На правах рукописи

УДК 637.146.3:664.292

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И.РАЗЗАКОВА

Маметжанов Аскарбек Маметтурдуевич

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ МОЛОЧНО-БЕЛКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДРЕВНИХ РЕЦЕПТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

741000 – технология продовольственных продуктов

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени доктора философии (Ph.D) по направлению 741000 – технология продовольственных продуктов

Научные руководители:

Д-р техн. наук, профессор

Мусульманова Мукарама Мухамедовна

Д-р техн.наук, профессор

Байхожаева Бахытгуль Узаковна

Бишкек 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Продолжение следует…

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. Традиционные молочные продукты Центральной Азии на протяжении тысячелетий формировали основу рациона кочевых и полукочевых народов, обеспечивая устойчивое питание в условиях ограниченных природных ресурсов, экстремального климата и сезонной мобильности населения [1, 2]. Особое значение имели продукты с высокой питательной плотностью, длительным сроком хранения и возможностью транспортировки без применения сложных технологий. К числу таких продуктов относится курут — концентрированный молочно-белковый продукт, широко распространённый в регионе [2, 3].

Несмотря на значительное культурное и историческое значение курута, его жидкие формы оказались практически утрачены в современной пищевой практике и на сегодняшний день не охарактеризованы в международной рецензируемой литературе [6]. Жидкий курут — регидратированная форма твёрдого курута — исторически использовался в качестве питательного напитка, однако в условиях индустриализации и стандартизации молочной промышленности был вытеснен более унифицированными продуктами.

В современных условиях развития пищевой науки возрастает интерес к функциональным и специализированным продуктам питания [4], высокобелковым напиткам [5] и решениям, основанным на принципах рационального использования ресурсов. В этом контексте жидкий курут представляет собой перспективный объект исследований, сочетающий традиционные пищевые практики с возможностями технологической модернизации. Актуальность настоящей работы обусловлена отсутствием систематизированных научных данных о физико-химических, пищевых и сенсорных характеристиках жидкого курута, а также недостаточной проработанностью его технологических параметров при промышленном производстве. Дополнительное значение приобретает поиск путей повышения пищевой ценности продукта за счёт использования молочной сыворотки —

вторичного сырья молочной переработки, потенциал которого во многих случаях остаётся недоиспользованным [7, 8].

Исследование жидкого курута на водной основе и разработка инновационных рецептур на основе молочной сыворотки актуальны с точки зрения развития молочной промышленности и расширения ассортимента функциональных напитков. Полученные результаты имеют особое значение для Кыргызской Республики, где традиционные молочные продукты сохраняют важную социально-экономическую роль и потенциал для устойчивого развития региональных агропищевых систем [2, 9].

Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями и научно-исследовательскими работами. Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям развития пищевой науки и технологии, связанным с разработкой функциональных и специализированных продуктов питания, повышением пищевой ценности молочных продуктов, а также рациональным использованием молока и вторичного молочного сырья.

Исследование выполнено в русле современных научных подходов к созданию продуктов с высокой биологической ценностью, ориентированных на потребности различных групп населения, включая функциональное и специализированное питание. Особое внимание уделяется вопросам оптимизации рецептур и технологических параметров молочно-белковых напитков с учётом требований безопасности, стабильности и потребительской приемлемости.

Работа соотносится с направлениями исследований в области устойчивого развития агропищевых систем, предусматривающих снижение сырьевых потерь и вовлечение вторичного молочного сырья в производственный цикл. В этом контексте использование молочной сыворотки рассматривается как перспективное направление повышения эффективности переработки молочного сырья.

Диссертационная работа носит инициативный характер и опирается на результаты опытно-промышленной апробации технологических решений,

реализованных в условиях серийного производства жидкого курута в компании **«Алайку Органикс»** (Кыргызская Республика). Полученный производственный опыт послужил основой для формулирования научных задач настоящего исследования и их последующего экспериментального обоснования.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является научная характеристика и оптимизация рецептур и технологических параметров производства жидкого курута на водной основе и на основе молочной сыворотки с оценкой его пищевой, функциональной и промышленной применимости.

Для достижения поставленной цели предусматривается решение следующих задач:

1. Провести научную документацию жидкого курута на водной основе как традиционного молочно-белкового напитка.
2. Исследовать физико-химические, пищевые и энергетические характеристики жидкого курута.
3. Определить аминокислотный и жирнокислотный состав жидкого курута, включая расчёт индексов липидного качества.
4. Обосновать возможность и технологическую целесообразность замены воды молочной сывороткой — вторичным сырьём молочной переработки — в рецептуре жидкого курута.
5. Провести сравнительный анализ физико-химических, пищевых и сенсорных характеристик жидкого курута на водной основе и на основе молочной сыворотки различных видов.
6. Оценить технологическую стабильность и промышленную реализуемость разработанных рецептур при хранении.

Научная новизна диссертационной работы заключается в комплексном научном обосновании жидкого курута как самостоятельного молочно-белкового напитка и в разработке научно обоснованных подходов к его рецептуре с использованием молочной сыворотки.

Впервые жидкий курут на водной основе рассмотрен как объект системного научного исследования, а не исключительно как элемент традиционной пищевой практики. Получены и обобщены данные о его физико-химических, пищевых и сенсорных характеристиках.

В рамках исследования проведён комплексный анализ аминокислотного и жирнокислотного состава жидкого курута, позволяющий оценить его пищевую полноценность и потенциальную функциональную ценность, в том числе с применением индексов атерогенности, тромбогенности и гипо/гиперхолестеринемического коэффициента.

Научно обоснована возможность использования молочной сыворотки в качестве альтернативы воде в рецептуре жидкого курута. Разработаны и исследованы рецептуры на основе кислой сыворотки, сладкой сыворотки и соответствующих пермеатов, характеризующиеся изменёнными физико-химическими и технологическими свойствами по сравнению с традиционной водной основой.

Проведён сравнительный анализ пяти рецептур жидкого курута по физико-химическим, пищевым и сенсорным характеристикам, а также по показателям микробиологической стабильности при хранении в течение 180 суток, что позволило выявить преимущества и ограничения каждой рецептуры.

Полученные результаты расширяют научные представления о модернизации традиционных молочных продуктов Центральной Азии и формируют основу для развития функциональных молочно-белковых напитков с учётом принципов рационального использования молочного сырья.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в возможности внедрения полученных научных результатов в условиях действующего промышленного производства молочно-белковых напитков на основе традиционных рецептур. Исследование опирается на опыт серийного производства жидкого курута в ОсОО «Алайку Органикс», что подтверждает прикладной характер и реализуемость разработанных решений. Практическая

состоятельность полученных результатов дополнительно подтверждена их публикацией в рецензируемом международном журнале [6].

Результаты работы могут быть использованы предприятиями молочной промышленности при разработке и совершенствовании ассортимента молочно-белковых напитков, а также при адаптации традиционных продуктов к современным требованиям качества и безопасности.

Экономическая значимость результатов обусловлена возможностью расширения ассортимента продукции с добавленной стоимостью на основе традиционного молочного сырья и рационального использования молочной сыворотки, что создаёт предпосылки для устойчивого развития малых и средних предприятий молочной отрасли.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Впервые жидкий курут на водной основе исследован как самостоятельный объект научного анализа, для которого установлены физико-химические, аминокислотные, жирнокислотные и сенсорные характеристики.
2. Установлены закономерности изменения показателей pH, титруемой кислотности и цветовых характеристик жидкого курута в зависимости от типа используемой жидкой основы (вода, молочная сыворотка, сывороточные пермеаты).
3. Экспериментально выявлены различия в аминокислотном и жирнокислотном составе жидкого курута при замене водной основы молочной сывороткой, позволяющие количественно оценить изменение пищевой ценности продукта.
4. Научно обосновано влияние сывороточной основы на показатели качества липидной фракции (AI, TI, h/H) и общий пищевой состав продукта.
5. Установлены особенности сенсорного профиля жидкого курута в зависимости от рецептурной основы, определяющие уровень его потребительской приемлемости при хранении.

Личный вклад соискателя заключается в постановке цели и задач исследования, разработке концепции и экспериментального дизайна работы, формировании рецептур жидкого курута на водной и сывороточной основе, проведении экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных данных, а также формулировании научных выводов и практических рекомендаций. Экспериментальные исследования выполнены в ходе научной стажировки в Lithuanian University of Health Sciences (г. Каунас, Литовская Республика) в рамках проекта GIZ GmbH «Development of Research Capacity in Food Sciences in Central Asian HEIs» (Agreement No. 81295537), а также в научно-исследовательских лабораториях Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова и на базе ОсОО «Алайку Органикс» (Кыргызская Республика).

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационного исследования представлены на международных и республиканских научно-практических конференциях, посвящённых вопросам технологии пищевых продуктов, функционального питания и устойчивого развития переработки молочного сырья.

Результаты исследования представлены на 18-й Международной междисциплинарной онлайн-конференции «The Vital Nature Sign» (Vytautas Magnus University, Литовская Республика, 2024), на Международной онлайн-конференции молодых исследователей «Development of Research Capacity and Innovations in Food Safety and Quality» (LSMU, ATU, KGTU, 2025), а также на Международной научно-практической интернет-конференции «Технико-технологический форум в области пищевой промышленности и обеспечения качества продуктов питания» (КГТУ, Бишкек, 2025). Материалы докладов опубликованы в сборниках конференций. Отдельные результаты исследования внедрены в производственную практику ОсОО «Алайку Органикс», что подтверждено актами внедрения.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 3 научные работы, в том числе 2 статьи в научных журналах, индексируемых в международной базе данных Scopus, и 1 публикация в сборнике материалов международной конференции.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, ____ глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Основной текст изложен на ___ страницах машинописного текста, содержит ___ таблиц и ___ рисунков. Список использованной литературы включает ___ наименований.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Традиционные ферментированные молочные продукты народов Центральной Азии

Ферментированные молочные продукты занимают центральное место в пищевой культуре Центральной Азии на протяжении тысячелетий. Анализ липидных остатков на керамических черепках бронзового века, обнаруженных в степях современного Казахстана и Кыргызстана, свидетельствует о том, что переработка молока здесь практиковалась не менее пяти тысяч лет [1]. Кочевые народы региона — казахи, кыргызы, монголы — создали уникальный спектр молочных продуктов, обеспечивавших длительное хранение пищи без современных технологий. С позиций пищевой науки эти продукты представляют собой сложные микробные экосистемы, сформированные на основе управляемой или стихийной ферментации, и в последние десятилетия вызывают устойчивый научный интерес в связи с их пробиотическим и функциональным потенциалом [2].

Ферментация как технологический принцип решала сразу несколько задач: продление срока годности скоропортящегося сырья, снижение лактозной нагрузки, накопление органических кислот, ингибирующих рост патогенной микрофлоры, и формирование характерных органолептических свойств продуктов. Молочнокислые бактерии (МКБ), осуществляющие эти превращения, одновременно продуцируют биологически активные метаболиты — витамины группы В, конъюгированную линолевую кислоту (КЛК), бактериоцины и биоактивные пептиды, — что обусловливает функциональную ценность традиционных центральноазиатских молочных продуктов [3].

1.1.1 Кымыз: микробиология, состав и функциональные свойства

Кымыз - ферментированный напиток из кобыльего молока - является наиболее изученным традиционным молочным продуктом Центральной Азии. Его производство основано на совместной молочнокислой и спиртовой ферментации, исторически осуществлявшейся в кожаных бурдюках - саба. В качестве доминирующих бактериальных агентов идентифицированы *Lactobacillus helveticus*, *L. kefiranofaciens*, *Leuconostoc mesenteroides* и *Lactococcus lactis*; среди дрожжей преобладают *Kluyveromyces marxianus* и *Saccharomyces cerevisiae* [4].

Численность популяции МКБ в кымызе достигает 10^8–10^9 КОЕ/мл, дрожжей — 10^6–10^7 КОЕ/мл. По степени кислотности кымыз традиционно подразделяется на три категории: слабый (pH 4,5–5,0), средний (pH 3,9–4,5) и крепкий (pH 3,3–3,6). Ферментация сопровождается накоплением молочной и уксусной кислот, этанола (0,6–3,0 %), а также широкого спектра летучих органических соединений, определяющих характерный сенсорный профиль напитка [4]. Параллельный протеолиз МКБ обеспечивает частичный гидролиз казеинов с образованием биологически активных пептидов [3].

Кобылье молоко — исходное сырьё кымыза — принципиально отличается по составу от коровьего: в нём преобладают сывороточные белки над казеином в соотношении приблизительно 40:60, тогда как у коровьего молока это соотношение составляет 20:80. Это обусловливает более мягкий белковый сгусток, лучшую усвояемость и особую нежность вкуса. Жирнокислотный профиль кобыльего молока характеризуется относительно высокой долей полиненасыщенных жирных кислот, прежде всего линолевой и α-линоленовой, по сравнению с коровьим [5].

Функциональные свойства кымыза подтверждены рядом систематических исследований. Xue et al. (2023) [2] задокументировали иммуномодулирующий, антиоксидантный и гипохолестеринемический эффекты, связанные как с живыми МКБ, так и с продуктами их метаболизма. Пробиотические штаммы *L. helveticus*, выделенные из кымыза, in vitro демонстрируют высокую устойчивость

к желудочному соку и желчным кислотам, адгезию к эпителию кишечника, а также ингибирующую активность в отношении *Listeria monocytogenes* и *Escherichia coli* [4].

1.1.2 Айран: состав, технология и питательные свойства

Айран — традиционный кисломолочный напиток, глубоко укоренившийся в пищевой культуре Кыргызстана и всей Центральной Азии. Технологически он представляет собой прямосквашенный молочный продукт, получаемый ферментацией свежего или термически обработанного молока заквасочными культурами без последующего разведения. Готовый продукт отличается густой однородной консистенцией, характерной кислинкой и стойким кисломолочным ароматом.

Ферментация айрана ведётся при температуре 38–42 °C с использованием традиционной закваски (часть предыдущей партии) или промышленных культур *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* и *Streptococcus thermophilus* до достижения pH 4,2–4,6 и титруемой кислотности 75–120 °T. Численность живых МКБ в готовом продукте составляет не менее 10^7 КОЕ/мл, что соответствует критериям пробиотического молочного продукта [6].

С точки зрения питательного состава, айран является высококачественным источником легкоусвояемого белка (2,8–3,5 %), кальция (100–130 мг/100 г), фосфора и водорастворимых витаминов группы B, в особенности B^2 (рибофлавина) и B^{12}. Ферментация снижает содержание лактозы на 20–30 % по сравнению с исходным молоком, что улучшает переносимость продукта лицами с частичной лактазной недостаточностью — явлением, широко распространённым среди взрослого населения Центральной Азии [6]. *Aladeboyeje & Sanli (2021)* [7] установили, что применение пробиотических культур в аналогичных ферментированных напитках статистически значимо повышает антиоксидантную активность и содержание фолиевой кислоты по сравнению с продуктами на основе традиционных стартерных культур.

В традиционной кыргызской технологии айран служит промежуточным звеном в цепочке переработки молока: из него путём процеживания и прессования получают сузьму (кисломолочный творог), а последующее высушивание сузьмы даёт сухой курут. Таким образом, физико-химические свойства айрана как исходного субстрата непосредственно определяют качество и состав конечного продукта — курута [8].

1.1.3 Курут: история, технология производства и состав

Курут — один из наиболее древних молочных продуктов Центральной Азии — представляет собой высушенный ферментированный творог, известный под различными наименованиями в разных странах региона: курт (Казахстан, Узбекистан), курут (Кыргызстан), qurut (Таджикистан, Афганистан), чурут (Туркменистан). Исторически он являлся незаменимым продовольственным ресурсом кочевников: компактная форма, малая масса, длительный срок хранения без охлаждения и высокая концентрация питательных веществ делали курут идеальным провиантом во время сезонных переходов и в условиях отсутствия стационарных поселений [8, 9].

Классическая технология производства курута включает последовательные этапы: (1) молочнокислая ферментация молока с получением айрана; (2) тепловое нагревание или длительное выдерживание до формирования плотного белкового сгустка; (3) процеживание через марлю или хлопчатобумажную ткань с удалением сыворотки; (4) добавление поваренной соли и формование вручную в шарики, цилиндры или лепёшки; (5) медленное высушивание на воздухе или солнце при температуре окружающей среды до достижения влажности 10–15 %. Срок высушивания в зависимости от климатических условий составляет от нескольких дней до нескольких недель [9].

По данным комплексного обзора *Konuspayeva et al. (2023)* [8], опубликованного в *International Dairy Journal*, сухой курут является высококонцентрированным источником белка (30–45 % в пересчёте на сухое вещество), кальция, фосфора и жирорастворимых витаминов. Высокое

содержание соли (3–10 %) и низкая активность воды (a_w = 0,60–0,72) обеспечивают микробиологическую стабильность при хранении без охлаждения. Исследование *Sun et al.* [10] выявило, что в свежеприготовленном куруте численность МКБ составляет 9,18 ± 0,85 lg КОЕ/мл, дрожжей — 8,33 ± 0,62 lg КОЕ/мл.

Разнообразие региональных рецептур обусловливает значительную вариабельность состава курута. В Кыргызстане традиционно преобладает несолёный или слабосолёный вариант из овечьего или коровьего молока; в Казахстане и Узбекистане — более солёный продукт с длительным сроком созревания. Питательная ценность курута как компонента рациона кыргызских подростков изучена в работе Кочкоровой и Китаровой (2021) [11]: содержание белка составило 14,6 %, жира — 1,8 %, продукт рассматривается авторами как значимый источник кальция и фосфора в рационе горных районов.

Микробиом традиционного курута формируется в процессе его приготовления и частично сохраняется в высушенном продукте. Метагеномный анализ образцов курута, проведённый Mamatova & Aydin (2024) [12], установил доминирование представителей рода *Lactobacillus* на уровне типа Firmicutes. Идентифицированы виды *Lb. helveticus*, *Lb. delbrueckii*, *Lb. fermentum*, а также представители рода Enterococcus. Именно эта живая микрофлора, сохраняющаяся в высушенном продукте в виде покоящихся форм, может реактивироваться при восстановлении курута в жидкой среде, что имеет существенное значение для оценки микробиологических свойств жидкого курута.

Таблица 1.1 - Сравнительная характеристика традиционных ферментированных молочных продуктов Центральной Азии

Показатель	**Кымыз**	**Айран**	**Курут (сухой)**
Исходное сырьё	Кобылье молоко	Коровье / овечье молоко	Коровье / овечье / козье молоко

Показатель	Кымыз	Айран	Курут (сухой)
Тип ферментации	Молочнокислая + спиртовая	Молочнокислая (прямое сквашивание)	Молочнокислая + обезвоживание
Доминирующие МКБ	Lb. helveticus, Lc. lactis + дрожжи	Lb. bulgaricus, S. thermophilus	Lb. helveticus, Lb. delbrueckii
pH готового продукта	3,3 – 4,5	4,2 – 4,6	—
Содержание белка, %	2,0 – 3,5	2,8 – 3,5	30 – 45 (СВ)
Активность воды (aw)	0,95 – 0,99	0,97 – 0,99	0,60 – 0,72
Форма	Жидкая, слегка газированная	Густая, однородная	Твёрдые шарики / лепёшки
Срок хранения	2 – 5 суток	7 – 14 суток	Месяцы – годы

Источники: [2, 4, 7, 8, 9].

1.2 Белковый состав ферментированных молочных продуктов

1.2.1 Казеин и сывороточные белки: структура и функции

Молочные белки традиционно разделяют на два основных класса: казеины (~80 % общего белка коровьего молока) и сывороточные белки (~20 %). Казеины — αs1-, αs2-, β- и κ-казеин — образуют в молоке мицеллярные наноструктуры диаметром 100–300 нм, стабилизированные ионами кальция и фосфата. При снижении pH в ходе ферментации мицеллярная структура дестабилизируется, казеины коагулируют, формируя гелевую матрицу продукта — технологическую основу айрана, сузьмы и курута [3, 13].

Ключевой функциональной особенностью казеинов является медленная кинетика переваривания: казеин коагулирует в кислой среде желудка, образуя медленно перевариваемые хлопья, обеспечивающие пролонгированное и равномерное поступление аминокислот в кровоток на протяжении 5–7 часов. Это делает казеиносодержащие продукты предпочтительными для поддержания азотистого баланса в периоды длительного голодания [13].

Сывороточные белки — β-лактоглобулин (~65 %), α-лактальбумин (~25 %), иммуноглобулины, лактоферрин и гликомакропептид — сохраняют растворимость при казеиновой коагуляции. Они отличаются высокой биологической ценностью и быстрой кинетикой абсорбции. Содержание незаменимых аминокислот (НАК) в сывороточных белках составляет около 43 % от суммарного аминокислотного состава, а разветвлённоцепочечных аминокислот — лейцина, изолейцина и валина (BCAA) — около 26 %, что значительно превышает их долю в большинстве растительных белков [14].

Оба класса белков обладают высоким значением показателя PDCAAS (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score): для казеина он составляет 1,00, для сывороточного белка — 1,14, что подтверждает их первоклассное качество как пищевых источников аминокислот согласно критериям ФАО/ВОЗ. Казеиновое преобладание в куруте — следствие его технологии: большая часть сывороточных белков удаляется вместе с сывороткой при отжиме, тогда как казеины концентрируются в сырной массе, а затем дополнительно концентрируются при высушивании [13, 14].

1.2.2 Биологически активные пептиды молока: классификация и механизмы действия

Биологически активные пептиды (БАП) молока — фрагменты из 2–30 аминокислотных остатков, высвобождающиеся из нативных белков под действием протеаз. В латентном состоянии эти пептиды не проявляют биологической активности; она реализуется лишь после их отщепления от родительской молекулы тремя основными путями: (1) протеолизом пищеварительными ферментами желудочно-кишечного тракта; (2) технологическим гидролизом в ходе производства; (3) ферментативной активностью МКБ в процессе молочнокислой ферментации. Казеины — особенно β-казеин — являются наиболее богатыми источниками БАП, поскольку содержат множество функционально значимых пептидных последовательностей [3, 15].

Систематическая база данных *Nielsen et al. (2024)* [15] насчитывает 691 уникальную пептидную последовательность молочного происхождения с задокументированными биологическими функциями. Среди них: ACE-ингибирующие пептиды (n = 299), антиоксидантные (n = 196), антимикробные (n = 82), иммуномодулирующие (n = 62), DPP-IV-ингибирующие (n = 30) и остеоанаболические (n = 22). Наибольший прирост по сравнению с предыдущими обзорами получен для антиоксидантных пептидов (+70 новых) и ACE-ингибиторов (+44 новых), что свидетельствует об интенсивном развитии данного направления [15].

Особое место среди молочных БАП занимают казеинкинины — трипептиды изолейцин-пролин-пролин (IPP) и валин-пролин-пролин (VPP), зашифрованные в β-казеине. Они являются природными ингибиторами ангиотензинпревращающего фермента (ACE) — ключевого регулятора сосудистого тонуса. Клинические исследования подтвердили статистически значимое снижение систолического и диастолического артериального давления при регулярном потреблении ферментированных молочных продуктов, обогащённых IPP и VPP [16]. Поскольку курут производится из казеинового концентрата, он потенциально является богатым субстратом для образования подобных пептидов при пищеварении.

Среди антимикробных пептидов молока особого внимания заслуживает лактоферрицин — фрагмент лактоферрина, высвобождаемый пепсином желудка. Он демонстрирует широкий спектр активности против грамположительных и грамотрицательных бактерий, а также грибков, действуя преимущественно через дестабилизацию клеточных мембран [16]. Иммуномодулирующие пептиды, в частности β-казоморфины и казеинфосфопептиды (CPP), модулируют активность иммунокомпетентных клеток и улучшают биодоступность кальция и железа — последнее особенно актуально для традиционных молочных продуктов с высоким содержанием казеина, к которым относится курут [3].

1.2.3 Аминокислотный профиль ферментированных молочных продуктов

Аминокислотный состав является важнейшей характеристикой пищевой ценности белкового продукта. В ферментированных молочных продуктах он зависит не только от исходного сырья, но и от интенсивности протеолиза — степени расщепления белков заквасочной микрофлорой. Активный протеолиз МКБ в ходе ферментации приводит к накоплению свободных аминокислот, в том числе незаменимых, что улучшает их биодоступность по сравнению с нативными белками молока [6].

Среди незаменимых аминокислот в молочных продуктах традиционно доминируют лейцин, лизин, изолейцин и валин. Лейцин занимает особое место в регуляции синтеза мышечного белка: он является главным активатором сигнального пути mTORC1 — ключевого регулятора мышечной гипертрофии. Установленный пороговый уровень лейцина, необходимый для максимальной стимуляции синтеза мышечного белка, составляет приблизительно 0,05 г/кг массы тела за один приём пищи. Молочные продукты с высоким содержанием белка способны обеспечить этот уровень при умеренном объёме потребления [14].

По данным Kechichian et al. (2024) [17], обзора аминокислотного состава кисломолочных продуктов, концентрации глутаминовой кислоты в ферментированных образцах составляют 4,2–6,8 мг/100 мл, пролина — 3,9–5,3 мг/100 мл, лейцина — 2,8–5,1 мг/100 мл. Протеолитическая активность *L. helveticus* — одного из доминирующих микроорганизмов центральноазиатских молочных продуктов — особенно высока в отношении β-казеина, что обусловливает накопление BCAA и вкусовых аминокислот (глутаминовой и аспарагиновой) в ферментированных продуктах [4].

1.3 Жирнокислотный состав молочных продуктов и индексы липидного качества

1.3.1 Жирнокислотный профиль молочного жира

Молочный жир является одним из наиболее сложных природных жиров: он содержит более 400 жирных кислот, однако основная доля приходится на относительно небольшое число доминирующих компонентов. Насыщенные жирные кислоты (НЖК) составляют 54–70 % от общего жирнокислотного состава молока жвачных. Среди них количественно преобладают пальмитиновая (C16:0, 25–35 %), стеариновая (C18:0, 8–15 %), миристиновая (C14:0, 8–14 %) и лауриновая (C12:0, 2–5 %) кислоты. Мононенасыщенные жирные кислоты (МНЖК) представлены преимущественно олеиновой кислотой (C18:1 ω-9, 20–30 %), полиненасыщенные (ПНЖК) — линолевой (C18:2 ω-6, 1,5–3,5 %) и α-линоленовой (C18:3 ω-3, 0,5–1,5 %) кислотами [18, 19].

Особое место в жирнокислотном составе молока занимает конъюгированная линолевая кислота (КЛК, CLA), представленная преимущественно изомером cis-9, trans-11 (руменовая кислота). КЛК образуется в рубце жвачных животных при биогидрировании полиненасыщенных жирных кислот кормов под действием микроорганизма *Butyrivibrio fibrisolvens*. Доля КЛК в молочном жире коровьего молока составляет 0,3–1,5 % от суммарных жирных кислот и зависит от рациона животных: пастбищное содержание и скармливание трав существенно увеличивают её содержание по сравнению с концентратным кормлением [19].

Ферментация молока и технологические процессы производства кисломолочных продуктов могут влиять на жирнокислотный состав конечного продукта. Dönmez et al. (2023) [20] установили, что применение пробиотических культур, продуцирующих экзополисахариды, в ферментированных напитках снижает долю НЖК на 1,5–2,0 % и увеличивает содержание МНЖК и ПНЖК по сравнению с контрольными образцами. Авторы связывают этот эффект с модификацией метаболических путей ферментации под влиянием

пробиотических штаммов. Rashidimehr et al. (2025) [18] при анализе широкого ассортимента молочных продуктов зафиксировали значительный диапазон значений ИА (0,36–2,47) и ИТ (0,43–3,62) в зависимости от технологии производства и жирнокислотного профиля сырья, подтвердив, что ферментированные продукты с более высоким содержанием КЛК демонстрируют более благоприятные индексы липидного качества [18, 19].

1.3.2 Индексы липидного качества как инструмент оценки пищевой ценности

Для комплексной оценки потенциального влияния жирнокислотного профиля пищевых продуктов на состояние сердечно-сосудистой системы человека разработаны стандартизированные расчётные индексы. Наибольшее распространение в практике пищевой науки получили индексы атерогенности (ИА) и тромбогенности (ИТ), предложенные *Ulbricht & Southgate (1991)* [21], а также гипо/гиперхолестеринемический коэффициент (h/H) и доля желательных жирных кислот (ЖЖК).

Таблица 1.2 - Индексы липидного качества: формулы расчёта и биологический смысл

Индекс	**Формула**	**Биологический смысл**	**Трактовка значений**
Индекс атерогенности (ИА)	(C12:0 + 4×C14:0 + C16:0) / (ΣМНЖК + ΣПНЖК)	Отражает соотношение про- и антиатерогенных ЖК	Чем ниже — тем меньше атерогенный потенциал
Индекс тромбогенности (ИТ)	(C14:0 + C16:0 + C18:0) / (0,5·МНЖК + 0,5·n-6 + 3·n-3 + n-3/n-6)	Оценивает склонность продукта к активации тромбообразования	Чем ниже — тем лучше для гемостаза
h/H коэффициент	(C18:1 + C18:2 + C18:3) / (C12:0 + C14:0 + C16:0)	Соотношение гипо- и гиперхолестеринемических ЖК	Чем выше — тем благоприятнее для липидного профиля

Индекс	Формула	Биологический смысл	Трактовка значений
Желательные ЖК (ЖЖК)	ΣНЖК + C18:0 (% от суммы)	Доля ЖК, не повышающих ЛПНП-холестерин	Чем выше — тем лучше

Источники: [21, 22, 23].

Долгосрочная клиническая значимость индексов ИА и ИТ подтверждена 50-летним проспективным исследованием *Kromhout et al. (2024)* [24] в рамках проекта Seven Countries Study: ИА и ИТ характеризуются корреляцией 0,79–0,97 с показателями смертности от ишемической болезни сердца, что обосновывает их применение в качестве предсказательных маркеров кардиометаболического риска, ассоциированного с жирнокислотным составом рациона. Индексы широко применяются при оценке молочных продуктов [18, 20, 22], что и обосновывает их использование в настоящей диссертации.

Молочный жир при высоком содержании НЖК традиционно характеризуется высокими значениями ИА и ИТ. Вместе с тем ряд исследований демонстрирует, что отдельные НЖК — в частности, стеариновая кислота C18:0 — не оказывают гиперхолестеринемического эффекта, а олеиновая кислота (C18:1 ω-9) и КЛК обладают доказанным кардиопротективным действием. Это обусловливает необходимость применения многокомпонентных индексов, а не анализа отдельных жирных кислот [19, 21].

1.4 Молочная сыворотка: состав и функциональный потенциал

1.4.1 Классификация и общая характеристика молочной сыворотки

Молочная сыворотка — жидкая фракция, отделяемая от белково-жирового сгустка при производстве сыра и творога. Мировое производство молочной сыворотки превышает 190 млн тонн в год; исторически она рассматривалась как производственный отход, однако в настоящее время переживает радикальную переоценку своей роли. Мировой рынок сывороточного белка оценивается в 5,33

млрд долл. США (2021 г.) с прогнозируемым среднегодовым ростом 10,5 % до 2030 года [25]. *Smithers (2015)* [26] охарактеризовал эту трансформацию как переход «из сточной канавы в золото».

