

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПИВНОЙ ДРОБИНЫ И ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО ВОСПРИЯТИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ХЛЕБА В ГОРОДЕ АСТАНА

¹М.Е. БЕКБОЛАТОВА* , ²Н.С. МАШАНОВА , ³М.Е. СМАГУЛОВА ,
¹А.Н. ШУПАНОВА , ¹К.Е. САЙЛАУХАНОВА 

¹ Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,
Астана, Республика Казахстан

² UC Davis, США, Калифорния, г. Дейвис, Шилдс авеню, 1

³ Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Республика Казахстан,
Астана, ул. Кайым Мухамедханов, 37А)

Электронная почта автора-корреспондента: mariambekbolatova93@gmail.com*

Пивная дробина является одним из наиболее перспективных побочных продуктов пивоваренной промышленности, отличающимся высокой пищевой ценностью и функциональными свойствами. В данной работе проведено комплексное исследование технологических характеристик высушенной пивной дробины, включая определение химического состава, содержания тяжёлых металлов, водопоглощительной способности и микроструктуры сырья. Изучено влияние различных уровней добавления пивной дробины, подвергнутой сушке (5–35 %) на органолептические показатели хлеба с построением тепловой карты сенсорных свойств. Дополнительно проведён онлайн-опрос среди населения города Астаны (N = 109; возраст 16–25 лет) для оценки отношения и готовности потребителей к покупке функционального хлеба, содержащего вторичные продукты переработки. Результаты сопоставлены с очным (face-to-face) опросом 2021 года (N = 100). Показано, что молодёжь Астаны проявляет высокий интерес к экологичным и функциональным продуктам; основной барьер связан с недостатком информации о пользе вторичного растительного сырья, такого как пивная дробина. Использование пивной дробины способствует снижению пищевых отходов и развитию устойчивого производства. В работе впервые для условий Казахстана совмещены технологические и социологические методы оценки хлеба.

Ключевые слова: высушенная пивная дробина, функциональный хлеб, вторичное растительное сырьё, пищевая ценность, потребительское восприятие, устойчивое производство.

СЫРА ҚАЛДЫҒЫНЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЖӘНЕ АСТАНА ҚАЛАСЫНДАҒЫ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ НАННЫҢ ТҰТЫНУШЫЛЫҚ ҚАБЫЛДАНУЫН БАҒАЛАУ

¹М.Е. БЕКБОЛАТОВА*, ²Н.С. МАШАНОВА, ³М.Е. СМАГУЛОВА,
¹А.Н. ШУПАНОВА, ¹К.Е. САЙЛАУХАНОВА

¹ С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан Республикасы

² Калифорния университеті (UC Davis), АҚШ, Калифорния, Дейвис қ., Шилдс авеню, 1

³ Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Қазақстан Республикасы,
Астана қ., Кайым Мұхамедханов көш., 37А)

Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: mariambekbolatova93@gmail.com*

Сыра дробинасы сыра қайнату өнеркәсібінің ең перспективалы жанама өнімдерінің бірі болып табылады және жоғары тағамдық құндылығымен мен функционалдық қасиеттерімен сипатталады. Бұл жұмыста кептірілген сыра дробинасының технологиялық сипаттамаларына кешенді зерттеу жүргізіліп, шикізаттың химиялық құрамы, ауыр металдар мөлшері, су сіңіру қабілеті және микроструктурасы анықталды. Кептіруге ұшыратылған сыра дробинасын 5–35 % деңгейінде қосу арқылы алынған нанның органолептикалық көрсеткіштеріне әсері сенсорлық қасиеттердің жылулық картасын құру арқылы бағаланды. Қосымша түрде Астана қаласы тұрғындары арасында онлайн сауалнама жүргізіліп, функционалдық нанدى сатып алуға деген көзқарасы мен дайындық деңгейі зерттелді N 109 жас шамасы 16–

25. Алынған нәтижелер 2021 жылғы бетпе бет сауалнама деректерімен салыстырылды N 100. Зерттеу нәтижелері Астана жастарының экологиялық және функционалдық тағам өнімдеріне қызығушылығы жоғары екенін көрсетті негізгі кедергі ретінде сыра дробинасы сияқты екінші реттік өсімдік шикізатының пайдасы туралы ақпараттың жеткіліксіздігі анықталды. Сыра дробинасын пайдалану тағамдық қалдықтарды азайтуға және тұрақты өндірісті дамытуға ықпал етеді. Жұмыста Қазақстан жағдайында алғаш рет нанды бағалауда технологиялық және социологиялық әдістер біріктірілді.

