

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ ЗЕРНОВЫХ ПРОДУКТОВ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ

Барашков А.С.

Научный руководитель – Шаршунов В.А., д.т.н., профессор,
член-корреспондент НАН Беларуси

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
г. Могилев, Республика Беларусь

Современное состояние пищевой промышленности характеризуется тремя взаимосвязанными проблемами. Медико-биологическая – обусловлена ростом алиментарно-зависимых заболеваний (ожирение, сахарный диабет 2 типа, сердечно-сосудистые патологии, дисбактериоз кишечника), что диктует необходимость создания функциональных продуктов питания с доказанной эффективностью [1,2]. Технологическая – выражается в потребности в энергоэффективных способах переработки зерна, позволяющих максимально сохранить нативную пищевую ценность сырья, тогда как традиционная варка приводит к потерям витаминов группы *B* на 30–40 % [3,4]. Социально-экономическая – связана с расширением ассортимента безопасных безглютеновых продуктов для лиц с целиакией и импортозамещением специализированной пищевой продукции [5].

Потенциал ферментированных пророщенных круп доказан в работах как отечественных, так и зарубежных исследователей [6–9]. Однако научное обоснование комбинации трех этапов – проращивания, ферментации и щадящей термообработки *Sous-Vide* – для глютенных (пшеница, рожь) и безглютеновых (гречиха, кукуруза) культур с позиций как биохимической трансформации, так и энергоэффективности остается недостаточно изученным.

Цель работы – научное обоснование и разработка ресурсосберегающей технологии получения пророщенного ферментированного зерна пшеницы, ржи, гречихи и кукурузы с заданными структурно-реологическими, органолептическими свойствами и длительного хранения.

В задачи исследования входило: установить оптимальные параметры проращивания и концентрации молочнокислой закваски для каждой культуры; изучить закономерности биохимической трансформации (аминокислотный, углеводный, витаминный профили, снижение антинутриентов); исследовать кинетику гидратации и оптимизировать режимы *Sous-Vide* обработки; провести комплексную оценку качества, безопасности и функциональных свойств полученных продуктов; разработать нормативно-техническую документацию.

В качестве объектов исследования использовали продовольственное зерно (пшеница мягкая *Triticum aestivum*, рожь посевная *Secale cereale*, кукуруза сахарная *Zea mays*), а также крупу гречневую ядрицу непропаренную (из гречихи обыкновенной *Fagopyrum esculentum*) урожаяев 2022–2024 гг. Контролем служили нативные (неферментированные) образцы. Проращивание осуществляли водно-воздушным способом при температуре 10 ± 2 °С и относительной влажности 85 % в термостате ИРР 55 Memmert в течение 48–72 ч до длины ростка не более 2 мм для пшеницы и ржи, не более 5 мм для гречихи и кукурузы. Ферментацию проводили с использованием штаммов *Lactobacillus acidophilus* и *Streptococcus thermophilus* при температуре 25 ± 1 °С в течение 36 ч. Концентрацию закваски варьировали в диапазоне 0,005–0,02 %.

Критерием завершения ферментации служило достижение рН 3,7–4,3. Обработку Sous-Vide проводили путем вакуумирования гидратированных образцов в пакетах из полипропилена (остаточное давление 98–99 %) и подвергали термообработке в автоклаве с точностью поддержания температуры $\pm 0,5$ °С при 75–100 °С. Химический состав определяли общепринятыми методами.

Процесс ферментации исследуемых культур протекал стабильно во всем диапазоне концентраций закваски (0,005–0,02 %), о чем свидетельствуют значения рН 3,7–4,3 и температуры 24,0–27,5 °С. Статистический анализ не выявил линейной зависимости ($R^2 < 0,5$) между концентрацией закваски и конечным рН, что подтверждает эффективность минимальной дозировки (0,005 %) для инициации процесса. Наиболее значимым эффектом ферментации явилось улучшение аминокислотного состава и повышение биологической ценности белка (таблица 1). Установлено, что проращивание повышало индекс незаменимых аминокислот (ИНАК) за счет активации эндогенных протеаз. Последующая ферментация приводила к дальнейшему значительному росту этого показателя благодаря протеолитической активности молочнокислых бактерий.

