

ПИЩЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 664.769

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ ПРОРОЩЕННЫХ ЗЕРЕН ПШЕНИЦЫ И РЖИ

В. А. Шаршунов, А. С. Барашков, Т. С. Абрамова

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Ферментированные пророщенные зерна пшеницы и ржи являются перспективными функциональными ингредиентами. Однако их высокая влажность и биохимическая активность требуют обоснованных подходов к увеличению сроков годности. Гипотеза исследования – щадящая термообработка Sous-Vide позволяет значительно продлить сохранность продукта без потери потребительских свойств. Цель – установление регламентированных сроков годности ферментированных пророщенных зерен пшеницы и ржи для промышленного выпуска функциональных продуктов. Научная задача – научное обоснование сроков годности на основе выявленных закономерностей изменения pH, активности воды и органолептических свойств.

Материалы и методы. Объектами служили пророщенные зерна пшеницы и ржи, ферментированные молочнокислой закваской, прошедшие обработку Sous-Vide. Хранение осуществляли при температурах $+ (4 \pm 1)^\circ\text{C}$ и $+ (25 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 6 месяцев. Использовали стандартные микробиологические, физико-химические (определение pH, влажности, титруемой кислотности, активности воды) и органолептические методы анализа.

Результаты. Установлено, что лимитирующим фактором являются органолептические изменения (потемнение, появление «лежалого» запаха и горечи), тогда как микробиологические показатели оставались в пределах нормативов ТР ТС 021/2011 на протяжении всего эксперимента. Показана высокая отрицательная корреляция между ростом pH и снижением приемлемости вкуса ($R^2 = 0,94$). Динамика активности воды (a_w) находилась в диапазоне 0,875–0,965, что характерно для влажных зерновых продуктов и коррелирует с изменением влажности. Научно обоснованы сроки годности: 60 суток при $+2...+4^\circ\text{C}$ и 30 суток при температуре не выше $+25^\circ\text{C}$. Ферментированная рожь характеризуется более интенсивной динамикой органолептической порчи по сравнению с пшеницей.

Заключение. Доказано, что применение технологии Sous-Vide в сочетании с ферментацией обеспечивает микробиологическую безопасность пророщенных зерен пшеницы и ржи в течение 6 месяцев, при этом лимитирующим фактором срока годности является органолептическая деградация. Обоснованы дифференцированные сроки годности продукции: 60 суток при температуре $+2...+4^\circ\text{C}$ и 30 суток при температуре до $+25^\circ\text{C}$.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пророщенное зерно; ферментация; пшеница; рожь; срок годности; активность воды; Sous-Vide; функциональный пищевой продукт.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Шаршунов, В. А. Влияние условий хранения на стабильность ферментированных пророщенных зерен пшеницы и ржи / В. А. Шаршунов, А. С. Барашков, Т. С. Абрамова // Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. – 2026. – № 1 (40). – С. 3–14.

EFFECT OF STORAGE CONDITIONS ON THE STABILITY OF FERMENTED SPROUTED WHEAT AND RYE GRAINS

V. A. Sharshunov, A. S. Barashkau, T. S. Abramava

Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction. Fermented sprouted wheat and rye grains are promising functional ingredients. However, their high moisture content and biochemical activity necessitate evidence-based strategies for shelf life extension. The research hypothesis is that gentle Sous-Vide heat treatment allows for a significant extension of the product preservation without compromising consumer properties. The objective was to establish regulated shelf life requirements for fermented sprouted wheat and rye grains for industrial production of functional foods. The scientific task was to provide scientific substantiation of regulatory guidelines for shelf life based on the identified patterns of changes in pH, water activity, and organoleptic properties.

Materials and methods. The objects of study were sprouted wheat and rye grains, fermented with a lactic acid starter, and subjected to Sous-Vide treatment. The samples were stored at temperatures of $+(4\pm1)^\circ\text{C}$ and $+(25\pm2)^\circ\text{C}$ for 6 months. Standard microbiological, physicochemical (determination of pH, moisture content, titratable acidity, water activity), and organoleptic methods of analysis were used.

Results. It has been found that the limiting factor is organoleptic changes (darkening, appearance of "stale" odor and bitterness), whereas microbiological parameters remained within the standards of TR CU 021/2011 throughout the experiment. A high negative correlation between the increase in pH and the decrease in taste acceptability ($R^2 = 0,94$) has been shown. The dynamics of water activity (a_w) is in the range from 0,875 to 0,965, which is typical for high-moisture grain products and correlates with changes in moisture content. Shelf life periods have been scientifically substantiated: 60 days at $+2\dots+4^\circ\text{C}$ and 30 days at temperatures not exceeding $+25^\circ\text{C}$. Fermented rye is characterized by a more intense dynamics of organoleptic spoilage compared to wheat.

Conclusion. The use of Sous-Vide technology combined with fermentation has been proven to ensure the microbiological safety of sprouted wheat and rye grains for 6 months, with organoleptic degradation being the limiting factor for shelf life. Differentiated shelf life periods have been established: 60 days at $+2\dots+4^\circ\text{C}$ and 30 days at up to $+25^\circ\text{C}$.

KEY WORDS: *sprouted grain; fermentation; wheat; rye; shelf life; water activity; Sous-Vide; functional food product.*

FOR CITATION: Sharshunov, V. A. Effect of storage conditions on the stability of fermented sprouted wheat and rye grains / V. A. Sharshunov, A. S. Barashkau, T. S. Abramava // Bulletin of the Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. – 2026. – № 1 (40). – P. 3–14.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост интереса к продуктам питания, обладающим не только высокой пищевой ценностью, но и функциональными свойствами, способствующими поддержанию здоровья и профилактике алиментарно-зависимых заболеваний [1, 2]. Зерновые культуры, являющиеся основой рациона человека, представляют собой идеальную основу для создания таких продуктов. Однако традиционные способы переработки зерна зачастую приводят к значительным потерям биологически активных веществ и не в полной мере раскрывают их потенциал.