Негізгі сөздер: сыра қалдығы; функционалдық нан; екінші реттік өсімдік текті шикізат; тағамдық құндылық; тұтынушылық қабылдау; тұрақты өндіріс.

ASSESSMENT OF THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF BREWER'S SPENT GRAIN AND CONSUMER PERCEPTION OF FUNCTIONAL BREAD IN THE CITY OF ASTANA

¹M.E. BEKBOLATOVA*, ²N.S. MASHANOVA, ³M.E. SMAGULOVA,
¹A.N. SHUPANOVA, ¹K.E. SAILAUKHANOVA

¹ S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

² University of California (UC Davis), USA, California, Davis, 1 Shields Ave

³ K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Kazakhstan, Astana, st. Kayym Mukhamedkhanov, 37A)

Corresponding author's e-mail: mariambekbolatova93@gmail.com*

Brewer's spent grain is one of the most promising by-products of the brewing industry and is characterized by high nutritional value and functional properties. This study presents a comprehensive investigation of the technological characteristics of dried brewer's spent grain, including the determination of chemical composition, heavy metal content, water-holding capacity, and microstructure of the raw material. The effect of adding dried brewer's spent grain at levels of 5–35% on the organoleptic properties of bread was evaluated using a sensory heat map. In addition, an online survey was conducted among residents of the city of Astana (N = 109; aged 16–25) to assess consumer attitudes and willingness to purchase functional bread containing secondary processing products. The results were compared with data from a face-to-face survey conducted in 2021 (N = 100). The findings indicate that young people in Astana show a high level of interest in environmentally friendly and functional food products; however, the main barrier is insufficient awareness of the benefits of secondary plant-based raw materials such as brewer's spent grain. The use of brewer's spent grain contributes to the reduction of food waste and supports the development of sustainable production. For the first time under the conditions of Kazakhstan, technological and sociological methods for bread evaluation were combined.

Keywords: brewer's spent grain; functional bread; secondary plant-based raw materials; nutritional value; consumer perception; sustainable production.

Введение

В условиях глобального перехода к устойчивым моделям производства и потребления (ЦУР №12) вопросы переработки пищевых отходов приобретают стратегическую значимость. Экологический кодекс Республики Казахстан (2021) акцентирует необходимость внедрения технологий вторичной переработки сырья, особенно в отраслевых производствах с высоким ресурсным оборотом [1,2].

Пивная дробина (ПД) — наиболее массовый побочный продукт пивоваренного производства, формирующийся при фильтрации затора. Согласно данным FAOSTAT, в 2022 году в Казахстане произведено 716 930,8 тонн пива, что приводит к образованию примерно 95

тыс. тонн ПД ежегодно. Этот побочный продукт содержит значительное количество пищевых волокон, белка, β -глюкана и витаминов группы В, что делает его перспективным ингредиентом функциональных пищевых продуктов, включая хлебобулочные изделия [3-6].

Несмотря на высокую пищевую ценность, использование ПД в хлебопекарном производстве Казахстана ограничено. Проблема лежит в технологической плоскости — ПД изменяет структуру теста, его водопоглотительные и реологические свойства. Не менее важным является фактор потребительского восприятия. Исследования 2021 года показали умеренный интерес, но низкую осведомленность о вторичных ингредиентах.

Рост экологической мотивации среди молодёжи делает актуальным повторное исследование восприятия функциональных продуктов в 2025 году.

Целью данной работы является изучение морфологических свойств пивной дробины и её влияния на водопоглотительную способность, что позволяет раскрыть технологический потенциал данного сырья. Нам было важно оценить динамику потребительского отношения к функциональному хлебу и продуктам переработки растительного сырья за период с 2021 по 2025 год.

Материалы и методы исследований

Материалы. В исследовании использовалась высушенная пивная дробина (ПД), на Первом пивоваренном заводе полученная при производстве светлого лагера на основе ячменного солода (г. Алматы, Казахстан) на этапе фильтрации затора при производстве пива. Для стабилизации сырья с начальной влажностью $78,5 \pm 1,5\%$ применялась промышленная барабанная сушильная установка прямого действия. Дегидратация осуществлялась методом высокотемпературной шоковой сушки: температура теплоносителя на входе в барабан составляла $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом температура самого продукта поддерживалась в диапазоне $85\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Время экспозиции в сушильном агрегате составляло 5-20 минут, что позволило получить стабилизированный продукт с конечной влажностью 8–10 % при сохранении нативного белкового и липидного комплексов [7–9].