По механизму коагуляции различают два основных типа сыворотки. Сладкая сыворотка (pH 5,9–6,6) образуется при сычужной коагуляции казеинов ферментом химозином и характеризуется относительно высоким содержанием белка и нейтральным pH. Кислая сыворотка (pH 4,3–4,6) получается при кислотной или термокислотной коагуляции, отличается более высоким содержанием кальция (до 120 мг/100 г против 40–60 мг/100 г в сладкой) вследствие деминерализации казеиновых мицелл при снижении pH, а также более высокой буферной ёмкостью. Дополнительная ультрафильтрация сыворотки с отделением большей части белка и лактозы даёт сывороточный пермеат — концентрированный источник минеральных веществ и остаточной лактозы [25, 27].

Таблица 1.3 - Типичный состав сладкой и кислой молочной сыворотки и сывороточного пермеата

Компонент	Сладкая сыворотка	Кислая сыворотка	Сывороточный пермеат
Сухое вещество, %	6,2 – 7,0	5,5 – 6,5	4,5 – 5,5
Белок общий, %	0,6 – 0,8	0,5 – 0,7	0,1 – 0,3
Лактоза, %	4,5 – 5,0	3,8 – 4,5	4,0 – 4,8
Жир, %	0,2 – 0,5	0,1 – 0,3	< 0,1
Кальций, мг/100 г	40 – 60	80 – 120	20 – 40
Калий, мг/100 г	140 – 160	130 – 150	120 – 145
pH	5,9 – 6,6	4,3 – 4,6	6,0 – 6,5

Источники: [25, 26, 27].

1.4.2 Белки молочной сыворотки: состав и функциональные свойства

Белковая фракция молочной сыворотки представлена β-лактоглобулином (~65 %), α-лактальбумином (~25 %), иммуноглобулинами (~10 %), лактоферрином и гликомакропептидом. Эти белки обладают рядом функциональных преимуществ перед казеинами. Во-первых, они быстро перевариваются и всасываются, обеспечивая быстрое повышение концентрации аминокислот в плазме крови — важно для анаболического окна после физической нагрузки. Во-вторых, их доля НАК, и в особенности ВСАА, значительно выше: содержание лейцина в сывороточном белке достигает 11–12 % от аминокислотного состава [14]. Обзор *Yiğit et al. (2023)* [28] документирует антиоксидантные, антигипертензивные, иммуномодулирующие и антиожирение-связанные эффекты сывороточных белков и их гидролизатов.

Лактоферрин — гликопротеин с молекулярной массой 80 кДа — обладает широким спектром биологической активности: антимикробной, противовирусной, противовоспалительной и иммуномодулирующей. Он связывает ионы железа в среде кишечника, лишая потенциальных патогенов доступного железа как ростового субстрата. β-Лактоглобулин, несмотря на то что его точная физиологическая функция у жвачных остаётся дискуссионной, является богатым источником БАП при желудочно-кишечном переваривании — в частности, β-лактофеногена и β-лактотенсина, обладающих АСЕ-ингибирующей активностью [16, 28].

1.4.3 Применение молочной сыворотки в производстве молочных напитков

Возможности использования сыворотки и её фракций в составе молочных напитков интенсивно исследуются в последнее десятилетие. Систематические обзоры Buchanan et al. (2023) [25] и Barukčić et al. (2019) [27] обобщают широкий спектр технологических применений: производство концентратов и изолятов сывороточного белка (WPC, WPI), напитков на основе сыворотки, функциональных йогуртов и пробиотических продуктов с обогащением.

Включение сывороточных компонентов в состав молочных напитков документально улучшает их пищевую ценность, буферную ёмкость и стабильность при хранении [25, 27]. Перспективность данного направления подтверждается и результатами настоящего исследования [29].

Особого внимания заслуживает аспект устойчивости: молочная сыворотка, являясь вторичным сырьем массового молочного производства, обладает высокой биохимической потребностью в кислороде (БПК 30 000–50 000 мг/л) и при неконтролируемом сбросе представляет значительную экологическую нагрузку. Её технологическая утилизация в составе пищевых продуктов — один из приоритетов устойчивого развития молочной отрасли. Многочисленные исследования рассматривают сывороточные напитки как перспективный сектор для объединения функциональных и экологических преимуществ [25, 27].

1.5 Курут в современной пищевой науке: состояние исследований

Несмотря на многовековую историю и широкое региональное распространение, курут как объект пищевой науки остаётся слабоизученным. Подавляющее большинство опубликованных работ посвящено традиционному сухому куруту, тогда как жидкий курут — продукт восстановления сухого концентрата в жидкой среде — в международной рецензируемой литературе не охарактеризован.

Обзор Konuspayeva et al. (2023) [8] систематизировал данные о составе и технологии традиционных молочных продуктов пяти стран Центральной Азии. Для курута установлены широкие диапазоны значений: pH 3,47–4,22, активность воды 0,595–0,719, содержание белка 9,7–45,2 % (СВ) — в зависимости от страны происхождения, вида молока и региональных технологических традиций. При этом данные о жирнокислотном составе, аминокислотном профиле и индексах липидного качества в опубликованных источниках практически отсутствуют [8].

Метагеномное исследование Mamatova & Aydin (2024) [12] впервые применило технологии секвенирования следующего поколения (NGS) для

характеристики микробиома образцов курута из Кыргызстана. Идентифицировано 47 видов МКБ, принадлежащих к 12 родам; доминируют *Lactobacillus helveticus*, *Lb. fermentum*, *Lb. delbrueckii subsp. lactis* и *Enterococcus durans*. Авторы подчёркивают, что видовой состав микробиома закономерно варьирует в зависимости от региона производства, вида молока и сезона, что обусловливает значительную вариабельность свойств продукта даже в пределах одной страны [12].

Пробиотический потенциал курута исследован Tuganbay et al. (2022) [30] на примере экспериментального образца, приготовленного с добавлением *L. rhamnosus GG* и *Cryptococcus laurentii*. Авторы зафиксировали сохранение жизнеспособности пробиотических культур при высушивании и показали, что специально разработанный состав курута обеспечивал концентрацию пробиотиков 8,2 log КОЕ/г в конце срока хранения, что соответствует рекомендуемому пороговому уровню. Содержание белка в исследованных образцах составило 51–60 % на сухое вещество [30].

Пищевая значимость традиционного курута в рационе населения Центральной Азии подтверждена нутрициологическими исследованиями. Работа Кочкоровой и Китаровой (2021) [11] охарактеризовала курут как один из приоритетных источников белка и кальция в рационе детей и подростков Кыргызстана: в среднем 14,6 % белка, 1,8 % жира, существенный вклад в суточное потребление кальция и фосфора. Авторы подчёркивают, что данный традиционный продукт в большей мере соответствует нутрициологическим потребностям растущего организма, чем многие промышленно произведённые молочные снеки.

Таким образом, анализ научной литературы выявляет ряд существенных пробелов, определяющих актуальность и новизну настоящего диссертационного исследования. Во-первых, жидкий курут как самостоятельный продукт питания не охарактеризован в международных рецензируемых изданиях ни по физико-химическим, ни по микробиологическим, ни по питательным показателям. Во-вторых, влияние предшествующего обезвоживания и последующего

восстановления в различных жидких средах на нутрициологические характеристики продукта не исследовано. В-третьих, сравнительная оценка различных типов молочной сыворотки в качестве жидкой основы для восстановления традиционных сушёных молочных концентратов в мировой литературе отсутствует. В рамках предшествующих исследований авторским коллективом была охарактеризована физико-химическая структура традиционного Кыргызского Чобого [31], что заложило методологическую основу для систематического изучения жидкого курута и смежных традиционных молочных продуктов Кыргызстана. Перечисленные пробелы формируют предмет настоящей диссертации и обосновывают её научную и практическую значимость.

Для восполнения установленных пробелов в следующей главе описаны экспериментальный дизайн, объекты исследования и весь комплекс аналитических методов, применённых для систематической сравнительной оценки пяти рецептур жидкого курута на водной и сывороточной основе.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящей главе описаны объекты исследования, схема эксперимента, условия приготовления образцов, аналитические методы определения физико-химических, нутриентных, микробиологических и сенсорных показателей, а также методы статистической обработки данных. Все анализы выполнены с применением международных стандартов ISO и методик AOAC, что обеспечивает воспроизводимость, достоверность и сопоставимость полученных результатов с данными других исследований в данной области.

2.1 Дизайн исследования

Работа выполнена как сравнительное экспериментальное исследование, направленное на систематическую оценку влияния пяти жидких сред — воды и побочных продуктов молочного производства — на физико-химические, микробиологические, нутриентные и сенсорные характеристики жидкого курута. Принципиальной особенностью дизайна является единообразие технологической обработки: стандартизированные параметры гомогенизации, пастеризации и хранения позволяют однозначно связать выявленные межрецептурные различия со свойствами жидкой основы, а не с вариациями процесса.

Исследование выполнено в сотрудничестве с компанией Alaiku Organics (г. Ош, Кыргызстан). Все аналитические измерения для каждой рецептуры проводили в трёх параллелях (n = 3).

Микробиологические показатели оценивали в трёх контрольных точках — на 1-е, 90-е и 180-е сутки хранения при температуре охлаждения. Выбор шестимесячного периода хранения обусловлен коммерческими требованиями: для выхода напитка на региональные рынки ЕАЭС и экспортные рынки срок годности должен составлять не менее 180 суток [19]. Нутриентный состав, цветовой профиль CIELAB, жирнокислотный и аминокислотный состав, а также

сенсорный профиль QDA определяли однократно — на 1-е сутки. Значение pH, изменение цвета (ΔE) и общая органолептическая приемлемость дополнительно контролировались на 90-е и 180-е сутки для оценки стабильности продукта в ходе хранения.

2.1.1 Логика построения эксперимента

Сравнительный дизайн с пятью рецептурами — водопроводная вода (K-W), кислая сыворотка (K-AW), её пермеат (K-AWP), сладкая сыворотка (K-SW) и её пермеат (K-SWP) — обусловлен необходимостью разграничить вклад отдельных фракций сыворотки (белков, лактозы, минеральных веществ) в формирование свойств конечного продукта. Аналитическая программа выстроена по принципу «от состава к функции»:

– физико-химический блок (раздел 2.5) — нутриентный состав, цвет (CIELAB), pH и кислотность — формирует базовую характеристику состава;
– жирнокислотный профиль с расчётом индексов IA, ИТ, h/H и DFA (раздел 2.6) — оценивает потенциальное кардиоваскулярное воздействие липидной фракции;
– аминокислотный профиль с нутритивными индексами AAS, EAAI, BV (раздел 2.7) — характеризует качество белков по отношению к эталонам ФАО/ВОЗ;
– сенсорный профиль QDA по девяти дескрипторам (раздел 2.8) — определяет потребительскую приемлемость рецептур обученной комиссией;
– микробиологический мониторинг (раздел 2.9) — оценивает безопасность и микробную стабильность в трёх контрольных точках (1, 90, 180 сутки) в соответствии с ТР ТС 033/2013;
– статистическая верификация методом ANOVA с критерием Тьюки (раздел 2.10) — обеспечивает надёжный контроль ошибки I рода при одновременном сравнении пяти рецептур.

2.1.2 Исследовательские гипотезы

В основу исследования положены следующие рабочие гипотезы:

– H1: напитки на основе сыворотки будут характеризоваться более высоким содержанием белка и более полным аминокислотным профилем по сравнению с вариантом на водной основе за счёт нативных сывороточных белков [2, 7];
– H2: введение сывороточных белков позитивно повлияет на органолептические характеристики напитков курут: варианты на основе сыворотки получат более высокие оценки по параметрам текстуры, вкуса и общей приемлемости по сравнению с контрольным образцом на водной основе;
– H3: пастеризация при 80 °C в течение 20 мин обеспечит микробиологическую безопасность не менее 180 суток при холодильном хранении [9];
– H4: утилизация сыворотки как компонента рецептуры снизит нагрузку на окружающую среду за счёт сокращения объёмов сточных вод молочных предприятий [1].

2.1.3 Обоснование методологии

Выбор сравнительного экспериментального подхода обусловлен рядом методологических соображений. Во-первых, контролируемые лабораторные условия позволяют исключить производственную вариабельность и установить причинно-следственные связи между составом жидкой основы и свойствами конечного продукта. Во-вторых, применение стандартов ISO обеспечивает сопоставимость данных с литературными источниками и соответствие нормативной базе ЕАЭС. В-третьих, комплексная оценка — от физико-химических до сенсорных показателей — формирует целостное представление о потребительских свойствах продукта, необходимое для полного технологического обоснования рецептуры [4]. Статистическая верификация посредством ANOVA и апостериорного критерия Тьюки (HSD) обеспечивает надёжный контроль ошибки I рода при множественных сравнениях пяти рецептур.

2.1.4 Ограничения исследования

Настоящее исследование имеет ряд методологических ограничений, принимаемых во внимание при интерпретации результатов. Стабильные лабораторные условия не воспроизводят в полной мере температурные колебания и механические нагрузки при коммерческой транспортировке. Сенсорная комиссия, сформированная из специалистов в области молочных технологий, не является статистически репрезентативной выборкой целевой потребительской аудитории. Анализ жирнокислотного и аминокислотного состава, ограниченный 1-ми сутками, не позволяет проследить кинетику возможной деградации нутриентов при длительном хранении. Вопросы промышленного масштабирования требуют отдельного технико-экономического анализа. Наконец, естественная вариабельность состава молочной сыворотки вследствие сезонных факторов и технологических особенностей поставщика может влиять на воспроизводимость при повторных экспериментах.

2.2 Объекты исследования

2.2.1 Курут

Курут для данного исследования был предоставлен компанией Alaiku Organics (г. Ош, Кыргызстан) в виде шариков традиционной выработки. Из однородной производственной партии с датой упаковки 18 ноября 2023 г. случайным образом отбирали образцы, что исключало межпартийную вариабельность состава и обеспечивало единообразие сырья на протяжении всего эксперимента [5]. Использование единой партии позволило свести к минимуму влияние флуктуаций состава молока-сырья на результаты сравнительного анализа.

Химический состав курута (по данным производителя, подтверждённым собственными анализами): влага — 16,5 %; жир — 3,5 %; белок — 58,5 %;

углеводы — 10,5 %; минеральные вещества — 11,0 %. Высокое содержание белка типично для концентрированных кисломолочных продуктов типа курут и обусловлено многократным ферментированием и последовательным обезвоживанием молока [5]. До начала экспериментов курут хранили в герметичных полиэтиленовых пакетах при температуре +6…+8 °C для предотвращения поглощения атмосферной влаги и нежелательного микробного роста.

2.2.2 Жидкие среды

Для приготовления напитков использовали пять жидких сред, охватывающих весь диапазон от нейтральной водной до богатых белком и лактозой сывороточных основ. Сравнение этих сред позволяет разграничить вклад отдельных составляющих сыворотки — белков, лактозы, минеральных веществ — в формирование физико-химических и сенсорных свойств конечного продукта [1, 6].

– Водопроводная вода (K-W) — контрольный образец, воспроизводящий традиционную технологию приготовления жидкого курута;
– Кислая сыворотка (K-AW) — побочный продукт производства свежего творога методом кислотной коагуляции; характеризуется pH < 5,1, содержит остаточную лактозу, денатурированные сывороточные белки и минеральные вещества;
– Пермеат кислой сыворотки (K-AWP) — ультрафильтрат кислой сыворотки; сохраняет лактозу и низкомолекулярные минеральные компоненты при значительно сниженном содержании белка; позволяет оценить вклад исключительно минерально-лактозной фракции;
– Сладкая сыворотка (K-SW) — побочный продукт сычужного сыроделия; pH > 6,0, отличается более высоким содержанием нативного β-лактоглобулина по сравнению с кислой сывороткой; является наиболее распространённым видом сыворотки в пищевой промышленности [6];
– Пермеат сладкой сыворотки (K-SWP) — ультрафильтрат сладкой сыворотки; богат лактозой и минеральными веществами, содержание белка минимально.

Образцы кислой сыворотки и её пермеата поставлены предприятием AB Kauno Pienas (Каунас, Литва); сладкой сыворотки и её пермеата — AB Vilvi Group (Вилкишкяй, Литва). Нутриентный состав жидких сред приведён в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Нутриентный состав жидких сред, использованных в исследовании

Жидкая среда	Сухое вещество, %	Белок, %	Жир, %	Лактоза и прочие углеводы, %	pH
Водопроводная вода (K-W)	–	–	–	–	7,0–7,5
Кислая сыворотка (K-AW)	6,39	0,90	0,35	4,52	< 5,1
Пермеат кислой сыворотки (K-AWP)	5,71	0,42	0,09	4,49	< 5,1
Сладкая сыворотка (K-SW)	6,95	0,95	0,23	5,70	> 6,0
Пермеат сладкой сыворотки (K-SWP)	4,43	0,50	0,03	3,80	> 6,0

Сыворотки и пермеаты транспортировали в рефрижераторных условиях и хранили при –15 °C сразу после получения для предотвращения ферментативных и микробных изменений состава. Перед применением образцы размораживали медленно при температуре 4 °C в течение 12 ч и использовали не позднее 24 ч после размораживания.

2.3 Реактивы и расходные материалы

В таблице 2.2 приведены основные реактивы, стандарты и расходные материалы, использованные в исследовании. Все реактивы применяли

аналитической степени чистоты (ч.д.а.) или более высокой квалификации, если не указано иное. Растворители для хроматографического анализа использовали квалификации ВЭЖХ (HPLC grade).

Таблица 2.2 — Реактивы и стандарты, использованные в исследовании

Реактив / стандарт	**Поставщик**	**Квалификация**	**Применение в анализе**
н-Гексан	Chempur, Польша	≥96 %	Экстракция жиров
Диэтиловый эфир	Merck, Германия	≥99,5 %	Метод Сокслета
Метанол безводный	Sigma-Aldrich, Германия	≥99,9 %, ВЭЖХ	Метилирование МЭЖК; подвижная фаза УФЖХ
KOH (0,5 М в метаноле)	Sigma-Aldrich	аналит.	Метилирование жирных кислот
HCl концентрированная (37 %)	Merck	аналит.	Кислотный гидролиз белков
Гидроксид бария $Ba(OH)_2$	Sigma-Aldrich	аналит.	Щелочной гидролиз (триптофан)
NaOH (Titrisol, 0,1 моль/л)	Merck	±0,2 %	Определение титруемой кислотности
Фенолфталеин, 1 % в этаноле	Реахим, Россия	индикатор	Точка эквивалентности при титровании
NaCl	Sigma-Aldrich	≥99,5 %	Физиологический раствор 0,85 %
OPA (о-фталальдегид)	Sigma-Aldrich	аналит.	Дериватизация первичных аминокислот

Реактив / стандарт	Поставщик	Квалификация	Применение в анализе
FMOC-Cl	Sigma-Aldrich	аналит.	Дериватизация Pro (вторичный амин)
KH_2PO_4 / K_2HPO_4	Sigma-Aldrich	аналит.	Фосфатный буфер pH 6,5 (УФЖХ)
Ацетонитрил, ВЭЖХ	Sigma-Aldrich	ВЭЖХ grade	Подвижная фаза УФЖХ
Стандарт 37 МЭЖК (кат. 47885-U)	Supelco, США	серт. стандарт	Калибровка ГХ-ПИД
Стандарт 20 аминокислот (A9781)	Sigma-Aldrich	серт. стандарт	Калибровка УФЖХ
Агар PCA	Merck	микробиол.	КМАФАнМ (ISO 4833-1)
Агар M17 + лактоза (Oxoid)	Merck	микробиол.	МКБ (ISO 15214)
Агар YGC (Sigma-Aldrich)	Merck	микробиол.	Дрожжи/плесени (ISO 21527-1)
Агары VRBA, VRBGA, XLD, Baird-Parker, Fraser, Oxford (Sigma-Aldrich)	Merck	микробиол.	Патогены и индикаторные группы

2.4 Технология производства напитков курут

Производство напитков включало четыре последовательных технологических этапа: измельчение и просеивание курута, смешивание с жидкой средой и гомогенизацию, пастеризацию, фасовку и хранение. Строгая стандартизация каждого этапа обеспечивала идентичность условий обработки для всех пяти рецептур, что является необходимым условием корректного сравнения. Технологическая схема производства представлена на рис. 2.1.

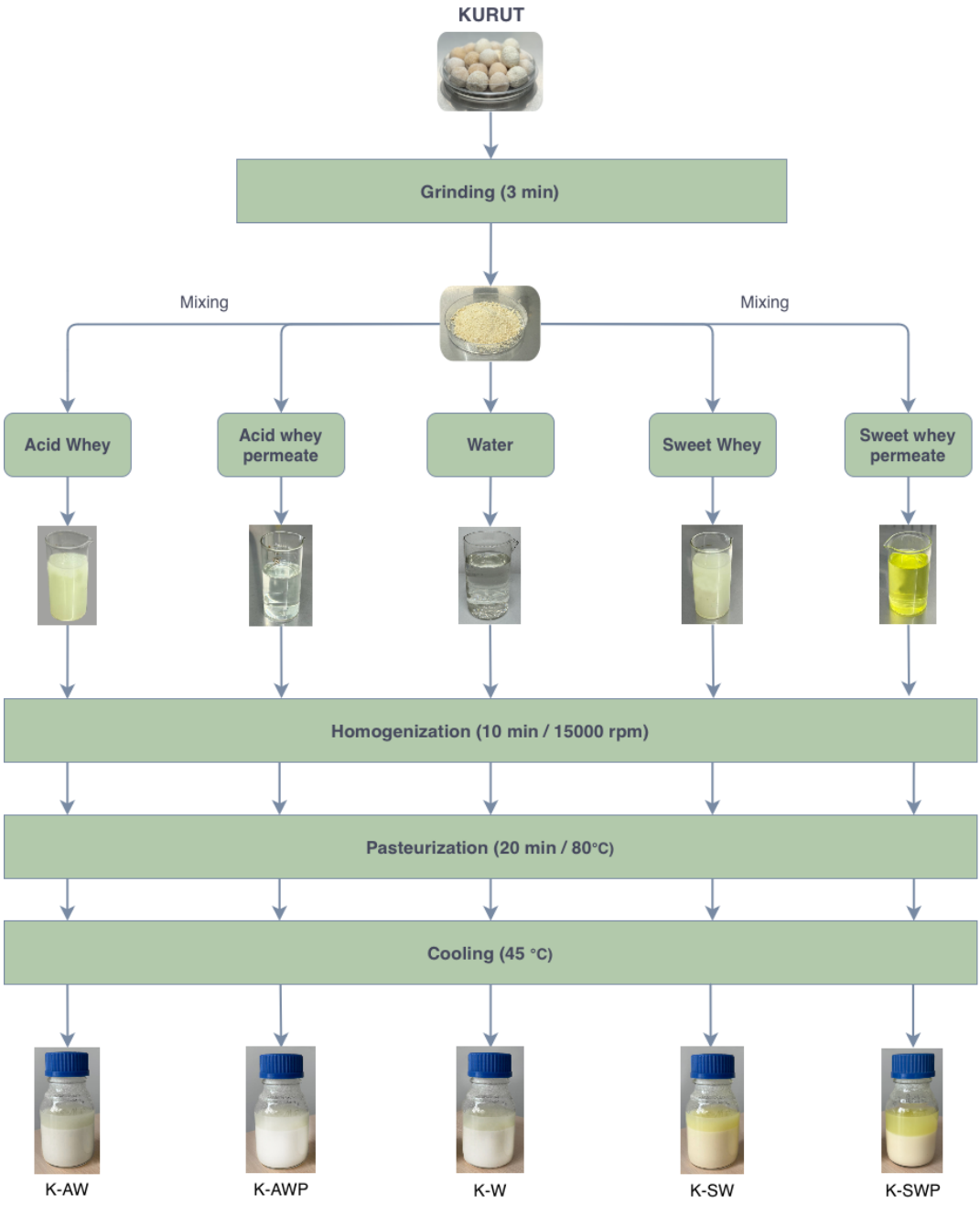

Рисунок 2.1 – Технологическая схема производства напитка Курут

2.4.1 Измельчение и просеивание курута

Шарики курута размалывали до однородного порошка с помощью лабораторного измельчителя Bosch MKM6003 (Bosch GmbH, Германия) в течение 3 мин при максимальной скорости вращения ножей. Полученный порошок просеивали через лабораторное сито из нержавеющей стали с размером ячейки 500 мкм по ISO 3310-1:2016 для удаления крупных нерасщеплённых

фракций и обеспечения однородного гранулометрического состава. Стандартизированный размер частиц (≤ 500 мкм) гарантирует равномерную диспергируемость порошка во всех жидких средах, воспроизводимую вязкость суспензии и минимальную межобразцовую вариабельность по текстуре и растворимости [4].

Просеянный порошок немедленно помещали в герметичные стеклянные флаконы с крышками и хранили при температуре +6…+8 °C до начала приготовления образцов во избежание поглощения атмосферной влаги и окислительных изменений.

2.4.2 Смешивание и гомогенизация

Порошок курута смешивали с жидкой средой в массовом соотношении 1:10 (масс./масс.) при постоянном перемешивании стеклянной палочкой до равномерного распределения. Полученную суспензию гомогенизировали при скорости ротора 15 000 об/мин в течение 10 мин с помощью лабораторного роторно-статорного гомогенизатора. Роторно-статорный принцип работы создаёт зоны интенсивного сдвигового усилия (high-shear zone), обеспечивая эффективное диспергирование белковых агрегатов курута, равномерное распределение частиц в жидкой фазе, снижение размера частиц и формирование стабильной суспензии [4, 8]. Гомогенизация также препятствует расслоению фаз в процессе последующего хранения.

2.4.3 Термическая обработка (пастеризация)

Для обеспечения микробиологической безопасности и продления срока хранения все образцы пастеризовали на водяной бане при температуре 80 °C в течение 20 мин. Данный режим основан на принципах высокотемпературной пастеризации и обеспечивает редукцию ≥ 5 log10 КОЕ/мл наиболее термоустойчивых патогенов молочного происхождения, включая Mycobacterium

bovis (D-значение при 71,7 °C ≈ 0,1 мин) и Listeria monocytogenes, при одновременном сохранении нутриентных и сенсорных характеристик продукта [9]. Температуру продукта в ёмкостях контролировали калиброванным погружным термометром с точностью ± 0,5 °C. По завершении пастеризации образцы немедленно охлаждали на ледяной бане до температуры 25 °C — стандартной температуры фасовки — и немедленно разливали по стерильным ёмкостям [8].

2.4.4 Фасовка и план хранения

После охлаждения образцы разливали в стерильные полипропиленовые пробирки Falcon объёмом 50 мл (по 15 мл для микробиологического анализа) и в плотно закрытые янтарные стеклянные флаконы объёмом 100 мл (для физико-химических и сенсорных испытаний). Янтарное стекло выбрано для минимизации фотоокислительной деградации липидов и витаминов. Микробиологические пробы хранили при 4 °C, остальные — при 5 °C. Температурный режим непрерывно контролировали логгерами температуры Testo 174T (Testo SE & Co. KGaA, Лензкирх, Германия) с интервалом регистрации 1 ч для документирования постоянства условий хранения. Отбор проб производили на 1-е, 90-е и 180-е сутки хранения согласно экспериментальному плану.

2.5 Физико-химические методы анализа

Нутриентный состав, параметры цвета CIELAB, жирнокислотный и аминокислотный состав, а также сенсорный профиль QDA определяли в трёх аналитических повторностях однократно — на 1-е сутки хранения. Значение pH, суммарное цветовое отличие ΔE и общая органолептическая приемлемость дополнительно определяли на 90-е и 180-е сутки для оценки динамики стабильности продукта при хранении. Сводная таблица применённых методов приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 — Сводная характеристика применённых методов анализа

Параметр	Метод / Стандарт	Прибор / среда культивирования
Сухое вещество / влага	ISO 5534:2004	Сушильный шкаф 102 °C
Зола	AOAC 945.46:2005	Муфельная печь 550 °C
Жир	ISO 1735:2004	Аппарат Сокслета
Белок (Кьельдаль)	ISO 8968-3:2004	Установка Кьельдаля, K=6,38
Лактоза	ISO 22662:2007	ВЭЖХ, колонка Polyamine II
pH	ISO 11869:2012	pH-метр Sartorius
Титруемая кислотность	ISO 11869:2012	Бюретка; 0,1 моль/л NaOH
Цвет CIE L*a*b*	ISO 7724-1:1984	Колориметр PCE-CSM5
Жирнокислотный состав	ISO 12966-2:2017; ISO 12966-4:2015	ГХ-ПИД Shimadzu GC-2010
Аминокислотный состав	ISO 13903:2005; ISO 17180:2013	УФЖХ Shimadzu
Органолептика (QDA)	ISO 8586:2012; ISO 13299:2016	Сенсорные кабины (ISO 8589)
КМАФАнМ	ISO 4833-1:2013	Агар PCA, 30 °C, 48 ч
МКБ	ISO 15214:1998	Агар M17 + лактоза (Oxoid), 37 °C, 72 ч, анаэробно
Дрожжи / плесени	ISO 21527-1:2008	Агар SDA, 25 °C, 5 суток
Колиформные / Enterob.	ISO 4832:2006; ISO 21528-2:2017	VRBA / VRBGA (Sigma-Aldrich)
Патогены (Salmonella, S. aureus, L. monocytogenes)	ISO 6579-1; 6888-1; ISO 11290-1	XLD / Baird-Parker / Oxford

2.5.1 Анализ нутриентного состава

Массовую долю влаги определяли гравиметрическим методом по ISO 5534:2004: навеску образца (~5 г) высушивали при 102 ± 2 °C до постоянной массы; содержание сухого вещества рассчитывали как разность масс до и после сушки.

Массовую долю золы определяли методом сухого озоления по AOAC 945.46 (2005): навеску образца сжигали в фарфоровом тигле в муфельной печи при 550 °C в течение 5 ч до получения серо-белого негорючего остатка постоянной массы.

Массовую долю жира определяли по ISO 1735:2004 методом Сокслета: образец обезвоживали смешиванием с обезвоженным сульфатом натрия, помещали в экстрактор, экстрагировали диэтиловым эфиром в течение 6 ч; растворитель отгоняли, а остаток (жировой экстракт) взвешивали после высушивания при 102 °C.

Массовую долю общего белка определяли методом Кьельдаля по ISO 8968-3:2004. Навеску (~1 г) минерализовали концентрированной серной кислотой в присутствии катализатора ($CuSO_4/K_2SO_4$ = 1:9), аммиак отгоняли в борную кислоту и титровали 0,1 М HCl до изменения окраски индикатора. Суммарный азот пересчитывали на белок с применением коэффициента 6,38, установленного для молочных белков [11].

Содержание лактозы определяли по ISO 22662:2007 методом ВЭЖХ с рефрактометрическим детектором: колонка YMC-Pack Polyamine II (250 × 4,6 мм), подвижная фаза ацетонитрил/вода (75:25, об/об), скорость потока 1,5 мл/мин, температура колонки 30 °C. Калибровку проводили по стандартным растворам лактозы (Sigma-Aldrich, ≥99 %).

2.5.2 Анализ цвета

Цветовые характеристики образцов измеряли с помощью портативного колориметра PCE-CSM5 (PCE Instruments, Германия) в цветовом пространстве

CIE L*a*b* в соответствии с ISO 7724-1:1984. Перед каждой серией измерений прибор калибровали по стандартным белой и чёрной плашкам, входящим в комплект. Каждый образец измеряли трижды, поворачивая кювету. Параметр L* характеризует светлоту (0 — абсолютно чёрный, 100 — абсолютно белый), a* — хроматическую координату красный (+)/зелёный (–), b* — координату жёлтый (+)/синий (–). Дополнительно рассчитывали насыщенность $C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$ и угол цветового тона $h° = \text{arctg}(b^*/a^*)$.