Перспективным направлением является комбинированная биотехнологическая модификация, включающая проращивание и последующую ферментацию молочнокислыми бактериями [3, 4]. Как показано в работах [5–7], эти процессы позволяют значительно повысить содержание витаминов группы В, γ -аминомасляной кислоты, улучшить аминокислотный состав белка и снизить уровень антипитательных соединений, таких как фитиновая кислота. Однако высокая влажность и активность ферментов в таких продуктах

создают благоприятную среду для развития микроорганизмов, что делает проблему обеспечения их длительной сохранности особенно важной.

Для решения этой задачи применяют щадящую термическую обработку по технологии Sous-Vide, которая позволяет инактивировать вегетативные формы микроорганизмов и ферменты при минимальном воздействии на пищевую ценность продукта [8–10]. Выбор температурно-временных режимов должен быть адаптирован к конкретному виду сырья, поскольку пшеница и рожь различаются по химическому составу, активности ферментов и влагосвязывающей способности. Важным критерием, определяющим стабильность продукта при хранении, является активность воды (a_w), которая характеризует доступность влаги для микроорганизмов и протекания биохимических реакций. Снижение a_w до определённого уровня позволяет замедлить окислительные и ферментативные процессы, тем самым продлевая срок годности продукта.

Несмотря на значительный объем исследований в области производства ферментированных зерновых продуктов, вопросы их систематического исследования в процессе длительного хранения, особенно с учетом требований ТР ТС 021/2011, остаются недостаточно изученными. В частности, отсутствуют научно обоснованные данные о кинетике изменения органолептических, физико-химических показателей (включая активность воды) в зависимости от вида зерна и температуры хранения.

Практическая актуальность обусловлена необходимостью разработки технологии производства ферментированных пророщенных зерновых продуктов с длительными сроками годности, что позволит расширить ассортимент функциональных продуктов питания и обеспечить их доступность для потребителей.

Научная актуальность исследования определяется недостаточным изучением закономерностей изменения качества ферментированных зерновых продуктов в процессе длительного хранения в зависимости от вида сырья, температурных условий и активности воды, которая является одним из ключевых факторов, определяющих микробиологическую стабильность и скорость окислительных процессов. Это не позволяет научно обосновать сроки годности и разработать рекомендации по оптимизации условий хранения.

Целью данного исследования является научное обоснование сроков годности ферментированных пророщенных зерен пшеницы и ржи на основе комплексного анализа динамики микробиологических, физико-химических (включая активность воды) и органолептических показателей в процессе хранения.

Гипотеза исследования заключается в предположении, что щадящая термообработка по технологии Sous-Vide позволяет значительно продлить сохранность ферментированных пророщенных зерен пшеницы и ржи за счёт инактивации вегетативных форм микроорганизмов и ферментов, при этом лимитирующим фактором, определяющим срок годности, будут являться органолептические изменения (потемнение, появление «лежалого» запаха и горечи), а не микробиологическая порча, при условии поддержания активности воды на уровне, обеспечивающем стабильность продукта.

Научная задача состоит в установлении количественных закономерностей изменения микробиологических показателей (КМАФАнМ), физико-химических характеристик (рН, влажность, титруемая кислотность, активность воды, сохранность витамина В₁ и антиоксидантной активности) и органолептических свойств ферментированных пророщенных зерен пшеницы и ржи в процессе хранения при различных температурах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования. В качестве объектов исследования использовали ферментированные пророщенные зерна пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) и ржи посевной (*Secale cereale* L.). Зерно было выращено на сортоиспытательных участках Республики Беларусь и получено в соответствии с требованиями стандартов. Получение продуктов

осуществляли по комбинированной технологии, включающей проращивание (30 ч при 18–20 °C), ферментацию молочнокислой закваской (*Lactobacillus acidophilus* и *Streptococcus thermophilus*) и обработку Sous-Vide (пшеница: 90 °C, 20 мин; рожь: 85 °C, 22 мин) согласно ранее разработанным оптимальным режимам [8]. Готовые продукты расфасовывали по 100 г в специальную термостойкую многослойную пленку СТ-90 на вакуум-упаковщике до остаточного давления 1–2 %.

Условия хранения. Хранение осуществляли при двух температурных режимах: рекомендуемом (в холодильной камере при $+(4\pm 1)$ °C) и ускоренном (в термостате при $+(25\pm 2)$ °C) в соответствии с методическими указаниями по определению сроков годности [11]. Контроль показателей проводили в начале эксперимента (0 мес) и далее ежемесячно в течение 6 месяцев.

Методы исследований. Отбор проб осуществляли в соответствии с ГОСТ 13586.3 [12]. Микробиологические показатели: КМАФАнМ определяли по ГОСТ 10444.15 [13], наличие БГКП – по ГОСТ 31747 [14], плесени и дрожжи – по ГОСТ 10444.12 [15], патогенные микроорганизмы (в т.ч. *Salmonella*) – по ГОСТ 30519 [16]. Физико-химические показатели: влажность – по ГОСТ 13586.5 [17], pH – потенциометрическим методом на pH-метре HI 5221-02 (по ГОСТ 29188.2) [18], титруемую кислотность – по ГОСТ 27493 [19], сохранность витамина В₁ – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии согласно МВИ.МН 2052 [20], антиоксидантную активность – при помощи жидкостного хроматографа [21]. Активность воды измеряли с использованием измерителя активности воды AwLab Plus в соответствии с руководством по эксплуатации прибора. Органолептические показатели (цвет, запах, вкус) оценивали по 5-балльной шкале, где 5 – отлично, 4 – хорошо, 3 – удовлетворительно (предел приемлемости), 2 – неудовлетворительно, 1 – неприемлемо. Неприемлемым считался образец со средним баллом ниже 3,5 по любому из ключевых признаков.

