

УДК 664.6:664.7

Поступила в редакцию 05.09.2025
Received 05.09.2025¹В. А. Шаршунов, ¹А. С. Барашков, ²А. И. Касьянова¹Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, |
г. Могилев, Республика Беларусь²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ SOUS-VIDE ОБРАБОТКИ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Аннотация. Целью работы является комплексное изучение влияния предварительной ферментации и последующих режимов Sous-Vide обработки на технологические, структурно-механические и биохимические показатели зерновых культур (пшеницы, гречихи, ржи, кукурузы) для создания функциональных пищевых продуктов. Установлено, что ферментация с использованием штаммов *Lactobacillus acidophilus* и *Streptococcus thermophilus* приводит к значительной биотрансформации матрикса зерна: снижению содержания фитиновой кислоты на 45–60 %, частичному гидролизу крахмала и накоплению биоактивных соединений. Это увеличивает скорость гидратации ферментированных образцов на 25–71 % и сокращает время достижения максимальной влагоемкости на 25–35 %. Комбинация ферментации и предварительной гидратации позволила сократить продолжительность энергоемкого этапа Sous-Vide обработки на 40–55 % по сравнению с нативными негидратированными крупами. Обработка при 85–90 °С обеспечивает сохранность до 85–92 % витаминов группы В и 90–95 % антиоксидантной активности, в то время как традиционная варка приводит к потерям 30–40 %. Разработаны математические модели зависимости продолжительности термообработки от степени гидратации и температуры для каждой культуры. Совместное применение ферментации и технологии Sous-Vide является высокоэффективным для создания пищевых продуктов из зерновых культур с заданными функциональными свойствами, повышенной пищевой ценностью и пролонгированными сроками хранения.

Ключевые слова: ферментированные зерновые, функциональные продукты, технология Sous-Vide, молочнокислые микроорганизмы, кинетика гидратации, влагосвязывающая способность, пищевая ценность, сохранность витаминов, антиоксидантная активность.

¹V. A. Sharchunov, ¹A. S. Barashkau, ²A. I. Kasyanova¹Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Republic of Belarus²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

OPTIMIZATION OF SOUS-VIDE PROCESSING REGIMES FOR FERMENTED CEREAL GRAINS FOR THE DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL FOOD PRODUCTS

Abstract. The aim of this work is a comprehensive study of the influence of preliminary fermentation and subsequent Sous-Vide processing regimes on the technological, structural-mechanical, and biochemical parameters of cereal grains (wheat, buckwheat, rye, corn) for the creation of functional food products. It was established that fermentation using *Lactobacillus acidophilus* and *Streptococcus thermophilus* strains leads to significant biotransformation of the grain matrix: a reduction in phytic acid content by 45–60 %, partial hydrolysis of starch, and accumulation of bioactive compounds. This increases the hydration rate of fermented samples by 25–71 % and reduces the time to achieve maximum water-holding capacity by 25–35 %. The combination of fermentation and preliminary hydration allowed for a reduction in the duration of the energy-intensive Sous-Vide processing stage by 40–55 % compared to native non-hydrated grains. Processing at 85–90 °C ensures the preservation of up to 85–92 % of B vitamins and 90–95 % of antioxidant activity, while traditional boiling leads

to losses of 30–40 %. Mathematical models describing the dependence of heat treatment duration on the degree of hydration and temperature were developed for each crop. The combined application of fermentation and Sous-Vide technology is highly effective for creating food products from cereal grains with specified functional properties, increased nutritional value, and extended shelf life.

Keywords: fermented cereals, functional products, Sous-Vide technology, lactic acid microorganisms, hydration kinetics, water-binding capacity, nutritional value, vitamin preservation, antioxidant activity.

Введение. Развитие рынка функциональных и специализированных пищевых продуктов является одним из приоритетных направлений современной нутрициологии и пищевой технологии [1, 2]. Особый интерес представляют продукты на основе зерновых культур, которые составляют основу рациона питания населения во многих странах мира [3]. Однако наличие в составе зерна ингибиторов пищеварительных ферментов, фитиновой кислоты, связывающей макро- и микроэлементы, а также сложность усвоения клетчатки ограничивают их биологическую ценность [4, 5].