Таблица 1 – Влияние ферментации на индекс незаменимых аминокислот (ИНАК)

Культура	Исходное зерно	Пророщенное зерно	Ферментированное зерно (оптимальная концентрация)	Прирост (ферм. к исходному), %
Пшеница	0,98	1,39	1,92	+96
Рожь	1,05	1,45	1,85	+76
Гречиха	1,25	1,65	2,10	+68
Кукуруза	0,65	0,85	1,15	+77

Наибольший абсолютный прирост ИНАК наблюдался у гречихи (до 2,10), что объясняется высоким исходным качеством ее белка и его повышенной доступностью для ферментов. Для кукурузы, имеющей наименее сбалансированный аминокислотный состав, ферментация позволила компенсировать дефицит лизина и триптофана, увеличив ИНАК на 77 % по сравнению с исходным зерном. Ферментация оказала значительное влияние на углеводный профиль (таблица 2). Во всех случаях наблюдалось снижение содержания крахмала и увеличение доли простых сахаров и олигосахаридов в результате амилолитической активности заквасочных микроорганизмов.

Таблица 2 – Изменение содержания крахмала и сахаров при ферментации (оптимальная концентрация)

Культура	Содержание крахмала, % на СВ			Содержание сахаров, % на СВ		
	Исходное	После ферментации	Δ , %	Исходное	После ферментации	Δ , %
Пшеница	60,8	50,5	-17,0	4,6	10,0	+117
Рожь	58,5	47,8	-18,3	5,8	12,5	+115
Гречиха	65,2	59,0	-9,5	3,2	7,5	+134
Кукуруза	73,5	65,0	-11,6	2,5	6,2	+148

Наибольшей амилолитической активностью характеризовались образцы ржи, что привело к росту содержания сахаров на 115 %. Для кукурузы, обладающей наиболее устойчивым к гидролизу крахмалом, относительный прирост сахаров составил 148 % (при низком исходном уровне). Существенно увеличилось содержание

витаминов группы В. Для пшеницы и ржи наибольший относительный прирост отмечен для витамина В₆ (на 100 % и 110 % соответственно), что связано с синтезом пиридоксина молочнокислыми бактериями. В гречихе и кукурузе наиболее значительно увеличилось содержание витамина В₁ (на 85 % и 70 % соответственно). Концентрация минеральных элементов (калий, магний, фосфор, железо, цинк) оставалась стабильной, однако за счет снижения содержания фитиновой кислоты в процессе ферментации на 45–70 % (по данным ВЭЖХ-анализа) их биодоступность существенно возросла, что согласуется с данными других исследователей [10, 11].

Методом комплексной оптимизации (структурно-механические свойства, сохранность витаминов, антиоксидантная активность, содержание γ -аминомасляной кислоты) были установлены оптимальные параметры Sous-Vide обработки для каждой культуры. Анализ данных показал, что с повышением температуры обработки происходит упрочнение структуры зерна и снижение клейкости, что связано с интенсивной денатурацией белков и клейстеризацией крахмала. Одновременно наблюдается снижение сохранности термолабильных компонентов. Во всех случаях обработка при 100 °С приводила к ухудшению качества продукции. Ферментированная рожь наиболее чувствительна к тепловому воздействию, для нее оптимальна более низкая температура (85 °С). Кукуруза, обладающая наиболее плотной структурой эндосперма, потребовала более высокой температуры (95 °С) для достижения желаемой мягкости. Гречиха характеризуется наибольшей скоростью теплопереноса и клейстеризации крахмала благодаря пористой структуре и ферментативной модификации, что позволило использовать короткую обработку (12 мин) при 90 °С.

Проведена комплексная оценка качества и безопасности. Полученные продукты характеризовались выраженными органолептическими признаками, типичными для ферментированных продуктов: чистый кисломолочный аромат, умеренно-кислый вкус, упругая консистенция. Во всех образцах отсутствовала патогенная и условно-патогенная микрофлора (БГКП, *E. coli*, *S. aureus*, *B. cereus*, *Salmonella*). Высокие значения КМАФАнМ (10^6 КОЕ/г) обусловлены наличием жизнеспособных клеток молочнокислых бактерий (10^8 - 10^9 КОЕ/г), что подтверждает пробиотический потенциал продуктов.

Важным аспектом безопасности является снижение содержания антипитательных веществ. В результате ферментации содержание фитиновой кислоты во всех образцах снизилось на 45–70 % по сравнению с исходным пророщенным зерном. Содержание токсичных элементов (свинец, кадмий, мышьяк, ртуть) во всех образцах находилось на уровне следовых количеств, существенно ниже норм, установленных ТР ТС 021/2011.

На основании комплексного исследования динамики микробиологических, физико-химических и органолептических показателей в течение 6 месяцев хранения научно обоснованы сроки годности продуктов. Лимитирующим фактором, определяющим срок годности, является изменение органолептических характеристик (вкус, запах), а не микробиологическая порча. Рекомендуемые сроки годности при хранении при +4...+25 °С: 60 суток для пшеницы и ржи, 75 суток для кукурузы, 90 суток для гречихи (последняя показала наибольшую стабильность благодаря высокому содержанию природных антиоксидантов – рутина).