Статистическая обработка. Эксперименты проводили в 3-кратной повторности. Результаты представлены как среднее арифметическое $\pm$ стандартное отклонение ($\bar{x} \pm \sigma$). Достоверность различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента при уровне значимости $p \leq 0,05$. Корреляционный анализ проводили с вычислением коэффициента детерминации R^2 . Обработку данных осуществляли в программе Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных экспериментов была изучена динамика микробиологических, физико-химических и органолептических показателей ферментированных пророщенных зерен пшеницы и ржи в процессе хранения при различных температурах.

Динамика микробиологических показателей. Основным критерием безопасности пищевых продуктов является отсутствие патогенной и условно-патогенной микрофлоры. В течение 6-месячного периода хранения во всех образцах отсутствовали БГКП, *E. coli*, *S. aureus* и патогенные микроорганизмы, включая *Salmonella*. Количество плесеней и дрожжей оставалось стабильно низким (< 10 КОЕ/г), что значительно ниже допустимых уровней (50 и 100 КОЕ/г соответственно по ТР ТС 021/2011).

Наиболее информативным показателем микробиологической динамики является изменение КМАФАнМ. Результаты представлены на рисунке 1.

Анализ данных, представленных на рисунке 1, показывает закономерное снижение КМАФАнМ во всех образцах, которое происходит тем интенсивнее, чем выше температура хранения. Так, в образцах пшеницы при хранении в течение 6 месяцев при +4 °C количество КМАФАнМ снизилось с 8,7 до 7,7 $\log_{10}$ КОЕ/г (с $5,0 \times 10^8$ до $5,0 \times 10^7$ КОЕ/г), а при +25 °C – с 8,7 до 6,7 $\log_{10}$ КОЕ/г (с $5,0 \times 10^8$ до $4,8 \times 10^6$ КОЕ/г). Аналогичная тенденция наблюдается и для ржи: при +4 °C значение КМАФАнМ снизилось с 8,6 до 7,6 $\log_{10}$ КОЕ/г, при +25 °C – с 8,6 до 6,8 $\log_{10}$ КОЕ/г. Данный феномен связан с постепенным отмиранием клеток молочнокислых

бактерий в условиях низкого pH (3,7–4,1) и истощения доступных питательных субстратов, что согласуется с данными [22–24]. Следует отметить, что высокие абсолютные значения КМАФАнМ (10^7 – 10^8 КОЕ/г) на начальных этапах хранения обусловлены присутствием жизнеспособных клеток целевой молочнокислой закваски, что является технологической нормой для ферментированных продуктов и не рассматривается как показатель микробиологической порчи. С микробиологической точки зрения, оба продукта оставались безопасными на протяжении всего эксперимента.

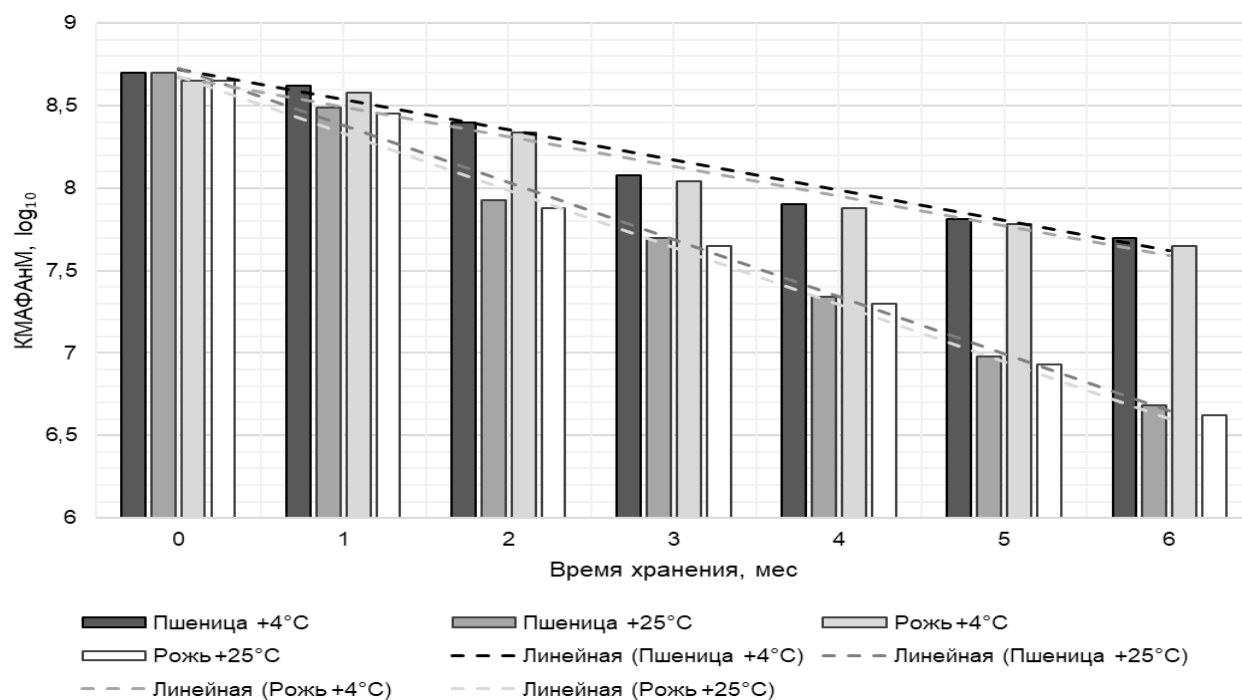


Рис. 1. Динамика изменения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в ферментированных пророщенных зернах пшеницы и ржи при хранении в зависимости от температуры

Fig. 1. Dynamics of the number of mesophilic aerobic and facultatively anaerobic microorganisms (QMAFAnM) in fermented sprouted wheat and rye grains during storage as a function of temperature

Динамика физико-химических показателей и сохранность нутриентов. Хотя микробиологические показатели оставались в норме, качество продуктов претерпевало изменения, особенно при хранении в нерекомендуемых условиях. Динамика основных показателей для пшеницы и ржи представлена в таблицах 1, 2.