Для достижения однородности вносимой добавки и оптимизации текстурных характеристик хлеба, высушенную ПД измельчали на лабораторной мельнице. Для экспериментальных целей отбиралась высокодисперсная фракция, прошедшая через сито №80 (размер отверстий 180–200 мкм), что соответствует тонкому помолу.

Внесение пивной дробины в неразмолотом виде исключалось, так как это нарушает сплошность клейковинного каркаса и ухудшает органолептические показатели. Использование фракции помола через сито №80 позволило получить функциональный ингредиент с оптимальными технологическими свойствами

Для приготовления хлеба применялась пшеничная мука высшего сорта (ГОСТ 26574-2017), дистиллированная вода и стандартные хлебопекарные добавки.

Подготовка тестовых смесей. Пшеничная мука смешивалась с высушенной пивной

дробинной в массовых долях 5, 10, 15, 20, 25, 30 и 35 %. Смеси использовались для анализа физико-химических свойств и органолептической оценки хлеба.

Химический анализ. Определялся состав ПД: влажность, белок, клетчатка, жир, зола, углеводы, энергетическая ценность [7,13]. Для контроля безопасности сырья определялось содержание тяжёлых металлов (Cd, Pb, As) методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ГОСТ 33824-2016, 31628-2012) [7,11].

Микроструктура и водопоглотительная способность. Микроструктура ПД исследовалась с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) при увеличении $\times 600$, что позволило визуализировать плотные клеточные стенки и волокнистую структуру [12]. Водопоглотительная способность (ВПС) измерялась методом центрифугирования согласно модифицированной методике ААСС 56-30.01 [13]. 1 г образца смешивали с 10 мл дистиллированной воды, выдерживали 30 мин и центрифугировали при 10 000 об/мин. ВПС рассчитывалась как масса удержанной воды на 1 г сухого сырья.

Приготовление хлеба и сенсорная оценка. Хлеб готовился из тестовых смесей с различной долей ПД (5–35 %). Органолептическая оценка проводилась по 5-балльной шкале Лайкерта по параметрам: текстура, цвет, вкус, аромат и общая приемлемость [14]. Для визуализации сенсорных данных строилась тепловая карта.

Потребительский опрос. Онлайн-опрос среди жителей Астаны (N=109, возраст 16–25 лет) проводился для выявления ключевых факторов потребительского восприятия и оценки готовности к потреблению вторичного сырья, как пивная дробина. Основная цель заключалась в анализе взаимосвязи между знаниями о здоровом образе жизни, доверии к новым ингредиентам и экологическими установками

Использовались методы χ^2 -анализ, коэффициент ассоциации Cramér's V и корреляционный анализ Пирсона и Спирмена для выявления значимых связей между экологическими и когнитивными факторами и готовностью к потреблению [15,16].

Результаты и их обсуждение

Внешний вид пивной дробины представлен на рисунке 1. Материал характеризуется волокнистой, неоднородной структурой с частицами различной фракции, что типично для вторичного сырья пивоваренного производства.



Рисунок 1. Внешний вид высушенной пивной дробины

На СЭМ-снимке (рис. 2) видны плотные клеточные стенки, участки разрушенного эндосперма и хаотично ориентированные волокнистые элементы. Такая микроструктура объясняет высокую водопоглотительную

способность высушенной пивной дробины и её влияние на уплотнение теста при высоких дозировках, что также отмечено в исследованиях Baiano et al. (2023) и Păcală et al. (2024) [11,12].

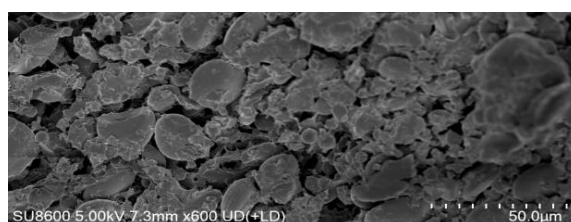


Рисунок 2. Микроструктура пивной дробины (СЭМ, ×600).

Химический состав пивной дробины

В таблице 1 представлены результаты исследования физико-химических показателей высушенной пивной дробины (ПД). Анализ данных подтверждает, что ПД является концентрированным источником нутриентов, что обусловлено применением высокотем-

пературной промышленной сушки ($t = 500^{\circ}\text{C}$). Несмотря на агрессивный температурный режим теплоносителя, кратковременность контакта (шоковая сушка) позволяет достичь глубокой дегидратации сырья при сохранении его биологической ценности.