Для количественной оценки изменения цвета при хранении (1-е, 90-е и 180-е сутки) рассчитывали суммарное цветовое отличие ΔE*ab:

$$\Delta E^*ab = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]},$$

где $\Delta L^* = L - L_0$, $\Delta a^* = a - a_0$, $\Delta b^* = b - b_0$; индекс «0» соответствует исходным значениям. Пороговые значения интерпретации: ΔE*ab < 1 — изменение незаметно; 1–2 — замечается опытным наблюдателем; 2–3,5 — заметно неопытному наблюдателю; > 3,5 — явное изменение цвета [10].

2.5.3 Определение pH и титруемой кислотности

Значение pH измеряли потенциометрически с помощью pH-метра Sartorius Professional (Sartorius AG, Германия; разрешение 0,01; точность ±0,01 ед. pH) после двухточечной калибровки по буферным растворам pH 4,00 и 7,00 (Merck CertiPUR®) согласно ISO 11869:2012. Измерения проводили на 1-е, 90-е и 180-е сутки хранения при температуре образца 20 ± 1 °C.

Титруемую кислотность определяли по ISO 11869:2012: навеску 9 г образца растворяли в 18 мл дистиллированной воды, добавляли три капли 1 %-го фенолфталеина и титровали раствором NaOH (0,1 моль/л, Titrisol, Merck) до появления устойчивого розового окрашивания, сохраняющегося не менее 30 с (конечная точка pH 8,3). Результат выражали в градусах Тернера (°T) и в массовой доле молочной кислоты (% = °T × 0,009). Оба параметра являются

интегральными индикаторами химической стабильности и косвенными маркёрами микробиологической активности при хранении [11].

2.6 Определение жирнокислотного состава

Жирнокислотный профиль напитков является ключевым показателем их пищевой ценности и потенциального воздействия на риски сердечно-сосудистых заболеваний [12]. Анализ проводили однократно (n = 3, три аналитических повторности на образец).

2.6.1 Экстракция жиров и получение метиловых эфиров жирных кислот

Жиры экстрагировали из точной навески 2 г напитка добавлением 15 мл н-гексана (Chempur, Польша, ≥96 %) при интенсивном перемешивании на вортексе в течение 5 мин. Фазы разделяли центрифугированием при 3000 об/мин в течение 5 мин; органический слой осторожно отбирали стеклянной пипеткой, переносили в грушевидную колбу и упаривали при пониженном давлении на роторном испарителе при 35 °C для полного удаления растворителя.

Перевод жирных кислот в метиловые эфиры (МЭЖК) осуществляли методом щелочной переэтерификации по ISO 12966-2:2017. К остатку после упаривания добавляли 2 мл раствора KOH в безводном метаноле (0,5 моль/л), нагревали в герметично закрытой стеклянной пробирке при 60 °C в течение 30 мин при периодическом перемешивании. После охлаждения добавляли 1 мл насыщенного раствора NaCl для разрушения эмульсии, интенсивно встряхивали, центрифугировали при 4000 об/мин в течение 10 мин. Прозрачный верхний гексановый слой, содержащий МЭЖК, отбирали, помещали в виалу для ГХ-анализа и хранили при –20 °C до момента инъекции.

2.6.2 Газохроматографический анализ жирных кислот

Состав МЭЖК анализировали на газовом хроматографе Shimadzu GC-2010 (Shimadzu Corporation, Киото, Япония) с пламенно-ионизационным детектором (ПИД) в соответствии с ISO 12966-4:2015. Разделение осуществляли на высокополярной капиллярной колонке Restek Rt-2560 (длина 100 м, внутренний диаметр 0,25 мм, плёнка 0,20 мкм), специально разработанной для разделения цис- и транс-изомеров C18 и длинноцепочечных жирных кислот молочного жира.

Хроматографические условия: объём ввода пробы — 1 мкл; режим ввода — с делением потока 1:50; газ-носитель — азот сверхчистый (99,999 %), линейная скорость потока — 25 см/с. Температурная программа: начальная температура 100 °C (изотерма 4 мин) → подъём до 240 °C со скоростью 13 °C/мин → изотерма 240 °C (63 мин). Температура испарителя — 250 °C; температура ПИД — 300 °C. Общее время хроматографического разгона — 87 мин. Идентификацию жирных кислот проводили по временам удерживания путём сравнения с сертифицированной стандартной смесью 37 МЭЖК (Supelco 47885-U, Беллефонт, США). Количественное определение осуществляли методом нормализации площадей пиков; результаты выражали в процентах от суммы идентифицированных жирных кислот.

2.6.3 Индексы липидного качества

Для оценки нутритивного качества и потенциального кардиоваскулярного воздействия жирнокислотного профиля рассчитывали четыре индекса по формулам Ulbricht и Southgate (1991) [13], широко применяемым в нутрициологии молочных продуктов [14].

Индекс атерогенности (IA) — характеризует относительный атерогенный потенциал насыщенных жирных кислот продукта:

$$IA = (C12{:}0 + 4 \times C14{:}0 + C16{:}0) / (МНЖК + ПНЖК),$$

где С12:0 — лауриновая кислота; С14:0 — миристиновая кислота (взята с коэффициентом 4 ввиду наибольшего атерогенного воздействия среди НЖК); С16:0 — пальмитиновая кислота; МНЖК — сумма мононенасыщенных жирных кислот; ПНЖК — сумма полиненасыщенных жирных кислот (% от общей суммы). Более низкое значение IA соответствует меньшему атерогенному потенциалу продукта [13].

Индекс тромбогенности (ИТ) — отражает тромбогенный потенциал жирнокислотного состава:

$$ИТ = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / (0,5 \times МНЖК + 0,5 \times n\text{-}6ПНЖК + 3 \times n\text{-}3ПНЖК + n\text{-}3/n\text{-}6),$$

где С18:0 — стеариновая кислота; n-3 ПНЖК — омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты (α-линоленовая ALA, эйкозапентаеновая EPA, докозагексаеновая DHA); n-6 ПНЖК — омега-6 полиненасыщенные жирные кислоты (линолевая LA, арахидоновая AA). Более низкое значение ИТ соответствует меньшей вероятности тромбообразования [13].

Соотношение гипо-/гиперхолестеринемических жирных кислот (h/H):

$$h/H = (C18:1 + ПНЖК) / (C12:0 + C14:0 + C16:0),$$

где С18:1 — олеиновая кислота (основная МНЖК молочного жира). Более высокое значение h/H свидетельствует о более благоприятном влиянии жирнокислотного профиля на уровень холестерина в крови [14].

Доля желательных жирных кислот (DFA):

$$DFA (\%) = МНЖК + ПНЖК + C18:0,$$

где С18:0 включена ввиду её нейтрального влияния на уровень ЛПНП (стеариновая кислота эффективно десатурируется in vivo до олеиновой С18:1).

Индекс суммирует жирные кислоты с нейтральным или положительным эффектом на метаболизм холестерина [13, 14].

2.7 Определение аминокислотного состава

Аминокислотный анализ проводили однократно (n = 3, три аналитических повторности) для комплексной оценки качества белков напитков курут и их биологической ценности. Анализ охватывал 20 протеиногенных аминокислот, включая все 9 незаменимых (EAA: His, Ile, Leu, Lys, Met, Phe, Thr, Trp, Val) и 11 заменимых (NEAA: Ala, Arg, Asp, Cys, Glu, Gly, Pro, Ser, Tyr, Asn, Gln).

2.7.1 Подготовка образцов и кислотный гидролиз

Точную навеску 0,4 г каждого образца помещали в стеклянную вакуумную ампулу объёмом 10 мл, добавляли 25 мл 6 М HCl (аналитический, Merck), удаляли кислород барботированием газообразного азота в течение 3 мин, ампулу запаивали и гидролизовали при 103 °C в течение 24 ч в соответствии с ISO 13903:2005. Кислотный гидролиз в инертной атмосфере предотвращает окисление чувствительных аминокислот (Met, Tyr) и обеспечивает полное расщепление пептидных связей, за исключением триптофана, который разрушается в кислой среде.

Для определения триптофана проводили щелочной гидролиз по ISO 13904:2005: навеску 0,1 г заливали 5 мл насыщенного водного раствора $Ba(OH)_2$ (аналитический, Sigma-Aldrich), запаивали в вакуумной ампуле и гидролизовали при 110 °C в течение 16 ч. По завершении гидролиза Ba^{2+} осаждали добавлением эквивалентного количества H_2SO_4 (1 М) и отфильтровывали.

Кислые гидролизаты нейтрализовали 5 М NaOH до pH 2,2 ± 0,1 (оптимальное значение для OPA-дериватизации), фильтровали через мембраны PTFE 0,45 мкм (Merck Millipore) и хранили при –20 °C в стеклянных виалах с септами до проведения хроматографического анализа.

2.7.2 Хроматографический анализ аминокислот (УФЖХ)

Аминокислотный состав определяли методом сверхбыстрой жидкостной хроматографии (УФЖХ / UFLC) с предколоночной флуоресцентной дериватизацией по ISO 17180:2013. Первичные амины дериватизировали ортофталальдегидом (OPA, Sigma-Aldrich) в боратном буфере (pH 10,4) при комнатной температуре в течение 3 мин. Вторичный амин пролина дериватизировали 9-флуоренилметилхлороформатом (FMOC-Cl, Sigma-Aldrich) в ацетонитриле непосредственно в автосамплере прибора (полностью автоматизированная дериватизация).

Хроматографические условия: прибор — Shimadzu UFLC с флуоресцентным детектором RF-20Axs; аналитическая колонка — YMC-Triart C18 (100 × 2,1 мм, 1,9 мкм частицы, 120 Å поры); температура колонки — 45 °C; объём ввода пробы — 2 мкл; скорость потока — 0,5 мл/мин. Подвижная фаза A — 20 ммоль/л фосфатный буфер калия (pH 6,5 ± 0,05); подвижная фаза B — смесь ацетонитрил/метанол/вода в соотношении 45:40:15 (об/об/об). Элюирование — по ступенчатой градиентной программе. Длины волн детектирования: для OPA-производных λex = 350 нм, λem = 450 нм; для FMOC-производных λex = 266 нм, λem = 305 нм.

Идентификацию и количественное определение аминокислот проводили методом внешней стандартизации с использованием сертифицированной смеси 20 аминокислот (A9781, Sigma-Aldrich, Германия; аттестованное значение ± 2 %). Результаты выражали в мг аминокислоты на 100 г белка. Сходимость параллельных инъекций контролировали по коэффициенту вариации (CV < 3 %).

2.7.3 Расчёт нутритивных индексов качества белка

Для комплексной оценки биологической ценности белков напитков рассчитывали три взаимодополняющих показателя.

Аминокислотный скор (AAS) — относительный показатель содержания каждой незаменимой аминокислоты по отношению к эталонному профилю ФАО/ВОЗ/УООН (2013) [16]:

$$AAS\ (\%) = (мг\ i\text{-}й\ АК\ в\ 1\ г\ исследуемого\ белка\ /\ мг\ i\text{-}й\ АК\ в\ 1\ г\ эталонного\ белка) \times 100.$$

Аминокислота с наименьшим значением AAS является лимитирующей и определяет верхний предел биологической утилизации белка в целом. Рассчитывали также химический скор (CS) — AAS без поправки на переваримость.

Индекс незаменимых аминокислот (EAAI, Oser, 1951) — интегральный геометрический показатель соответствия аминокислотного профиля эталонному:

$$EAAI = \sqrt[n]{(aa_1/AA_1 \times aa_2/AA_2 \times \ldots \times aa_n/AA_n)} \times 100,$$

где aa_i — содержание i-й незаменимой аминокислоты в исследуемом белке (мг/г N); AA_i — содержание той же аминокислоты в эталонном белке ФАО/ВОЗ (мг/г N); n = 9 (число незаменимых аминокислот). EAAI > 95 свидетельствует о высоком качестве белка, сопоставимом с казеином или яичным белком [17].

Биологическая ценность (BV) — прогнозируемая доля усвоенного белка, удерживаемая в теле организма для метаболических нужд:

$$BV = 1{,}09 \times EAAI - 11{,}73,$$

где коэффициенты получены регрессионным методом по Mitchell и Block (1946) на основе in vivo данных [15]. Несмотря на эмпирический характер, уравнение широко применяется для сравнительной оценки молочных белков ввиду корреляции с инвивовыми данными и простоты расчёта [15, 17].

2.8 Органолептическая оценка

Органолептический анализ (полный сенсорный профиль QDA) выполняли однократно — на 1-е сутки. Общую органолептическую приемлемость дополнительно определяли на 90-е и 180-е сутки хранения для оценки динамики потребительского восприятия в течение срока годности. Методология основана на методе количественного описательного анализа (QDA) в соответствии с ISO 13299:2016.

2.8.1 Этические аспекты

Сенсорное исследование проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской декларации (WMA, 2013 г.) и требованиями этического проведения исследований с участием людей. До начала испытаний каждый член экспертной комиссии подписал форму добровольного информированного согласия. Участники были полностью информированы о целях исследования, составе образцов (молочный продукт на основе кисломолочного сыра курут), порядке оценки, конфиденциальности персональных данных и праве отказаться от участия в любой момент без каких-либо последствий. Форма информированного согласия приведена в Приложении А к настоящей диссертации.

2.8.2 Формирование и подготовка экспертной комиссии

Обученная дегустационная комиссия в составе семи экспертов формировалась и подготавливалась в соответствии с ISO 8586:2012. Критерии включения: профессиональный опыт в области технологии молочных продуктов не менее 2 лет; подтверждённая чувствительность к базовым вкусам (кислый, солёный, сладкий, горький) и запахам по результатам скрининговых тестов; отсутствие пищевой аллергии на молочные продукты; некурящие или курящие не менее чем за 1 ч до сессии.

Программа обучения включала три калибровочные сессии продолжительностью по 90 мин. На первой сессии участники знакомились с органолептическими характеристиками традиционного курута и его жидких форм посредством свободного описания. На второй сессии формировался общий согласованный глоссарий дескрипторов путём групповой дискуссии и консенсуса по процедуре QDA. На третьей сессии верифицировалась воспроизводимость оценок каждого эксперта: для этого трижды предъявляли одинаковые образцы в случайном порядке, воспроизводимость оценивали однофакторным ANOVA (эффект образца значим при $p < 0,05$; вариабельность повторных оценок одного образца незначима при $p > 0,20$) в соответствии с ISO 8586:2012.

2.8.3 Сенсорные дескрипторы и шкала оценки

По результатам калибровочных сессий сформирован итоговый перечень из девяти сенсорных дескрипторов с определениями и якорными точками шкалы оценки от 1 до 10 [6]:

– Белизна (1–10): интенсивность белого цвета напитка (1 — серый/желтоватый; 10 — ярко-белый);
– Консистенция (1–10): ощущение во рту — вязкость, гладкость, отсутствие крупитчатости (1 — водянистый; 10 — густой, однородный, без комков);
– Кисломолочный запах (1–10): интенсивность характерного кислого аромата (1 — нейтральный; 10 — выраженный кисломолочный);
– Сывороточный/сладкий запах (1–10): интенсивность сладковатых молочно-сывороточных нот в аромате (1 — не ощущается; 10 — очень выраженный);
– Кисловатый вкус (1–10): интенсивность кислотности во вкусе (1 — не ощущается; 10 — очень выраженная кислотность);
– Сладковатый вкус (1–10): интенсивность остаточной сладости, обусловленной лактозой сыворотки (1 — не ощущается; 10 — очень выраженный);

– Солёность (1–10): интенсивность солёного вкуса (1 — не ощущается; 10 — очень выраженная солёность);
– Сывороточный вкус (1–10): выраженность специфического вкуса молочной сыворотки, дифференцирующего сывороточные рецептуры от водной основы (1 — не ощущается; 10 — сильно выраженный);
– Послевкусие (1–10): продолжительность и приятность послевкусия (1 — отсутствует или неприятное; 10 — длительное и гармоничное).

2.8.4 Условия и порядок проведения дегустации

Дегустацию проводили в изолированных индивидуальных кабинах сенсорной лаборатории при стандартизированном нейтральном освещении (имитатор дневного света D65, освещённость 1000 лк) в соответствии с ISO 8589:2007. Образцы подавали при температуре 10 ± 2 °C в одинаковых матовых белых стеклянных стаканах объёмом 50 мл, наполненных до одного уровня (35 мл) и закодированных случайными трёхзначными числами. Порядок предъявления пяти рецептур рандомизировали для каждого эксперта и каждой повторной сессии по схеме сбалансированного неполного блока (Williams-design) во избежание эффектов последовательности и переноса. Между образцами использовали несолёные пресные крекеры и воду комнатной температуры для нейтрализации нёба; интервал между образцами — не менее 2 мин. Каждую рецептуру оценивали в трёх повторных независимых сессиях; между сессиями — не менее 24 ч.

2.9 Микробиологический анализ

Микробиологическое исследование проводили на 1-е, 90-е и 180-е сутки хранения для оценки безопасности продуктов в соответствии с нормативами ТР ТС 033/2013 и оценки влияния жидкой основы на микробную динамику в процессе хранения.

2.9.1 Отбор и подготовка проб

Микробиологические пробы (по 15 мл) отбирали асептически в боксе биологической безопасности класса II (Laminar-S 1.2, Биотест, Россия) во избежание контаминации из окружающей среды. Серийные десятикратные разведения (10^{-1} – 10^{-4}) готовили в стерильном физиологическом растворе NaCl (0,85 %, 9 г/л, автоклавированный при 121 °C/15 мин) в стерильных пробирках. Посев производили не позднее 15 мин после приготовления разведений. Использовали метод глубинного посева (pour plate) для КМАФАнМ и дрожжей/плесеней или метод поверхностного рассева (spread plate) для остальных групп. Каждое разведение высевали в двух параллельных чашках для повышения точности подсчёта.

2.9.2 Определяемые группы микроорганизмов

Программа мониторинга включала восемь показателей безопасности и качества в соответствии с требованиями ТР ТС 033/2013 [19] и международными стандартами ISO, согласно методологии, принятой в микробиологии пищевых продуктов [3]:

– КМАФАнМ (общее число мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов) — агар PCA, 30 ± 1 °C, 48–72 ч (ISO 4833-1:2013);
– Молочнокислые бактерии (МКБ) — агар M17 (Oxoid, Бейзингсток, Великобритания) с добавлением 10 г/100 мл лактозного раствора (Sigma-Aldrich, Буш, Швейцария), метод поверхностного рассева, 37 ± 1 °C, 48 ч (ISO 15214:1998);
– Дрожжи и плесневые грибы — агар YGC (Yeast Extract Glucose Chloramphenicol, Sigma-Aldrich, Буш, Швейцария), метод поверхностного рассева, 30 ± 1 °C, 72 ч (ISO 21527-1:2008);
– Колиформные бактерии — агар VRBA (Violet Red Bile Agar, Sigma-Aldrich, Буш, Швейцария), метод глубинного посева, 30 ± 1 °C, 24 ч (ISO 4832:2006);

– Энтеробактерии — агар VRBGA (Violet Red Bile Glucose Agar, Sigma-Aldrich, Буш, Швейцария), метод глубинного посева, 37 ± 1 °C, 24 ч (ISO 21528-2:2017);
– Salmonella spp. — предварительное обогащение в буферной пептонной воде (37 °C, 18 ч), затем селективный агар XLD (37 °C, 24 ч) (ISO 6579-1:2017);
– Staphylococcus aureus — агар Baird-Parker с яично-теллуритовым обогащением, 37 ± 1 °C, 48 ч (ISO 6888-1:1999);
– Listeria monocytogenes — полуселективный бульон Fraser (первичное обогащение, 30 °C, 24 ч), затем агар Oxford, 37 °C, 24–48 ч (ISO 11290-1:2017).

2.9.3 Подсчёт колоний и интерпретация результатов

Подсчёт колоний производили в диапазоне 30–300 КОЕ/чашку визуально при хорошем освещении, при необходимости с применением колониесчётчика (Interscience, Франция). Численность микроорганизмов рассчитывали с учётом степени разведения и объёма посева; результаты выражали в логарифмах колониеобразующих единиц на 1 мл (lg КОЕ/мл). При отсутствии роста результат фиксировали как «ниже предела обнаружения» (< ПО; ПО = 10 КОЕ/мл при посеве 0,1 мл в двух параллелях). Для интерпретации результатов применяли нормативы безопасности молочных напитков, установленные ТР ТС 033/2013 [19].

2.10 Статистическая обработка данных

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics 24.0 (IBM Corp., Армонк, США). Все аналитические измерения для каждой рецептуры выполняли в трёх повторностях (n = 3); результаты представлены как среднее значение ± стандартное отклонение (M ± SD). Органолептические данные выражали как средние оценки семи экспертов за три сессии (n = 21 оценка на дескриптор на рецептуру).

Нормальность распределения для каждой переменной проверяли критерием Шапиро–Уилка ($\alpha = 0,05$). Гомогенность дисперсий оценивали тестом Левена. При подтверждении нормальности и гомогенности дисперсий для сравнения средних между рецептурами применяли однофакторный дисперсионный анализ (One-way ANOVA); при значимости ($p < 0,05$) проводили апостериорное попарное сравнение всех пяти рецептур методом Тьюки HSD (Honestly Significant Difference) с контролем ошибки I рода. При нарушении нормальности применяли непараметрический критерий Краскела–Уоллиса с апостериорным критерием Данна.

Для оценки временно́й динамики показателей применяли дисперсионный анализ с повторными измерениями (Repeated Measures ANOVA) с двумя внутрисубъектными факторами — «рецептура» (5 уровней) и «время хранения» (3 уровня: 1, 90, 180 сутки). При значимости эффекта взаимодействия «рецептура × время» проводили анализ простых эффектов. Силу эффекта оценивали по частному η^2 (partial eta-squared; $\eta^2 \geq 0,14$ считали большим эффектом). Корреляционный анализ по Пирсону применяли для выявления взаимосвязей между физико-химическими, нутриентными и органолептическими параметрами; значимыми считали корреляции при $p < 0,05$. Уровень статистической значимости для всех критериев — $\alpha = 0,05$.

Таким образом, описанный комплекс методов обеспечивает всестороннюю и воспроизводимую характеристику пяти рецептур жидкого курута по физико-химическим, нутриентным, микробиологическим и сенсорным показателям. Совокупность применённых подходов позволяет установить причинно-следственные связи между составом жидкой основы и свойствами конечного продукта, что является методологической основой для интерпретации результатов, представленных в последующих главах.

ГЛАВА 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ, МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И НУТРИЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИДКОГО КУРУТА НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ (K-W)

3.1 Введение

Настоящая глава посвящена комплексной экспериментальной характеристике жидкого курута на водной основе (K-W) — объекта, для которого до настоящего исследования систематические научные данные в международной литературе отсутствовали (Мамет-жанов и др., 2025). Продукт представляет собой реконституированный традиционный напиток, получаемый путём смешивания порошкообразного курута с водой в соотношении 1:10 с последующей гомогенизацией (15 000 об/мин, 10 мин) и пастеризацией (80 °C, 20 мин). Используемый курут производства ОсОО «Алайку Органикс» (г. Ош, Кыргызстан) содержит 58,5 г/100 г белка, 3,5 г/100 г жира и 10,5 г/100 г углеводов (в пересчёте на сухой продукт).

В данной главе последовательно представлены: проксимальный нутриентный состав (раздел 3.2); аминокислотный профиль с оценкой незаменимых аминокислот (раздел 3.3); жирнокислотный профиль с индексами липидного качества (AI, TI, h/H, DFA) (раздел 3.4); физико-химические свойства — CIELAB, pH, титруемая кислотность (раздел 3.5); микробиологическая безопасность в 180-суточном хранении (раздел 3.6); органолептический профиль (раздел 3.7); соответствие требованиям технических регламентов (раздел 3.8). Все аналитические методы и статистические процедуры подробно описаны в Главе 2.

3.2 Нутриентный (проксимальный) состав

3.2.1 Проксимальный (брутто) состав

Проксимальный состав определяет базовую питательную ценность продукта и его позиционирование в категории функциональных молочных напитков (таблица 3.1). K-W характеризуется высоким содержанием белка при низком уровне жира и углеводов, что соответствует категории продуктов с «высоким содержанием белка» по классификации Codex Alimentarius [2].

Таблица 3.1 — Проксимальный состав K-W (M ± σ, n = 3), 100 мл продукта

Компонент	K-W	Ед. изм.	Комментарий
Сухое вещество	7,48 ± 0,07	%	
Белок (N × 6,38)	5,32 ± 0,02	%	Казеин-доминирующий
Жир	0,30 ± 0,02	%	Обезжиренный профиль
Зола (минеральный остаток)	0,95 ± 0,02	%	Ca, P, Mg, K, Na
Углеводы (расчётные)	0,92 ± 0,09	%	Преим. остаточная лактоза
Энергетическая ценность	28,0 ± 0,1	ккал/100 мл	Низкокалорийный

Источник: [1]. Методы: ISO 8968 (белок), ISO 1735 (жир), ISO 5534 (влага).

Содержание белка 5,32 ± 0,02 % является ключевым нутриентным преимуществом K-W. Данный показатель превышает таковой для коммерческих йогуртных напитков (2,5–3,5 %) и находится на уровне высокобелковых кисломолочных продуктов типа скир или греческого йогурта в жидкой форме (4,5–6,0 %). Для сравнения: кефир содержит около 3,0 % белка при калорийности

56 ккал/100 мл, тогда как K-W обеспечивает 5,32 % белка всего при 28 ккал/100 мл — принципиально иное соотношение белок/калория, определяющее его конкурентное позиционирование [6].

Минимальное содержание жира (0,30 ± 0,02 %) обеспечивает K-W статус «обезжиренного» продукта согласно Codex Alimentarius [2] (< 0,5 % жира), что делает его привлекательным для потребителей, соблюдающих диеты с ограничением жиров.

Содержание золы (0,95 ± 0,02 %) отражает суммарную минеральную нагрузку продукта. Молочные минералы находятся в растворённой и коллоидно-связанной форме (кальций ≈ 70 % в составе казеинового мицелла, 30 % — ионный), что обеспечивает их высокую биодоступность [8]. Расчётное содержание кальция — порядка 120 мг/100 мл — при биодоступности ~32 % обеспечивает покрытие около 4 % суточной нормы потребности за счёт одной порции напитка.

Крайне низкое содержание углеводов (0,92 ± 0,09 %) обусловлено двумя последовательными механизмами производственного процесса: в ходе ферментации молока молочнокислыми бактериями значительная часть лактозы потребляется в качестве метаболического субстрата, а при последующем прессовании и сушке концентрата курута оставшаяся лактоза в значительной мере удаляется с отделяемой сывороткой. Остаточная лактоза не создаёт значимой гликемической нагрузки [6].

Энергетическая ценность 28,0 ккал/100 мл позиционирует K-W как один из наиболее низкокалорийных молочных напитков со значимым содержанием белка. Для сравнения: кефир — 56 ккал/100 мл, питьевой йогурт — 60–80 ккал/100 мл, пахта — 40 ккал/100 мл [6]. Сочетание высокого содержания белка с минимальной калорийностью является уникальным для категории молочных напитков и определяет функциональный потенциал K-W в направлениях контроля массы тела и спортивного питания [3].

3.3 Аминокислотный профиль и качество белка

3.3.1 Аминокислотный состав

Аминокислотный состав белка является определяющим фактором его биологической ценности. Для количественной оценки качества белка K-W применялись аминокислотный скор (AAS) и скорректированный показатель с учётом усвояемости (PDCAAS) по протоколу ФАО/ВОЗ [7]. Полный профиль 17 идентифицированных аминокислот представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 — Аминокислотный профиль K-W (ВЭЖХ-ОФА; M ± σ, мкмоль/мл, n = 3) и показатели качества белка

Аминокислота	**Группа**	**K-W, мкмоль/мл**	**AAS (ФАО/ВОЗ)**
НЕЗАМЕНИМЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ (НАК)			
Гистидин (His)	НАК	0,09 ± 0,02	~0,80
Треонин (Thr)	НАК	0,24 ± 0,00	~0,97
Валин (Val)	НАК / BCAA	0,25 ± 0,01	~0,79 *
Метионин (Met)	НАК	0,17 ± 0,03	см. примеч.
Фенилаланин (Phe)	НАК	0,24 ± 0,01	см. примеч.
Изолейцин (Ile)	НАК / BCAA	0,24 ± 0,03	~0,92
Лейцин (Leu)	НАК / BCAA	0,47 ± 0,04	~0,93
Лизин (Lys)	НАК	0,31 ± 0,01	~0,89
∑ BCAA (Val + Ile + Leu)		**0,96 ± 0,08**	

УСЛОВНО-НЕЗАМЕНИМЫЕ (УЗНАК)			
Аргинин (Arg)	УЗНАК	0,18 ± 0,00	—
Глицин (Gly)	УЗНАК	0,09 ± 0,00	—
Пролин (Pro)	УЗНАК	0,21 ± 0,09	—
Тирозин (Tyr)	УЗНАК	0,26 ± 0,01	см. примеч.
Цистеин (Cys)	УЗНАК	0,08 ± 0,03	см. примеч.
ЗАМЕНИМЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ (ЗАК)			
Аспарагиновая кислота (Asp)	ЗАК	0,45 ± 0,02	—
Глутаминовая кислота (Glu)	ЗАК	1,15 ± 0,03	—
Серин (Ser)	ЗАК	0,28 ± 0,01	—
Аланин (Ala)	ЗАК	0,17 ± 0,00	—
∑ НАК		**1,81**	PDCAAS ≥ 0,88
** Лимитирующая АК. AAS (Met+Cys): ~0,95; (Phe+Tyr): ~0,99. Источник: [1]. Метод: ВЭЖХ с орто-фталальдегидной дериватизацией.*			

Лимитирующей аминокислотой по показателю AAS является валин (AAS ≈ 0,79), что типично для казеин-доминирующих белков коровьего молока. Несмотря на это, расчётный PDCAAS белка K-W составляет ≥ 0,88 с учётом истинной перевариваемости казеина in vivo (92–97 %), что соответствует «высококачественному» белку по классификации ФАО/ВОЗ [7, 14] (> 0,75 — «хорошее качество»).

Особого внимания заслуживает содержание аминокислот с разветвлённой цепью (BCAA): лейцин (0,47 ± 0,04 мкмоль/мл), изолейцин (0,24 ± 0,03

мкмоль/мл) и валин (0,25 ± 0,01 мкмоль/мл), в сумме 0,96 мкмоль/мл. BCAA, особенно лейцин, выполняют ключевую сигнальную роль в активации пути mTORC1–S6K1 в мышечной ткани, стимулирующего синтез мышечного белка [9, 10]. Это обосновывает применение K-W в качестве компонента пищевых рационов, ориентированных на контроль саркопении и восстановление после физических нагрузок.

Высокое содержание глутаминовой кислоты (1,15 ± 0,03 мкмоль/мл) — наиболее распространённой аминокислоты K-W — имеет важное физиологическое значение. Глутамат является главным возбуждающим нейромедиатором и предшественником ГАМК, а также обеспечивает энергетический субстрат для энтероцитов кишечника, поддерживая целостность кишечного барьера [34].

3.3.2 Биодоступность и перевариваемость

Казеиновая природа белка K-W предопределяет ряд физиологических особенностей его переваривания. При попадании в кислую среду желудка (pH 1,5–2,5) казеин преципитирует и коагулирует, образуя гель с замедленной скоростью гидролиза пепсином. Данный механизм «медленного белка» [13] обеспечивает длительный и равномерный приток аминокислот в кровоток (3–5 ч), что имеет практическое значение для контроля насыщаемости и поддержания анаболического фона при ночном голодании.