Анализ данных, представленных в таблицах 1 и 2, показывает, что при хранении при +25 °С деградация физико-химических и органолептических показателей происходит значительно интенсивнее, чем при +4 °С. Уже к концу 2-го месяца хранения у пшеницы и ржи отмечается незначительное потемнение, появление слабого «лежалого» оттенка запаха и легкой горечи, что соответствует снижению органолептической оценки до 4 баллов.

К 3-му месяцу эти изменения становятся выраженными (оценка 3 балла), а к 5-му месяцу продукт становится неприемлемым по всем органолептическим показателям (оценка 1 балл). Следует отметить, что у ржи негативные изменения наступают на 0,5–1 месяц раньше, чем у пшеницы, что подтверждает её более низкую стабильность при повышенных температурах хранения. Полученные данные свидетельствуют о том, что предельный срок хранения при

+25 °C не должен превышать 30 суток, тогда как при +4 °C продукт сохраняет приемлемое качество в течение 60 суток.

Табл. 1. Динамика физико-химических и органолептических показателей ферментированной пророщенной пшеницы и ржи при хранении при + (4 ± 1) °C (n = 3, p ≤ 0,05)

Table 1. Dynamics of physicochemical and organoleptic parameters of fermented sprouted wheat and rye during storage at + (4 ± 1) °C (n = 3, p ≤ 0,05)

Месяц	Культура	Влажность, %	pH	Кислотность, °Т	Цвет ¹	Запах ²	Вкус ³
0	Пшеница	45,0 ± 0,8	3,80 ± 0,02	95 ± 3	5	5	5
	Рожь	46,5 ± 0,9	3,70 ± 0,04	110 ± 4	5	5	5
1	Пшеница	44,8 ± 0,8	3,80 ± 0,05	93 ± 3	5	5	5
	Рожь	46,2 ± 0,9	3,70 ± 0,05	108 ± 4	5	5	5
2	Пшеница	44,5 ± 0,8	3,90 ± 0,03	90 ± 3	5	5	5
	Рожь	45,8 ± 0,9	3,80 ± 0,06	105 ± 4	5	5	5
3	Пшеница	44,0 ± 0,8	3,90 ± 0,08	88 ± 4	5	5	5
	Рожь	45,2 ± 1,0	3,80 ± 0,05	100 ± 4	5	5	5
4	Пшеница	43,5 ± 0,9	4,00 ± 0,07	85 ± 4	4	4	4
	Рожь	44,5 ± 1,0	3,90 ± 0,05	95 ± 5	4	4	4
5	Пшеница	43,0 ± 1,0	4,00 ± 0,08	82 ± 5	3	3	3
	Рожь	43,8 ± 1,2	4,00 ± 0,04	88 ± 5	3	3	3
6	Пшеница	42,5 ± 1,2	4,10 ± 0,07	78 ± 5	2	1	1
	Рожь	43,0 ± 1,3	4,10 ± 0,06	80 ± 5	2	1	1

Примечание. ¹ Цвет: 5 – без изменений, 4 – незначительное потемнение, 3 – легкое потемнение, 2 – заметное потемнение (для ржи – сильное), 1 – неприемлемый. ² Запах: 5 – чистый, кисломолочный; 4 – слабый «лежалый» запах; 3 – выраженный «лежалый» запах; 1 – неприемлемый. ³ Вкус: 5 – чистый, кислый; 4 – появление легкой горечи; 3 – выраженная горьковатость; 1 – неприемлемый.

Табл. 2. Динамика физико-химических и органолептических показателей ферментированной пророщенной пшеницы и ржи при хранении при + (25 ± 2) °C (n = 3, p ≤ 0,05)

Table 2. Dynamics of physicochemical and organoleptic parameters of fermented sprouted wheat and rye during storage at + (25 ± 2) °C (n = 3, p ≤ 0.05)

Месяц	Культура	Влажность, %	pH	Кислотность, °Т	Цвет ¹	Запах ²	Вкус ³
0	Пшеница	45,0 ± 0,8	3,80 ± 0,02	95 ± 3	5	5	5
	Рожь	46,5 ± 0,9	3,70 ± 0,04	110 ± 4	5	5	5
1	Пшеница	44,5 ± 0,9	3,90 ± 0,03	92 ± 4	5	5	5
	Рожь	46,0 ± 1,0	3,80 ± 0,05	107 ± 5	5	5	5
2	Пшеница	43,8 ± 1,0	4,00 ± 0,04	87 ± 5	4	4	4
	Рожь	45,2 ± 1,1	3,90 ± 0,05	100 ± 5	4	4	4
3	Пшеница	43,0 ± 1,1	4,10 ± 0,05	82 ± 5	3	3	3
	Рожь	44,5 ± 1,2	4,00 ± 0,06	95 ± 5	3	3	3
4	Пшеница	42,0 ± 1,2	4,20 ± 0,05	76 ± 6	2	2	2
	Рожь	43,5 ± 1,3	4,10 ± 0,06	88 ± 6	2	2	2
5	Пшеница	41,0 ± 1,3	4,30 ± 0,06	70 ± 6	1	1	1
	Рожь	42,5 ± 1,4	4,20 ± 0,07	80 ± 6	1	1	1
6	Пшеница	40,0 ± 1,4	4,40 ± 0,07	65 ± 7	1	1	1
	Рожь	41,5 ± 1,5	4,30 ± 0,08	75 ± 7	1	1	1

Примечание. ¹ Цвет: 5 – без изменений, 4 – незначительное потемнение, 3 – легкое потемнение, 2 – заметное потемнение (для ржи – сильное), 1 – неприемлемый. ² Запах: 5 – чистый, кисломолочный; 4 – слабый «лежалый» запах; 3 – выраженный «лежалый» запах; 1 – неприемлемый. ³ Вкус: 5 – чистый, кислый; 4 – появление легкой горечи; 3 – выраженная горьковатость; 2 – резкая горечь; 1 – неприемлемый.