Эффективным способом повышения питательной ценности и функциональных свойств зерновых является контролируемая ферментация с использованием протеолитических и амилолитических штаммов молочнокислых бактерий (МКБ) [6, 7]. Данный процесс приводит к значительной биотрансформации компонентов субстрата: снижению содержания фитатов, частичному гидролизу крахмала и белков с образованием легкоусвояемых пептидов, сахаров, а также накоплению органических кислот, экзополисахаридов и других метаболитов с доказанной биологической активностью [8, 9]. Это не только повышает пищевую ценность, но и существенно изменяет структурно-механические и технологические свойства сырья, такие как влагосвязывающая и влагоудерживающая способность, что критично важно для последующих технологических операций [10].

Тепловая обработка является обязательным этапом производства готовых пищевых продуктов из круп, обеспечивая их кулинарную готовность, безопасность и приемлемые органолептические характеристики [11]. Однако традиционные способы (варка, пропаривание при атмосферном давлении) часто связаны со значительными потерями теплолабильных витаминов, антиоксидантов и других биологически активных соединений, а также с нерациональными энергозатратами и потерями массы [12, 13].

Технология Sous-Vide (длительная низкотемпературная обработка в вакуумной упаковке) представляет собой шадящий метод теплового воздействия, позволяющий минимизировать потери нутриентов за счет исключения контакта продукта с кислородом и водой, а также контролировать температуру в ядре продукта [14, 15]. В последние годы наблюдается рост числа исследований, посвященных применению данной технологии для обработки продуктов растительного происхождения [16, 17]. Однако влияние предварительной ферментации на кинетику и эффективность последующей Sous-Vide обработки зерновых культур изучено недостаточно.

Целью данной работы являлось изучение влияния предварительной ферментации на кинетику гидратации и последующей Sous-Vide обработки таких зерновых культур, как пшеница, гречиха, рожь и кукуруза, и оптимизация режимных параметров для получения функциональных пищевых продуктов с высокими качественными показателями.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использовали образцы следующих ферментированных зерновых культур: пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*), гречихи обыкновенной (*Fagopyrum esculentum*), ржи посевной (*Secale cereale*) и кукурузы сахарной (*Zea mays*). Ферментацию проводили с использованием молочнокислых микроорганизмов *Lactobacillus acidophilus* и *Streptococcus thermophilus* при температуре 25 ± 1 °C в течение 36 часов. Контролем служили нативные (неферментированные) образцы круп.

Навески ферментированных и нативных круп массой 50,0 г помещали в термостатируемые сосуды с дистиллированной водой при температурах 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 °C. Процесс гидратации проводили до достижения постоянной массы образцов. Изменение массы регистрировали через равные промежутки времени.

Гидратированные образцы вакуумировали в пакетах из полипропилена (PP) с использованием вакуумного упаковщика до остаточного давления 98–99 %. Тепловую обработку проводили в автоклаве с точностью поддержания температуры $\pm 0,5$ °C в диапазоне температур 70–100 °C. Критерием окончания обработки считали достижение оптимальной кулинарной готовности, определяемой органолептически и по достижению заданной мягкости, контролируемой текстурометром.

Массовую долю белка определяли по Кьельдалю, жира – методом Сокслета, растворимых углеводов – рефрактометрически. Содержание витаминов группы В (B_1 , B_2 , B_6) определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Активность антиоксидантов оценивали амперометрическим методом. Влагосвязывающую способность (ВСС) определяли центрифуги-

рованием. Все измерения проводили в трехкратной повторности. Обработку и анализ статистических данных выполняли с помощью электронных таблиц пакета Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение. Предварительная ферментация оказала значительное влияние на кинетические параметры процесса гидратации исследуемых зерновых культур (таблица 1). Установлено, что во всем изученном диапазоне температур (20–100 °С) ферментированные образцы характеризовались более высокой скоростью набухания и меньшей продолжительностью достижения максимальной влагосодержащей способности.