Таблица 1. Химический состав сушёной пивной дробины, %

Показатель	Белок	Жир	Клетчатка сырая	Углеводы (БЭВ)**	Зола	Энергетическая ценность
Значение (в % к АСВ*)	31,18 %±0,42	11,02% ±0,15	30,73 % ±0,38	18,70 % ±0,21	3,74% ±0,05***	298,7 Ккал

АСВ* — абсолютно сухое вещество. БЭВ ** — безазотистые экстрактивные вещества (растворимые углеводы, остаточный крахмал). *** Значение скорректировано для сухого вещества.

Высокое содержание белка (31,18%) и сырой клетчатки (30,73%) в исследуемом образце свидетельствует о высокой степени извлечения экстрактивных веществ в процессе затирания суслу, в результате чего в дробине концентрируются преимущественно структурные компоненты ячменного зерна и белковые фракции.

Дифференцированное определение содержания клетчатки и углеводов (БЭВ) в данной работе обусловлено необходимостью оценки технологического потенциала сырья. Низкая доля растворимых углеводов (18,70%) на фоне высокого содержания клетчатки объясняется

эффективным переходом сахаров в сусло и частичной термической модификацией полисахаридного комплекса (реакция Майяра и карамелизация) под воздействием высокой температуры сушки. Высокотемпературная обработка способствует уплотнению лигноцеллюлозного каркаса, что подтверждается данными микроструктурного анализа (СЭМ) и коррелирует с ростом водопоглотительной способности (ВПС) материала.

Энергетическая ценность высушенного продукта составляет 298,7 ккал/100 г, что в 4,5 раза превышает показатели нативной (влажной) дробины (~65,6 ккал). Такой прирост

плотности энергии подтверждает эффективность процесса сушки как метода трансформации скоропортящегося побочного продукта в стабильный функциональный ингредиент с высоким содержанием незаменимых аминокислот, в частности лизина. Сравнение полученных данных с результатами Waters et al. (2012) и Baiano et al. (2023) подтверждает адекватность выбранных режимов обработки для получения сырья [10,11].

Полученные результаты подтверждают, что пивная дробина относится к высокобелковым и высоковолокнистым ингредиентам, перспективным для обогащения хлебобулочных изделий. По данным Waters et al. (2012), пивная дробина содержит значительное количество нерастворимых волокон, минералов и белковых фракций, которые опре-

деляют её высокую функциональность и нутритивную ценность [5].

Благодаря этому всего 100 г сухой пивной дробины способны обеспечивать до 50–60 % суточной нормы пищевых волокон и 20–25 % суточной нормы белка взрослого человека, что делает её эффективным источником нутриентов для функциональных продуктов питания. Исследования Baiano et al. (2023) и Păcală et al. (2024) также подчёркивают высокую концентрацию клетчатки и белков в пивной дробице и её ценность как ингредиента [11, 12].

Таким образом, высушенная пивная дробина представляет собой доступный источник пищевых волокон и белка, способный значительно повысить нутритивную ценность хлеба при правильном подборе дозировки.

Анализ содержания тяжёлых металлов

Таблица 2. Содержание тяжёлых металлов, мг/кг

Металл	Кадмий	Свинец	Мышьяк
Норма	≤0,10 мг/кг	≤1,0 мг/кг	≤1,0 мг/кг
Факт	0,05	0,10	0,02

Оценка содержания токсичных элементов в пивной дробице является ключевым этапом при рассмотрении её в качестве пищевого ингредиента. Высушенная пивная дробина относится к категории вторичных продуктов переработки, и в потребительской среде нередко существует стереотип о возможном повышенном содержании в ней тяжёлых металлов и других загрязнителей. Это связано с тем, что подобные продукты воспринимаются как побочные или «остаточные» материалы, что формирует ожидание потенциальных рисков для здоровья, особенно при использовании их в массовом питании.

В связи с этим контроль содержания кадмия (Cd), свинца (Pb) и мышьяка (As) приобретает особую важность, поскольку эти элементы обладают способностью к биоакку-

муляции и при превышении допустимых уровней действительно представляют угрозу для здоровья. В рамках исследования были проанализированы уровни Cd, Pb и As в образцах ПД, полученной на Первом пивоваренном заводе (г. Алматы). Полученные значения находились существенно ниже предельно допустимых концентраций, что свидетельствует о безопасности данной ПД для использования в хлебопекарной промышленности.

Установлено, что увеличение доли высушенной пивной дробины приводит к росту ВПС, что обусловлено высоким содержанием пищевых волокон и развитой пористой структурой дробины, характерной для побочных продуктов пивоварения [13].