Таким образом, в результате выполнения работы впервые установлены количественные закономерности влияния сверхнизких концентраций молочнокислой закваски (0,015–0,02 %) на биотрансформацию зерновых культур пшеницы, ржи, гречихи и кукурузы. Ферментация обеспечивает повышение ИНАК на 68–96 %, содержания свободных аминокислот на 30–66 %, витаминов группы В на 70–110 % и

снижение фитиновой кислоты на 45–70 %. Доказано, что комбинация проращивания и ферментации сокращает продолжительность энергоемкой стадии Sous-Vide на 47–55 % (с 38 до 20 мин для пшеницы, с 22 до 10 мин для гречихи), что обеспечивает значительный ресурсосберегающий эффект. Методом комплексной оптимизации установлены дифференцированные режимы Sous-Vide обработки: для пшеницы – 90 °С, 20 мин; ржи – 85 °С, 22 мин; гречихи – 90 °С, 12 мин; кукурузы – 95 °С, 20 мин. Режимы обеспечивают сохранность витаминов группы В более 90 % и антиоксидантной активности 90–95 %. Полученные продукты характеризуются пробиотическим потенциалом ($2,0\text{--}5,0 \times 10^8$ КОЕ/г молочнокислых бактерий), содержат физиологически активную γ -аминомасляную кислоту (до 35,5 мг/100 г в гречихе), безопасны по микробиологическим показателям. Срок годности в вакуумной упаковке составляет 60–90 суток. Разработана и утверждена нормативно-техническая документация. Технология внедрена в производство.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси», РУП «НПЦ НАН Беларуси по продовольствию» за содействие в проведении аналитических исследований, а также индустриальному партнеру – ОАО «Берестейский пекарь» – за внедрение результатов.

Список использованных источников

1. Gibney, M. J. Ultra-processed foods in human health: a critical appraisal / M. J. Gibney, C. G. Forde, D. Mullally, E. R. Gibney // *The American Journal of Clinical Nutrition*. – 2017. – Vol. 106, № 3. – P. 717-724.
2. Фундаментальные и прикладные аспекты нутрициологии и диетологии / [Под общ. ред. академика РАН В.А. Тутельяна]. – Москва: «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2023. – 504 с.
3. Rickman, J. C. Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part II. Vitamin A and carotenoids, vitamin E, minerals and fiber / J. C. Rickman, D. M. Barrett, C. M. Bruhn // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2007. – Vol. 87, № 7. – P. 1185-1196.
4. Baldwin, D. E. Sous vide cooking: A review / D. E. Baldwin // *International Journal of Gastronomy and Food Science*. – 2012. – Vol. 1, № 1. – P. 15-30.
5. Шаршунов, В. А. Комплексный анализ качества зерна злаковых культур как сырья для получения безглютеновых каш готовых к употреблению / В. А. Шаршунов, А. Л. Желудков, А. С. Барашков // *Механика и технологии*. – 2024. – № 1(83). – С. 65–76.
6. Katina, K. Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye / K. Katina, A.-M. Laitila, R. Juvonen et al. // *Journal of Cereal Science*. – 2007. – Vol. 46, № 3. – P. 348-355.
7. Coda, R. Biotechnological exploitation of cereals and pseudocereals for the development of gluten-free functional foods / R. Coda, C. G. Rizzello, D. Pinto, M. Gobetti // *Functional Foods and Biotechnology*. – 2020. – P. 235-274.
8. Nkhata, S. G. Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes / S. G. Nkhata, E. Ayua, E. H. Kamau, J.-B. Shingiro // *Food Science & Nutrition*. – 2018. – Vol. 6, № 8. – P. 2446-2458.
9. Rizzello, C. G. Improving the antioxidant properties of quinoa flour through fermentation with selected autochthonous lactic acid bacteria / C. G. Rizzello, A. Lorusso, V. Russo // *International Journal of Food Microbiology*. – 2017. – Vol. 241. – P. 252-261.
10. Gupta, R. K. Beta-glucans from oats: structure, functionality and health benefits / R. K. Gupta, S. Dhillon // *Journal of Functional Foods*. – 2022. – Vol. 88. – P. 104891.
11. Hurrell, R. F. Iron bioavailability and dietary reference values / R. F. Hurrell, I. Egli // *The American Journal of Clinical Nutrition*. – 2010. – Vol. 91, № 5. – P. 1461S-1467S.