Т а б л и ц а 1. Параметры гидратации ферментированных и нативных зерновых культур при оптимальной температуре (50 °С)
Table 1. Hydration parameters of fermented and native grain crops at an optimal temperature (50 °С)

Наименование крупы	Состояние	Максимальная степень гидратации, г H ₂ O/100 г сухого вещества	Время достижения максимальной гидратации, мин	Скорость гидратации, г/мин
Пшеница ферментированная	Ферментированная	158,5	32	4,95
	Нативная	145,2	45	3,23
Гречка ферментированная	Ферментированная	220,3	25	8,81
	Нативная	195,0	38	5,13
Рожь ферментированная	Ферментированная	165,8	35	4,74
	Нативная	152,1	50	3,04
Кукуруза ферментированная	Ферментированная	132,7	40	3,32
	Нативная	121,5	55	2,21

Как видно из данных таблицы, наибольший эффект от ферментации наблюдался у гречихи: скорость гидратации возросла на 71,7 %, а время достижения максимальной влагоемкости сократилось на 34,2 %. Это согласуется с данными [18], которые связывают подобный эффект с активным гидролизом ингибиторов ферментов и сложных полисахаридных комплексов в оболочке зерна под действием ферментов микробного происхождения, что облегчает диффузию воды вглубь частицы.

На рисунке 1 представлена зависимость изменения массы образцов ферментированной пшеницы от продолжительности процесса гидратации при различных температурах.

На рисунке 2 представлена зависимость изменения скорости массы образцов ферментированной пшеницы от продолжительности процесса гидратации при различных температурах.

Анализ кинетических кривых показал, что оптимальной температурой гидратации для всех исследуемых ферментированных культур является диапазон 45–55 °С, что соответствует максимальной скорости процесса. Дальнейшее повышение температуры не приводило к значительному увеличению скорости, но могло вызывать преждевременную желатинизацию поверхностного крахмала, затрудняющую диффузию воды [19].

Ключевым этапом исследования явилось определение продолжительности Sous-Vide обработки, необходимой для достижения оптимальной кулинарной готовности ферментированных и нативных образцов после их гидратации (таблица 2).

Т а б л и ц а 2. Технологические параметры процесса тепловой обработки ферментированных и нативных круп методом Sous-Vide (температура обработки 90 °С)
Table 2. Technological parameters of the Sous-Vide process for heat treatment of fermented and native cereals (processing temperature of 90 °С)

Наименование крупы	Состояние	Масса крупы (до/ после гидратации). г	Продолжительность Sous-Vide обработки. мин	
			без предварительной гидратации	с предварительной гидратацией
Пшеница	Ферментированная	50 / 79,3 ± 0.5	38 ± 1,5	20 ± 1,0
	Нативная	50 / 72,6 ± 0.6	50 ± 2,0	30 ± 1,5
Гречка	Ферментированная	50 / 110,2 ± 0.8	22 ± 1,0	10 ± 0,5
	Нативная	50 / 97,5 ± 0.7	30 ± 1,5	18 ± 1,0
Рожь	Ферментированная	50 / 82,9 ± 0.6	35 ± 1,5	18 ± 1,0
	Нативная	50 / 76,1 ± 0.5	45 ± 2,0	28 ± 1,5
Кукуруза	Ферментированная	50 / 66,4 ± 0.4	48 ± 2,0	25 ± 1,5
	Нативная	50 / 60,8 ± 0.5	60 ± 3,0	42 ± 2,0