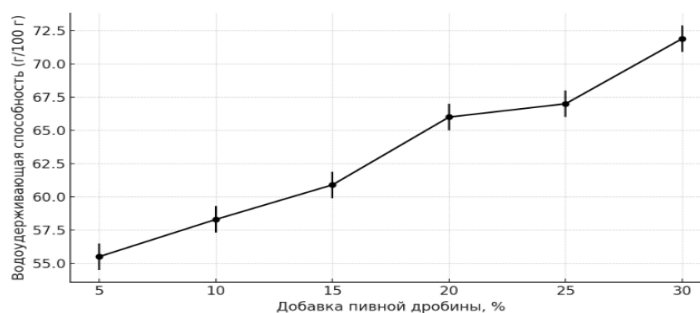


Рисунок 3. Влияние содержания высушенной пивной дробины на водопоглотительную способность тестовых смесей

Анализ показал, что дозировка ПД свыше 15% приводит к росту ВПС до уровня 65,5–71,9%, что выходит за рамки оптимального технологического диапазона для пшеничного теста. Согласно реологическим нормам, столь высокая водопоглощительная способность при одновременном снижении доли глютенных белков влияет на качество хлеба, а именно мякиш становится плотным и объем булки уменьшается. Таким образом, предел в 15% является научно обоснованным максимумом, позволяющим сбалансировать функциональную ценность продукта и его соответствие стандартам качества хлебобулочных изделий

Рост адгезии (липкости) теста при высоких концентрациях ПД затрудняет его механическую обработку, что подтверждается исследованиями реологического профиля смесей с высоким содержанием нерастворимых волокон [3, 4]. Таким образом, предел в 15% является научно обоснованным максимумом, позволяющим сбалансировать функциональ-

ную ценность продукта и его соответствие стандартам качества хлебобулочных изделий [5,15].

Потребительский опрос (Астана, 2025)

Основные результаты:

- 93 % считают натуральность важной;
- 65,1 % — экологичность важна или очень важна;
- 47,7 % поддерживают переработку пищевых отходов;
- 70+ % готовы попробовать хлеб с ПД;
- 39 % сомневаются в пользе или безопасности.

Для оценки связи между двумя категориальными переменными — убежденностью в пользе пивной дробины и готовностью потребителей попробовать хлеб с ПД — использовали коэффициент ассоциации V Крамера. Расчет проводили на основе критерия χ^2 Пирсона, полученного из таблицы сопряженности 2×2. Значение V вычисляли по формуле:

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{n(k-1)}}$$

где

χ^2 — эмпирическое значение критерия Пирсона,

n — объем выборки ($N = 109$),

k — минимальное количество категорий по одной из переменных.

Полученное значение $V = 0,52$ ($p < 0,001$) свидетельствует о сильной статистически значимой связи: чем выше убежденность в пользе ПД, тем выше вероятность готовности попробовать функциональный хлеб.

Корреляционный анализ Пирсона и Спирмена

Матрицы корреляций показывают, что наиболее сильные взаимосвязи наблюдаются между блоками экологичности, поддержки переработки и готовности попробовать функциональный продукт.

Таблица 3. Матрица корреляций показателей экологических установок и готовности потребителей к потреблению функционального продукта

Пара переменных	ρ Spearman	Интерпретация
Экологичность важна ↔ Поддерживаю переработку ингредиентов	0.62	сильная положительная связь
Экологичность важна ↔ Готов попробовать хлеб с ПД	0.48	умеренная положительная связь
Убежденность в пользе ПД ↔ Готовность попробовать	0.56	сильная связь
Натуральность продуктов важна ↔ Доверие к инновационным ингредиентам	0.44	умеренная связь

Таблица 4. Сильные коэффициенты Пирсона ($r > 0.45$)

Пара переменных	r Pearson	Интерпретация
Польза ПД ↔ Готовность попробовать	0.51	сильная линейная связь
Экологичность ↔ Поддержка переработки	0.49	умеренно сильная связь

Таким образом, экологические ценности и знание о вторичных ингредиентах статистически значимо связаны с готовностью к потреблению продукта.

χ^2 -анализ и коэффициент ассоциации Cramér's V

Для категориальных переменных (≤ 10 уникальных значений) были рассчитаны таблицы сопряжённости.