Истинная перевариваемость казеина in vivo составляет 92–97 % [14], что обусловливает высокое значение PDCAAS и DIAAS. Биодоступность кальция из молочных продуктов составляет в среднем 30–35 % от поступившего [39], что значительно превышает биодоступность кальция из растительных источников (5–15 %).

3.3.3 Функциональный потенциал: биоактивные пептиды

Помимо нутритивной роли, казеины молока являются прекурсорами биологически активных пептидов, высвобождаемых при протеолизе in vivo. К наиболее изученным из них относятся казоморфины (опиоидная активность), казокинины (ингибирование АПФ), β-казоморфин-7 и казоплатенин (антитромботический эффект) [36]. Применение K-W как источника казеиновых прекурсоров биоактивных пептидов представляет перспективный вектор функциональных исследований.

3.4 Жирнокислотный профиль и индексы качества

3.4.1 Состав жирных кислот

Жирнокислотный состав молочных жиров определяет их функциональные, технологические и медицинские свойства. Несмотря на незначительное абсолютное содержание жира (0,30 %), специфический профиль жирных кислот K-W заслуживает детального рассмотрения ввиду его вклада в формирование сенсорных свойств, окислительной стабильности и кардиометаболических эффектов. Идентифицировано 29 жирных кислот в диапазоне C4–C24 (таблица 3.3).

Таблица 3.3 — Жирнокислотный состав K-W (ГХ-ПИД; M ± σ, % от суммы ЖК, n = 3)

Жирная кислота	Обозначение	K-W, %
НАСЫЩЕННЫЕ (НЖК)		
Масляная	C4:0	3,16 ± 0,09
Капроновая	C6:0	1,86 ± 0,02
Каприловая	C8:0	0,92 ± 0,01

Каприновая	C10:0	2,03 ± 0,02
Ундекановая	C11:0	0,16 ± 0,01
Лауриновая	C12:0	2,53 ± 0,04
Тридекановая	C13:0	0,13 ± 0,01
Миристиновая	C14:0	10,67 ± 0,12
Пентадекановая	C15:0	1,71 ± 0,01
Пальмитиновая	C16:0	29,54 ± 0,15
Маргариновая	C17:0	1,03 ± 0,02
Стеариновая	C18:0	10,70 ± 0,05
Арахиновая	C20:0	0,27 ± 0,01
Генэйкозановая	C21:0	1,23 ± 0,01
Бегеновая	C22:0	0,11 ± 0,01
Трикозановая	C23:0	0,05 ± 0,04
Лигноцериновая	C24:0	0,02 ± 0,01
∑ НЖК	SFA	**66,13 ± 0,34**
МОНОНЕНАСЫЩЕННЫЕ (МНЖК)		
Миристолеиновая	C14:1	1,00 ± 0,01
Пальмитолеиновая	C16:1	2,11 ± 0,07
Гептадеценовая	C17:1	0,37 ± 0,00
Транс-олеиновая (вакценовая)	C18:1 tr.	3,57 ± 0,03

Олеиновая (цис-)	C18:1 cis	23,55 ± 0,14
Гондоиновая	C20:1	0,36 ± 0,07
∑ МНЖК	MUFA	**27,40 ± 0,17**
ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫЕ (ПНЖК)		
Транс-линолевая (CLA-предшественник)	C18:2 tr.	0,21 ± 0,01
Линолевая (ω-6)	C18:2 ω-6	1,64 ± 0,09
α-Линоленовая (ω-3)	C18:3 ω-3	0,86 ± 0,02
Арахидоновая (ω-6)	C20:4 ω-6	0,05 ± 0,09
Докозапентаеновая (ω-3)	C22:5 ω-3	0,15 ± 0,00
∑ ПНЖК	PUFA	**2,69 ± 0,19**
Сводные показатели		
∑ ω-3	—	**1,00 ± 0,02**
∑ ω-6	—	**1,69 ± 0,17**
∑ ω-9	—	**23,91 ± 0,17**
∑ Транс-ЖК (природные)	—	**3,77 ± 0,03**
Соотношение ω-6:ω-3	—	**1,69 : 1**
ИНДЕКСЫ КАЧЕСТВА		
Индекс атерогенности	IA	2,49 ± 0,05
Индекс тромбогенности	IT	2,36 ± 0,04

Гипо-/гиперхолестеринемический индекс	h/H	0,33 ± 0,01
Источник: [1]. Метод: ГХ-ПИД, Restek Rt-2560 (AOAC 996.06). IA, IT по Ulbricht & Southgate [12]; h/H по Keys et al. [11].		

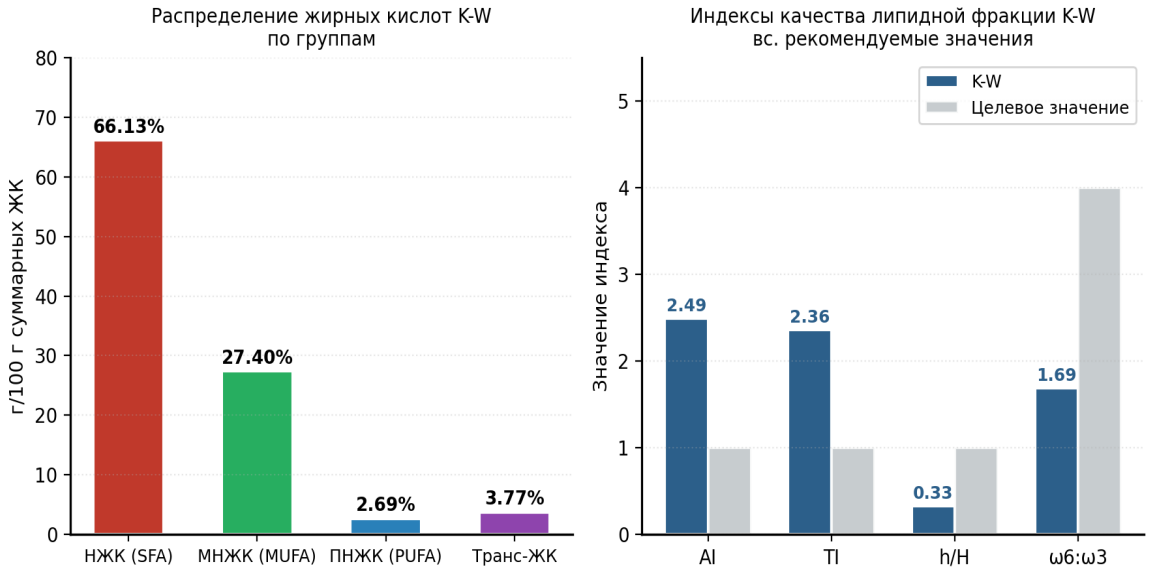

Рисунок 3.4 — Жирнокислотный состав и индексы качества липидной фракции жидкого курута на водной основе (K-W)

Рисунок 3.4 — Жирнокислотный профиль K-W: (А) распределение НЖК/МНЖК/ПНЖК/транс-ЖК; (Б) индексы качества липидной фракции. Источник: [1]

Жирнокислотный профиль K-W характеризуется доминированием насыщенных жирных кислот (НЖК): 66,13 ± 0,34 % от суммы ЖК. Это типично для коровьего молока (НЖК 64–72 %) и обусловлено особенностями синтеза молочного жира в молочной железе жвачных животных [30]. Главными представителями НЖК являются пальмитиновая (C16:0, 29,54 %) и стеариновая (C18:0, 10,70 %) кислоты. Стеариновая кислота метаболически нейтральна в отношении уровней LDL-холестерина [11], что частично нивелирует атерогенный потенциал фракции НЖК.

Мононенасыщенные жирные кислоты (МНЖК) составляют 27,40 ± 0,17 %, из которых 23,55 % приходится на цис-олеиновую кислоту (C18:1) — основной носитель кардиопротективных свойств средиземноморского рациона [11, 33].

Соотношение МНЖК:НЖК (0,41) находится в пределах нормы для молочного жира пастбищного скота.

Несмотря на низкое абсолютное содержание ПНЖК (2,69 ± 0,19 %), следует отметить благоприятное соотношение ω-6:ω-3 = 1,69:1, которое значительно лучше рекомендованного ВОЗ/ФАО диапазона 4:1–6:1 [31, 32] и большинства коммерческих молочных продуктов (обычно 5:1–10:1). Это позволяет охарактеризовать K-W как продукт с благоприятным противовоспалительным профилем жирных кислот.

Транс-жирные кислоты (3,77 ± 0,03 %) в K-W представлены исключительно природными трансизомерами молочного жира (преимущественно вакценовая C18:1 tr. и конъюгированная линолевая кислота, CLA), которые принципиально отличаются от промышленных трансжиров: CLA обладает антипролиферативными и антиатерогенными свойствами, а её потребление с молочными продуктами не ассоциируется с повышенным сердечно-сосудистым риском [30].

3.4.2 Индексы качества липидной фракции

Значения индекса атерогенности (IA = 2,49) и тромбогенности (IT = 2,36), рассчитанные по методике Ulbricht & Southgate [12], находятся в диапазоне, типичном для обезжиренных молочных продуктов. Учитывая минимальное абсолютное содержание жира (0,30 %), суточное поступление НЖК из 200 мл K-W составляет около 0,4 г, что пренебрежимо мало с точки зрения воздействия на липидный профиль крови. Таким образом, умеренные значения IA и IT в данном контексте не свидетельствуют о кардиометаболическом риске.

3.5 Физико-химические свойства

3.5.1 Динамика показателя pH

Показатель активной кислотности (pH) является одним из важнейших индикаторов качества молочных продуктов: он напрямую влияет на стабильность белков, активность ферментов, микробную безопасность и органолептические свойства [15]. Значение pH K-W в начале хранения составило 3,95 ± 0,10 (таблица 3.4) — ниже критического уровня pH = 4,6, при котором начинается ингибирование роста большинства патогенных микроорганизмов.

Таблица 3.4 — Динамика pH и кислотности K-W при хранении при 4 °C (M ± σ, n = 3)

Параметр	День 1	День 90	День 180
pH	3,95 ± 0,10	3,70 ± 0,01	3,60 ± 0,01
Титруемая кислотность, °T	8,75 ± 0,07	9,12 ± 0,05	9,38 ± 0,06
Молочная кислота, %	0,079 ± 0,001	0,082 ± 0,001	0,084 ± 0,001

Различия между временны́ми точками значимы: p ≤ 0,05, критерий Тьюки. Источник: [1]. Метод: ISO 11869.

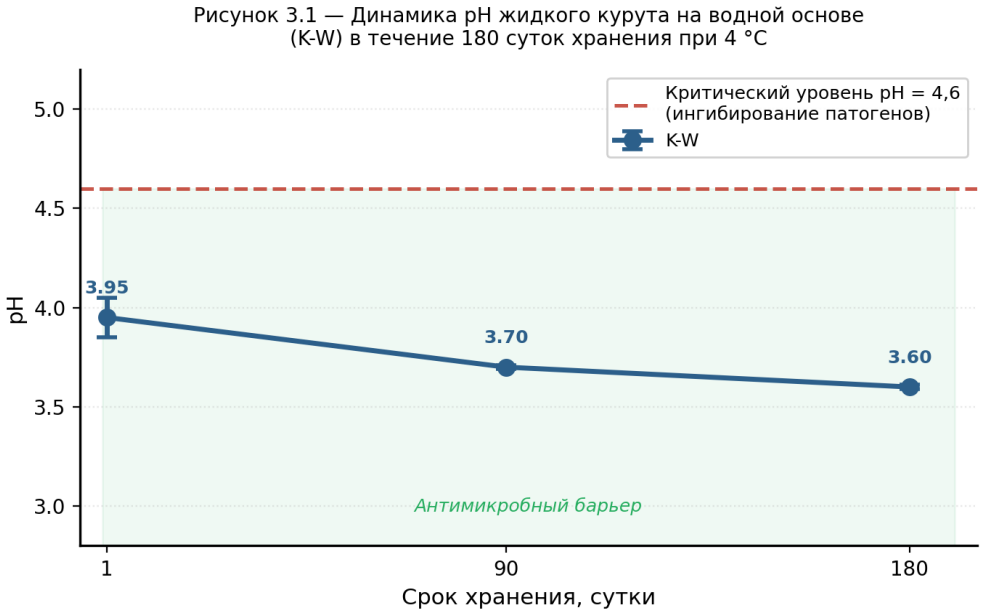

Рисунок 3.1 — Динамика pH K-W в течение 180 суток хранения при 4 °C. Пунктирная линия — критический уровень pH = 4,6. Планки погрешности — стандартное отклонение (n = 3). Источник: [1]

В течение 90-дневного периода хранения при 4 °C зафиксировано статистически значимое снижение pH до 3,70 ± 0,01 ($p \leq 0,05$, критерий Тьюки). К 180-му дню значение стабилизировалось на уровне 3,60 ± 0,01. Суммарное изменение $\Delta pH = 0,35$ за шесть месяцев незначительно и не выходит за пределы технологически приемлемого диапазона для пастеризованных молочных напитков.

Монотонное умеренное снижение pH в отсутствие активной ферментации объясняется рядом абиотических химических механизмов: постепенным гидролизом лактозы под действием остаточной активности лактазы с образованием незначительных количеств кислот [6], реакциями Майяра между остаточной лактозой и аминогруппами казеина [20], а также медленным высвобождением органических кислот из структуры казеиновых мицелл. Буферный эффект казеиновых фосфопептидов [22] обусловливает постепенную стабилизацию pH к концу периода хранения.

Полученные данные согласуются с литературными сведениями о других традиционных кисломолочных напитках Центральной Азии. По данным Konuspayeva et al. [23], pH аналогичных реконституированных молочных

напитков при хранении при 4 °C снижается в среднем на 0,2–0,4 единицы за 90 суток, что хорошо коррелирует с наблюдаемой для K-W динамикой.

3.5.2 Титруемая кислотность и содержание молочной кислоты

Титруемая кислотность (ТА) отражает суммарное содержание органических кислот в продукте [22]. Начальная ТА K-W составила 8,75 ± 0,07 °Т. Нарастание ТА за 180 суток составило 0,63 °Т (с 8,75 до 9,38 °Т), что является незначительным с сенсорной точки зрения: порог различия кислотности для обученной дегустационной панели в молочных напитках составляет около 1,5–2,0 °Т [24]. Таким образом, кислотный профиль K-W остаётся стабильным и органолептически неразличимым на протяжении всего срока хранения.

Молочная кислота является основным кислотным компонентом K-W: её содержание в течение 180 суток находилось в диапазоне 0,079–0,084 %, что значительно ниже порога органолептического восприятия (> 0,8 % — интенсивная кислотность [25]). Помимо вклада в формирование вкуса, молочная кислота выполняет функцию кислотного барьера, ингибирующего рост нежелательной микрофлоры.

3.5.3 Цветовой профиль (CIELAB)

Цвет является первичным визуальным сигналом, формирующим потребительское восприятие качества продукта ещё до дегустации [18]. Для объективной оценки применялась система CIELAB (ISO 22935-2). Результаты представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 — Цветовой профиль K-W по системе CIELAB (M ± σ, n = 3)

Параметр	K-W	Интерпретация

L* (светлота)	45,94 ± 1,04	Умеренная — молочно-белый
a* (красно-зелёная ось)	0,31 ± 0,05	Нейтральный оттенок
b* (жёлто-синяя ось)	5,23 ± 0,08	Слабый тёплый жёлтый тон
C* (насыщенность хромы)	5,23 ± 0,09	Низкая, пастельный характер
h° (угол оттенка)	87,30 ± 1,60	Жёлто-зелёный сектор
ΔE* к 90 суткам	3,51 ± 0,51	Ниже порога «заметного» изм. (ΔE* ≥ 5,0)
ΔE* к 180 суткам	3,36 ± 0,18	Цветовая стабильность подтверждена
Источник: [1]. Метод: ISO 22935-2.		

Значения характеризуют K-W как молочно-белый напиток с умеренной светлотой (L* = 45,94) и тёплым желтоватым оттенком (b* = 5,23), типичным для казеиновых молочных суспензий. Значение L* ниже, чем у коммерческого жидкого йогурта (L* ≈ 67–72), что обусловлено более высокой концентрацией белка и использованием исходного концентрата курута с частично денатурированными белками [21].

Общая разность цветов $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ между началом и концом хранения составила 3,51 (к 90 суткам) и 3,36 (к 180 суткам), что ниже порога «заметного» изменения (ΔE* ≥ 5,0 по классификации CIE [19]). Таким образом, K-W демонстрирует исключительную цветовую стабильность на протяжении всего срока хранения.

3.5.4 Активность воды (aw) и осмотический потенциал

Для K-W с содержанием сухих веществ 7,48 г/100 мл расчётное значение aw составляет 0,994–0,997. Само по себе это значение не является ингибирующим для патогенов; однако в сочетании с кислотным барьером (pH 3,60–3,95), поваренной солью (~1,5 %) и температурным режимом (4 °C) формируется эффективный мультибарьерный комплекс согласно теории барьерной технологии [26].

3.6 Микробиологическая безопасность и стабильность

3.6.1 Концепция барьерной технологии

Для понимания микробиологических результатов K-W необходимо рассмотреть продукт через призму теории барьерной технологии. Согласно Leistner [26], стабильность пищевого продукта определяется совокупным действием множества ингибирующих факторов («барьеров»): (1) пастеризация 80 °C, 20 мин; (2) кислотный барьер — pH 3,60–3,95; (3) осмотический барьер — соль ~1,5 %; (4) температурный барьер — хранение при 4 °C. Совокупное действие этих барьеров объясняет исключительно низкий уровень бактериальной обсеменённости K-W. Данная концепция подтверждает обоснованность технологической схемы производства и формирует научную основу для позиционирования продукта как натурального без добавления консервантов [27].

3.6.2 Общее микробное число (КМАФАнМ)

КМАФАнМ является базовым показателем микробиологической безопасности молочных продуктов. В соответствии с ТР ТС 033/2013 [16], для пастеризованных молочных напитков КМАФАнМ не должно превышать $1{,}0 \times 10^2$ КОЕ/см³. Результаты мониторинга представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 — Динамика микробиологических показателей K-W при хранении при 4 °C

Показатель	День 1	День 90	День 180	Норматив ТР ТС 033/2013
КМАФАнМ, КОЕ/см³	< ПО*	0,48 ± 0,00	0,84 ± 0,06	≤ 1,0 × 10²
МКБ	< ПО	< ПО	< ПО	н/н**
БГКП (колиформы)	< ПО	< ПО	< ПО	Не допускается
Дрожжи	< ПО	< ПО	< ПО	≤ 50 КОЕ/г
Плесени	< ПО	< ПО	< ПО	≤ 50 КОЕ/г
L. monocytogenes	отс.	отс.	отс.	Не допускается
Сальмонелла spp.	отс.	отс.	отс.	Не допускается
Статус	✓	✓	✓	**СООТВЕТСТВУЕТ**

** ПО — предел обнаружения (< 10 КОЕ/см³). ** н/н — не нормируется (неферментированный продукт). Источник: [1].*

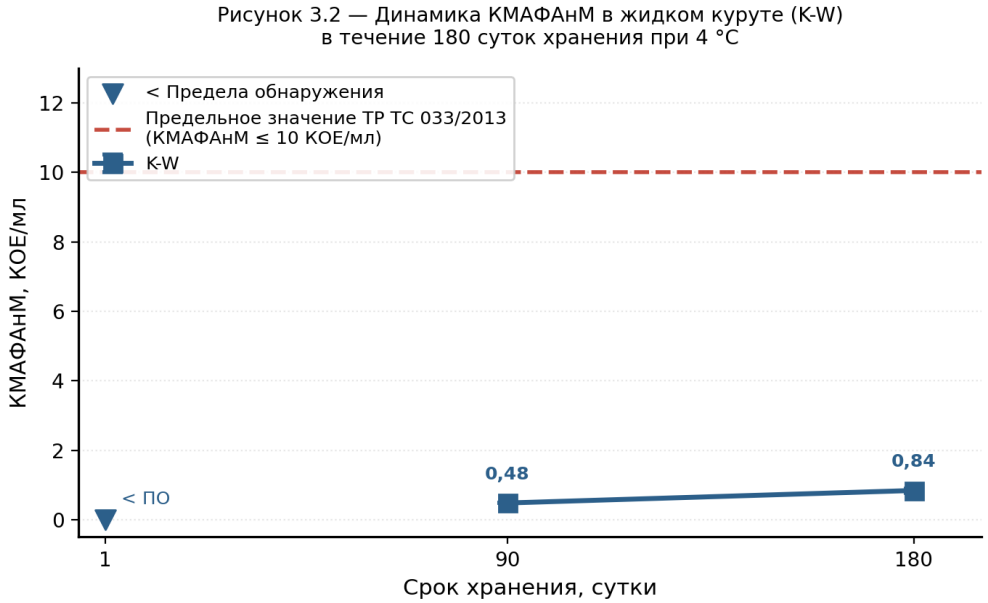

Рисунок 3.2 — Динамика lg КМАФАнМ (КОЕ/см³) K-W в течение 180 суток. Горизонтальная линия — регламентный предел ТР ТС 033/2013 (2,0 lg КОЕ/см³). Источник: [1]

На 1-й день хранения КМАФАнМ находилось ниже предела обнаружения (< 10 КОЕ/см³), что свидетельствует об эффективности режима пастеризации (80 °C, 20 мин) и гигиеничности условий производства. К 90-м суткам зафиксировано незначительное нарастание (0,48 ± 0,00 lg КОЕ/см³ ≈ 3 КОЕ/см³). К 180-м суткам значение составило 0,84 ± 0,06 lg КОЕ/см³ ≈ 7 КОЕ/см³ — более чем в 14 раз ниже нормативного предела.

Выявленный незначительный рост КМАФАнМ в период между 90-ми и 180-ми сутками, вероятно, обусловлен психротрофными бактериями рода *Pseudomonas* и *Bacillus*, способными медленно размножаться при 4 °C даже при pH ниже 4,0. Тем не менее их концентрация оставалась в пределах физиологической нормы и не вызывала видимых признаков порчи.

3.6.3 Специфические группы микроорганизмов

Отсутствие молочнокислых бактерий (МКБ) закономерно для неферментированного продукта и подтверждает, что технологический процесс не предполагает намеренного культивирования МКБ. Это принципиально

отличает K-W от йогурта, кефира или традиционного ферментированного курута, в которых МКБ выполняют функцию активной биозащитной культуры.

Отрицательные результаты по БГКП, сальмонелле и листерии на всех сроках хранения подтверждают соответствие продукта гигиеническим требованиям ТР ТС 033/2013 [16] и Регламента ЕС № 2073/2005 [29]. Отсутствие дрожжей и плесеней свидетельствует о надёжности применяемой технологии асептической упаковки и эффективности кислотного барьера (pH < 4,0 подавляет рост большинства осмочувствительных дрожжей и плесеней [25]).

3.6.4 Кинетика порчи и прогнозирование срока годности

Для прогнозирования срока годности применялась линейная кинетическая модель роста КМАФАнМ. На основании трёх временны́х точек рассчитана скорость роста $\mu = 0{,}0039 \pm 0{,}0004$ lg КОЕ/(см³·сут) [28]. При предельном значении КМАФАнМ = 2,0 lg КОЕ/см³ (ТР ТС 033/2013) расчётный срок годности K-W составляет не менее 360 суток при непрерывном хранении при 4 °C и герметичной упаковке.

Данная модель является линейным приближением и не учитывает возможной смены доминирующей микрофлоры при длительном хранении, а также нарушений холодовой цепи. Для разработки более точных прогностических моделей рекомендуется применение инструментов предиктивной микробиологии [28].

3.6.5 Сравнение с аналогичными продуктами

Микробиологический профиль K-W выгодно отличается от большинства традиционных молочных напитков. КМАФАнМ K-W к 180-м суткам (≈ 7 КОЕ/мл) более чем на два порядка ниже нормативного предела. Для сравнения: в классическом пастеризованном кефире КМАФАнМ на момент изготовления достигает 10^7–10^9 КОЕ/мл за счёт специфической микрофлоры кефирного грибка

— принципиально иной технологической концепции [6]. Такое сопоставление наглядно демонстрирует качественное отличие K-W как продукта барьерной технологии без активной закваски.

3.7 Органолептические свойства и потребительская приемлемость

3.7.1 Методология сенсорного анализа

Органолептическая оценка K-W проводилась методом QDA (Quantitative Descriptive Analysis) в соответствии с ISO 8586:2012 [37]. В отличие от гедонических методов, QDA ориентирован на количественное описание интенсивности отдельных сенсорных атрибутов, что обеспечивает воспроизводимый аналитический профиль продукта. Дегустационная панель включала 7 обученных экспертов, отобранных и откалиброванных по порогу восприятия кислотности, солёности и сладости. Оценка проводилась в 3 независимые сессии по шкале интенсивности 1–10.

3.7.2 Результаты органолептической оценки

Органолептический профиль K-W представлен в таблице 3.7 и визуализирован на радарной диаграмме (рисунок 3.3).

Таблица 3.7 — Органолептический профиль K-W (QDA, 7 экспертов; шкала интенсивности 1–10; M ± σ)

Дескриптор	K-W (M ± σ)	Интерпретация
Белизна	8,70 ± 0,27	Высокая однородность, молочно-белый
Консистенция	8,26 ± 0,81	Гладкая, без осадка

Кислый запах	7,90 ± 1,56	Характерная кислинка
Сладкий запах	2,04 ± 0,86	Слабо выражен
Кислый вкус	7,86 ± 1,06	Умеренно-выраженная кислотность
Сладкий вкус	0,90 ± 0,65	Практически отсутствует
Солёность	6,51 ± 0,81	Умеренная, типичная
Сывороточный привкус	1,10 ± 1,24	Слабо ощущается
Послевкусие	8,30 ± 0,76	Пикантное, продолжительное
Общая приемлемость (день 1)	9,0 ± 1,0	Очень высокая (шкала 1–10)
Общая приемлемость (день 90)	8,0 ± 0,6	Высокая
Общая приемлемость (день 180)	2,33 ± 0,76	Резкое снижение
ISO 8586:2012; 3 сессии.		

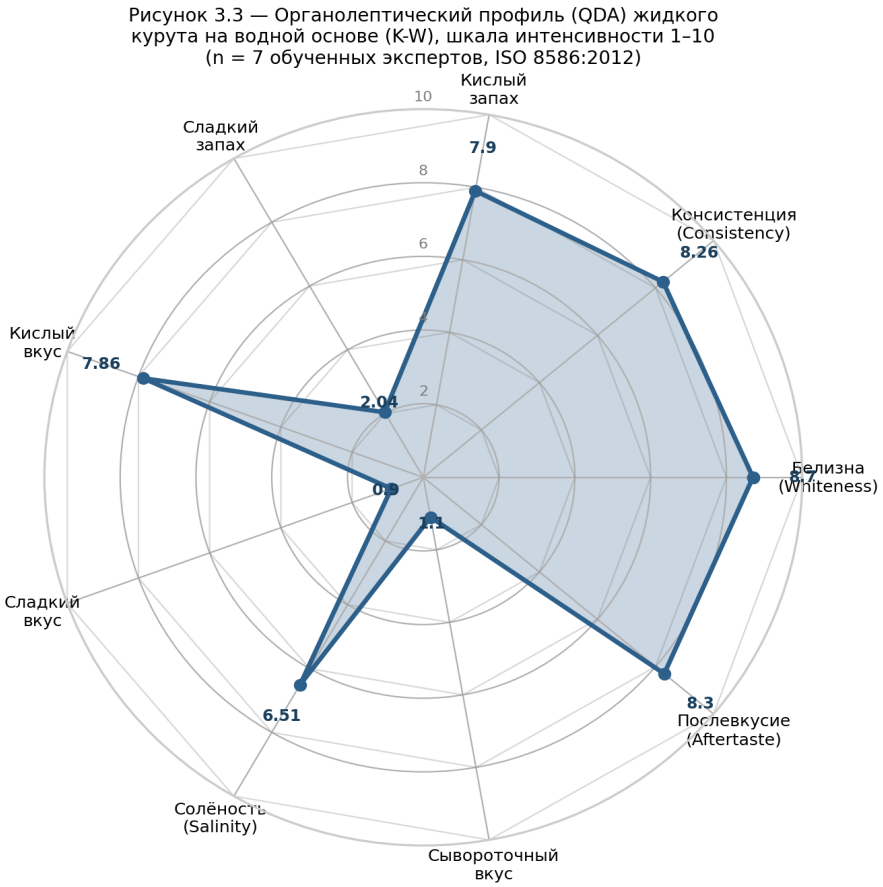

Рисунок 3.3 — Паутинная диаграмма органолептического профиля K-W (QDA, 7 экспертов; шкала интенсивности 1–10). Источник: [1]

K-W демонстрирует выраженный и стабильный органолептический профиль, характеризующийся доминированием кислого вкуса и аромата с минимальной сладостью. Высокие оценки белизны (8,70 ± 0,27) и консистенции (8,26 ± 0,81) свидетельствуют об однородности и визуальной привлекательности продукта.

Практически нулевое значение показателя сладкого вкуса (0,90 ± 0,65) закономерно для продукта с остаточным содержанием лактозы 0,92 %. Порог восприятия сладости лактозы составляет ≈ 7 г/100 мл [38], тогда как в K-W её концентрация примерно в 7,6 раза ниже этого порога.

Показатель послевкусия (8,30 ± 0,76) отражает характерную черту кисломолочных продуктов: сохранение интенсивного органолептического ощущения после ополаскивания ротовой полости. Этот эффект обусловлен молочной кислотой и специфическими вкусовыми соединениями казеинолиза (диацетил, ацетальдегид, летучие жирные кислоты).

Общая приемлемость (9,0 ± 1,0 из 10 в день 1) является исключительно высокой и свидетельствует о полном соответствии потребительским ожиданиям в отношении традиционного кисломолочного напитка. Следует, однако, учитывать, что данная панель формировалась из жителей Центральной Азии, привычных к выраженной кислотности курута.

3.7.3 Вариабельность оценок и аудитория

Наибольшая вариабельность наблюдалась по показателям кислого запаха ($\sigma = 1,56$) и кислого вкуса ($\sigma = 1,06$), что отражает индивидуальные различия в чувствительности к кислотности. Данный факт указывает на необходимость адаптации рецептуры при выходе на новые рынки. Сравнительно низкий показатель «сывороточного привкуса» (1,10 ± 1,24) важен с маркетинговой точки зрения: K-W не ассоциируется у потребителей с «побочным продуктом», что положительно сказывается на восприятии.

Резкое снижение приемлемости к 180-м суткам (2,33 ± 0,76 из 9) коррелирует со снижением pH до 3,60 и нарастанием ТА до 9,38 °Т. Данная динамика обосновывает практическую рекомендацию к потреблению K-W в первые 90 суток хранения и служит мотивацией для разработки буферизованных рецептур на основе молочной сыворотки, рассмотренных в Главе 4.