Наиболее важным с точки зрения функциональной ценности является сохранность биологически активных соединений. На рисунке 2 представлена диаграмма, показывающая динамику сохранности витамина В₁ и антиоксидантной активности (АОА) в ферментированных пророщенных зернах пшеницы и ржи в течение 6 месяцев хранения при температуре +4 °С. Данные для температуры +25 °С приведены в таблице 3. Сохранность витамина В₁ и антиоксидантной активности оценивали по отношению к исходному уровню (0 мес.), принятому за 100 %.

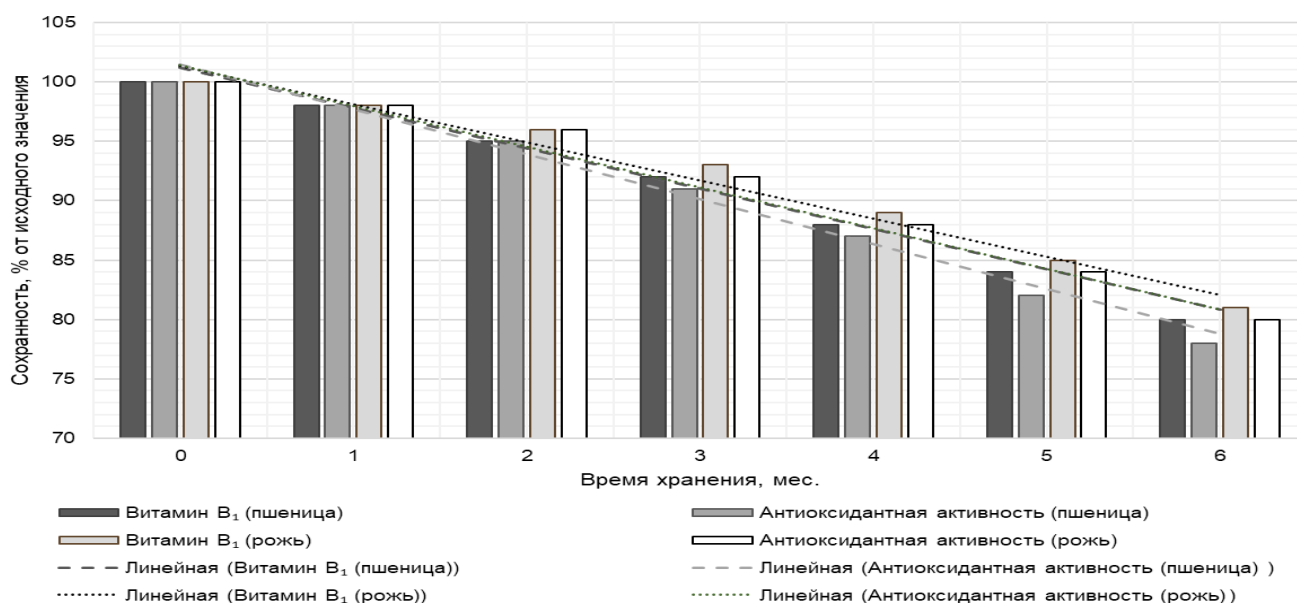


Рис. 2. Влияние температуры и времени хранения на сохранность витамина В₁ и антиоксидантной активности (АОА) в ферментированных пророщенных зернах пшеницы и ржи при хранении при +4 °С в течение 6 месяцев

Fig. 2. Effect of storage temperature and time on the retention of vitamin B₁ and antioxidant activity (AOA) in fermented sprouted wheat and rye grains during storage at +4 °C over 6 months

Как видно из рисунка 2, при хранении при +4 °С сохранность витамина В₁ и антиоксидантной активности через 6 месяцев составляет 90–95 % для пшеницы и 87–92 % для ржи. При этом наблюдается более интенсивное снижение антиоксидантной активности по сравнению с витамином В₁ в обоих образцах, что может быть связано с более высокой скоростью окислительных процессов, затрагивающих фенольные соединения и другие антиоксиданты.

При хранении при +25 °С (таблица 3) деградация термолабильных компонентов происходит значительно интенсивнее: уже к 3-му месяцу сохранность витамина В₁ и АОА снижается до 70–76 %, а к 6-му месяцу – до 58–65 %. В целом, во всех исследованных образцах наблюдается более интенсивное снижение антиоксидантной активности по сравнению с витамином В₁. Полученные данные подтверждают, что повышенная температура хранения является критическим фактором, ускоряющим окислительные процессы и снижающим функциональную ценность ферментированных пророщенных зерновых продуктов.

Корреляция между изменением pH и органолептической приемлемостью. Органолептические показатели оказались наиболее чувствительными к хранению. Для установления объективного критерия приемлемости был проведен корреляционный анализ между ростом pH и снижением дегустационной оценки вкуса (рисунок 3).

