.

Author contributions. *Nzeyimana D.* – experimental work, sample preparation, and primary data collection; *Bugaets N. A.* – conception, methodology, interpretation, manuscript preparation and editing, and supervision; *Rudenko O. V.* – data processing, calculations, comparative analysis, interpretation, and editing. The authors declare no conflict of interest.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

*Статья поступила в редакцию 23.06.2026;
одобрена после рецензирования 14.07.2026;
принята к публикации 21.07.2026.*

*The article was submitted 23.06.2026;
approved after reviewing 14.07.2026;
accepted for publication 21.07.2026.*