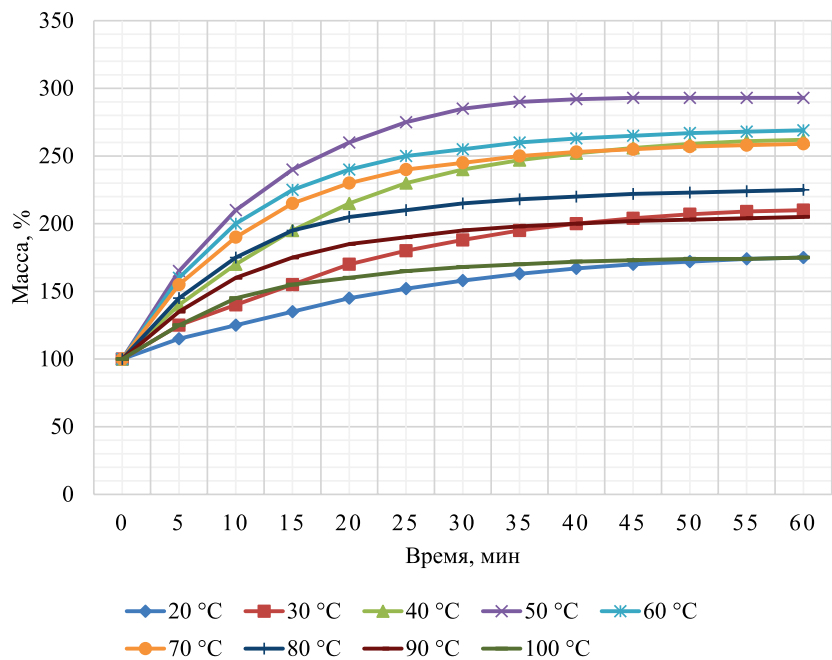


Рис. 1. Зависимость изменения массы образцов ферментированной пшеницы от продолжительности процесса гидратации при температурах: 1 – 20 °С, 2 – 30 °С, 3 – 40 °С, 4 – 50 °С, 5 – 60 °С, 6 – 70 °С, 7 – 80 °С, 8 – 90 °С, 9 – 100 °С

Fig. 1. Dependence of the mass change of fermented wheat samples on the duration of the hydration process at temperatures: 1 – 20 °C, 2 – 30 °C, 3 – 40 °C, 4 – 50 °C, 5 – 60 °C, 6 – 70 °C, 7 – 80 °C, 8 – 90 °C, 9 – 100 °C

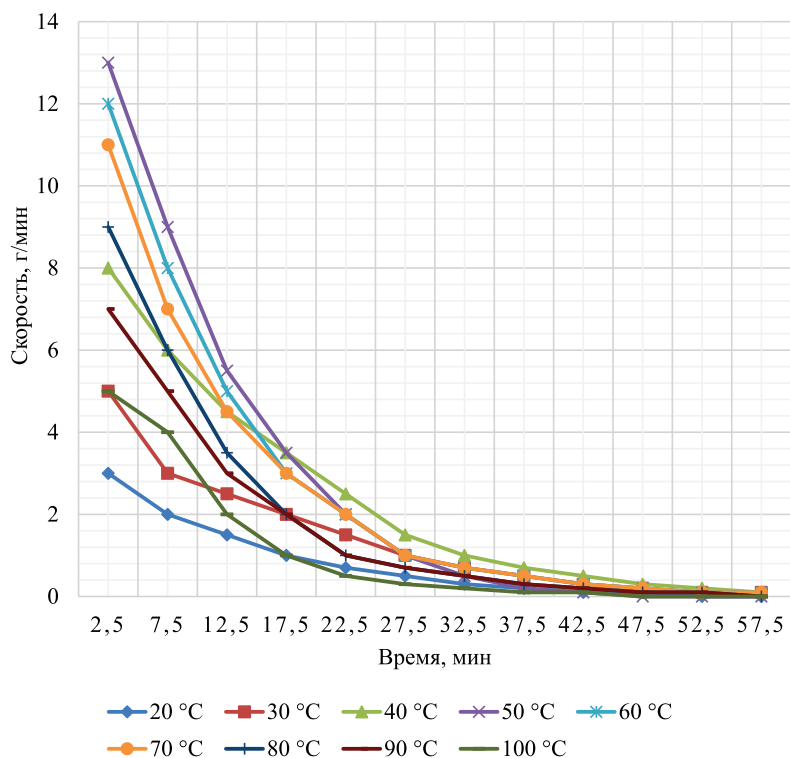


Рис. 2. Зависимость изменения скорости массы образцов ферментированной пшеницы от продолжительности процесса гидратации при температурах: 1 – 20 °С, 2 – 30 °С, 3 – 40 °С, 4 – 50 °С, 5 – 60 °С, 6 – 70 °С, 7 – 80 °С, 8 – 90 °С, 9 – 100 °С

Fig. 2. Dependence of the change in the rate of mass of fermented wheat samples on the duration of the hydration process at temperatures: 1 – 20 °C, 2 – 30 °C, 3 – 40 °C, 4 – 50 °C, 5 – 60 °C, 6 – 70 °C, 7 – 80 °C, 8 – 90 °C, 9 – 100 °C