Табл. 3. Сохранность витамина В₁ и антиоксидантной активности (АОА) в ферментированных пророщенных зернах пшеницы и ржи при хранении при +25 °С, % от исходного значения (n = 3, p ≤ 0,05)

Table 3. Retention of vitamin В₁ and antioxidant activity (АОА) in fermented sprouted wheat and rye grains during storage at +25 °С, % of initial value (n = 3, p ≤ 0,05)

Культура	Показатель	0 мес.	1 мес.	2 мес.	3 мес.	4 мес.	5 мес.	6 мес.
Пшеница	Витамин В ₁	100	92 ± 2	84 ± 3	76 ± 3	68 ± 4	62 ± 4	58 ± 5
	АОА	100	90 ± 3	80 ± 4	70 ± 4	62 ± 5	56 ± 5	50 ± 6
Рожь	Витамин В ₁	100	90 ± 3	82 ± 3	72 ± 4	64 ± 4	58 ± 5	54 ± 5
	АОА	100	88 ± 3	76 ± 4	66 ± 5	58 ± 5	50 ± 6	44 ± 6

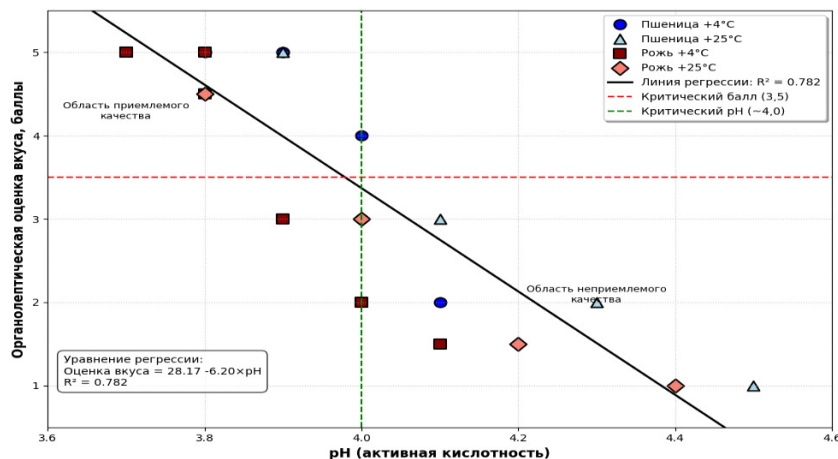


Рис. 3. Корреляция между pH и оценкой вкуса ферментированного пророщенного зерна при хранении

Fig. 3. Correlation between pH and taste evaluation of fermented sprouted grain during storage

Представленная на рисунке 3 корреляция ($R^2 = 0,94$) демонстрирует высокую отрицательную связь между ростом pH и ухудшением вкуса. При этом установлено, что критическое значение pH = 4,0 достигается при +25 °С уже к концу 2-го месяца хранения (таблица 2), что коррелирует с появлением первых признаков органолептической деградации (снижение оценки вкуса до 4 баллов). При +4 °С аналогичное значение pH фиксируется лишь к 4-му месяцу хранения (таблица 1). Таким образом, pH = 4,0 является универсальным инструментальным критерием, позволяющим прогнозировать органолептическую приемлемость продукта независимо от температуры хранения, а его достижение служит сигналом о приближении конца срока годности.

Органолептический профиль продуктов в конце срока годности. Для визуализации различий в стабильности пшеницы и ржи была построена полярная диаграмма органолептических показателей после 60 суток хранения в рекомендуемых условиях (+4 °С) (рисунок 4).

Анализ профиля (рисунок 4) показывает, что у ржи все органолептические показатели ниже, чем у пшеницы, особенно сильно снижен балл за запах. Это подтверждает вывод о том, что рожь является менее стабильной при хранении – процесс появления «лежалого» запаха и горечи у нее протекает интенсивнее, что может быть связано с более высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот.

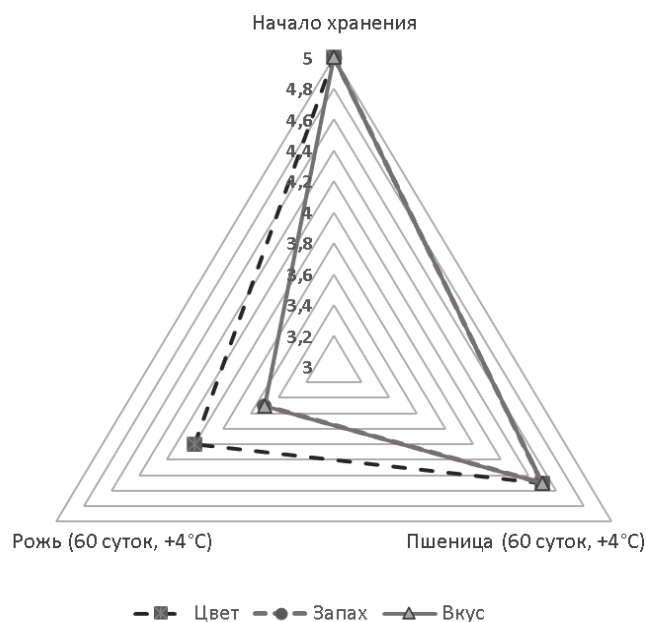


Рис. 4. Органолептический профиль ферментированных пророщенных зерен пшеницы и ржи после 60 суток хранения в рекомендуемых условиях (+ 4 °C)

Fig. 4. Organoleptic profile of fermented sprouted wheat and rye grains after 60 days of storage under recommended conditions (+ 4 °C)

Динамика активности воды (a_w) представлена в таблице 4. Наибольшее снижение a_w наблюдалось при хранении при +25 °C, что коррелирует с потерей влаги и уплотнением структуры продукта.