3.8 Соответствие нормативным требованиям

Все измеренные показатели K-W сопоставлены с требованиями ключевых нормативных документов, регулирующих оборот молочных напитков в ЕАЭС (ТР ТС 033/2013 [16]), на международном уровне (Codex Stan 243-2003 [2]) и на рынке ЕС (Регламент ЕС № 1924/2006 [17]). Результаты сопоставления представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 — Соответствие показателей K-W нормативным требованиям				
Показатель	**K-W (факт)**	**Норматив**	**Документ**	**Статус**
КМАФАнМ (180 сут)	≤ 7 КОЕ/см³	≤ 100 КОЕ/см³	ТР ТС 033/2013 [16]	✓
БГКП (колиформы)	Не обнаружены	Не допускаются	ТР ТС 033/2013 [16]	✓
Патогены	Не обнаружены	Не допускаются	ТР ТС 033/2013 [16]	✓
pH (стабильность)	3,60–3,95	Не регламентируется	Codex Stan 243 [2]	✓
Белок	5,32 %	≥ 2,5 %	Codex Stan 243 [2]	✓
Жир	0,30 %	< 0,5 %	Регл. ЕС 1924/2006 [17]	✓ **«Обезжиренный»**
Дрожжи / Плесени	< ПО	≤ 50 КОЕ/г каждый	ТР ТС 033/2013 [16]	✓

Полное соответствие всем рассмотренным нормативным требованиям подтверждает обоснованность технологии производства K-W и возможность его реализации как на внутреннем рынке ЕАЭС, так и при экспорте в страны ЕС. Заявление о пониженной калорийности возможно согласно Регламенту ЕС 1924/2006 (< 40 ккал/100 мл для напитков): K-W содержит 28,0 ккал/100 мл. Высокое содержание белка (5,32 %) также позволяет использовать маркировочное заявление «с высоким содержанием белка» (≥ 12 % калорийности из белка, что для K-W составляет 76 %).

3.9 Обсуждение результатов

Полученные результаты позволяют позиционировать жидкий курут на водной основе (K-W) в нескольких взаимосвязанных контекстах: (1) традиционный продукт с научно задокументированными характеристиками; (2) функциональный молочный напиток с конкурентным нутриентным профилем; (3) промышленно воспроизводимая платформа для разработки улучшенных рецептур.

С позиций продовольственной науки наиболее значимым результатом является демонстрация того, что кислотно-температурный барьер (pH 3,60–3,95 при 4 °C) обеспечивает надёжную микробиологическую безопасность K-W без применения химических консервантов [26] — факт, принципиально важный для концепции «чистой этикетки» (clean label) [27].

Нутриентный профиль K-W (5,32 % белка при 28 ккал/100 мл) является уникальным для категории традиционных молочных напитков. Ближайшим функциональным аналогом является сывороточный протеиновый напиток, однако последний, как правило, содержит значительные количества добавленного сахара и ароматизаторов [3]. K-W обеспечивает сопоставимое содержание белка в натуральной минимально переработанной форме.

Органолептический профиль K-W с высокой оценкой приемлемости (9,0/10 для центральноазиатской аудитории) свидетельствует о том, что традиционный вкус курута воспринимается как эталон аутентичности. Однако выраженная кислотность ограничивает принятие продукта за пределами традиционного рынка. Именно это наблюдение обосновывает разработку рецептур K-AW и K-SW с буферным эффектом сывороточных белков, рассматриваемых в последующих главах.

Ограничением настоящего исследования является отсутствие данных по биодоступности in vivo, реологическим свойствам и детальному минеральному составу. Эти аспекты представляют перспективные направления дальнейших исследований.

3.10 Заключение по главе

1. Физико-химическая стабильность K-W в течение 180 суток хранения при 4 °C подтверждена: ΔpH = 0,35 (с 3,95 до 3,60), ΔTA = 0,63 °T, ΔE* ≤ 3,51 — все значения в пределах технологически приемлемого диапазона.

2. Микробиологическая безопасность обеспечивается комбинированным барьерным эффектом (пастеризация 80 °C, pH, соль, хранение при 4 °C). КМАФАнМ на 180-е сутки (≈ 7 КОЕ/мл) — в 14 раз ниже предела ТР ТС 033/2013; патогены не обнаружены.

3. K-W характеризуется высокоценным нутриентным профилем: содержание белка 5,32 % при 28 ккал/100 мл, PDCAAS ≥ 0,88, полный спектр НАК включая BCAA (0,96 мкмоль/мл), благоприятное соотношение ω-6:ω-3 = 1,69:1.

4. Органолептическая приемлемость исключительно высока в день 1 (9,0/10) и сохраняется до 90 суток (8,0/10). Резкое падение к 180-м суткам (2,33/10) мотивирует разработку буферизованных рецептур, исследуемых в Главе 4.

5. K-W полностью соответствует нормативным требованиям ТР ТС 033/2013, Codex Stan 243-2003 и Регламента ЕС 1924/2006, включая критерии маркировочных заявлений «обезжиренный» и «с высоким содержанием белка».

ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЫВОРОТОЧНЫХ ВАРИАНТОВ ЖИДКОГО КУРУТА

4.1 Введение

Глава 3 настоящей диссертации установила базовые характеристики жидкого курута на водной основе (K-W) как объекта-референса, впервые охарактеризованного в международной научной литературе. Настоящая глава посвящена комплексному сравнительному анализу четырёх сывороточных вариантов продукта: курута на основе кислой сыворотки (K-AW), пермеата кислой сыворотки (K-AWP), сладкой сыворотки (K-SW) и пермеата сладкой сыворотки (K-SWP). Ключевой исследовательской гипотезой данной главы является следующее: замена воды молочной сывороткой способна одновременно улучшить пищевую ценность, физико-химическую стабильность и потребительскую приемлемость жидкого курута при обеспечении полного соответствия требованиям микробиологической безопасности в течение не менее 90 суток хранения.

Актуальность поставленной задачи определяется несколькими взаимосвязанными факторами. Во-первых, молочная промышленность генерирует значительные объёмы побочной сыворотки: по различным оценкам, при производстве 1 кг сыра образуется около 9 л сыворотки, а при производстве 1 кг свежего творога — 6–7 л кислой сыворотки [2]. На глобальном уровне ежегодный объём образующейся сыворотки превышает 200 млн тонн, из которых значительная часть до сих пор сбрасывается в виде отхода, причиняя существенный экологический ущерб [3]. Во-вторых, сыворотка содержит около 50–55 % сухих веществ молока, включая высококачественные белки (β-лактоглобулин, α-лактальбумин, иммуноглобулины, лактоферрин), лактозу, минеральные вещества и витамины группы B, что делает её вторичным сырьём с высоким нутриентным потенциалом [4]. Использование сыворотки в составе

традиционных молочных продуктов соответствует принципам циркулярной экономики и позволяет создавать продукты с добавленной стоимостью [5].

Согласно принципам циркулярной экономики, применение отходов молочного производства в качестве функциональных ингредиентов несёт двойную выгоду: экологическую (снижение органической нагрузки на стоки и объёма пищевых отходов) и экономическую (создание нового продукта с добавленной ценностью из сырья, имеющего крайне низкую или нулевую себестоимость для переработчика) [5, 6]. В контексте реалий Кыргызской Республики, где молочная переработка развивается при ограниченных инфраструктурных возможностях, данный подход имеет особую прикладную ценность.

В настоящей главе последовательно рассматриваются: проксимальный нутриентный состав (раздел 4.2); аминокислотный профиль с детальным анализом влияния сывороточных белков (раздел 4.3); жирнокислотный состав и расчётные индексы липидного качества (раздел 4.4); цветовые и физико-химические характеристики, включая динамику pH при хранении (раздел 4.5); микробиологический профиль в течение 180-суточного периода хранения (раздел 4.6); сенсорный профиль и потребительская приемлемость (раздел 4.7); сводная сравнительная оценка вариантов (раздел 4.8); обсуждение результатов (раздел 4.9) и выводы по главе (раздел 4.10). Все данные получены в рамках единого экспериментального дизайна, подробно описанного в Главе 2, что обеспечивает их полную сопоставимость. Результаты, представленные в настоящей главе, опубликованы в рецензируемом международном журнале LWT — Food Science and Technology [1].

4.2 Нутриентный (проксимальный) состав

4.2.1 Содержание сухих веществ

Содержание сухого вещества является интегральным показателем пищевой плотности продукта и непосредственно определяет его энергетическую ценность. Экспериментальные данные, представленные в таблице 4.1, демонстрируют статистически значимые различия между всеми вариантами ($p \leq 0,05$). Водная основа K-W обеспечивает минимальное содержание сухого вещества — 7,48 ± 0,07 г/100 г, — определяемое исключительно нутриентами самого порошка курута. Замена воды молочной сывороткой вносит дополнительный вклад сухого вещества в суспензию: кислая сыворотка (K-AW) содержит 6,39 г/100 г сухих веществ, сладкая сыворотка (K-SW) — 6,95 г/100 г [1].

Наиболее высокое содержание сухого вещества достигается в K-SW (16,72 ± 0,04 г/100 г), что в 2,24 раза превышает значение для K-W. Данный результат имеет принципиальное значение для функционального позиционирования продукта: сладкая сыворотка привносит не только белки, но и значительное количество лактозы (до 4,8–5,0 г/100 г), что существенно изменяет нутриентный профиль. Образцы на основе пермеатов (K-AWP и K-SWP) занимают промежуточное положение: пермеат в процессе ультрафильтрации обедняется белком, однако сохраняет лактозу и минеральные вещества. Таким образом, сухое вещество пермеатов незначительно ниже, чем у нативных сывороток.

Таблица 4.1 — Проксимальный состав вариантов жидкого курута

Показатель	K-W	K-AW	K-AWP	K-SW	K-SWP
Сухое вещество (г/100 г)	7,48 ± 0,07[a]	13,70 ± 0,02[b]	12,42 ± 0,04[c]	16,72 ± 0,04[d]	13,39 ± 0,03[e]
Жиры (г/100 г)	0,30 ± 0,02[a]	0,70 ± 0,02[b]	0,51 ± 0,03[c]	0,70 ± 0,03[b]	0,46 ± 0,03[c]

Белок (г/100 г)	5,32 ± 0,02[a]	5,74 ± 0,03[b]	5,42 ± 0,01[c]	6,14 ± 0,03[d]	5,40 ± 0,02[c]
Зола (г/100 г)	0,95 ± 0,02[a]	1,52 ± 0,02[b]	1,55 ± 0,02[bc]	1,64 ± 0,07[cd]	1,65 ± 0,03[d]
Углеводы (г/100 г)	0,92 ± 0,09[a]	5,75 ± 0,03[b]	4,94 ± 0,02[c]	8,24 ± 0,03[d]	5,89 ± 0,02[e]
Энергетическая ценность (ккал/100 г)	28,0 ± 0,1[a]	51,93 ± 0,06[b]	46,0 ± 0,1[c]	64,0 ± 0,1[d]	49,0 ± 0,1[e]
Примечание: Различные надстрочные буквы в строке указывают на статистически значимые различия между образцами ($p \leq 0,05$, критерий Тьюки). Источник: [1]. Методы: ISO 8968 (белок), ISO 1735 (жир), ISO 5534 (влага), ISO 22662 (лактоза).					

4.2.2 Содержание белков

Белковый состав является ключевым нутриентным параметром жидкого курута, определяющим его функциональную ценность. В K-W белок представлен преимущественно казеиновыми фракциями (αS1-, β- и κ-казеин) из порошка курута в концентрации 5,32 ± 0,02 г/100 г. Добавление сывороточного белка в варианты K-AW и K-SW изменяет белковый профиль продукта: сыворотка вносит α-лактальбумин, β-лактоглобулин, сывороточный альбумин и иммуноглобулины [7].

Статистически значимое увеличение содержания белка зафиксировано в K-AW (5,74 ± 0,03 г/100 г) и K-SW (6,14 ± 0,03 г/100 г) по сравнению с K-W ($p \leq 0,05$). Вариант K-SW с наибольшим содержанием белка (6,14 г/100 г) обладает значительным преимуществом: при использовании 250 мл (одна порция) потребитель получает 15,35 г белка, что составляет более 30 % от суточной потребности взрослого человека по нормам ВОЗ [8]. Следует подчеркнуть, что белки молочной сыворотки обладают высочайшей биологической ценностью (BV ~104) и превосходят казеин по скорости усвоения и аминокислотному скору (PDCAAS = 1,0 для сывороточных изолятов) [9]. Сочетание «медленного»

казеинового белка из порошка курута с «быстрыми» сывороточными белками создаёт синергетический эффект с пролонгированным аминокислотным профилем в крови — характеристику, высоко ценимую в спортивном и клиническом питании.

Сывороточные белки при содержании 0,42–0,95 г/100 г в исходных сыворотках (таблица сырья, Глава 2) вносят относительно небольшой абсолютный прирост (+0,42 г/100 г для K-SW), однако качественное изменение белкового профиля существенно превосходит количественный аспект. Сывороточный α-лактальбумин содержит в своей структуре все незаменимые аминокислоты в соотношениях, близких к идеальному референсному белку ФАО/ВОЗ [8]. β-Лактоглобулин, связывая гидрофобные лиганды (ретиноиды, жирные кислоты), потенциально улучшает биодоступность жирорастворимых нутриентов [7]. Эти нюансы рассмотрены подробнее в разделе 4.3.

4.2.3 Жиры и жирнокислотный потенциал

Содержание жира в сывороточных вариантах возрастает: K-AW и K-SW содержат по 0,70 ± 0,03 г/100 г, что в 2,3 раза превышает K-W (0,30 г/100 г). Несмотря на кажущуюся незначительность абсолютных значений, данное увеличение имеет качественное значение: вместе с дополнительным жиром в продукт поступают жирнокислотные компоненты сывороточного происхождения, отличающиеся от жирнокислотного профиля порошка курута (подробный анализ в разделе 4.4).

4.2.4 Зола и минеральная нагрузка

Содержание золы в сывороточных вариантах достоверно превышает значение K-W (0,95 ± 0,02 г/100 г): K-AW — 1,52 ± 0,02 г/100 г, K-AWP — 1,55 ± 0,02 г/100 г, K-SW — 1,64 ± 0,07 г/100 г, K-SWP — 1,65 ± 0,03 г/100 г. Данная закономерность объясняется высоким содержанием минеральных веществ в

молочной сыворотке: кальций, фосфор, магний, калий, натрий и цинк [10]. Наиболее выраженный прирост минеральной нагрузки характерен для пермеатов (K-AWP и K-SWP), поскольку в процессе ультрафильтрации белки преимущественно задерживаются в ретентате, тогда как минеральные соли — в пермеате. Таким образом, пермеаты представляют собой сконцентрированный источник минеральных веществ при сниженном содержании белка по сравнению с нативными сыворотками. Это имеет практическое значение для потребителей с повышенными потребностями в кальции и магнии (дети, пожилые, беременные).

4.2.5 Углеводы и энергетическая ценность

Наиболее значительный нутриентный прирост в сывороточных вариантах обусловлен углеводной фракцией — преимущественно лактозой. Если в K-W содержание углеводов составляет лишь 0,92 ± 0,09 г/100 г (остаточная лактоза из порошка курута после ферментации и прессования), то в K-SW этот показатель возрастает до 8,24 ± 0,03 г/100 г — в 9 раз выше. Данное увеличение определяет кардинальное изменение сенсорного профиля K-SW, придавая ему выраженную сладость.

Энергетическая ценность вариантов закономерно отражает суммарный прирост нутриентов: K-W — 28,0 ккал/100 г; K-AW — 51,93 ккал/100 г; K-AWP — 46,0 ккал/100 г; K-SW — 64,0 ккал/100 г; K-SWP — 49,0 ккал/100 г. Наиболее высококалорийный вариант K-SW тем не менее остаётся в категории низкокалорийных напитков (< 65 ккал/100 мл) согласно Регламенту ЕС 1924/2006 [11]. При этом K-SW предоставляет существенно более высокий нутриентный пакет, чем K-W, при умеренном приросте калорийности. Соотношение белок/калория для K-SW составляет 0,096 г/ккал, что по-прежнему сопоставимо с показателем K-W (0,190 г/ккал) и многократно превышает значения для большинства коммерческих молочных напитков (кефир: 0,054 г/ккал; питьевой йогурт: 0,040–0,055 г/ккал).

4.3 Аминокислотный профиль и качество белка

4.3.1 Полный аминокислотный состав сывороточных вариантов

Аминокислотный профиль определяет биологическую ценность белка и его физиологическую эффективность. Полный профиль семнадцати аминокислот, идентифицированных методом ВЭЖХ с ОФА/FMOC-дериватизацией (ISO 13903), представлен в таблице 4.2. Данные сгруппированы по классификации ФАО/ВОЗ [8]: незаменимые (НАК), условно-незаменимые (УЗНАК) и заменимые аминокислоты (ЗАК).

Таблица 4.2 — Аминокислотный состав вариантов жидкого курута

Аминокислота	**Группа**	**K-W**	**K-AW**	**K-AWP**	**K-SW**	**K-SWP**
НЕЗАМЕНИМЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ (НАК)						
Гистидин (His)	НАК	0,09 ± 0,02[a]	0,10 ± 0,02[a]	0,07 ± 0,01[a]	0,07 ± 0,03[a]	0,07 ± 0,00[a]
Треонин (Thr)	НАК	0,24 ± 0,00[a]	0,26 ± 0,01[ac]	0,22 ± 0,01[ab]	0,26 ± 0,01[ac]	0,21 ± 0,01[b]
Валин (Val) *	НАК/ВСАА	0,25 ± 0,01[a]	0,27 ± 0,01[a]	0,25 ± 0,03[a]	0,28 ± 0,02[a]	0,23 ± 0,02[a]
Метионин (Met)	НАК	0,17 ± 0,03[a]	0,21 ± 0,04[a]	0,19 ± 0,03[a]	0,22 ± 0,04[a]	0,22 ± 0,04[a]
Фенилаланин (Phe)	НАК	0,24 ± 0,01[a]	0,27 ± 0,02[a]	0,24 ± 0,01[a]	0,24 ± 0,01[a]	0,21 ± 0,00[b]
Изолейцин (Ile)	НАК/ВСАА	0,24 ± 0,03[a]	0,27 ± 0,01[ab]	0,24 ± 0,02[a]	0,30 ± 0,01[b]	0,23 ± 0,03[a]
Лейцин (Leu)	НАК/ВСАА	0,47 ± 0,04[a]	0,54 ± 0,01[b]	0,49 ± 0,02[ab]	0,55 ± 0,02[b]	0,45 ± 0,02[a]
Лизин (Lys)	НАК	0,31 ± 0,01[a]	0,43 ± 0,02[b]	0,35 ± 0,01[ab]	0,37 ± 0,06[ab]	0,31 ± 0,01[a]

∑ НАК (His+Thr+Val+ Met+Phe+Ile+ Leu+Lys)	—	2,01	2,35	2,05	2,29	1,93
∑ BCAA (Val+Ile+Leu)	—	0,96	1,08	0,98	1,13	0,91
УСЛОВНО-НЕЗАМЕНИМЫЕ (УЗНАК)						
Аргинин (Arg)	УЗНАК	0,18 ± 0,00[a]	0,19 ± 0,00[a]	0,19 ± 0,02[a]	0,19 ± 0,01[a]	0,15 ± 0,02[b]
Глицин (Gly)	УЗНАК	0,09 ± 0,00[a]	0,10 ± 0,00[ab]	0,09 ± 0,01[a]	0,10 ± 0,01[a]	0,08 ± 0,00[ac]
Тирозин (Tyr)	УЗНАК	0,26 ± 0,01[a]	0,27 ± 0,01[a]	0,25 ± 0,01[ab]	0,26 ± 0,01[a]	0,22 ± 0,01[b]
Цистеин (Cys)	УЗНАК	0,08 ± 0,03[a]	0,09 ± 0,04[a]	0,09 ± 0,02[a]	0,09 ± 0,03[a]	0,09 ± 0,05[a]
Пролин (Pro)	УЗНАК	0,21 ± 0,09[a]	0,23 ± 0,01[a]	0,23 ± 0,06[a]	0,27 ± 0,07[a]	0,24 ± 0,05[a]
ЗАМЕНИМЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ (ЗАК)						
Аспарагиновая к-та (Asp)	ЗАК	0,45 ± 0,02[a]	0,52 ± 0,03[b]	0,43 ± 0,02[ac]	0,51 ± 0,01[b]	0,40 ± 0,01[c]
Глутаминовая к-та (Glu)	ЗАК	1,15 ± 0,03[a]	1,23 ± 0,03[a]	1,09 ± 0,05[ab]	1,23 ± 0,03[a]	1,05 ± 0,01[b]
Серин (Ser)	ЗАК	0,28 ± 0,01[a]	0,31 ± 0,00[b]	0,28 ± 0,01[a]	0,31 ± 0,01[b]	0,26 ± 0,00[a]
Аланин (Ala)	ЗАК	0,17 ± 0,00[a]	0,20 ± 0,00[b]	0,17 ± 0,01[ac]	0,20 ± 0,01[b]	0,16 ± 0,00[c]

*Примечание: Различные надстрочные буквы в строке — статистически значимые различия ($p \leq 0,05$). * Лимитирующая АК в казеиновом белке. Источник: [1]. Метод: ВЭЖХ с ОФА/FMOC-дериватизацией (ISO 13903).*

4.3.2 Влияние молочной сыворотки на незаменимые аминокислоты

Добавление молочной сыворотки достоверно изменяет концентрацию ряда незаменимых аминокислот. Наиболее выраженные и статистически значимые изменения зафиксированы по следующим показателям. Лейцин: уровень в K-AW (0,54 ± 0,01 мкмоль/мл) и K-SW (0,55 ± 0,02 мкмоль/мл) достоверно превышает значения K-W (0,47 ± 0,04 мкмоль/мл; $p \leq 0,05$). Лизин: значительное увеличение наблюдалось в K-AW (0,43 ± 0,02 мкмоль/мл против 0,31 ± 0,01 мкмоль/мл в K-W; $p \leq 0,05$). Изолейцин: достоверно выше в K-SW (0,30 ± 0,01 мкмоль/мл против 0,24 ± 0,03 мкмоль/мл в K-W; $p \leq 0,05$).

Лизин заслуживает особого внимания с позиций общественного здравоохранения. Согласно данным ФАО/ВОЗ, лизин является лимитирующей аминокислотой в рационе большинства населения развивающихся стран, питающегося преимущественно злаковыми продуктами [8, 12]. Повышение содержания лизина в K-AW по сравнению с K-W на 38,7 % имеет прямое практическое значение для повышения пищевой ценности рациона населения Кыргызстана. Сывороточные белки, в особенности α-лактальбумин и β-лактоглобулин, являются одними из наиболее богатых лизином молочных белков [9]. Их внесение с кислой сывороткой обусловливает достоверный прирост этой аминокислоты именно в K-AW, тогда как в K-SW с преобладанием лактозы увеличение менее выражено.

Аспарагиновая кислота достоверно выше в K-AW (0,52 ± 0,03 мкмоль/мл) и K-SW (0,51 ± 0,01 мкмоль/мл) по сравнению с K-W (0,45 ± 0,02 мкмоль/мл) и K-SWP (0,40 ± 0,01 мкмоль/мл; $p \leq 0,05$). Аспартат выполняет функцию нейромедиаторного предшественника (участвует в цикле мочевины) и является компонентом цикла Кребса, стимулируя синтез АТФ при высоких метаболических нагрузках. Серин и аланин также достоверно выше в K-AW и K-SW ($p \leq 0,05$), что отражает их содержание в сывороточных белках.

4.3.3 Аминокислоты с разветвлённой цепью (BCAA) и функциональное значение

Аминокислоты с разветвлённой цепью (лейцин, изолейцин, валин; BCAA) занимают особое место в функциональной оценке белка. Их метаболические роли включают: активацию сигнального пути mTORC1–S6K1, контролирующего синтез мышечного белка (прежде всего лейцин) [13]; участие в гомеостазе глюкозы (валин, изолейцин); нейропротекторное действие через прекурсорный синтез нейромедиаторов. Суммарное содержание BCAA в K-SW составляет 1,13 мкмоль/мл (Leu 0,55 + Ile 0,30 + Val 0,28), что на 17,7 % превышает значение K-W (0,96 мкмоль/мл). Аналогичный прирост наблюдается в K-AW (1,08 мкмоль/мл, +12,5 % к K-W).

В многочисленных клинических испытаниях показано, что синергетическое действие сывороточного белка (быстро усваиваемый источник BCAA) с казеином (медленный белок) обеспечивает наиболее благоприятный аминокислотный ответ: быстрый пик лейцинемии стимулирует mTOR, тогда как длительный аминоацидемический «хвост» казеина поддерживает анаболический фон на протяжении 5–7 часов после приёма [14]. Таким образом, смешанный белковый профиль вариантов K-AW и K-SW представляет собой не просто суммацию компонентов, но качественно новый нутриент с потенциальными преимуществами для применения в спортивном, геронтологическом и восстановительном питании.

Условно-незаменимые и заменимые аминокислоты (глицин, аргинин, тирозин, цистеин, пролин, аспартат, глутамат, серин, аланин) в большинстве случаев не демонстрируют статистически значимых различий между вариантами, за исключением указанных выше. Глутаминовая кислота остаётся наиболее представленной аминокислотой во всех вариантах (1,05–1,23 мкмоль/мл), что закономерно для казеинового белка: казеины содержат до 20 % остатков глутамина/глутамата в первичной структуре. Относительно более низкие значения в K-SWP по ряду аминокислот (лизин, фенилаланин, лейцин,

тирозин, аргинин; $p \leq 0,05$) объясняются тем, что пермеат сладкой сыворотки практически лишён белка (0,50 г/100 г), и не вносит дополнительных аминокислот сверх базового вклада порошка курута.

4.4 Жирнокислотный состав и индексы липидного качества

4.4.1 Общая характеристика жирнокислотного состава

Жирнокислотный состав пяти вариантов жидкого курута представлен в таблице 4.3. Идентифицировано 28–29 жирных кислот в диапазоне C4–C24, что является типичным для молочного жира жвачных животных. Доминирующие кислоты — пальмитиновая (C16:0), цис-олеиновая (C18:1), стеариновая (C18:0) и миристиновая (C14:0) — соответствуют общепринятым данным для коровьего молока [15]. Среди исследованных вариантов обнаружены значительные различия в жирнокислотном составе, прежде всего обусловленные происхождением сыворотки.

Таблица 4.3 — Жирнокислотный состав вариантов жидкого курута

Жирная кислота	K-W	K-AW	K-AWP	K-SW	K-SWP
НАСЫЩЕННЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ (НЖК / SFA)					
Масляная C4:0	3,16 ± 0,09[a]	3,15 ± 0,21[a]	3,15 ± 0,25[a]	1,42 ± 0,17[b]	2,67 ± 0,11[c]
Капроновая C6:0	1,86 ± 0,02[a]	1,82 ± 0,07[a]	1,78 ± 0,04[a]	0,90 ± 0,10[b]	1,86 ± 0,04[a]
Каприловая C8:0	0,92 ± 0,01[a]	0,93 ± 0,02[a]	0,88 ± 0,04[a]	0,41 ± 0,05[b]	0,92 ± 0,03[a]
Каприновая C10:0	2,03 ± 0,02[a]	2,26 ± 0,10[b]	2,08 ± 0,03[a]	0,96 ± 0,04[c]	2,01 ± 0,04[a]
Лауриновая C12:0	2,53 ± 0,04[a]	2,85 ± 0,02[b]	2,59 ± 0,01[a]	1,37 ± 0,03[c]	2,54 ± 0,03[a]

Миристиновая C14:0	10,67 ± 0,12[a]	10,82 ± 0,03[ab]	10,83 ± 0,02[ab]	6,16 ± 0,04[c]	10,62 ± 0,03[a]
Пальмитиновая C16:0	29,54 ± 0,15[a]	31,73 ± 0,11[b]	29,89 ± 0,01[c]	36,24 ± 0,02[d]	29,45 ± 0,04[a]
Стеариновая C18:0	10,70 ± 0,05[a]	10,79 ± 0,06[ab]	10,81 ± 0,01[b]	8,35 ± 0,01[c]	10,82 ± 0,02[b]
Прочие НЖК	4,68	4,12	5,09	3,47	3,02
∑ НЖК	66,13 ± 0,34[a]	67,68 ± 0,14[b]	66,46 ± 0,11[a]	58,28 ± 0,13[c]	63,92 ± 0,03[d]
МОНОНЕНАСЫЩЕННЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ (МНЖК / MUFA)					
Миристолеиновая C14:1	1,00 ± 0,01[a]	0,93 ± 0,01[b]	1,00 ± 0,01[a]	0,50 ± 0,01[c]	0,98 ± 0,01[a]
Пальмитолеиновая C16:1	2,11 ± 0,07[a]	2,10 ± 0,01[a]	2,15 ± 0,02[a]	1,20 ± 0,01[b]	2,16 ± 0,01[a]
Транс-олеиновая C18:1 tr.	3,57 ± 0,03[a]	2,78 ± 0,00[b]	3,56 ± 0,01[a]	1,95 ± 0,01[c]	3,67 ± 0,02[d]
Цис-олеиновая C18:1	23,55 ± 0,14[a]	23,39 ± 0,16[a]	23,52 ± 0,05[a]	32,22 ± 0,13[b]	24,13 ± 0,06[c]
∑ МНЖК	27,40 ± 0,17[a]	26,75 ± 0,10[b]	27,29 ± 0,09[a]	34,29 ± 0,11[c]	27,91 ± 0,05[d]
ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ (ПНЖК / PUFA) И СВОДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ					
Линолевая C18:2 ω-6	1,64 ± 0,09[a]	2,01 ± 0,04[b]	1,59 ± 0,01[a]	4,87 ± 0,04[c]	1,57 ± 0,01[a]
α-Линоленовая C18:3 ω-3	0,86 ± 0,02[a]	0,53 ± 0,01[b]	0,78 ± 0,01[c]	0,44 ± 0,01[d]	0,89 ± 0,01[e]
∑ ПНЖК	2,69 ± 0,19[a]	2,67 ± 0,04[a]	2,52 ± 0,01[a]	5,40 ± 0,04[b]	4,28 ± 0,03[c]
∑ ω-3	1,00 ± 0,02[a]	0,66 ± 0,01[b]	0,93 ± 0,01[c]	0,53 ± 0,01[d]	1,02 ± 0,03[a]

∑ ω-6	1,69 ± 0,17[a]	2,01 ± 0,04[b]	1,59 ± 0,01[a]	4,87 ± 0,04[c]	1,57 ± 0,01[a]
∑ ω-9 (цис-олеиновая)	23,91 ± 0,17[a]	23,47 ± 0,08[b]	23,79 ± 0,06[a]	32,42 ± 0,13[c]	24,39 ± 0,05[d]
Транс-ЖК (природные)	3,77 ± 0,03[a]	2,89 ± 0,01[b]	3,73 ± 0,02[a]	2,02 ± 0,02[c]	3,88 ± 0,01[d]
Соотношение ω-6/ω-3	1,69 ± 0,14[a]	3,07 ± 0,07[b]	1,71 ± 0,02[a]	9,12 ± 0,13[c]	1,54 ± 0,04[a]
ИНДЕКСЫ КАЧЕСТВА ЛИПИДНОЙ ФРАКЦИИ					
Индекс атерогенности (IA)	2,49 ± 0,05[a]	2,65 ± 0,01[b]	2,54 ± 0,01[a]	1,57 ± 0,01[c]	2,31 ± 0,01[d]
Индекс тромбогенности (IT)	2,36 ± 0,04[a]	2,72 ± 0,00[b]	2,43 ± 0,00[c]	2,16 ± 0,01[d]	2,32 ± 0,01[a]
Гипо/гиперхолестеринемический (h/H)	0,33 ± 0,01[a]	0,32 ± 0,00[b]	0,33 ± 0,00[a]	0,32 ± 0,00[b]	0,38 ± 0,00[c]
Желательные ЖК (DFA = УЖК + C18:0)	44,56 ± 0,30[a]	43,10 ± 0,20[b]	44,35 ± 0,12[a]	50,06 ± 0,14[c]	46,89 ± 0,05[d]
Примечание: Различные надстрочные буквы в строке — статистически значимые различия (p ≤ 0,05, критерий Тьюки). IA, IT — по Ulbricht & Southgate [4]; h/H — по Santos-Silva et al. [5]. Источник: [1].					