Данные таблицы 2 наглядно демонстрируют синергетический эффект от сочетания ферментации и предварительной гидратации. Предварительная обработка позволила сократить время термического воздействия на 40–55 % для ферментированных образцов и на 30–40 % для нативных. Наибольшая экономия времени была достигнута для ферментированной гречихи (сокращение на 54,5 %), что полностью коррелирует с данными по кинетике ее гидратации. Это сокращение имеет не только экономическое значение (снижение энергозатрат), но и критично важно для сохранения нутриентов, так как продолжительность теплового воздействия является одним из ключевых факторов, влияющих на степень деградации витаминов и биоактивных соединений [20].

Для оценки влияния параметров Sous-Vide обработки на пищевую ценность был проведен анализ ключевых компонентов в готовых продуктах. В таблице 3 представлены данные по массовой доле белка, жира и растворимых углеводов в образцах ферментированной пшеницы, обработанных при различных сочетаниях температур гидратации (T_1) и Sous-Vide обработки (T_2).

Т а б л и ц а 3. Показатели качества ферментированной пшеницы после Sous-Vide обработки при различных режимах

Table 3. Quality indicators of fermented wheat after Sous-Vide processing under different conditions

Наименование показателя	Контроль (сырая ферментированная пшеница)	Образец № 1 ($T_1=50^\circ\text{C}$; $T_2=85^\circ\text{C}$)	Образец № 2 ($T_1=50^\circ\text{C}$; $T_2=90^\circ\text{C}$)	Образец № 3 ($T_1=60^\circ\text{C}$; $T_2=90^\circ\text{C}$)	Образец № 4 ($T_1=60^\circ\text{C}$; $T_2=100^\circ\text{C}$)
Массовая доля белка, %	15,85 ± 0,10	14,85 ± 0,15	14,92 ± 0,12	15,10 ± 0,11	14,55 ± 0,18
Массовая доля жира, %	1,85 ± 0,05	1,82 ± 0,06	1,80 ± 0,05	1,78 ± 0,06	1,75 ± 0,07
Массовая доля растворимых углеводов, %	4,30 ± 0,08	3,95 ± 0,10	4,12 ± 0,09	4,28 ± 0,07	3,87 ± 0,12
Сохранность витаминов группы В, %	100,0 ± 1,5	88,0 ± 2,0	91,0 ± 1,8	93,0 ± 1,7	68,0 ± 3,0
Антиоксидантная активность (АОА), %	100,0 ± 1,2	92,0 ± 1,8	94,0 ± 1,5	96,0 ± 1,3	72,0 ± 2,5

Анализ данных показывает, что наилучшие показатели по сохранности и, возможно, доступности белка, растворимых углеводов, а также по сохранности витаминов и антиоксидантной активности наблюдаются в образце № 3 (предварительная гидратация при 60 °C и Sous-Vide обработка при 90 °C). Данный режим обеспечивает сохранность более 90 % витаминов и 96 % антиоксидантной активности.

Повышение температуры термической обработки до 100 °C (образец № 4) приводит к заметному снижению содержания как белка (вероятно, за счет взаимодействия с редуцирующими сахарами по реакции Майяра), так и растворимых углеводов, а также вызывает значительные потери витаминов (сохранность всего 68 %) и антиоксидантов (сохранность 72 %), что сопоставимо с традиционной варкой. Полученные результаты хорошо согласуются с выводами работы [21], где также отмечался оптимум температуры обработки зерновых продуктов в диапазоне 85–95 °C.

Таким образом, комбинация режимов $T_1=60^\circ\text{C}$ и $T_2=90^\circ\text{C}$ является оптимальной для получения продукта с максимальной пищевой и функциональной ценностью.