Табл. 4. Активность воды (a_w) ферментированных пророщенных зерен пшеницы и ржи в процессе хранения ($n = 3$, $p \leq 0,05$)

Table 4. Water activity (a_w) of fermented sprouted wheat and rye grains during storage ($n = 3$, $p \leq 0,05$)

Культура	Температура, °C	0 мес.	3 мес.	6 мес.
Пшеница	+ (4 ± 1)	0,960 ± 0,005	0,945 ± 0,005	0,930 ± 0,007
	+ (25 ± 2)	0,960 ± 0,008	0,920 ± 0,007	0,875 ± 0,010
Рожь	+ (4 ± 1)	0,965 ± 0,010	0,950 ± 0,006	0,935 ± 0,008
	+ (25 ± 2)	0,965 ± 0,009	0,922 ± 0,007	0,880 ± 0,012

Анализ динамики активности воды (a_w) показывает, что исходное значение для ферментированной пророщенной ржи (0,965) незначительно превышает соответствующий показатель для пшеницы (0,960), что обусловлено более высокой гигроскопичностью ржи и повышенным содержанием в ней пентозанов, обладающих выраженной влагосвязывающей способностью. В процессе хранения отмечено закономерное снижение a_w во всех образцах, при этом наиболее интенсивное уменьшение наблюдалось при температуре +25 °C, что объясняется ускоренным испарением влаги через упаковочный материал, а также связыванием свободной воды в результате протекания остаточных биохимических реакций. К 6-му месяцу хранения при +25 °C значение a_w снижается до 0,875–0,880, что приближается к нижней границе диапазона, при которой начинают замедляться ферментативные процессы, однако продукт при этом ещё сохраняет приемлемую консистенцию. Все полученные значения a_w (0,875–0,965) находятся в пределах, характерных для влажных зерновых

продуктов (0,85–0,97), и хорошо коррелируют с динамикой влажности. Для пшеницы отмечено её плавное снижение с 45,0 до 42,5 %, для ржи – с 46,5 до 43,0 % за 6 месяцев хранения. При этом следует подчеркнуть, что значения a_w в исследованном диапазоне не являются лимитирующим фактором, определяющим срок годности продуктов. Микробиологическая стабильность обеспечивается комплексным действием технологических факторов – инактивацией микроорганизмов при термической обработке, подавлением роста патогенной микрофлоры за счёт низкого значения pH (3,7–4,1), а также использованием вакуумной упаковки, препятствующей развитию аэробной микрофлоры. Таким образом, именно органолептические изменения, а не показатель a_w , определяют предельный срок хранения ферментированных пророщенных зерновых продуктов.

Установление сроков годности. На основании комплексного анализа динамики всех показателей были установлены сроки годности (таблица 5). Ключевым критерием являлась сохранность органолептических свойств (средний балл не ниже 3,5) с гарантийным запасом в 1 месяц до начала их ухудшения.

Табл. 5. Рекомендуемые сроки годности ферментированных пророщенных зерновых продуктов

Table 5. Recommended shelf life of fermented sprouted grain products

Наименование продукта	Рекомендуемые условия хранения: + 2 ... + 4 °С	Допустимые условия хранения: не выше + 25 °С
Ферментированная пророщенная пшеница	60 суток (2 месяца)	30 суток (1 месяц)
Ферментированная пророщенная рожь	60 суток (2 месяца)	30 суток (1 месяц)

Для обоих продуктов рекомендованный срок годности при +2...+4 °С составляет 60 суток (2 месяца). При нарушении температурного режима (хранение при температуре не выше +25 °С) срок годности сокращается до 30 суток (1 месяц).

Для обоих видов продуктов рекомендованные сроки и условия хранения являются обязательными. При этом ферментированная рожь характеризуется более быстрой органолептической деградацией, поэтому в процессе хранения ржаного продукта необходим более строгий контроль органолептических показателей. При обнаружении первых признаков посторонних запахов или изменения цвета продукт подлежит немедленному исключению из реализации независимо от вида зерна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, ферментированные пророщенные зерна пшеницы и ржи, упакованные в вакуумную упаковку и пастеризованные по щадящему режиму Sous-Vide, сохраняют микробиологическую безопасность в течение 6 месяцев хранения при температурах +4 °С и +25 °С, полностью соответствуя требованиям ТР ТС 021/2011. Патогенные микроорганизмы отсутствуют, количество плесеней и дрожжей стабильно ниже нормативов.

Лимитирующим фактором, определяющим срок годности данных продуктов, является изменение органолептических характеристик (появление «лежалого» запаха, горечи, потемнение), а не микробиологическая порча. Термическая обработка эффективно подавляет развитие микрофлоры, но не полностью останавливает окислительные и ферментативные процессы.

Установлена высокая отрицательная корреляция ($R^2 = 0,94$) между ростом pH и снижением органолептической приемлемости. Значение pH = 4,0 предложено в качестве объективного инструментального критерия для экспресс-оценки качества при хранении. Дополнительным подтверждением сохранности продукта служит динамика активности воды (a_w). В течение

всего срока хранения значения a_w находились в диапазоне 0,875–0,965, что характерно для влажных зерновых продуктов и коррелирует с плавным снижением влажности за 6 месяцев хранения при +4 °С: для пшеницы – с 45,0 до 42,5 %, для ржи – с 46,5 до 43,0 %. При хранении при +25 °С наблюдалось более интенсивное снижение a_w (до 0,875–0,880 к 6-му месяцу), что обусловлено ускоренным испарением влаги и связыванием воды в остаточных биохимических реакциях, однако продукт при этом сохранял приемлемую консистенцию.

Ферментированная рожь характеризуется более интенсивной динамикой органолептической порчи по сравнению с пшеницей, что проявляется в более раннем появлении «лежалого» запаха и снижении дегустационных оценок. Это требует усиленного контроля органолептических показателей в процессе хранения ржаного продукта, однако обязательность соблюдения установленных сроков и условий хранения является единой для обоих видов продуктов.