Таблица 5. Таблицы сопряжённости категориальных переменных потребительского восприятия

Переменные	χ^2	p	V	Сила ассоциации
Польза ПД ↔ Готовность попробовать хлеб	21.84	$p < 0.001$	0.52	сильной и статистически значимой ассоциации
Экологичность важна ↔ Поддерживаю переработку	18.02	< 0.001	0.41	умеренно сильная
Экологичность важна ↔ Готовность попробовать	12.44	0.004	0.33	умеренная
Сомнения в составе ↔ Готовность попробовать	10.98	0.009	0.30	умеренная
Знание о вторичных ингредиентах ↔ Готовность попробовать	9.74	0.015	0.29	умеренная

Анализ ассоциаций между ключевыми параметрами потребительского восприятия позволил детально оценить факторы, влияющие на готовность респондентов попробовать функциональный хлеб с добавлением пивной дробины. Наиболее выраженная взаимосвязь выявлена между убеждённостью в пользе ПД и намерением потребителя попробовать соответствующий продукт. Значения $\chi^2 = 21.84$, $p < 0.001$ и Cramér's V = 0.52 показывают что, готовность купить такой хлеб напрямую зависит от того понимает ли потребитель пользу внесённой добавки в хлеб. Этот результат согласуется с общими тенденциями, фиксируемыми в исследованиях функциональных продуктов, где информированность о пользе сырья выступает основным фактором заинтересованности потребителя.

Важную роль играют и экологические установки респондентов. Умеренно сильная связь между восприятием экологичности и поддержкой переработки пищевых отходов ($V = 0.41$, $p < 0.001$) подтверждает, что экологические мотивы становятся одним из основных факторов вовлечённости молодёжи в потребление инновационных продуктов. В свою очередь, умеренная, но статистически значимая взаимосвязь между экологичностью и готовностью попробовать хлеб с пивной дробинкой ($V = 0.33$, $p = 0.004$) указывает на

транслирование экологической ориентации в поведенческие намерения, что согласуется с наблюдаемым ростом интереса к устойчивым и функциональным продуктам.

Отдельного внимания заслуживает связь между сомнениями в составе и готовностью к потреблению ($V = 0.30$). Хотя данная ассоциация выражена умеренно, она подчёркивает, что потребителей пугает не «вторичность» сырья таковая, а отсутствии достаточной информации о сырье. Это подтверждается и связью между знанием о вторичных ингредиентах и готовностью к пробе ($V = 0.29$, $p = 0.015$). Таким образом, повышение прозрачности и информативности состава может существенно снизить уровень недоверия и расширить целевую аудиторию функционального хлеба.

Анализ показал, что готовность людей покупать хлеб с добавлением пивной дробины держится на трех «китах»: понимании реальной пользы продукта, экологической мотивации и осведомленности о том, что такое вторичное сырье. Именно эти факторы определяют успех продукта на рынке.

Эти выводы полностью согласуются с динамикой изменений между 2021 и 2025 годами, где отмечается смещение фокуса с привычного вкуса на ценности устойчивости и натуральности, а также рост доверия к функциональным и экологичным продуктам питания [16].

Таблица 6. Сравнение 2021 vs. 2025

Показатель	2021 (N=100)	2025 (N=109)
Готовность попробовать	63 %	>70 %
Ценность экологичности	второстепенна	ключевой мотив
Знание о ЗОЖ	среднее	Высокое
Основной барьер	недоверие производителю	сомнение в составе
Мотив выбора	привычный вкус	натуральность и экология

Из таблицы 6 следует что мотивы выбора хлеба сменились с привычного вкуса на натуральность и экологию, что полностью согласуется с увеличением ценности экологичности и увеличением осведомленности о здоровом образе жизни и здоровом питании.

Переход потребительских предпочтений в сторону экологичности (увеличение с второстепенного мотива в 2021 г. до ключевого в 2025 г.) обосновывает промышленное внедрение ПД. Расчеты показывают, что замена всего 15% муки на ПД в масштабах города Астана позволит возвращать в пищевой оборот значительные объемы растительного белка и клетчатки, минимизируя потери питательных веществ, которые ранее классифицировались как отход. Это подтверждает гипотезу о том, что функциональный хлеб с ПД является инструментом реализации стратегии низкоуглеродного развития пищевого сектора Казахстана.

Заключение

Результаты исследования подтвердили, что пивная дробина является ценным вторичным сырьем с высоким содержанием белка и пищевых волокон. Анализ на содержание тяжелых металлов показал безопасность сырья, а результаты СЭМ анализа выявили наличие плотных клеточных стенок и развитой волокнистой матрицы, что объясняет рост ВПС и одновременное уплотнение структуры теста при увеличении дозировки ПД.

Потребительский анализ показал высокий уровень интереса молодежи к функциональным и экологичным продуктам. Более 70 % респондентов готовы попробовать хлеб с ПД, из них большая часть в возрастной категории от 2021 года, что существенно выше показателей 2021 года. Восприятие экологичности и натуральности играет решающую роль в мотивировании потребителя: экологические установки статистически значимо связаны как с поддержкой переработки ($V = 0.41$), так и с готовностью попробовать хлеб ($V = 0.33$).