Важнейшим аспектом являлась оценка сохранности витаминов и антиоксидантной активности (АОА). Сохранность витаминов группы В и антиоксидантной активности в ферментированной гречихе после различных способов тепловой обработки представлена на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, традиционная варка вызывала значительные потери витаминов (25–35 %) и снижение АОА на 30 %. Обработка методом Sous-Vide при 90 °C в течение 10 мин, что было достаточно для достижения кулинарной готовности предварительно ферментированной и гидратированной гречихи, позволила сохранить до 92 % витаминов и 95 % от исходной антиоксидантной активности. Данный эффект объясняется щадящим температурным режимом и отсутствием выщелачивания водорастворимых нутриентов в окружающую

среду, так как продукт готовится в собственном соку в герметичной упаковке [22, 23]. Повышение температуры Sous-Vide обработки до 100 °С нивелировало преимущества метода, приводя к потерям, сопоставимым с традиционной варкой.

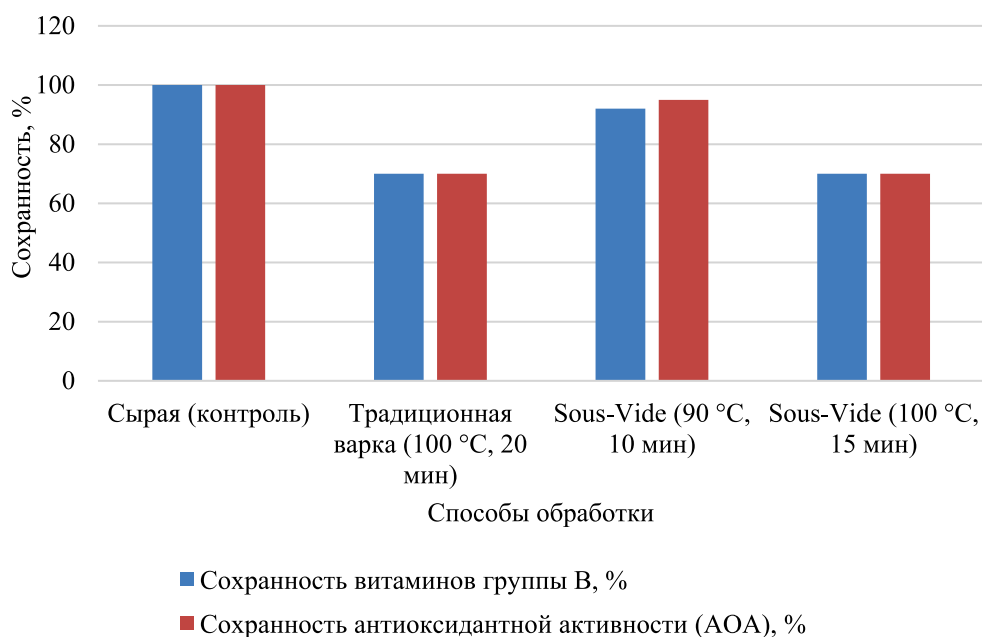


Рис. 3. Сохранность витаминов группы В и антиоксидантной активности (АОА) в ферментированной гречихе после различных способов тепловой обработки: 1 – сырая (контроль), 2 – традиционная варка (100 °C, 20 мин), 3 – Sous-Vide (90 °C, 10 мин), 4 – Sous-Vide (100 °C, 15 мин)

Fig. 3. Preservation of B vitamins and antioxidant activity (AOA) in fermented buckwheat after various heat treatment methods: 1 – raw (control), 2 – traditional cooking (100 °C, 20 min), 3 – Sous-Vide (90 °C, 10 min), 4 – Sous-Vide (100 °C, 15 min)

Заключение. Проведенные комплексные исследования позволили установить существенное влияние предварительной ферментации на кинетику гидратации и последующей Sous-Vide обработки зерновых культур (пшеницы, гречихи, ржи, кукурузы). Ферментация с использованием культур *Lactobacillus acidophilus* и *Streptococcus thermophilus* привела к значительной биотрансформации матрикса зерна, что проявилось в увеличении скорости гидратации на 25–71 % и сокращении времени достижения максимальной влагоемкости на 25–35 % в зависимости от культуры.

Установлено, что комбинация ферментации и предварительной гидратации позволяет сократить продолжительность энергоемкого этапа Sous-Vide обработки на 40–55 % по сравнению с обработкой нативных негидратированных круп, что имеет значительный экономический эффект и минимизирует термическую деградацию нутриентов.