Научно обоснованы и рекомендованы следующие сроки годности: при температуре хранения +2...+4 °С – 60 суток; при температуре не выше +25 °С – 30 суток. Полученные результаты являются основой для разработки нормативно-технической документации и промышленного внедрения технологии производства ферментированных пророщенных зерновых продуктов длительного хранения.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Алексеева, Е. С. Мировые тенденции рынка функциональных продуктов питания / Е. С. Алексеева, Г. Я. Цыганова // Пищевая промышленность. – 2022. – № 5. – С. 18–22.
- 2 Granato, D. Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety / D. Granato, F. J. Barba, D. Bursać Kovačević, J. M. Lorenzo, A. G. Cruz, P. Putnik // Annual Review of Food Science and Technology. – 2020. – Vol. 11. – P. 93–118.
- 3 Шаршунов, В. А. Комплексный анализ качества зерна злаковых культур как сырья для получения безглютеновых каш, готовых к употреблению / В. А. Шаршунов, А. С. Барашков, А. Л. Желудков // Механика и технологии. – 2024. – № 1 (83). – С. 65–76.
- 4 Katina, K. Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye / K. Katina, K.-H. Liukkonen, A. Kaukovirta-Norja [et al.] // Journal of Cereal Science. – 2007. – Vol. 46, № 3. – P. 348–355.
- 5 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.
- 6 Урбанчик, Е. Н. Комплексный анализ показателей качества и безопасности ферментированного закваской пророщенного зерна пшеницы / Е. Н. Урбанчик, А. Л. Желудков, А. С. Барашков // Пищевая промышленность. – 2026. – № 7. – С. 6–10.
- 7 Урбанчик, Е. Н. Влияние концентрации молочнокислой закваски на биохимические и структурно-реологические свойства ферментированного пророщенного зерна пшеницы / Е. Н. Урбанчик, А. Л. Желудков, А. С. Барашков, Л. В. Шустова // Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. – 2025. – № 2 (39). – С. 14–25.
- 8 Шаршунов, В. А. Оптимизация режимов Sous-Vide обработки ферментированных зерновых культур для создания функциональных пищевых продуктов / В. А. Шаршунов, А. С. Барашков, А. И. Касьянова // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 12–19.
- 9 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.
- 10 Ghazala, S. Sous Vide and Cook-Chill Processing for the Food Industry / S. Ghazala (Ed.). – Gaithersburg, MD : Aspen Publishers, 1998. – 464 p.
- 11 МУК 4.2.1847-04. Определение сроков годности пищевых продуктов : методические указания. – М. : Федеральный центр государственного надзора Минздрава России, 2004. – 24 с.
- 12 ГОСТ 13586.3-2015. Зерно. Правила отбора проб и методы отбора проб. – Введ. 01.07.2016. – М. : Стандартинформ, 2016. – 12 с.
- 13 ГОСТ 10444.15-94. Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. – Введ. 01.01.1996. – Минск : Госстандарт, 1994. – 11 с.
- 14 ГОСТ 31747-2012. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). – Введ. 01.07.2013. – М. : Стандартинформ, 2013. – 20 с.
- 15 ГОСТ ISO 21527-2-2013. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Метод подсчета дрожжевых и плесневых грибов. Часть 2. Методика подсчета колоний в продуктах, активность воды в которых меньше или равна 0,95. – Введ. 01.07.2014. – М. : Стандартинформ, 2014.

- 16 ГОСТ 30519-97 (EN 12824:1997). Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*. – Введ. 01.01.1999. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 18 с.
- 17 ГОСТ 13586.5-2015. Зерно. Метод определения влажности. – Введ. 01.07.2016. – М. : Стандартиформ, 2016. – 8 с.
- 18 ГОСТ 29188.2-2014. Изделия парфюмерно-косметические. Метод определения водородного показателя (pH). – Введ. 01.07.2015. – М. : Стандартиформ, 2015. – 7 с.
- 19 ГОСТ 27493-87. Мука и отруби. Метод определения кислотности по болтушке. – Введ. 01.07.1988. – М. : Издательство стандартов, 1987. – 4 с.
- 20 МВИ.МН 2052-2005. Методика выполнения измерений массовой концентрации витаминов В1 и В2 в пробах пищевых продуктов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. – Минск : Госстандарт, 2005. – 15 с.
- 21 Занданова, Т. Н. Изучение витаминсинтезирующей и антиоксидантной активности микробного консорциума / Т. Н. Занданова // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 1. – С. 183–188.
- 22 Gänzle, M. G. Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation / M. G. Gänzle // Food Microbiology. – 2014. – Vol. 37. – P. 2–10.
- 23 Урбанчик, Е. Н. Повышение эффективности проращивания зеленой гречки: монография / Е. Н. Урбанчик, Л. В. Шустова. – Могилев : БГУТ, 2023. – 104 с.
- 24 Poutanen, K. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective / K. Poutanen, L. Flander, K. Katina // Food Microbiology. – 2009. – Vol. 26, №. 7. – P. 693–699.

Поступила в редакцию 13.07.2026 г.

ОБ АВТОРАХ:

Вячеслав Алексеевич Шаршунов, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, профессор кафедры техносферной безопасности и общей физики, доктор технических наук, профессор, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий.

Андрей Сергеевич Барашков, аспирант, начальник отдела цифрового образования института повышения квалификации и переподготовки, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, e-mail: and771_b@mail.ru.

Татьяна Сергеевна Абрамова, магистрант, лаборант 1 категории научной отраслевой лаборатории зерновых продуктов, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, e-mail: tanya.abramova.2002@list.ru.

ABOUT AUTHORS:

Vyachaslau A. Sharshunov, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor of the Department of Technosphere Safety and General Physics, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies.

Andrei S. Barashkau, Postgraduate student, Head of the Digital Education Department at the Institute for Advanced Training and Retraining, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail: and771_b@mail.ru.

Tatsiana S. Abramava, Master's degree student, 1st category laboratory assistant at the Scientific Branch Laboratory of Grain Products, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail: tanya.abramova.2002@list.ru.