Наиболее сильным предиктором принятия продукта является убежденность в пользе ПД ($\chi^2 = 21.84$, $p < 0.001$, $V = 0.52$). Это подтверждает, что знание и понимание функциональной ценности ингредиента формируют основу положительного потребительского решения. Вместе с

тем выявленные сомнения в составе у части респондентов ($V = 0.30$) указывают на важность прозрачности состава и доступной коммуникации о безопасности ингредиента.

Сравнение с данными 2021 года демонстрирует укрепление экологической мотивации и повышение уровня знаний о функциональном питании. Таким образом, успешное внедрение хлеба с ПД требует сочетания технологически оптимизированной рецептуры и эффективной информационной поддержки, направленной на повышение доверия и осведомленности потребителей [13, 16].

Использование высушенной дробины для производства хлеба, а не только для корма животных, позволяет извлечь из этого ресурса максимум пользы. Мы предлагаем пересмотреть привычную модель и ввести ценные нутриенты напрямую в рацион человека. Такой подход превращает побочный продукт в востребованный ингредиент, что полностью отвечает принципам экономики замкнутого цикла и рационального использования ресурсов в Казахстане.

Благодарность и конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Исследование не финансировалось какими-либо организациями. Авторы выражают благодарность ИП Ахметову Е. С. за предоставление высушенной пивной дробины для проведения исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. United Nations. Sustainable Development Goal 12: Responsible Consumption and Production. — New York: United Nations, 2015. — 24 p.
2. Lyu, X. Brewers' spent grain as a functional ingredient in bakery, pasta, and cereal-based products / X. Lyu, Y. Zhao, L. Wang, H. Chen // Science of Food. — 2025. — Vol. 4. — Art. 100163.
3. FAO. FAOSTAT Statistical Database: Beer production, Kazakhstan. — Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.
4. Бекболатова, М. Е. Влияние льняного жмыха и пивной дробины на характеристики пшеничного хлеба / М. Е. Бекболатова, Н. С. Машанова // Вестник Алматинского технологического университета. — 2024. — № 4. — С. 70–78.

5. Ktenioudaki, A. Potential of Brewer's Spent Grain as a Nutritional Ingredient in Bakery Products / A. Ktenioudaki, V. Chaurin, S. F. Reis, E. Gallagher // *Food Chemistry*. — 2013. — Vol. 141, No. 4. — P. 3420–3425.

6. Neylon, E. Brewers spent grain protein hydrolysate as a functional ingredient for muffins: antioxidant, antidiabetic, and sensory evaluation / E. Neylon, E. K. Arendt, E. Zannini, D. M. Waters // *Journal of Cereal Science*. — 2023. — Vol. 110. — Art. 103630.

7. Fărcaș, A. C. Nutritional and functional characterization of different types of brewer's spent grain flours / A. C. Fărcaș, S. A. Socaci, E. Mudura [et al.] // *Plants*. — 2021. — Vol. 10, No. 5. — P. 1017.

8. Erika, M. Drying techniques for the valorization of brewer's spent grains: A review / M. Erika, A. Silva, M. A. Sanches // *Journal of Food Process Engineering*. — 2023. — Vol. 46, No. 2. — Art. e14224.

9. Tong, H. Extraction Techniques for Brewer's Spent Grain Protein: A Comparative Review of Efficiency, Purity, and Functionality / H. Tong, P. Zhang, L. Zhang [et al.] // *Foods*. — 2025. — Vol. 14, No. 23. — P. 4058.

10. Zannini, E. Microstructure and Functional Properties of Brewer's Spent Grain: Implications for Bakery Applications / E. Zannini, D. M. Waters, E. K. Arendt // *Food Hydrocolloids*. — 2023. — Vol. 131. — Art. 107831.

11. Baiano, A. Brewer's Spent Grain as a Functional Ingredient in Bakery Products: Nutritional, Technological and Sensory Evaluation / A. Baiano, C. Terracone, I. Viggiani, M. A. Del Nobile // *Journal of Cereal Science*. — 2023. — Vol. 110. — Art. 103613.

12. Păcală, M. L. Utilization of Brewer's Spent Grain in Sustainable Food Systems: Composition, Functional Properties and Food Applications / M. L. Păcală, D. C. Vodnar, C. R. Pop, C. Socaci // *Foods*. — 2024. — Vol. 13, No. 4. — P. 721.