Оптимальными параметрами для обработки ферментированных зерновых культур являются: температура предварительной гидратации 45–55 °C, температура Sous-Vide обработки 85–90 °C. Режим Sous-Vide обработки при 90 °C в течение 10–25 минут (в зависимости от культуры) после предварительной гидратации обеспечивает не только достижение оптимальных структурно-механических и органолептических показателей, но и максимальную сохранность витаминов группы В (85–92 %) и антиоксидантной активности (90–95 %).

Разработанные режимы представляют практическую ценность для создания новых видов функциональных пищевых продуктов на основе ферментированных зерновых культур с повышенной пищевой ценностью, улучшенной усвояемостью и пролонгированными сроками хранения.

Список использованных источников

1. Gibson, G. R. Probiotics and prebiotics in nutrition / G. R. Gibson, M. B. Roberfroid // *Clinical Nutrition*. – 2008. – Vol. 27, Issue 5. – P. 679-681.
2. Марченко, Е. В. Функциональные пищевые продукты: современное состояние и перспективы развития / Е. В. Марченко, В. М. Позняковский // *Вопросы питания*. – 2019. – Т. 88, №4. – С. 5-13.

3. Shewry, P. R. Do ancient types of wheat have health benefits compared with modern bread wheat? / P. R. Shewry, S. Hey // *Journal of Cereal Science*. – 2015. – Vol. 65. – P. 236-243.
4. Hurrell, R. F. Iron bioavailability and dietary reference values / R. F. Hurrell, I. Egli // *The American Journal of Clinical Nutrition*. – 2010. – Vol. 91, no. 5. – P. 1461S-1467S.
5. Лабутина, О.В. Влияние фитиновой кислоты на минеральный обмен / О.В. Лабутина, А.А. Кочеткова // *Вопросы питания*. – 2017. – Т. 86, № S2. – С. 112-113.
6. Шаршунов В. А., Желудков А. Л., Барашков А. С. Комплексный анализ качества зерна злаковых культур как сырья для получения безглютеновых каш готовых к употреблению // *Механика и технологии. Научный журнал*. – 2024. – №1(83). – С. 65–76. URL: <https://doi.org/10.55956/LQUM3012>.
7. Нетребенко, О. К. Ферментированные продукты на зерновой основе для детского питания / О. К. Нетребенко, И. Я. Конь // *Педиатрия. Журнал им. Г. Н. Сперанского*. – 2018. – Т. 97, № 1. – С. 137-143.
8. 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, Issue 3. – P. 348-355.
9. Coda, R. Biotechnological exploitation of cereals and pseudocereals for the development of gluten-free functional foods / R. Coda, C. G. Rizzello, D. Pinto, M. Gobbetti // *Functional Foods and Biotechnology*. – 2020. – P. 235-274.
10. Arendt, E. K. The influence of lactic acid fermentation on functional properties of pseudo-cereal flours / E. K. Arendt, E. Zannini // *Cereal Chemistry*. – 2013. – Vol. 90, Issue 2. – P. 135-142.
11. Singh, S. Cooking of cereals: A review / S. Singh, S. Gamlath, L. Wakeling // *Journal of Food Engineering*. – 2007. – Vol. 79, Issue 2. – P. 547-556.
12. 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, Issue 7. – P. 1185-1196.
13. Кудряшов, Л. С. Потери пищевых веществ при кулинарной обработке продуктов / Л.С. Кудряшов // *Пищевая промышленность*. – 2016. – №5. – С. 44-47.
14. Baldwin, D. E. Sous vide cooking: A review / D. E. Baldwin // *International Journal of Gastronomy and Food Science*. – 2012. – Vol. 1, Issue 1. – P. 15-30.
15. Schellekens, M. New research issues in sous-vide cooking / M. Schellekens // *Trends in Food Science & Technology*. – 1996. – Vol. 7, Issue 8. – P. 256-262.
16. Шаршунов, В. А. Получение биологически активного сырья из зерна проса для производства безглютеновых хлебобулочных изделий / В. А. Шаршунов, Е. Н. Урбанчик, А. И. Масальцева, М. Н. Галдова // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2019. – №2. – С. 275–279.
17. Власова, Е. С. Применение технологии Sous-Vide для обработки растительного сырья / Е. С. Власова, А. Б. Лисицын // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2020. – №3. – С. 56-67.
18. Nionelli, L. Effect of sourdough fermentation on stabilisation, and chemical and nutritional characteristics of wheat germ / L. Nionelli, C. G. Rizzello, R. Coda et al. // *Food Chemistry*. – 2010. – Vol. 119, Issue 3. – P. 1079-1089.
19. Turhan, M. Hydration kinetics of wheat grains / M. Turhan, S. Gunasekaran // *Journal of Food Engineering*. – 2002. – Vol. 52, Issue 4. – P. 349-353.
20. Roux, S. The effect of cooking on the vitamin content of vegetables / S. Roux, M. Holden, G. Duodu // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2008. – Vol. 21, Issue 5. – P. 361-365.
21. Devi, N. L. Effect of processing on nutritional and anti-nutritional properties of millets / N. L. Devi, A. Shobha, C. T. Devi // *Journal of Food Science and Technology*. – 2015. – Vol. 52, Issue 11. – P. 6847-6855.
22. Gonzalez-Fandos, E. The influence of sous-vide cooking on the quality and safety of broccoli / E. Gonzalez-Fandos, A. Villarino-Rodriguez // *СyTA - Journal of Food*. – 2015. – Vol. 13, Issue 3. – P. 435-441.
23. Погожева, А. В. Сохранность витаминов при различных способах кулинарной обработки пищи / А. В. Погожева, О. В. Батурин // *Вопросы питания*. – 2015. – Т. 84, № S1. – С. 86-87.
24. Poutanen, K. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective / K. Poutanen, L. Flander, K. Katina // *Food Microbiology*. – 2009. – Vol. 26, Issue 7. – P. 693-699.
25. Thiele, C. Influence of processing conditions on the quality of spelt pasta / C. Thiele, S. Ganzle, M. G. Ganzle // *European Food Research and Technology*. – 2004. – Vol. 218, Issue 5. – P. 487-492.
26. Rocchetti, G. Functional implications of bound phenolic compounds and phenolics–food interaction: A review / G. Rocchetti, L. Lucini, G. Chiodelli et al. // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2018. – Vol. 17, Issue 1. – P. 195-218.
27. Санникова, Т. А. Современные технологии переработки зерна / Т. А. Санникова, В. М. Позняковский. – Новосибирск: СибУПК, 2018. – 342 с.
28. Fellows, P. J. *Food Processing Technology: Principles and Practice* / P. J. Fellows. – 4th ed. – Woodhead Publishing, 2017. – 1152 p.