4.4.2 Насыщенные жирные кислоты (НЖК)

Содержание суммарных НЖК варьирует от 58,28 ± 0,13 % в K-SW до 67,68 ± 0,14 % в K-AW. K-SW демонстрирует наименьшую долю НЖК среди всех вариантов ($p \leq 0,05$), что является прямым следствием жирнокислотного профиля сладкой сыворотки, получаемой при производстве сычужного сыра. Технологические и физиологические условия кормления животных, сезонность, а также процессы жиросепарации определяют различный жирнокислотный профиль кислой и сладкой сыворотки [16].

Среди отдельных НЖК наиболее значимые различия наблюдаются по пальмитиновой кислоте (C16:0): её содержание в K-SW (36,24 ± 0,02 %) достоверно выше, чем в K-W (29,54 %; $p \leq 0,05$). Это на первый взгляд парадоксальное наблюдение — увеличение атерогенной пальмитиновой кислоты в «улучшенном» варианте — объясняется значительно более высоким содержанием одновременно олеиновой (C18:1 цис-) кислоты в K-SW: 32,22 ± 0,13 % против 23,55 ± 0,14 % в K-W. Результирующий эффект на кардиометаболические индексы оказывается благоприятным, как будет показано далее. Снижение содержания короткоцепочечных кислот (C4:0–C10:0) в K-SW по сравнению с водным контролем также вносит вклад в снижение суммарных НЖК.

4.4.3 Мононенасыщенные (МНЖК) и полиненасыщенные (ПНЖК) жирные кислоты

K-SW выделяется исключительно высоким содержанием МНЖК (34,29 ± 0,11 %) по сравнению со всеми остальными вариантами (26,75–27,91 %; $p \leq 0,05$). Доминирующую роль в МНЖК-фракции K-SW играет цис-олеиновая кислота (C18:1 цис-): 32,22 % от суммы ЖК — в 1,37 раза больше, чем в K-W (23,55 %). Олеиновая кислота является основным носителем кардиопротективных свойств традиционного средиземноморского рациона [17] и включена ВОЗ в перечень рекомендуемых компонентов здорового питания. Её высокое содержание в K-SW создаёт предпосылки для позиционирования данного варианта в сегменте функциональных продуктов для поддержания сердечно-сосудистого здоровья.

По содержанию ПНЖК K-SW также занимает лидирующую позицию (5,40 ± 0,04 %), вдвое превышая значение K-W (2,69 %; $p \leq 0,05$). Наиболее выражен прирост линолевой кислоты (C18:2 ω-6): с 1,64 % в K-W до 4,87 % в K-SW ($p \leq 0,05$). Вместе с тем следует обратить внимание на нарастание соотношения ω-6/ω-3 в K-SW до значения 9,12 — значительно хуже рекомендованного ВОЗ/ФАО диапазона 4:1–6:1 [18]. Варианты K-W, K-AWP и K-SWP сохраняют существенно

более благоприятное соотношение ω-6/ω-3 (1,54–1,71), что с точки зрения противовоспалительного потенциала делает их предпочтительными для регулярного потребления.

K-SWP занимает промежуточное положение: МНЖК 27,91 ± 0,05 % несколько выше K-W, ПНЖК 4,28 ± 0,03 % — ниже K-SW, соотношение ω-6/ω-3 = 1,54 — наилучшее среди всех вариантов ($p \leq 0,05$). Данный профиль делает K-SWP потенциально интересным как компромиссный вариант между пищевой ценностью и жирнокислотным балансом.

4.4.4 Индексы качества липидной фракции

Расчётные индексы качества липидной фракции (IA, IT, h/H, DFA) позволяют интегрально оценить кардиометаболические характеристики продукта безотносительно к абсолютному содержанию жира [4, 5].

Индекс атерогенности (IA) отражает соотношение суммарного атерогенного потенциала НЖК к защитному потенциалу НЖК+ПНЖК. Наименьший IA зафиксирован в K-SW (1,57 ± 0,01) — значительно ниже, чем в K-AW (2,65 ± 0,01; $p \leq 0,05$). Данное снижение обусловлено одновременным уменьшением IA-формирующих НЖК (прежде всего миристиновой C14:0: с 10,67 % в K-W до 6,16 % в K-SW) и резким ростом знаменателя формулы за счёт высокого МНЖК (34,29 %) и ПНЖК (5,40 %) в K-SW. IA K-SWP (2,31) занимает второе место среди наиболее благоприятных вариантов. Для сравнения: референсные значения IA для молочных продуктов обычно составляют 2,0–3,5 [16]; K-SW с IA = 1,57 приближается к уровню растительных масел с высоким содержанием олеиновой кислоты (оливковое масло: IA ≈ 0,2–0,5).

Индекс тромбогенности (IT) демонстрирует аналогичную тенденцию: наименьший IT в K-SW (2,16 ± 0,01), наибольший — в K-AW (2,72; $p \leq 0,05$). Гипо/гиперхолестеринемический коэффициент (h/H): оптимальное значение (0,38 ± 0,00) достигается в K-SWP, что превышает значения K-AW (0,32) и K-SW (0,32; $p \leq 0,05$). Высокий h/H отражает более благоприятное соотношение

жирных кислот, снижающих LDL-холестерин (C18:1 + ПНЖК) к кислотам, повышающим его (C14:0 + C16:0). Показатель DFA (желательные жирные кислоты = ненасыщенные + C18:0) также наивысший в K-SW (50,06 % против 44,56 % в K-W), поскольку стеариновая кислота метаболически нейтральна в отношении LDL-холестерина [15].

Природные транс-жирные кислоты (CLA-изомеры и вакценовая кислота) присутствуют во всех вариантах на уровне 2,02–3,88 %, что соответствует типичным значениям для коровьего молочного жира [19]. Данные транс-изомеры принципиально отличаются от промышленных трансжиров: конъюгированная линолевая кислота (CLA) обладает доказанными антипролиферативными и антиатерогенными свойствами [20] и не ассоциируется с повышенным сердечно-сосудистым риском.

4.5 Физико-химические свойства

4.5.1 Цветовой профиль (CIELAB)

Цвет является первичным сенсорным сигналом, определяющим потребительское восприятие ещё до дегустации. Цветовой профиль по системе CIELAB (ISO 22935-2) представлен в таблице 4.4. Анализ результатов выявляет как сходства, так и значимые различия между вариантами.

Таблица 4.4 — Цветовой профиль CIELAB и стабильность цвета при хранении

Параметр	K-W	K-AW	K-AWP	K-SW	K-SWP
L* (светлота)	45,94 ± 1,04[a]	45,95 ± 1,03[a]	46,30 ± 1,31[a]	48,24 ± 0,89[a]	46,86 ± 0,23[a]
a* (красно-зелёная)	0,31 ± 0,05[a]	0,22 ± 0,03[a]	0,36 ± 0,14[a]	0,22 ± 0,06[a]	0,30 ± 0,05[a]
b* (жёлто-синяя)	5,23 ± 0,08[a]	6,64 ± 0,08[b]	5,72 ± 0,10[c]	7,26 ± 0,08[d]	8,52 ± 0,24[e]

C* (насыщенность)	5,23 ± 0,09[a]	6,64 ± 0,08[b]	5,73 ± 0,11[c]	7,27 ± 0,08[d]	8,52 ± 0,24[e]
h° (угол тона)	87,30 ± 1,60[a]	88,65 ± 1,01[a]	86,79 ± 1,86[a]	88,27 ± 0,43[a]	88,53 ± 0,19[a]
ΔE* на 90-е сутки	3,51 ± 0,51	3,20 ± 0,82	3,32 ± 0,70	3,31 ± 1,07	2,74 ± 1,97
ΔE* на 180-е сутки	3,36 ± 0,18	3,70 ± 0,75	2,77 ± 1,06	3,16 ± 1,19	3,41 ± 2,09
Примечание: Различные надстрочные буквы — значимые различия по параметру b и C* ($p \leq 0,05$). Параметры L*, a*, h° — различия незначимы. Источник: [1]. Метод: колориметр PCE-CSM5 (ISO 22935-2).*					

Светлота (L*): все варианты характеризуются сопоставимым уровнем светлоты (45,94–48,24; $p > 0,05$). Отсутствие значимых различий по L* объясняется доминирующим вкладом белой непрозрачной матрицы порошка курута: высокое содержание казеиновых мицелл (концентрация 5,32–6,14 г/100 г) обеспечивает интенсивное рассеяние видимого света независимо от типа жидкой основы. Это технологически важно: белизна является критерием качества для большинства молочных напитков в Центральной Азии.

Желто-синяя составляющая (b*): наиболее значимые различия зафиксированы именно по этому параметру. b* возрастает от 5,23 в K-W до 8,52 в K-SWP ($p \leq 0,05$). Данная тенденция отражает пожелтение, характерное для нативной сыворотки (прежде всего за счёт рибофлавина, придающего ей зеленовато-жёлтый оттенок). Тем не менее высокое содержание белой казеиновой матрицы из порошка курута эффективно маскирует этот эффект: несмотря на статистическую значимость различий, визуально все варианты воспринимаются как «молочно-белые» ($b^* < 9$ при $L^* \approx 46–48$ практически не воспринимается как «жёлтый» оттенок). Насыщенность (C*) повторяет динамику b*, являясь функционально зависимым параметром.

Стабильность цвета при хранении (ΔE*): все варианты демонстрируют $\Delta E^* < 5,0$ как на 90-е, так и на 180-е сутки, что соответствует критерию «незаметного изменения» по классификации CIE [21]. Наименьшие значения

ΔE* зафиксированы для K-SWP (2,74 на 90 сутки; 3,41 на 180 сутки), что свидетельствует о высокой цветовой стабильности данного варианта. Термическая обработка (80 °C, 20 мин), герметичная упаковка и хранение в темноте при 4 °C предотвращают деградацию цвета вследствие реакций Майяра и фотоокисления [22]. Таким образом, все варианты сохраняют товарную привлекательность на протяжении всего срока хранения.

4.5.2 Динамика pH при хранении

Показатель активной кислотности является ключевым фактором стабильности, безопасности и органолептических свойств кисломолочных напитков. Динамика pH всех пяти вариантов при хранении при 4 °C представлена в таблице 4.5.

Таблица 4.5 — Динамика pH при хранении при 4 °C

Срок хранения	K-W	K-AW	K-AWP	K-SW	K-SWP	Тенденция K-W
День 1	3,95 ± 0,10Aa	3,15 ± 0,04Ab	3,54 ± 0,03Ac	3,60 ± 0,15Ac	3,70 ± 0,18Ac	Наиболее низкая кислотность
День 90	3,70 ± 0,01Ba	3,95 ± 0,01Bb	3,84 ± 0,01Bc	4,11 ± 0,01Bd	4,63 ± 0,01Be	Снижение pH
День 180	3,60 ± 0,01Ba	3,86 ± 0,01Cb	3,74 ± 0,01Cc	4,03 ± 0,01Bd	4,52 ± 0,01Be	Стабилизация
Примечание: Заглавные буквы — значимые различия между сроками хранения (столбец); строчные — различия между образцами в одну дату (строка). $p \leq 0,05$, критерий Тьюки. Источник: [1].						

В начальный момент (день 1) диапазон pH варьирует от 3,15 (K-AW) до 3,95 (K-W). Наиболее низкий pH кислой сыворотки (исходный pH 4,3–4,6) при смешивании с порошком курута (pH ≈ 4,2–4,5) закономерно обусловливает наибольшую начальную кислотность K-AW. Сладкая сыворотка (исходный pH

6,0–6,5) при разведении с кислым порошком курута даёт промежуточное значение.

В период хранения динамика pH различных вариантов существенно различается, что имеет принципиальное значение для оценки технологической стабильности. K-W демонстрирует монотонное снижение pH (3,95 → 3,70 → 3,60), обусловленное неферментативными химическими реакциями в условиях отсутствия живой микрофлоры: остаточная активность лактазы, реакции Майяра, медленный гидролиз казеиновых фосфопептидов. Кислосывороточные варианты (K-AW и K-AWP) демонстрируют курволинейное поведение: первоначальное повышение pH к 90-м суткам (K-AW: 3,15 → 3,95; K-AWP: 3,54 → 3,84; $p \leq 0,05$) с последующим умеренным снижением к 180-м суткам. Этот «рост pH» является следствием буферных свойств сывороточных белков при нейтрализации кислоты в ходе денатурации и неферментативного протеолиза.

Варианты на основе сладкой сыворотки (K-SW и K-SWP) характеризуются последовательным ростом pH в течение всего периода хранения: K-SWP 3,70 → 4,63 → 4,52, K-SW 3,60 → 4,11 → 4,03. На 180-е сутки K-SWP демонстрирует наиболее высокий pH (4,52), что соответствует мягко-кислому вкусовому профилю. Примечательно, что буферный потенциал сладкой сыворотки оказывается достаточным для стабилизации кислотности напитка вблизи pH 4,0–4,5 — диапазона, комфортного для широкой потребительской аудитории. С точки зрения микробиологической безопасности все варианты поддерживают pH ниже критического барьера 4,6 в течение всего срока хранения, что ингибирует рост патогенной микрофлоры [23].

4.6 Микробиологический профиль

4.6.1 Динамика общего микробного числа

Микробиологическая безопасность является абсолютным требованием для любого молочного продукта и условием выхода на рынок. Микробиологический

профиль всех вариантов в течение 180-суточного периода хранения представлен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 — Микробиологические показатели вариантов при хранении

Образец	День 1	День 90	День 180	МКБ (180 сут)	БГКП	Соответствие ТР ТС 033/2013
K-W (водная осн.)	< ПО	0,48 ± 0,00	0,84 ± 0,06	< ПО	Не обн.	✓
K-AW (кислая сыв.)	0,30 ± 0,00	0,30 ± 0,00	0,85 ± 0,00	< ПО	Не обн.	✓
K-AWP (пермеат к.с.)	0,30 ± 0,00	1,04 ± 0,40	1,14 ± 0,06	< ПО	Не обн.	✓
K-SW (сладкая сыв.)	< ПО	< ПО	1,08 ± 0,07	< ПО	Не обн.	✓
K-SWP (пермеат с.с.)	1,25 ± 0,05	1,14 ± 0,40	1,08 ± 0,07	< ПО	Не обн.	✓
Норматив (ТР ТС 033)	≤ 2,0 lg	≤ 2,0 lg	≤ 2,0 lg	—	Недоп.	—

Примечание: КМАФАнМ в lg КОЕ/мл; ПО — предел обнаружения (< 10 КОЕ/мл); МКБ — молочнокислые бактерии; БГКП — бактерии группы кишечной палочки. Дрожжи и плесени не обнаружены ни в одном образце. Источник: [1].

На 1-е сутки хранения образцы K-W и K-SW не содержат определяемой микрофлоры (КМАФАнМ < 10 КОЕ/мл). Образцы K-AW и K-AWP содержат минимальное число бактерий (lg 0,30 КОЕ/мл), что соответствует менее чем 2 КОЕ/мл. K-SWP демонстрирует несколько более высокое начальное КМАФАнМ (lg 1,25 ± 0,05 КОЕ/мл ≈ 18 КОЕ/мл), вероятно, вследствие более высокого исходного уровня лактозы и минеральных солей в пермеате сладкой сыворотки, обеспечивающих благоприятную питательную среду для выживших психротрофных бактерий после пастеризации. Тем не менее все значения

значительно ниже нормативного предела ТР ТС 033/2013 (≤ 100 КОЕ/мл ≡ lg 2,0 КОЕ/мл) [24].

К 90-м суткам незначительный рост КМАФАнМ наблюдается в K-AWP (lg 1,04 ± 0,40) и в K-W (lg 0,48 ± 0,00). К 180-м суткам все варианты демонстрируют КМАФАнМ в диапазоне lg 0,84–1,14 КОЕ/мл, что соответствует 7–14 КОЕ/мл — на один-два порядка ниже нормативного предела. Наблюдаемый медленный рост КМАФАнМ в период 90–180 суток характерен для психротрофных бактерий родов Pseudomonas и Bacillus, способных к размножению при 4 °C при pH 3,6–4,6 [23].

4.6.2 Специфические группы микроорганизмов и барьерный эффект

Во всех вариантах на всех сроках хранения не обнаружены: молочнокислые бактерии (МКБ), бактерии группы кишечной палочки (БГКП/колиформы), энтеробактерии, дрожжи, плесени. Отсутствие МКБ закономерно для непреднамеренно-неферментированного продукта: технологический процесс не предусматривает внесения живых культур. Отсутствие БГКП, дрожжей и плесеней на всех сроках хранения подтверждает надёжность применяемой схемы барьерной технологии.

Ни в одном из вариантов не выявлены патогены Listeria monocytogenes и Salmonella spp., что соответствует требованиям как ТР ТС 033/2013 [24], так и Регламента ЕС № 2073/2005 [25]. Мультибарьерная система, обеспечивающая данные результаты, включает следующие элементы: термический барьер (пастеризация 80 °C, 20 мин); кислотный барьер (pH 3,6–4,6 для всех вариантов во всё время хранения); осмотический барьер (содержание соли ~1,5 %); температурный барьер (хранение 4 °C); антибактериальный потенциал сывороточных белков — лактопероксидазная система, лактоферрин, лизоцим. Особо следует отметить роль лактоферрина сывороточного происхождения: данный белок обладает значительной антимикробной активностью [26] и может

дополнительно вносить вклад в микробиологическую стабильность сывороточных вариантов.

4.6.3 Сравнительная оценка вариантов

Сравнительный анализ динамики КМАФАнМ по вариантам показывает, что K-AW характеризуется наименьшим финальным КМАФАнМ на 180-е сутки (lg 0,85 ± 0,00) — даже ниже, чем K-W (lg 0,84). Это обстоятельство выдвигает K-AW как наиболее микробиологически стабильный сывороточный вариант. Более низкий pH K-AW в начале хранения (3,15 на день 1) создаёт дополнительный кислотный барьер, ингибирующий остаточную микрофлору. Именно этим объясняется одновременно: (а) наивысшая начальная кислотность; (б) наиболее эффективное ингибирование микроорганизмов. Варианты K-SW и K-AWP с умеренно более высоким финальным КМАФАнМ (lg ~1,14) тем не менее соответствуют нормативным требованиям с многократным запасом.

4.7 Органолептический профиль и потребительская приемлемость

4.7.1 Методология органолептической оценки

Органолептическая оценка проводилась методом количественного дескриптивного анализа (QDA) в соответствии с ISO 8586:2012 [27]. Дегустационная панель из 7 обученных экспертов оценивала 9 атрибутов по шкале интенсивности 1–10 в трёх независимых сессиях. Выбор атрибутов основывался на предварительных фокус-группах и отражает специфику органолептического профиля жидкого курута: визуальные (белизна, консистенция), обонятельные (кислый запах, сладкий запах), вкусовые (кислый вкус, сладкий вкус, солёность, сывороточный привкус, послевкусие) и общая

приемлемость. Результаты QDA приведены в таблице 4.7; общая приемлемость при хранении — на рисунке 4.1.

Таблица 4.7 — Органолептический профиль вариантов жидкого курута

Дескриптор	K-W	K-AW	K-AWP	K-SW	K-SWP
Белизна	8,70 ± 0,27[a]	8,36 ± 0,42[a]	8,50 ± 0,74[a]	7,60 ± 1,56[a]	7,90 ± 0,65[a]
Консистенция (однородность)	8,26 ± 0,81[a]	7,98 ± 0,60[a]	8,06 ± 1,14[a]	7,88 ± 1,01[a]	8,02 ± 0,79[a]
Кислый запах	7,90 ± 1,56[a]	7,70 ± 1,35[ac]	7,60 ± 1,29[ac]	4,94 ± 1,11[b]	5,30 ± 1,20[bc]
Сладкий запах	2,04 ± 0,86[a]	1,40 ± 0,96[a]	2,00 ± 1,17[a]	5,00 ± 2,15[b]	4,42 ± 0,78[b]
Кислый вкус	7,86 ± 1,06[a]	8,56 ± 1,24[a]	8,10 ± 0,96[a]	3,10 ± 1,85[b]	4,64 ± 0,88[b]
Сладкий вкус	0,90 ± 0,65[a]	0,96 ± 0,62[a]	0,72 ± 0,61[a]	5,64 ± 1,06[b]	4,50 ± 0,50[b]
Солёность	6,51 ± 0,81[a]	5,50 ± 0,96[b]	5,89 ± 0,76[b]	3,74 ± 1,61[c]	4,01 ± 1,10[c]
Сывороточный привкус	1,10 ± 1,24[a]	6,56 ± 0,94[b]	1,50 ± 0,94[a]	6,50 ± 0,79[b]	3,70 ± 1,04[c]
Послевкусие	8,30 ± 0,76[a]	7,20 ± 0,57[a]	7,80 ± 1,10[a]	4,50 ± 0,79[b]	7,50 ± 0,79[a]

Примечание: Различные надстрочные буквы в строке — статистически значимые различия ($p \leq 0,05$, критерий Тьюки). ISO 8586:2012, 3 независимые сессии. Источник: [1].

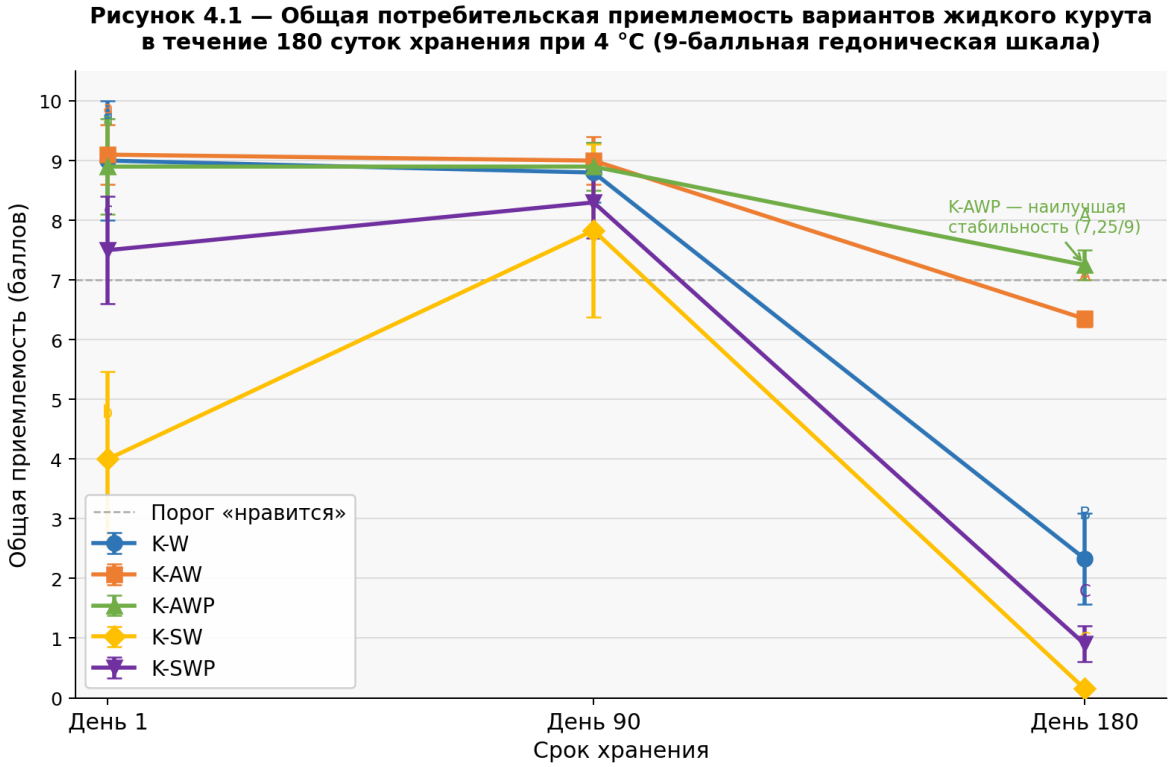

Рисунок 4.1 — Общая потребительская приемлемость вариантов жидкого курута в течение 180 суток хранения при 4 °C. Значения со значимыми различиями ($p \leq 0,05$) в пределах одного образца отмечены разными заглавными буквами; в пределах одной временно́й точки — разными строчными буквами. [Источник: [1]]

4.7.2 Органолептический профиль

Визуальные и текстурные характеристики. Белизна и консистенция не обнаруживают статистически значимых различий между вариантами ($p > 0,05$). Оценки белизны составляют 7,60–8,70 баллов, консистенции — 7,88–8,26 баллов. Данный результат согласуется с цветовым анализом CIELAB, показавшим отсутствие значимых различий по L* (светлоте): высокое содержание казеиновых мицелл эффективно нивелирует цветовые различия жидких основ. С практической точки зрения это означает, что замена воды сывороткой не ухудшает визуальное восприятие продукта — критическое преимущество для маркетингового позиционирования.

Ароматический и вкусовой профиль. Кислый запах и вкус: варианты K-AW и K-AWP демонстрируют значения кислого запаха (7,60–7,70) и кислого

вкуса (8,10–8,56), сопоставимые с K-W (кислый запах 7,90; кислый вкус 7,86; $p > 0,05$). Это означает, что применение кислой сыворотки и её пермеата сохраняет традиционный органолептический профиль жидкого курута, что критически важно для принятия продукта целевой центральноазиатской аудиторией. Как отмечают Norton et al. [28], культурные и региональные различия в потребительских предпочтениях существенно влияют на принятие кисломолочных продуктов: продукты с знакомым вкусовым профилем демонстрируют значительно более высокую приемлемость при первичном контакте.

Принципиально иную картину демонстрируют варианты K-SW и K-SWP: их кислый запах (4,94–5,30) и кислый вкус (3,10–4,64) достоверно ниже K-W ($p \leq 0,05$), тогда как сладкий запах (4,42–5,00) и сладкий вкус (4,50–5,64) многократно превышают значения водного контроля. Данная трансформация вкусовой матрицы обусловлена высоким содержанием лактозы в сладкой сыворотке (4,8–5,0 г/100 г): напиток из K-SW содержит 8,24 г/100 г углеводов против 0,92 г/100 г в K-W. Порог сладости лактозы составляет около 70 г/л [29], при этом содержание лактозы в K-SW достигает 82 г/л — уровня, превышающего порог восприятия примерно в 1,2 раза. Это объясняет выраженную сладость K-SW для неадаптированного потребителя.

Сывороточный привкус: высокие оценки зафиксированы в K-AW ($6,56 \pm 0,94$) и K-SW ($6,50 \pm 0,79$), что достоверно выше K-W ($1,10 \pm 1,24$; $p \leq 0,05$). Характерный сывороточный привкус обусловлен летучими компонентами нативной сыворотки: диметилсульфидом, 3-метилбутаналем, фурфуролом и рядом коротких жирных кислот [30]. В K-AWP и K-SWP данный привкус значительно ниже (1,50 и 3,70 соответственно): ультрафильтрационная обработка частично удаляет ответственные за него летучие компоненты. Это технологически важное наблюдение: пермеаты формируют значительно менее выраженный «сывороточный» профиль, что может быть предпочтительным для потребителей, незнакомых с исходным вкусом сыворотки.

Солёность: наиболее высокие оценки солёности в K-W (6,51 ± 0,81) против минимальных в K-SW (3,74 ± 1,61) объясняются эффектом вкусовой маскировки: сладость лактозы и более высокое буферное действие сладкой сыворотки снижают воспринимаемую солёность. Данный феномен хорошо известен в пищевой сенсорике как взаимодействие вкусовых модальностей [31]: сладкие вещества значительно снижают воспринимаемую интенсивность солёного и кислого.

Послевкусие: в K-SW зафиксировано наименьшее послевкусие (4,50 ± 0,79) при значениях 7,20–8,30 для остальных вариантов ($p \leq 0,05$). Данное наблюдение, вероятно, отражает эффект сахарной маскировки: высокое содержание лактозы в K-SW «смягчает» характерное пикантное кислое послевкусие, формируемое молочной кислотой и продуктами казеинолиза.

Сравнительный органолептический профиль всех пяти вариантов наглядно представлен на рисунке 4.2 в виде паутинной диаграммы. Диаграмма иллюстрирует дихотомию между кислосывороточными вариантами (K-AW, K-AWP), сохраняющими форму профиля, близкую к референсу K-W, и сладкосывороточными вариантами (K-SW, K-SWP), демонстрирующими кардинальное перераспределение органолептических атрибутов в пользу сладкого и в ущерб кислому вкусовому профилю.

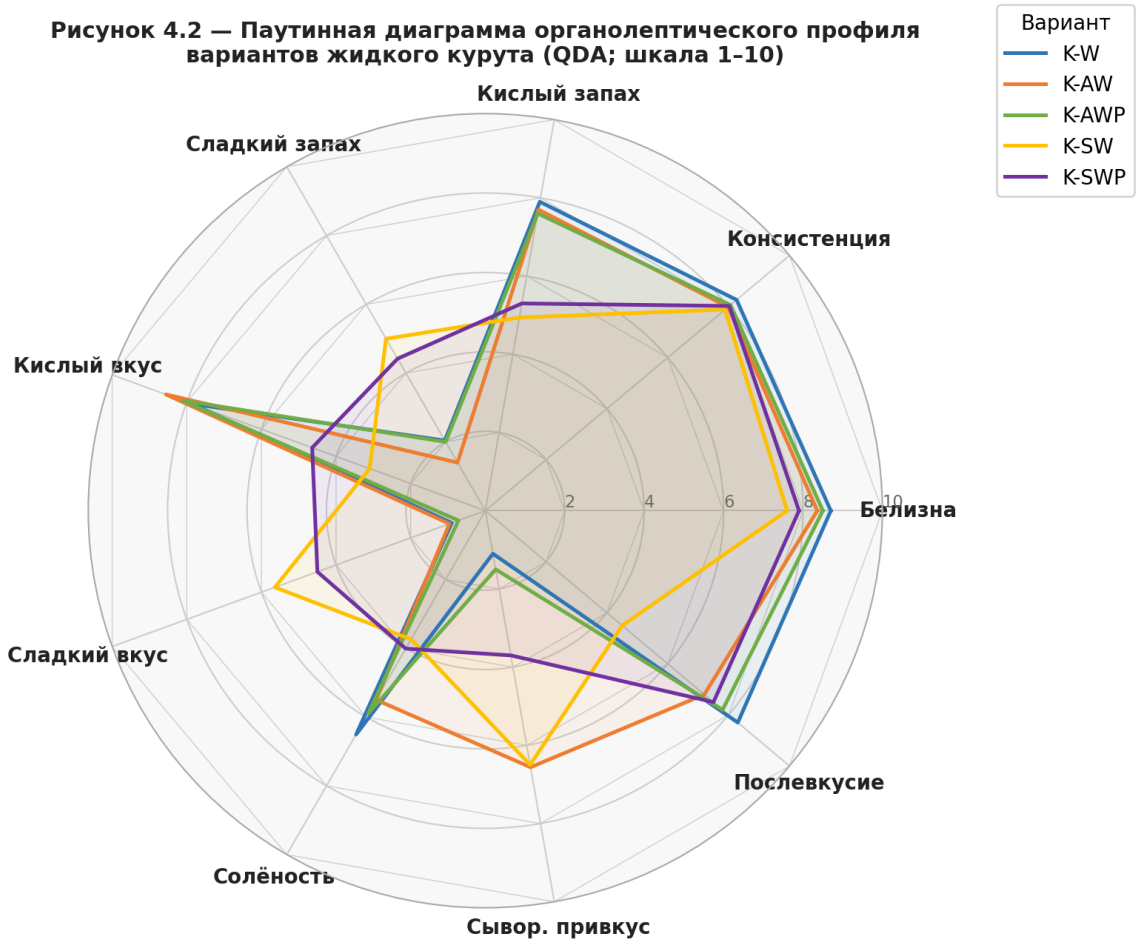

Рисунок 4.2 — Паутинная диаграмма органолептического профиля вариантов жидкого курута (QDA, 7 экспертов; шкала интенсивности 1–10). Источник: составлено автором по данным таблицы 4.7.