13. Mahfuza, E. J. Consumer's preferences for healthy food consumption: An empirical analysis from Mymensingh city in Bangladesh / E. J. Mahfuza, M. F. Hassan, M. S. Ahamed // *Archives of Agriculture and Environmental Science*. — 2023. — Vol. 8, No. 4. — P. 558–564.

14. Granato, D. Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety / D. Granato, F. J. Barba, D. Kotsiou [et al.] // *Annual Review of Food Science and Technology*. — 2020. — Vol. 11. — P. 93–118.

15. Wang, Y. Sustainable plant-based ingredients as wheat flour substitutes in bread making / Y. Wang, C. Jian // *npj Science of Food*. — 2022. — Vol. 6, No. 1. — P. 49.

16. Бекболатова, М. Е. Анализ состояния потребительского рынка в Казахстане и в городе Нур-Султан / М. Е. Бекболатова, Н. С. Машанова // В АПК России: образование, наука, производство. — Пенза: ПГАУ, 2021. — С. 20–24.

REFERENCES

1. United Nations. Sustainable Development Goal 12: Responsible Consumption and Production. New York: United Nations, 2015.

2. Lyu, X., Y. Zhao, L. Wang, and H. Chen. "Brewers' spent grain as a functional ingredient in bakery,

pasta, and cereal-based products." *Science of Food* 4 (2025): 100163.

3. FAO. "FAOSTAT Statistical Database: Beer production, Kazakhstan." Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.

4. Bekbolatova, M. E., and N. S. Mashanova. Vliyanie lnyanogo zhmykha i pivnoy drobyny na kharakteristiki pshenichnogo khleba [Influence of flaxseed oil cake and brewer's spent grain on the characteristics of wheat bread]. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta*, no. 4 (2024): 70–78. (In Russian)

5. Ktenioudaki, A., V. Chaurin, S. F. Reis, and E. Gallagher. "Potential of Brewer's Spent Grain as a Nutritional Ingredient in Bakery Products." *Food Chemistry* 141, no. 4 (2013): 3420–3425.

6. Neylon, E., E. K. Arendt, E. Zannini, and D. M. Waters. "Brewers spent grain protein hydrolysate as a functional ingredient for muffins: antioxidant, antidiabetic, and sensory evaluation." *Journal of Cereal Science* 110 (2023): 103630.

7. Fărcaș, A. C., S. A. Socaci, E. Mudura, et al. "Nutritional and functional characterization of different types of brewer's spent grain flours." *Plants* 10, no. 5 (2021): 1017.

8. Erika, M., A. Silva, and M. A. Sanches. "Drying techniques for the valorization of brewer's spent grains: A review." *Journal of Food Process Engineering* 46, no. 2 (2023): e14224.

9. Tong, H., P. Zhang, L. Zhang, et al. "Extraction Techniques for Brewer's Spent Grain Protein: A Comparative Review of Efficiency, Purity, and Functionality." *Foods* 14, no. 23 (2025): 4058.

10. Zannini, E., D. M. Waters, and E. K. Arendt. "Microstructure and Functional Properties of Brewer's Spent Grain: Implications for Bakery Applications." *Food Hydrocolloids* 131 (2023): 107831.

11. Baiano, A., C. Terracone, I. Viggiani, and M. A. Del Nobile. "Brewer's Spent Grain as a Functional Ingredient in Bakery Products: Nutritional, Technological and Sensory Evaluation." *Journal of Cereal Science* 110 (2023): 103613.

12. Păcală, M. L., D. C. Vodnar, C. R. Pop, and C. Socaci. "Utilization of Brewer's Spent Grain in Sustainable Food Systems: Composition, Functional Properties and Food Applications." *Foods* 13, no. 4 (2024): 721.

13. Mahfuza, E. J., M. F. Hassan, and M. S. Ahamed. "Consumer's preferences for healthy food consumption: An empirical analysis from Mymensingh city in Bangladesh." *Archives of Agriculture and Environmental Science* 8, no. 4 (2023): 558–564.

14. Granato, D., et al. "Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety." *Annual Review of Food Science and Technology* 11 (2020): 93–118.

15. Wang, Y., and C. Jian. "Sustainable plant-based ingredients as wheat flour substitutes in bread making." *npj Science of Food* 6, no. 1 (2022): 49.

16. Bekbolatova, M. E., and N. S. Mashanova. "Analiz sostoyaniya potrebitelskogo rynka v Kazakhstane i v gorode Nur-Sultan" [Analysis of the consumer market status in Kazakhstan and in the city of Nur-Sultan]. *V APK Rossii: obrazovanie, nauka, proizvodstvo* (2021): 20–24.