29. Зыкина, О. В. Биотехнология ферментированных пищевых продуктов / О. В. Зыкина, И. Н. Семенова. – СПб.: Профессия, 2019. – 456 с.
30. Ray, R.C. Fermented Foods: Part II: Technological Interventions / R. C. Ray, M. A. Montet. – CRC Press, 2017. – 476 p.

Информация об авторах

Шаршунов Вячеслав Алексеевич, научный руководитель, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, профессор кафедры техносферной безопасности и общей физики, доктор технических наук, профессор, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий. (пр. Шмидта, 3, г. Могилев, 212027, Республика Беларусь).

Барашков Андрей Сергеевич, аспирант, начальник отдела цифрового образования института повышения квалификации и переподготовки, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий. (пр. Шмидта, 3, г. Могилев, 212027, Республика Беларусь).

E-mail: and771_b@mail.ru

Касьянова Анастасия Игоревна, студент, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. (ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь).

Information about authors

Sharchunov Vyachaslau Alexeyevich, Scientific director, corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, professor of the Department of Technosphere Safety and General Physics, Doctor of Sciences in Technology, professor of the Belarusian State University of Food Technology and Technologies. (3, Schmidt ave., Mogilev, 212027, Republic of Belarus).

Barashkau Andrei Sergeevich, Postgraduate student, Head of the Digital Education Department at the Institute for Advanced Training and Retraining, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. (3, Schmidt ave., Mogilev, 212027, Republic of Belarus).

E-mail: and771_b@mail.ru

Anastasiya Igorevna Kasyanova, student, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. (6, P. Brovka Str., Minsk, 220013, Republic of Belarus).