4.7.3 Общая потребительская приемлемость при хранении

Общая оценка приемлемости оценивалась по 10-балльной шкале на 1-е, 90-е и 180-е сутки хранения. Данные по динамике приемлемости представлены на рисунке 4.1.

В день 1 образцы K-AW и K-AWP получают оценки, сопоставимые с референсом K-W (9,0 ± 1,0): K-AW — 9,1 ± 0,5; K-AWP — 8,9 ± 0,8 ($p > 0,05$). Это принципиальный результат: замена воды кислой сывороткой и её пермеатом не снижает начальной потребительской приемлемости продукта по сравнению с традиционным водным вариантом. Варианты K-SW (4,00 ± 1,46) и K-SWP (7,50 ± 0,9) демонстрируют достоверно более низкую начальную приемлемость ($p \leq$

0,05), что обусловлено неожиданной сладостью и пониженной кислотностью, не соответствующими традиционным ожиданиям целевой аудитории.

Динамика к 90-м суткам: K-SW демонстрирует позитивную динамику (4,00 → 7,83 ± 1,45), что свидетельствует о положительном изменении вкусового профиля в ходе хранения — предположительно вследствие частичного гидролиза лактозы и снижения интенсивности сладости. K-W, K-AW, K-AWP и K-SWP сохраняют высокую стабильную приемлемость (8,0–9,0 баллов) без значимых изменений.

К 180-м суткам ситуация кардинально меняется. K-W, K-SW и K-SWP показывают резкое падение приемлемости: K-W — 2,33 ± 0,76 (с 9,0); K-SW — 0,15 ± 0,05; K-SWP — 0,90 ± 0,30. Для K-W данное снижение объясняется нарастанием кислотности (pH 3,60) и появлением атипичных вкусовых нот вследствие продолжающихся химических изменений без буферной поддержки. Критически низкая приемлемость K-SW и K-SWP к 180-м суткам связана с развитием нежелательных изменений в лактозно-богатой среде: неферментативное потемнение, карамелизация и образование продуктов деградации лактозы изменяют вкусовой профиль до неприемлемого уровня.

В принципиальном контрасте с этим, K-AW (6,35 ± 0,13) и K-AWP (7,25 ± 0,25) сохраняют высокую приемлемость на 180-е сутки ($p \leq 0,05$ по сравнению со всеми снизившимися вариантами). Данный результат является ключевым прикладным выводом настоящего исследования: кислосывороточные варианты обеспечивают не только улучшенный нутриентный профиль, но и существенно лучшую сенсорную стабильность при длительном хранении по сравнению с водным контролем. Кислотная среда сыворотки действует как природный консервант вкусового профиля, ингибируя реакции, приводящие к органолептической порче, — что, вероятно, связано с антиоксидантным действием молочной кислоты и буферной ёмкостью кислосывороточных белков.

4.8 Комплексная сравнительная оценка

4.8.1 Матрица характеристик

Для системной оценки и практической навигации по результатам исследования разработана сводная матрица сравнительных характеристик пяти вариантов жидкого курута (таблица 4.8). Матрица охватывает все ключевые аналитические аспекты и позволяет идентифицировать наиболее подходящий вариант в зависимости от целевого назначения продукта.

Таблица 4.8 — Сводная матрица сравнительных характеристик вариантов жидкого курута

Характеристика	K-W	K-AW	K-AWP	K-SW	K-SWP	Лучший вариант	Значимость для производства
Содержание белка	✦✦✦	✦✦✦✦	✦✦✦	✦✦✦✦✦	✦✦✦	K-SW	Функциональный напиток
Аминокислотный профиль	✦✦✦	✦✦✦✦	✦✦✦	✦✦✦✦✦	✦✦✦	K-SW	Пищевая ценность
Ненасыщенные ЖК (MUFA+PUFA)	✦✦✦	✦✦✦	✦✦✦	✦✦✦✦✦	✦✦✦✦	K-SW	Кардиозащита
Индекс атерогенности (↓ лучше)	✦✦✦✦	✦✦✦	✦✦✦✦	✦✦✦✦✦	✦✦✦✦✦	K-SW/K-SWP	Метаболическое здоровье
Соотношение ω-6/ω-3 (↓ лучше)	✦✦✦✦✦	✦✦✦	✦✦✦✦✦	✦	✦✦✦✦✦	K-W/K-AWP/K-SWP	Противовоспалительный потенциал
Цветовая стабильность	✦✦✦✦	✦✦✦✦	✦✦✦✦	✦✦✦✦	✦✦✦✦✦	K-SWP	Товарный вид
pH-стабильность (180 сут)	✦✦✦	✦✦✦✦	✦✦✦✦	✦✦✦✦	✦✦✦✦✦	K-SWP	Срок годности
Микробиол. безопасность	✦✦✦✦✦	✦✦✦✦✦	✦✦✦✦	✦✦✦✦✦	✦✦✦✦	K-W/K-AW/K-SW	Безопасность

Органолепт. приемлемость (д. 1)	✦✦✦✦✦	✦✦✦✦✦	✦✦✦✦✦	✦✦✦	✦✦✦✦	K-W/K-AW/K-AWP	Потребитель
Органолепт. приемлемость (д. 180)	✦✦	✦✦✦✦✦	✦✦✦✦✦	✦	✦	K-AW/K-AWP	Срок реализации
Устойчивость (использ. сыворотки)	—	✦✦✦✦✦	✦✦✦✦	✦✦✦✦✦	✦✦✦✦	K-AW/K-SW	Экология / Circul. Econ.
Примечание: ✦✦✦✦✦ — наилучший показатель; ✦ — наименее предпочтительный; — — не применимо. Сводная авторская оценка на основе экспериментальных данных [1].							

4.8.2 Профиль каждого варианта

K-W (традиционный водный вариант) представляет собой эталон вкусового профиля для целевой центральноазиатской аудитории с исключительно высокой начальной приемлемостью (9,0/10). Однако продукт демонстрирует наихудшую сенсорную стабильность при длительном хранении (2,33/10 к 180-м суткам) и минимальный нутриентный состав. С точки зрения устойчивости производства K-W не предполагает утилизации вторичного сырья и не реализует принципы циркулярной экономики.

K-AW (кислая сыворотка) является наиболее сбалансированным вариантом по совокупности показателей: сопоставимая с K-W начальная органолептика, значительный прирост лизина (+38,7 %), улучшенный аминокислотный профиль, наилучшая сенсорная стабильность при длительном хранении (6,35/10 к 180-м суткам), хорошая микробиологическая безопасность. Использование кислой сыворотки — самого «проблемного» с экологической точки зрения вторичного продукта молочной переработки — также соответствует приоритетам устойчивого развития. K-AW является рекомендуемым вариантом для промышленного производства жидкого курута с расширенным сроком годности.

K-AWP (пермеат кислой сыворотки) демонстрирует органолептический профиль, неотличимый от K-W при дегустации (сывороточный привкус — всего 1,50 ± 0,94 против 6,56 в K-AW), при этом сохраняет приемлемость к 180-м суткам (7,25/10 — наилучший показатель среди всех вариантов). Пермеат характеризуется значительным содержанием минеральных веществ и лактозы при сниженном содержании белка, что даёт умеренный нутриентный прирост. K-AWP является оптимальным вариантом для потребительских сегментов, предъявляющих высокие требования к вкусовому сходству с традиционным продуктом.

K-SW (сладкая сыворотка) характеризуется существенно отличающимся продуктовым профилем: наивысшим содержанием белка (6,14 г/100 г) и энергетической ценности (64 ккал/100 г), значительно улучшенный жирнокислотный профиль с низким AI (1,57), высоким МНЖК (34,29 %) и ПНЖК (5,40 %), что обосновывает потенциал для нишевого позиционирования в сегменте продуктов для кардиоваскулярного здоровья. Значительная лактозная сладость принципиально отличает K-SW от традиционного вкуса курута, что ограничивает его принятие в традиционных рынках, но открывает возможности в новых нишах (функциональные спортивные напитки, продукты для диетического питания). Нарастание соотношения ω-6/ω-3 до 9,12 является ограничением для регулярного потребления в отношении противовоспалительного потенциала.

K-SWP (пермеат сладкой сыворотки) наследует ряд характеристик K-SW (умеренная сладость, более высокий pH, хорошая цветовая стабильность), но при значительно более сниженном содержании белка. Уникальными свойствами K-SWP являются: наилучший h/H-коэффициент (0,38) и наилучшее соотношение ω-6/ω-3 (1,54), что делает его наиболее благоприятным с точки зрения противовоспалительного липидного профиля. Приемлемость к 180-м суткам, однако, минимальна (0,90/10), что является критическим ограничением коммерческого применения.

4.9 Обсуждение результатов

4.9.1 Инновационный характер исследования

Настоящая глава представляет первое систематическое сравнительное исследование жидкого курута на сывороточной основе в международной научной литературе. До публикации [1] ни кислосывороточные, ни сладкосывороточные варианты жидкого курута не были охарактеризованы по расширенному нутриентному, жирнокислотному, аминокислотному и сенсорному профилю в единой экспериментальной постановке. Уникальность исследования определяется как объектом (курут — продукт с крайне ограниченным научным описанием), так и инновационным технологическим подходом (использование пяти различных жидких основ, включая нативные сыворотки и пермеаты ультрафильтрации).

4.9.2 Нутриентное улучшение: механизмы и значение

Установленные закономерности изменения нутриентного состава при замене воды молочной сывороткой объясняются несколькими взаимосвязанными механизмами. Во-первых, прямой вклад нутриентов молочной сыворотки: белки (β-лактоглобулин, α-лактальбумин), лактоза, минеральные соли, витамины группы B [4]. Во-вторых, изменение физико-химического окружения (pH, ионная сила) влияет на гидратацию казеиновых мицелл и, следовательно, на их структуру и доступность для протеолитических ферментов. Пониженный pH в K-AW изменяет заряд казеиновых фосфопептидов, влияя на связывание кальция и, потенциально, на биодоступность минеральных веществ.

Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными данными Sharma [32] и Yiğit et al. [9], подтверждающими, что добавление сывороточного белка улучшает аминокислотные профили функциональных продуктов. Devries & Phillips [33] показали, что смесь казеина с сывороточными белками обеспечивает наиболее устойчивый анаболический ответ по сравнению с каждым белком по отдельности, что подтверждает функциональное

синергетическое значение смешанного белкового профиля K-AW и K-SW. В контексте Кыргызстана, где вплоть до 2023 года сохранялись умеренные показатели распространённости нарушений питания (Всемирная продовольственная программа, 2023 [34]), разработка доступных высокобелковых молочных напитков имеет конкретную социальную значимость.

4.9.3 Жирнокислотный профиль: кардиопротективный потенциал K-SW

Жирнокислотный профиль K-SW заслуживает особого внимания в контексте глобальных приоритетов общественного здравоохранения. Сердечно-сосудистые заболевания являются ведущей причиной смертности в Кыргызстане (по данным ВОЗ, 2022 [35]), и продукты с доказанным кардиопротективным жирнокислотным профилем представляют важный инструмент диетической профилактики. Наименьший AI (1,57) и IT (2,16) в K-SW соответствуют уровню, типичному для продуктов с высоким содержанием олеиновой кислоты. Djuricic & Calder [36] систематически обобщили доказательную базу кардиопротективных эффектов ω-6 и ω-3 ПНЖК, подчёркивая, что наряду с соотношением кислот принципиально важен абсолютный уровень потребления. K-SW обеспечивает суточное потребление МНЖК + ПНЖК на уровне ~0,35 г при двух порциях по 100 мл — умеренный, но дополнительный вклад в общий рацион.

Вместе с тем нарастание соотношения ω-6/ω-3 в K-SW (9,12) до уровня, превышающего рекомендуемый диапазон ВОЗ/ФАО (4:1–6:1) [18], ограничивает рекомендацию K-SW как единственного источника полиненасыщенных жирных кислот. В контексте сбалансированного рациона это не является критическим недостатком, поскольку основная масса ω-3 должна поступать из рыбных продуктов или льняного масла. Тем не менее для потребителей с ограниченным доступом к ω-3-богатым продуктам (что характерно для ряда групп населения Кыргызстана) предпочтительны варианты K-W, K-AWP или K-SWP с соотношением 1,54–1,71.

4.9.4 Сенсорные аспекты и рыночное позиционирование

Сенсорные результаты настоящего исследования демонстрируют дихотомию между нутриентными и органолептическими преимуществами. K-SW предоставляет наилучший нутриентный профиль и наиболее благоприятные кардиологические индексы, однако сталкивается с наибольшими сенсорными барьерами при выходе на традиционный рынок. Напротив, K-AW и K-AWP достигают компромисса: улучшенная пищевая ценность при сохранении органолептического профиля, близкого к традиционному.

Mirzapour-Kouhdasht et al. [37] показали, что применение технологических приёмов — энкапсуляции, флейворинга и pH-модификации — позволяет снизить интенсивность нежелательных органолептических свойств сывороточных белков. Применительно к K-SW и K-SWP это открывает перспективу добавления природных кислотообразующих компонентов (лимонной кислоты, молочной кислоты), ароматизаторов или функциональных добавок для нивелирования сладости и достижения более широкой потребительской приемлемости.

Потребительская динамика — значительный рост приемлемости K-SW к 90-м суткам (4,00 → 7,83) — может свидетельствовать о потенциале «acquired taste»: адаптированные потребители могут высоко оценить сладковатый профиль K-SW. Данная гипотеза требует проверки в рамках специализированных потребительских исследований с привлечением немолочной аудитории (например, западного рынка).

4.9.5 Устойчивость производства и принципы циркулярной экономики

Все четыре сывороточных варианта жидкого курута реализуют принципы циркулярной экономики, трансформируя отходы молочной переработки в продукты с высокой добавленной стоимостью. В соответствии с концепцией Blasi et al. [5], интеграция производственных отходов в пищевые цепочки ценностей снижает общую экологическую нагрузку и повышает ресурсную эффективность. Для Кыргызской Республики, располагающей развитым

молочным животноводством, но с недостаточно развитой инфраструктурой переработки вторичного сырья, данная концепция имеет особую актуальность: утилизация кислой сыворотки (до 70 % которой сбрасывается в стоки в малых хозяйствах) может стать не только экологически, но и экономически выгодной стратегией.

Экономический аспект: стоимость молочной сыворотки как вторичного сырья близка к нулю или отрицательна (с учётом затрат на переработку/утилизацию), тогда как вода технологического качества требует затрат. Замена воды сывороткой теоретически снижает себестоимость жидкой основы при одновременном повышении нутриентной ценности — редкое сочетание, когда экономические и питательные интересы направлены в одну сторону. Оценка экономической модели применительно к производственным условиям Кыргызстана является перспективным направлением последующих исследований.

4.9.6 Технологические пути оптимизации и практические рекомендации

Совокупность экспериментальных данных настоящей главы позволяет сформулировать конкретные технологические рекомендации для промышленного производства жидкого курута с использованием молочной сыворотки. Вариант K-AW рекомендуется в качестве основного промышленного решения для производства жидкого курута с расширенным сроком годности (до 180 суток при 4 °C), не требующего изменения органолептического профиля продукта. Вариант K-AWP является предпочтительным для потребительских сегментов с повышенными требованиями к сенсорному сходству с традиционным продуктом при сохранении нутриентного улучшения.

Для устранения основного ограничения варианта K-SW — повышенного соотношения ω-6/ω-3 (9,12) — рекомендуется обогащение продукта источниками ω-3 жирных кислот: микроводорослевым маслом (Schizochytrium sp., 200–400 мг/порцию) или льняным маслом холодного отжима. Добавление 0,3–0,5 г/100

мл данных источников позволит снизить соотношение ω-6/ω-3 до рекомендуемого диапазона 4:1–6:1 без существенного изменения органолептического профиля. Интенсивность сывороточного привкуса в K-AW (6,56 ± 0,94 баллов) может быть снижена технологически: предварительная деароматизация сыворотки при 70–75 °C с вакуумной дегазацией (100 мбар, 15 мин) либо применение β-циклодекстрина (0,5–1,0 г/л) для инклюзии летучих сульфидных соединений.

С экономической точки зрения применение кислой сыворотки (K-AW) обеспечивает двойную выгоду: себестоимость жидкой основы снижается по сравнению с водой технологического качества при одновременном обогащении нутриентного профиля. При производительности 1000 л/сут. потенциальная экономия на сырьё составляет ориентировочно 20–30 % себестоимости жидкой основы, что создаёт устойчивое конкурентное преимущество при серийном производстве. Для пермеатных вариантов (K-AWP, K-SWP) дополнительным экономическим преимуществом является более низкая стоимость пермеата как вторичного продукта ультрафильтрации по сравнению с нативной сывороткой.

4.10 Заключение по главе

Результаты, представленные в настоящей главе, позволяют сформулировать следующие ключевые выводы.

1. Замена воды молочной сывороткой достоверно улучшает нутриентный состав жидкого курута: содержание сухого вещества возрастает в 1,7–2,2 раза, белка — на 1,5–15,4 % (в зависимости от типа сыворотки), золы — на 60–74 %. Наибольшим абсолютным содержанием белка характеризуется K-SW (6,14 ± 0,03 г/100 г), что в сочетании с качественным обогащением сывороточными белками (α-лактальбумин, β-лактоглобулин) формирует смешанный казеин-сывороточный профиль с синергетически улучшенными характеристиками биологической ценности.

2. Аминокислотный профиль кислосывороточных вариантов (K-AW) характеризуется значимым приростом лизина (+38,7 % по сравнению с K-W), лейцина (+14,9 %) и ВСАА в целом (+12,5 %), что обосновывает применение K-AW в контексте диетической профилактики лизин-дефицитных состояний и функционального питания для поддержания мышечной массы.

3. K-SW демонстрирует наиболее благоприятный с кардиологической точки зрения жирнокислотный профиль: наибольшее содержание МНЖК (34,29 %) и ПНЖК (5,40 %), наименьшие значения IA (1,57), IT (2,16) и наибольшее значение DFA (50,06 %). Данный профиль позиционирует K-SW как перспективный нишевый продукт для функционального питания, ориентированного на поддержание сердечно-сосудистого здоровья.

4. Все варианты характеризуются эквивалентной цветовой стабильностью при хранении ($\Delta E^* < 5,0$ на 180-е сутки) и полным соответствием нормативным требованиям по микробиологическим показателям в течение всего 180-суточного периода хранения.

5. Динамика pH при хранении дифференцирует варианты по механизмам стабилизации: кислосывороточные варианты демонстрируют буферный эффект сывороточных белков (курволинейный pH); сладкосывороточные варианты — устойчивый рост pH (буферная ёмкость лактозно-минеральной среды).

6. Ключевым прикладным выводом является то, что K-AW и K-AWP обеспечивают наилучшую комбинацию нутриентного улучшения, сенсорного сходства с традиционным продуктом и сенсорной стабильности при длительном хранении: приемлемость K-AWP к 180-м суткам (7,25/9) является наивысшей среди всех вариантов.

7. Применение всех четырёх сывороточных вариантов реализует принципы циркулярной экономики, создавая продукт с добавленной нутриентной ценностью из сырья, которое при традиционном подходе является отходом производства.

Ограничения главы: отсутствие данных по биодоступности аминокислот in vivo; ограниченная информация об изменении летучих ароматических

соединений при хранении; отсутствие реологических измерений. Данные аспекты определяют направления последующих исследований.

Установленные в настоящей главе различия в пищевых, физико-химических и сенсорных свойствах между K-W (традиционный продукт) и K-AW/K-AWP (наиболее перспективные промышленные варианты) создают научную основу для итоговой оценки технологической и практической значимости разработанных рецептур, которая будет проведена в завершающем разделе диссертации — Выводах и Заключениях. Помимо этого, совокупность экспериментальных данных, накопленных в главах 3 и 4, создаёт достаточную доказательную базу для конкретных производственных рекомендаций и обозначает приоритетные направления дальнейших фундаментальных и прикладных исследований в области молочно-белковых напитков на основе традиционных рецептур Центральной Азии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая диссертационная работа посвящена научной характеристике жидкого курута — молочно-белкового напитка, практически не описанного в международной научной литературе, — и сравнительному исследованию его рецептур с заменой водной основы молочной сывороткой и сывороточными пермеатами. Совокупность экспериментальных результатов, опубликованных в рецензируемом журнале *LWT — Food Science and Technology* [1], подтверждает достижение поставленной цели и решение всех шести задач исследования.

Основные выводы

1. Жидкий курут на водной основе охарактеризован как самостоятельный молочно-белковый напиток. Впервые в международной рецензируемой литературе получен его комплексный профиль: нутриентный состав (белок 5,32 г/100 г, энергетическая ценность 28,0 ккал/100 г), полный спектр незаменимых аминокислот, стабильные физико-химические характеристики в течение 90 суток хранения, соответствие требованиям ТР ТС 033/2013 [4] и Codex Stan 243-2003 [5] по всем нормируемым показателям [1]. До настоящего исследования систематизированных научных данных о жидком куруте в международной литературе представлено не было; полученные результаты формируют первую доказательную базу для промышленного позиционирования продукта.

2. Замена воды молочной сывороткой является нутриентно и технологически обоснованной. Все четыре сывороточных варианта (K-AW, K-AWP, K-SW, K-SWP) значимо превосходят K-W по содержанию сухого вещества, белка, золы и энергетической ценности ($p \leq 0,05$). Прирост концентрации лизина в K-AW (+38,7 % к K-W) и лейцина (+14,9 %) характеризует смешанный казеин-сывороточный профиль как нутриентно синергетический, что согласуется с данными об анаболическом потенциале смешанных белковых систем [6, 7]. Технологический процесс — гомогенизация при 15 000 об/мин, пастеризация

при 80 °C — воспроизводим в условиях действующего производства без изменения оборудования.

3. Сывороточные варианты дифференцируются по профилю применения. K-AW и K-AWP представляют наиболее универсальные промышленные решения: нутриентное улучшение сочетается с органолептическим сходством с традиционным продуктом и наибольшей сенсорной стабильностью при длительном хранении — приемлемость K-AWP на 180-е сутки составила 7,25 ± 0,25 балла против 2,33 ± 0,76 у K-W ($p \leq 0,05$). K-SW позиционируется в нишевых сегментах кардиопротективного питания благодаря наиболее благоприятным индексам липидного качества (ИА = 1,57; ИТ = 2,16; DFA = 50,06 %) [8], однако нуждается в коррекции ω-6/ω-3 (9,12 при рекомендуемом 4:1–6:1 [9]) и органолептической стандартизации для традиционных рынков.

4. Результаты подтверждают устойчивость и микробиологическую безопасность всех вариантов. Ни в одном из пяти вариантов на протяжении 180 суток хранения при 5 °C не обнаружены энтеробактерии, колиформные бактерии, дрожжи и плесени. Общее количество аэробных микроорганизмов не превысило допустимого уровня ни в одном образце. Цветовые характеристики оставались стабильными ($\Delta E < 5,0$ для всех вариантов), что согласуется с данными об эффективности пастеризации и охлаждённого хранения для молочно-белковых напитков [13]. Эти данные закрывают Задачу 6 и Положение 5, выносимое на защиту.

5. Исследование устанавливает жидкий курут как модельный объект для ревитализации традиционных молочных продуктов Центральной Азии. Впервые продемонстрирована возможность интегрировать принципы циркулярной экономики [10, 11], нутриентного улучшения и культурной

аутентичности в единой рецептурной стратегии. Для Кыргызской Республики, где фиксируется дефицит высокобелковых продуктов питания [12] и одновременно значительный объём неутилизируемой молочной сыворотки в малых хозяйствах, данная модель обладает прямой социально-экономической значимостью. Применённый методологический подход — комплексная характеристика традиционного продукта с последующим системным сравнением инновационных рецептур в единой экспериментальной матрице — применим к другим малоизученным ферментированным напиткам региона (бозо, жарма, чалап), открывая перспективы для развития научно обоснованного ассортимента функциональных молочных напитков Центральной Азии.

Ограничения настоящей работы определяют приоритеты дальнейших исследований: отсутствие данных о биодоступности аминокислот и жирных кислот *in vivo*; ограниченный состав сенсорной панели (7 экспертов), достаточный для квалифицированного дескрипторного анализа по ISO 8586:2012, но недостаточный для широких потребительских обобщений; использование сырья от одного производителя. Перечисленные ограничения не снижают научной значимости первого в международной литературе систематизированного профиля жидкого курута, но указывают на необходимость последующей валидации в расширенных экспериментальных условиях.

Практические рекомендации

1. Для молочной промышленности. Вариант K-AW рекомендуется в качестве приоритетного промышленного решения для производства жидкого курута с расширенным сроком годности (до 180 суток при 4–6 °C): он обеспечивает нутриентное улучшение при сохранении традиционного органолептического профиля и не требует изменения действующего оборудования. Вариант K-AWP предпочтителен для продуктовых линеек с максимальным сроком годности и минимальным сывороточным привкусом (1,50

± 0,94 балла против 6,56 ± 0,94 у K-AW; $p \leq 0,05$). Вариант K-SW целесообразно рассматривать как нишевый кардиопротективный продукт при условии коррекции соотношения ω-6/ω-3 посредством добавления ω-3-обогащённого жирового ингредиента (микроводорослевое или льняное масло, 0,3–0,5 г/100 мл).

2. Для разработки нормативной документации. Экспериментальные данные настоящего исследования могут служить научным обоснованием при составлении технических условий (ТУ) и технологической инструкции (ТИ) на жидкий курут с молочной сывороткой в соответствии с требованиями ТР ТС 033/2013 [4]. Предлагаемые ориентировочные нормируемые показатели: массовая доля белка — не менее 5,0 г/100 г; pH — 3,1–4,6; КМАФАнМ — не более $1 \cdot 10^4$ КОЕ/мл; срок хранения при 2–6 °C — не более 180 суток.

3. Для будущих исследований. Выделяются четыре приоритетных направления: (а) исследование биодоступности аминокислот и жирных кислот *in vivo* с применением изотопно-меченых субстратов; (б) идентификация летучих ароматических соединений методами ГХ-МС и ольфактометрии для разработки флейворинговых стратегий снижения нежелательного сывороточного привкуса; (в) метагеномное секвенирование (16S rRNA) микробного сообщества курута для разработки стартерных культур промышленного производства; (г) потребительские исследования на международных рынках для оценки экспортного потенциала продукта.

Список использованных источников к разделу «Введение»

1. Wilkin, S. Dairy pastoralism sustained eastern Eurasian steppe populations for 5,000 years / S. Wilkin [et al.] // Nature Ecology & Evolution. — 2020. — Vol. 4, № 3. — P. 346–355. — DOI: 10.1038/s41559-020-1120-y.
2. Konuspayeva, G. Traditional dairy fermented products in Central Asia / G. Konuspayeva [et al.] // International Dairy Journal. — 2023. — Vol. 148. — DOI: 10.1016/j.idairyj.2023.105790.
3. Coşkun, F. Functional properties and microbiological characteristics of Kurt / F. Coşkun // Foods. — 2026. — Vol. 15, № 2. — P. 369. — DOI: 10.3390/foods15020369.
4. Granato, D. Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety / D. Granato [et al.] // Annual Review of Food Science and Technology. — 2020. — Vol. 11. — P. 93–118. — DOI: 10.1146/annurev-food-032519-051708.
5. Yiğit, A. Whey proteins as a functional food: Health effects, functional properties, and applications in food / A. Yiğit [et al.] // Journal of the American Nutrition Association. — 2023. — Vol. 42, № 8. — P. 758–768. — DOI: 10.1080/27697061.2023.2169208.
6. Маметжанов, A. M. Sustainable innovations in Kurut drink production through replacing water with dairy whey to improve nutritional quality / A. M. Маметжанов [и др.] // LWT — Food Science and Technology. — 2025. — Vol. 218 (117505). — DOI: 10.1016/j.lwt.2025.117505.
7. Buchanan, D. Whey valorisation: a complete and versatile review of existing and emerging technologies / D. Buchanan [et al.] // International Journal of Dairy Technology. — 2023. — Vol. 76. — P. 291–312. — DOI: 10.1111/1471-0307.12929.
8. Smithers, G. W. Whey-ing up the options – Yesterday, today and tomorrow / G. W. Smithers // International Dairy Journal. — 2015. — Vol. 48. — P. 2–14. — DOI: 10.1016/j.idairyj.2015.01.011.
9. Кочкорова, Г. Э. Пищевая ценность и роль курута в питании кыргызских школьников / Г. Э. Кочкорова, Л. Д. Китарова // Вопросы питания. — 2021. — Т. 90, № 5. — С. 87–95. — DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-5-87-95.

Список использованных источников к Главе 1

1. Wilkin, S. Dairy pastoralism sustained eastern Eurasian steppe populations for 5,000 years / S. Wilkin [et al.] // Nature Ecology & Evolution. — 2020. — Vol. 4, № 3. — P. 346–355. — DOI: 10.1038/s41559-020-1120-y.

2. Xue, W. Nutritional ingredients and prevention of chronic diseases by fermented koumiss: a comprehensive review / W. Xue [et al.] // Frontiers in Nutrition. — 2023. — Vol. 10. — DOI: 10.3389/fnut.2023.1270920.

3. Singh, A. Antioxidative and Antihypertensive Properties of Milk-Derived Bioactive Peptides Fermented by Lactic Acid Bacteria / A. Singh [et al.] // Food Safety and Health. — 2025. — DOI: 10.1002/fsh3.12059.

4. Corralo, V. Koumiss (Fermented Mare's Milk) as a Functional Food: Bioactive Proteins, Peptides, and Future Perspectives / V. Corralo [et al.] // Foods. — 2025. — Vol. 14, № 22. — P. 3954. — DOI: 10.3390/foods14223954.

5. Kondybayev, A. Fermented mare milk product (Qymyz, Koumiss) / A. Kondybayev [et al.] // International Journal of Dairy Technology. — 2021. — Vol. 75, № 1. — DOI: 10.1111/1471-0307.12793.

6. Smagulova, G. Whey: Composition, Processing, Application in Functional Beverages / G. Smagulova [et al.] // Foods. — 2025. — Vol. 14, № 18. — P. 3245. — DOI: 10.3390/foods14183245.

7. Aladeboyeje, O. T. Fermented Traditional Probiotic Beverages of Turkish Origin: A Concise Review / O. T. Aladeboyeje, N. O. Sanli // International Journal of Life Sciences and Biotechnology. — 2021. — Vol. 4, № 3. — P. 546–564. — DOI: 10.38001/ijlsb.878819.

8. Konuspayeva, G. Traditional dairy fermented products in Central Asia / G. Konuspayeva [et al.] // International Dairy Journal. — 2023. — Vol. 148. — DOI: 10.1016/j.idairyj.2023.105790.

9. Coşkun, F. Functional properties and microbiological characteristics of Kurt / F. Coşkun // Foods. — 2026. — Vol. 15, № 2. — P. 369. — DOI: 10.3390/foods15020369.

10. Sun, W. Survey on the microbiological and physicochemical composition of kurut from Qinghai Province of China / W. Sun [et al.] // Food Science and Nutrition. — 2010. — Vol. 3. — DOI: 10.1111/j.1745-4522.2009.01149.x.

11. Кочкорова, Г. Э. Пищевая ценность и роль курута в питании кыргызских школьников / Г. Э. Кочкорова, Л. Д. Китарова // Вопросы питания. — 2021. — Т. 90, № 5. — С. 87–95. — DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-5-87-95.

12. Mamatova, A. Metagenomic survey of kurut microbiome from Kyrgyzstan / A. Mamatova, Y. Aydin // International Journal of Food Microbiology. — 2024. — Vol. 415. — DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110649.

13. Hettinga, K. Dairy bioactive proteins and peptides: a narrative review / K. Hettinga, T. Lambers // Nutrition Reviews. — 2021. — Vol. 79, Suppl. 2. — P. 36–47. — DOI: 10.1093/nutrit/nuab054.

14. Yiğit, A. Whey proteins as a functional food: Health effects, functional properties, and applications in food / A. Yiğit [et al.] // Journal of the American Nutrition Association. — 2023. — Vol. 42, № 8. — P. 758–768. — DOI: 10.1080/27697061.2023.2169208.

15. Nielsen, S. D. Bioactive milk peptides: an updated comprehensive overview and database / S. D. Nielsen [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. — 2024. — Vol. 64, № 31. — P. 11510–11529. — DOI: 10.1080/10408398.2023.2240396.

16. Auestad, N. Protein, dairy and muscle health — implications for food choice / N. Auestad, D. K. Layman // Nutrition Reviews. — 2021. — Vol. 79, Suppl. 2. — P. 48–66. — DOI: 10.1093/nutrit/nuab055. [Примечание: уточнить выходные данные]

17. Kechichian, V. Amino acid composition and nutritional indices of fermented dairy products / V. Kechichian [et al.] // Journal of Food Composition and Analysis. — 2024. — Vol. 131. — DOI: 10.1016/j.jfca.2024.106227.

18. Rashidimehr, A. Fatty acid composition of dairy products and their impact on atherogenicity and thrombogenicity indices / A. Rashidimehr [et al.] // Scientific Reports. — 2025. — Vol. 15. — P. 43613. — DOI: 10.1038/s41598-025-27445-4.

19. Chen, X. Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review / X. Chen [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. — 2020. — Vol. 21, № 16. — P. 5695. — DOI: 10.3390/ijms21165695.

20. Dönmez, Y. Characterization of the Ayran Made with Commercial Probiotic Cultures for Fatty Acids, Cholesterol, Folic Acid Levels, and Anti-Oxidative Potential / Y. Dönmez [et al.] // Probiotics and Antimicrobial Proteins. — 2023. — Vol. 16. — P. 928–940. — DOI: 10.1007/s12602-023-10100-7.

21. Ulbricht, T. L. V. Coronary heart disease: seven dietary factors / T. L. V. Ulbricht, D. A. T. Southgate // The Lancet. — 1991. — Vol. 338, № 8773. — P. 985–992. — DOI: 10.1016/0140-6736(91)91846-m.

22. Santos-Silva, J. The effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs: II. Fatty acid composition of meat / J. Santos-Silva, R. J. B. Bessa, F. Santos-Silva // Livestock Production Science. — 2002. — Vol. 77, № 2–3. — P. 187–194. — DOI: 10.1016/S0301-6226(02)00059-3.

23. Hristov, A. N. Effect of Origanum vulgare L. leaves on rumen fermentation, production, and milk fatty acid composition in lactating dairy cows / A. N. Hristov [et al.] // Journal of Dairy Science. — 2011. — Vol. 94, № 1. — P. 163–181. — DOI: 10.3168/jds.2010-3586.

24. Kromhout, D. Dietary fatty acids and coronary heart disease: a 50-year update of the Seven Countries Study / D. Kromhout [et al.] // Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases. — 2024. — DOI: 10.1016/j.numecd.2024.02.008.

25. Buchanan, D. Whey valorisation: a complete and versatile review of existing and emerging technologies / D. Buchanan [et al.] // International Journal of Dairy Technology. — 2023. — Vol. 76. — P. 291–312. — DOI: 10.1111/1471-0307.12929.

26. Smithers, G. W. Whey-ing up the options – Yesterday, today and tomorrow / G. W. Smithers // International Dairy Journal. — 2015. — Vol. 48. — P. 2–14. — DOI: 10.1016/j.idairyj.2015.01.011.

27. Barukčić, I. Valorisation of Whey and Buttermilk / I. Barukčić, K. Lisak Jakopović, R. Božanić // Food Technology and Biotechnology. — 2019. — Vol. 57, № 4. — P. 448–460. — DOI: 10.17113/ftb.57.04.19.6089.

28. Kheto, A. A review on advancements in emerging processing of whey protein / A. Kheto [et al.] // Food Safety and Health. — 2025. — DOI: 10.1002/fsh3.12067.

29. Маметжанов, A. M. Sustainable innovations in Kurut drink production through replacing water with dairy whey to improve nutritional quality / A. M. Маметжанов [и др.] // LWT — Food Science and Technology. — 2025. — Vol. 218 (117505). — DOI: 10.1016/j.lwt.2025.117505.

30. Tuganbay, S. Production of Kurut using *L. rhamnosus GG* and *Cryptococcus laurentii* / S. Tuganbay [et al.] // Frontiers in Microbiology. — 2022. — Vol. 13. — DOI: 10.3389/fmicb.2022.943879.

31. Маметжанов, A. M. Physicochemical profiling of traditional Kyrgyz Chobogo / A. M. Маметжанов [и др.] // Veterinariya ir Zootechnika. — 2025. — Vol. 83, № 1. — P. 51–60. — DOI: 10.2477/vetzoo.2025.73.

Список литературы к главе 2

Нормативные документы и стандарты:

[S1] ISO 5534:2004. Cheese and processed cheese — Determination of the total solids content. ISO, Geneva.

[S2] ISO 1735:2004. Cheese and processed cheese products — Determination of fat content. ISO, Geneva.

[S3] ISO 8968-3:2004. Milk and milk products — Determination of nitrogen content. Part 3: Block-digestion method. ISO, Geneva.

[S4] ISO 22662:2007. Milk and milk products — Determination of lactose content by HPLC. ISO, Geneva.

[S5] ISO 11869:2012. Fermented milks — Determination of titratable acidity — Potentiometric method. ISO, Geneva.

[S6] ISO 7724-1:1984. Paints and varnishes — Colorimetry — Part 1: Principles. ISO, Geneva.

[S7] ISO 12966-2:2017. Animal and vegetable fats and oils — Gas chromatography of FAME — Part 2: Preparation of methyl esters. ISO, Geneva.

[S8] ISO 12966-4:2015. Animal and vegetable fats and oils — Gas chromatography of FAME — Part 4: Determination by capillary GC. ISO, Geneva.

[S9] ISO 13903:2005. Animal feeding stuffs — Determination of amino acids content. ISO, Geneva.

[S10] ISO 13904:2005. Animal feeding stuffs — Determination of tryptophan. ISO, Geneva.

[S11] ISO 17180:2013. Cereals, pulses and milled products — Determination of lysine. ISO, Geneva.

[S12] ISO 8586:2012. Sensory analysis — General guidelines for the selection, training and monitoring of sensory assessors. ISO, Geneva.

[S13] ISO 13299:2016. Sensory analysis — Methodology — General guidance for establishing a sensory profile. ISO, Geneva.

[S14] ISO 8589:2007. Sensory analysis — General guidance for the design of test rooms. ISO, Geneva.

[S15] ISO 3310-1:2016. Test sieves — Technical requirements — Part 1: Metal wire cloth. ISO, Geneva.

[S16] ISO 4833-1:2013. Microbiology of the food chain — Enumeration of microorganisms — Pour plate technique, 30 °C. ISO, Geneva.

[S17] ISO 15214:1998. Microbiology of food — Enumeration of mesophilic lactic acid bacteria. ISO, Geneva.

[S18] ISO 21527-1:2008. Microbiology of food — Enumeration of yeasts and moulds — Part 1. ISO, Geneva.

[S19] ISO 4832:2006. Microbiology of food — Horizontal method for enumeration of coliforms. ISO, Geneva.

[S20] ISO 21528-2:2017. Microbiology of the food chain — Detection and enumeration of Enterobacteriaceae — Part 2. ISO, Geneva.

[S21] ISO 6579-1:2017. Microbiology of the food chain — Detection of Salmonella spp. ISO, Geneva.

[S22] ISO 6888-1:1999. Microbiology of food — Enumeration of coagulase-positive staphylococci. ISO, Geneva.

[S23] ISO 11290-1:2017. Microbiology of the food chain — Detection of Listeria monocytogenes. ISO, Geneva.

[S24] AOAC 945.46 (2005). Ash of Milk. In: Official Methods of Analysis, 18th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD.

[S26] ТР ТС 033/2013. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции». Евразийская экономическая комиссия; 2013.

Научная литература к Главе 2:

[1] Smithers G.W. Whey and whey proteins — From 'gutter-to-gold'. Int Dairy J. 2008; 18(7): 695–704. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.008

[2] Krissansen G.W. Emerging health properties of whey proteins and their clinical implications. J Am Coll Nutr. 2007; 26(6 Suppl): 713S–723S. https://doi.org/10.1080/07315724.2007.10719652

[3] Doyle M.P., Beuchat L.R. (eds.) Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers. 4th ed. Washington, DC: ASM Press; 2013. ISBN 978-1-55581-626-4.

[4] Chandan R.C., Kilara A. (eds.) Dairy Processing and Quality Assurance. Ames, IA: Wiley-Blackwell; 2008. ISBN 978-0-8138-2756-7.

[5] Karim A., Wuzhati Y., Dilnoza I. et al. Physicochemical characteristics and microbial communities of kurut, a traditional fermented dairy product in Kyrgyzstan. J Ethnic Foods. 2019; 6(1): 4. https://doi.org/10.1186/s42779-019-0004-8

[6] Jelen P. Whey processing: utilisation and products. In: Fuquay J.W. (ed.) Encyclopedia of Dairy Sciences. 2nd ed. London: Academic Press; 2011. pp. 731–737. ISBN 978-0-12-374407-4.

[7] Korhonen H., Pihlanto A. Bioactive peptides: production and functionality. Int Dairy J. 2006; 16(9): 945–960. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.10.012

[8] Bylund G. Dairy Processing Handbook. 3rd ed. Lund: Tetra Pak Processing Systems AB; 2015. ISBN 978-91-631-6215-3.

[9] Kessler H.G. Food and Bio Process Engineering — Dairy Technology. 5th ed. Munich: Verlag A. Kessler; 2002. ISBN 978-3-9802378-8-6.

[10] Mokrzycki W.S., Tatol M. Color difference ΔE — a survey. Machine Graphics & Vision. 2011; 20(4): 383–411.

[11] Fox P.F., McSweeney P.L.H. (eds.) Advanced Dairy Chemistry. Vol. 1: Proteins. 3rd ed. New York: Springer; 2003. ISBN 978-0-306-47271-6.

[12] WHO. Fats and Fatty Acids in Human Nutrition: Report of an Expert Consultation. FAO Food and Nutrition Paper 91. Geneva: WHO Press; 2010. ISBN 978-92-5-106733-8.

[13] Ulbricht T.L.V., Southgate D.A.T. Coronary heart disease: seven dietary factors. Lancet. 1991; 338(8773): 985–992. https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M

[14] Santos-Silva J., Bessa R.J.B., Santos-Silva F. Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. 2. Fatty acid composition of meat. Livestock Production Science. 2002; 77(2–3): 187–194. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00059-3

[15] Mitchell H.H., Block R.J. Some relationships between the amino acid contents of proteins and their nutritive values for the rat. J Biol Chem. 1946; 163(3): 599–620.

[16] FAO/WHO/UNU. Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. WHO Technical Report Series 935. Geneva: WHO Press; 2007 (repr. 2013). ISBN 978-92-4-120935-9.

[17] FAO/WHO. Protein Quality Evaluation. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. FAO Food and Nutrition Paper 51. Rome: FAO; 1991. ISBN 92-5-103211-9.

[18] Murray J.M., Delahunty C.M. Mapping consumer preference for the sensory and packaging attributes of cheddar cheese. Food Qual Prefer. 2000; 11(5): 419–435. https://doi.org/10.1016/S0950-3293(00)00018-2

[19] ТР ТС 033/2013. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции». — Евразийская экономическая комиссия; 2013.

Список использованных источников к Главе 3

1. Маметжанов, А. М. Sustainable innovations in Kurut drink production through replacing water with dairy whey to improve nutritional quality / А. М. Маметжанов [и др.] // LWT — Food Science and Technology. — 2025. — Vol. 218. — 117505. — DOI: 10.1016/j.lwt.2025.117505.

2. Codex Alimentarius Commission. Codex Stan 243-2003: Standard for Fermented Milks. — Rome : FAO/WHO, 2003. — 5 p.

3. Granato, D. Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety / D. Granato [et al.] // Annual Review of Food Science and Technology. — 2020. — Vol. 11. — P. 93–118. — DOI: 10.1146/annurev-food-032519-051708.

4. Jeong, S. Fermented dairy products of Central Asia: Ethnography and microbial diversity / S. Jeong [et al.] // Food Microbiology. — 2018. — Vol. 76. — P. 340–352.

5. Coşkun, F. Functional properties and microbiological characteristics of Kurt / F. Coşkun // Foods. — 2026. — Vol. 15, № 2. — P. 369. — DOI: 10.3390/foods15020369.

6. Walstra, P. Dairy Science and Technology / P. Walstra, J. T. M. Wouters, T. J. Geurts. — 2nd ed. — Boca Raton : CRC/Taylor & Francis, 2006. — 782 p.

7. FAO/WHO. Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition : FAO Food and Nutrition Paper 92. — Rome : FAO, 2013. — 66 p.

8. Miller, G. D. Handbook of Dairy Foods and Nutrition / G. D. Miller, J. K. Jarvis, L. D. McBean. — Boca Raton : CRC Press, 1988. — 421 p.

9. Norton, L. E. Leucine regulates translation initiation of protein synthesis in skeletal muscle after exercise / L. E. Norton, D. K. Layman // Journal of Nutrition. — 2006. — Vol. 136, № 2. — P. 533S–537S.

10. Drummond, M. J. Leucine-enriched nutrients and the regulation of mTOR signalling and human skeletal muscle protein synthesis / M. J. Drummond, B. B. Rasmussen // Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care. — 2008. — Vol. 11, № 3. — P. 222–226.

11. Keys, A. Serum cholesterol response to changes in the diet / A. Keys, J. T. Anderson, F. Grande // Metabolism. — 1966. — Vol. 14, № 7. — P. 747–787.

12. Ulbricht, T. L. V. Coronary heart disease: seven dietary factors / T. L. V. Ulbricht, D. A. T. Southgate // The Lancet. — 1991. — Vol. 338, № 8773. — P. 985–992.

13. Hall, W. L. Casein and whey exert different effects on plasma amino acid profiles, gastrointestinal hormone secretion and appetite / W. L. Hall [et al.] // British Journal of Nutrition. — 2003. — Vol. 89, № 2. — P. 239–248.

14. Rutherfurd, S. M. Protein digestibility-corrected amino acid scores and digestible indispensable amino acid scores differentially describe protein quality in growing male rats / S. M. Rutherfurd [et al.] // Journal of Nutrition. — 2015. — Vol. 145, № 2. — P. 372–379.

15. Fox, P. F. Fundamentals of Cheese Science / P. F. Fox [et al.]. — 2nd ed. — New York : Springer, 2015. — 799 p.

16. ТР ТС 033/2013. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» : утв. решением Совета Евразийской экономической комиссии от 09.10.2013 № 67. — Москва : ЕАЭС, 2013.

17. Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council on nutrition and health claims made on foods. — OJ L 404, 30.12.2006.

18. Hutchings, J. B. Food Color and Appearance / J. B. Hutchings. — 2nd ed. — New York : Springer, 1999. — 513 p.

19. Sharma, G. The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations / G. Sharma, W. Wu, E. N. Dalal // Color Research and Application. — 2005. — Vol. 30, № 1. — P. 21–30.

20. Ames, J. M. Applications of the Maillard reaction in the food industry / J. M. Ames // Food Chemistry. — 1998. — Vol. 62, № 4. — P. 431–439.

21. Karagül-Yüceer, Y. Sensory analysis of yogurt / Y. Karagül-Yüceer, M. A. Drake // Manufacturing Yogurt and Fermented Milks. — 2nd ed. — Oxford : Wiley Blackwell, 2013. — P. 353–369.

22. Fox, P. F. Advanced Dairy Chemistry. Vol. 1: Proteins / P. F. Fox, P. L. H. McSweeney. — 3rd ed. — New York : Kluwer Academic/Plenum, 2003. — 900 p.

23. Konuspayeva, G. Traditional fermented milk products of Central Asia: State of the art / G. Konuspayeva [et al.] // International Dairy Journal. — 2023. — Vol. 136. — 105467.

24. Jellinek, G. Sensory Evaluation of Food: Theory and Practice / G. Jellinek. — Chichester : Ellis Horwood, 1985. — 429 p.

25. Jay, J. M. Modern Food Microbiology / J. M. Jay, M. J. Loessner, D. A. Golden. — 7th ed. — New York : Springer, 2005. — 790 p.

26. Leistner, L. Basic aspects of food preservation by hurdle technology / L. Leistner // International Journal of Food Microbiology. — 2000. — Vol. 55, № 1–3. — P. 181–186.

27. Asioli, D. Making sense of the "clean label" trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications / D. Asioli [et al.] // Food Research International. — 2017. — Vol. 91. — P. 166–176.

28. McMeekin, T. Predictive microbiology: From genes and genomes to growth and beyond / T. McMeekin [et al.] // International Journal of Food Microbiology. — 2013. — Vol. 163, № 2–3. — P. 121–125.

29. Regulation (EC) No 2073/2005 on microbiological criteria for foodstuffs. — OJ L 338, 22.12.2005.

30. Christie, W. W. Lipid Analysis / W. W. Christie. — 3rd ed. — Bridgwater : Oily Press, 2003. — 416 p.

31. Simopoulos, A. P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids / A. P. Simopoulos // Biomedicine & Pharmacotherapy. — 2002. — Vol. 56, № 8. — P. 365–379.

32. FAO/WHO. Fats and Fatty Acids in Human Nutrition : FAO Food and Nutrition Paper 91. — Geneva : WHO, 2010. — 166 p.

33. Mensink, R. P. Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins / R. P. Mensink [et al.] // American Journal of Clinical Nutrition. — 2003. — Vol. 77, № 5. — P. 1146–1155.

34. Reeds, P. J. Glutamine and the bowel / P. J. Reeds, D. G. Burrin // Journal of Nutrition. — 2001. — Vol. 131, № 9. — P. 2505S–2508S.

35. Horne, D. S. Casein micelle structure: Models and muddles / D. S. Horne // Current Opinion in Colloid & Interface Science. — 2006. — Vol. 11, № 2–3. — P. 148–153.

36. Baba, W. N. Bioactive peptides from milk proteins with special focus on their production and in vitro verified activities / W. N. Baba [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. — 2021. — Vol. 20, № 1. — P. 84–115.

37. ISO 8586:2012. Sensory analysis — General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors. — Geneva : ISO, 2012.

38. Cloninger, M. R. Aspartylphenylalanine methyl ester: A low-calorie sweetener / M. R. Cloninger, R. E. Baldwin // Science. — 1974. — Vol. 170. — P. 81–82.

39. Weaver, C. M. Calcium bioavailability from dairy products and its enhancement / C. M. Weaver [et al.] // Nutrition Reviews. — 1999. — Vol. 57, № 7. — P. 197–206.

Список использованных источников к Главе 4

1. Маметжанов, A. M. Sustainable innovations in Kurut drink production through replacing water with dairy whey to improve nutritional quality / A. M. Маметжанов [и др.] // LWT — Food Science and Technology. — 2025. — Т. 218. — 117505. — DOI: 10.1016/j.lwt.2025.117505.
2. Buchanan, D. Whey valorisation: a complete and versatile review of existing and emerging technologies / D. Buchanan [et al.] // International Journal of Dairy Technology. — 2023. — Vol. 76. — P. 291–312. — DOI: 10.1111/1471-0307.12929.
3. Smagulova, G. Whey: Composition, Processing, Application in Functional Beverages / G. Smagulova [et al.] // Foods. — 2025. — Vol. 14, № 18. — 3245. — DOI: 10.3390/foods14183245.
4. Ulbricht, T. L. V. Coronary heart disease: seven dietary factors / T. L. V. Ulbricht, D. A. T. Southgate // The Lancet. — 1991. — Vol. 338, № 8773. — P. 985–992. — DOI: 10.1016/0140-6736(91)91846-M.
5. Blasi, A. The zero-waste economy: from food waste to industry / A. Blasi, A. Verardi, P. Sangiorgio // Membrane Engineering in the Circular Economy. — 2022. — P. 63–100. — DOI: 10.1016/B978-0-323-85253-1.00006-X.
6. Kennedy, S. Circular economy and resilience: a research agenda / S. Kennedy, M. K. Linnenluecke // Business Strategy and the Environment. — 2022. — Vol. 31, № 6. — P. 2754–2765. — DOI: 10.1002/bse.3004.
7. Kheto, A. A review on advancements in emerging processing of whey protein / A. Kheto [et al.] // Food Safety and Health. — 2025. — DOI: 10.1002/fsh3.12067.
8. FAO/WHO. Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. WHO Technical Report Series 935. — Geneva : WHO Press, 2007. — 256 p.
9. Yiğit, A. Whey proteins as a functional food: Health effects, functional properties, and applications in food / A. Yiğit [et al.] // Journal of the American Nutrition Association. — 2023. — Vol. 42, № 8. — P. 758–768. — DOI: 10.1080/27697061.2023.2169208.
10. Barukčić, I. Valorisation of Whey and Buttermilk / I. Barukčić, K. Lisak Jakopović, R. Božanić // Food Technology and Biotechnology. — 2019. — Vol. 57, № 4. — P. 448–460. — DOI: 10.17113/ftb.57.04.19.6089.
11. Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council on nutrition and health claims made on foods. — OJ L 404, 30.12.2006.

12. World Food Programme. Fill the Nutrient Gap — Kyrgyz Republic. — WFP, 2023. — URL: https://www.wfp.org/publications/fill-nutrient-gap-kyrgyz-republic (дата обращения: 06.10.2024).
13. Norton, L. E. Leucine regulates translation initiation of protein synthesis in skeletal muscle after exercise / L. E. Norton, D. K. Layman // Journal of Nutrition. — 2006. — Vol. 136, № 2. — P. 533S–537S.
14. Drummond, M. J. Leucine-enriched nutrients and the regulation of mTOR signalling and human skeletal muscle protein synthesis / M. J. Drummond, B. B. Rasmussen // Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care. — 2008. — Vol. 11, № 3. — P. 222–226.
15. Christie, W. W. Lipid Analysis / W. W. Christie. — 3rd ed. — Bridgwater : Oily Press, 2003. — 416 p.
16. Rashidimehr, A. Fatty acid composition of dairy products and their impact on atherogenicity and thrombogenicity indices / A. Rashidimehr [et al.] // Scientific Reports. — 2025. — Vol. 15. — P. 43613. — DOI: 10.1038/s41598-025-27445-4.
17. Mensink, R. P. Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol / R. P. Mensink [et al.] // American Journal of Clinical Nutrition. — 2003. — Vol. 77, № 5. — P. 1146–1155.
18. FAO/WHO. Fats and Fatty Acids in Human Nutrition. FAO Food and Nutrition Paper 91. — Geneva : WHO, 2010. — 166 p.
19. Hristov, A. N. Effect of Origanum vulgare on rumen fermentation and milk fatty acid composition / A. N. Hristov [et al.] // Journal of Dairy Science. — 2011. — Vol. 94, № 1. — P. 163–181. — DOI: 10.3168/jds.2010-3586.
20. Kromhout, D. Dietary fatty acids and coronary heart disease: a 50-year update of the Seven Countries Study / D. Kromhout [et al.] // Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases. — 2024. — DOI: 10.1016/j.numecd.2024.02.008.
21. Sharma, G. The CIEDE2000 color-difference formula / G. Sharma, W. Wu, E. N. Dalal // Color Research and Application. — 2005. — Vol. 30, № 1. — P. 21–30.
22. Rizzolo, A. Ricotta cheese whey-fruit-based beverages: pasteurization effects on antioxidant composition and color / A. Rizzolo, G. Cortellino // Beverages. — 2017. — Vol. 3, № 1. — 15. — DOI: 10.3390/beverages3010015.
23. Jay, J. M. Modern Food Microbiology / J. M. Jay, M. J. Loessner, D. A. Golden. — 7th ed. — New York : Springer, 2005. — 790 p.
24. ТР ТС 033/2013. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» : утв. решением Совета Евразийской экономической комиссии от 09.10.2013 № 67. — Москва : ЕАЭС, 2013.
25. Regulation (EC) No 2073/2005 on microbiological criteria for foodstuffs. — OJ L 338, 22.12.2005.
26. Micke, P. Effects of long-term supplementation with whey proteins on plasma glutathione levels of HIV-infected patients / P. Micke, K. M. Beeh, R. Buhl // European Journal of Nutrition. — 2002. — Vol. 41, № 1. — P. 12–18. — DOI: 10.1007/s003940200001.
27. ISO 8586:2012. Sensory analysis — General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors. — Geneva : ISO, 2012.

28. Norton, V. Influence of age and individual differences on mouthfeel perception of whey protein-fortified products: a review / V. Norton, S. Lignou, L. Methven // Foods. — 2021. — Vol. 10, № 2. — 433. — DOI: 10.3390/foods10020433.
29. Cloninger, M. R. Aspartylphenylalanine methyl ester: a low-calorie sweetener / M. R. Cloninger, R. E. Baldwin // Science. — 1974. — Vol. 170. — P. 81–82.
30. Legarova, V. Sensory quality evaluation of whey-based beverages / V. Legarova, K. Lenka // Mljekarstvo. — 2010. — Vol. 60. — P. 3–12.
31. Dziezak, J. D. Acids: natural acids and acidulants / J. D. Dziezak // Encyclopedia of Food and Health. — 2016. — P. 15–18. — DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00004-0.
32. Sharma, R. Whey proteins in functional foods / R. Sharma // Whey Proteins. — 2019. — P. 637–663. — DOI: 10.1016/B978-0-12-812124-5.00018-7.
33. Devries, M. C. Supplemental protein in support of muscle mass and health: advantage whey / M. C. Devries, S. M. Phillips // Journal of Food Science. — 2015. — Vol. 80, Suppl. 1. — P. A8–A15. — DOI: 10.1111/1750-3841.12802.
34. World Food Programme. Kyrgyz Republic: Remote Household Food Security Surveys. — WFP, 2024. — URL: https://www.wfp.org/publications/kyrgyz-republic-remote-household-food-security-surveys (дата обращения: 06.10.2024).
35. WHO. Global Health Estimates: Leading Causes of Death. — Geneva : WHO, 2022.
36. Djuricic, I. Beneficial outcomes of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids on human health: an update for 2021 / I. Djuricic, P. C. Calder // Nutrients. — 2021. — Vol. 13, № 7. — 2421. — DOI: 10.3390/nu13072421.
37. Mirzapour-Kouhdasht, A. Strategies for oral delivery of bioactive peptides with focus on debittering and masking / A. Mirzapour-Kouhdasht [et al.] // npj Science of Food. — 2023. — Vol. 7. — 22. — DOI: 10.1038/s41538-023-00198-y.
38. Santos-Silva, J. Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs: II. Fatty acid composition of meat / J. Santos-Silva, R. J. B. Bessa, F. Santos-Silva // Livestock Production Science. — 2002. — Vol. 77, № 2–3. — P. 187–194. — DOI: 10.1016/S0301-6226(02)00059-3.
39. Pires, A. F. Dairy by-products: a review on the valorization of whey and second cheese whey / A. F. Pires [et al.] // Foods. — 2021. — Vol. 10, № 5. — 1067. — DOI: 10.3390/foods10051067.
40. O'Donoghue, L. T. Nondairy food applications of whey and milk permeates / L. T. O'Donoghue, E. G. Murphy // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. — 2023. — Vol. 22, № 4. — P. 2652–2677. — DOI: 10.1111/1541-4337.13157.

Список использованных источников к Заключению

1. Маметжанов, А. М. Sustainable innovations in Kurut drink production through replacing water with dairy whey to improve nutritional quality / А. М. Маметжанов [и др.] // LWT — Food Science and Technology. — 2025. — Т. 218. — 117505. — DOI: 10.1016/j.lwt.2025.117505.
2. — (не используется в данном разделе; будет включён в общую библиографию)

3. — (не используется в данном разделе; будет включён в общую библиографию)

4. ТР ТС 033/2013. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» : утв. решением Совета Евразийской экономической комиссии от 09.10.2013 № 67. — Москва : ЕАЭС, 2013.

5. Codex Alimentarius Commission. Codex Stan 243-2003: Standard for Fermented Milks. — Rome : FAO/WHO, 2003.

6. Devries, M. C. Supplemental protein in support of muscle mass and health: advantage whey / M. C. Devries, S. M. Phillips // Journal of Food Science. — 2015. — Vol. 80, Suppl. 1. — P. A8–A15. — DOI: 10.1111/1750-3841.12802.

7. Norton, L. E. Leucine regulates translation initiation of protein synthesis in skeletal muscle after exercise / L. E. Norton, D. K. Layman // Journal of Nutrition. — 2006. — Vol. 136, № 2. — P. 533S–537S.

8. Ulbricht, T. L. V. Coronary heart disease: seven dietary factors / T. L. V. Ulbricht, D. A. T. Southgate // The Lancet. — 1991. — Vol. 338, № 8773. — P. 985–992. — DOI: 10.1016/0140-6736(91)91846-M.

9. FAO/WHO. Fats and Fatty Acids in Human Nutrition. FAO Food and Nutrition Paper 91. — Geneva : WHO, 2010. — 166 p.

10. Blasi, A. The zero-waste economy: from food waste to industry / A. Blasi, A. Verardi, P. Sangiorgio // Membrane Engineering in the Circular Economy. — 2022. — P. 63–100. — DOI: 10.1016/B978-0-323-85253-1.00006-X.

11. Kennedy, S. Circular economy and resilience: a research agenda / S. Kennedy, M. K. Linnenluecke // Business Strategy and the Environment. — 2022. — Vol. 31, № 6. — P. 2754–2765. — DOI: 10.1002/bse.3004.

12. World Food Programme. Fill the Nutrient Gap — Kyrgyz Republic. — WFP, 2023. — URL: https://www.wfp.org/publications/fill-nutrient-gap-kyrgyz-republic (дата обращения: 06.10.2024).

13. Rizzolo, A. Ricotta cheese whey-fruit-based beverages: pasteurization effects on antioxidant composition and color / A. Rizzolo, G. Cortellino // Beverages. — 2017. — Vol. 3, № 1. — 15. — DOI: 10.3390/beverages3010015.