

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

На правах рукописи



Цыганов Максим Степанович

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМИРОВАНИЕ
ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ОБЕЗЖИРЕННЫХ
КИСЛОМОЛОЧНЫХ НАПИТКОВ**

Специальность 4.3.3 – Пищевые системы

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат биологических наук, доцент
Никитина Елена Владимировна

Казань – 2023

Оглавление

Введение.....	5
1 Обзор литературы.....	12
1.1 Молоко и кисломолочные напитки.....	13
1.2 Необходимость производства обезжиренных кисломолочных напитков	18
1.3 Систематизация факторов, снижающих качество обезжиренных кисломолочных продуктов.....	20
1.3.1 Имитаторы жира в обезжиренных кисломолочных напитках. Полисахариды	21
1.3.2 Дополнительное улучшение текстуры обезжиренного кисломолочного напитка заквасочной культурой. Экзополисахариды.....	25
1.4 Крахмал как имитатор жира в обезжиренных кисломолочных напитках	26
1.4.1 Структура нативных крахмалов	27
1.4.2 Физико-химические свойства крахмалов	27
1.4.3 Маниока и тапиоковый крахмал	29
1.4.4 Методы модификации крахмала	31
1.4.5 Ферменты и ферментная модификация.....	33
1.5 Применение крахмалов в молочной промышленности	35
Заключение по обзору литературы	37
2 Материалы и методы исследования	39
2.1 Организация эксперимента	39
2.2 Объекты и материалы исследований	39
2.3 Методики модификации крахмала и получения кисломолочных напитков	41
2.3.1 Модификация крахмала	41
2.3.2 Получение кисломолочных напитков.....	42
2.4 Методы исследований	43
2.4.1 Методы анализа свойств крахмала	43

2.4.2 Методы анализа кисломолочного напитка	44
2.5 Доклинические исследования кисломолочного напитка.....	51
2.6 Статистический анализ.....	52
3 Мониторинг обезжиренных кисломолочных продуктов и предпочтений покупателей в г. Казани в 2021–2022 гг.	53
3.1 Социальный опрос – анкетирование.....	53
3.2 Оценка качества обезжиренных кисломолочных продуктов в розничных магазинах г. Казани в 2021–2022 гг.	56
4 Исследование ферментно модифицированных крахмалов в качестве имитатора жира в технологии обезжиренных кисломолочных продуктов	63
4.1 Исследование свойств ферментно модифицированного крахмала тапиоки	63
4.1.1 Физико-химические и технологические свойства.....	65
4.1.2 Микроструктурные свойства.....	67
4.2 Получение и анализ свойств обезжиренных кисломолочных напитков с добавлением ферментно модифицированного крахмала тапиоки.....	71
4.2.1 Физико-химические свойства.....	73
4.2.2 Структурно-механические свойства.....	76
4.2.3 Органолептические свойства и цвет.....	78
4.2.4 Антиоксидантные свойства	80
4.2.5 Микроструктурный анализ	81
4.2.6 Анализ главных компонент	85
5 Совершенствование технологии обезжиренных кисломолочных напитков и введение тапиокового крахмала, предварительно обработанного препаратом Альфалад БН [®] непосредственно в молоке	88
5.1 Разработка модели-схемы технологии производства	88
5.2 Моделирование и разработка аппаратурной схемы технологии производства.....	90
5.2.1 Математическое моделирование и планирование эксперимента	90
5.2.2 Разработка аппаратурной схемы технологии производства	94

5.3 Анализ свойств кисломолочных напитков, полученных по усовершенствованной технологии.....	96
5.3.1 Физико-химические свойства.....	96
5.3.2 Структурно-механические свойства.....	99
5.3.3 Органолептические свойства и цвет.....	105
5.3.4 Микробиологический анализ.....	107
5.3.5 Антиоксидантные свойства.....	109
5.3.6 Микроструктурный анализ.....	114
5.4 Доклинические исследования <i>in vivo</i> на самцах крыс линии <i>Wistar</i>	117
5.4.1 Функциональные показатели крыс.....	118
5.4.2 Биохимические показатели крови крыс.....	119
5.4.3 Гематология сыворотки крови крыс.....	122
5.4.4 Анализ окисленности липидов печени крыс.....	123
5.4.5 Анализ главных компонент показателей крыс.....	125
5.5 Расчет экономической эффективности.....	127
Заключение.....	129
Список сокращений и условных обозначений.....	131
Список литературы.....	132
Приложение А Акты выработки продукции.....	162
Приложение Б Анкета-опросник для мониторинга предпочтений респондентов.....	164
Приложение В Значения отклика для двухфакторного эксперимента.....	166
Приложение Г Дополнительные графики значений отклика системы АПТ продукта по математической модели.....	168

Введение

Актуальность темы исследования. В России предполагается активизация партнерства к 2030 г. между государством, научным сообществом и предпринимательством в целях разработки и производства пищевой продукции для здорового питания. В Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной указом Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20, основополагающими целями названы формирование доступности качественной пищевой продукции и создание экономически доступных рационов здорового питания для населения. Согласно Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1364-р, приоритетными задачами являются: развитие научных исследований в области обеспечения качества и безопасности пищевой продукции; разработка инновационных технологий производства и создание условий для производства новых видов специализированных, функциональных и обогащенных, органических пищевых продуктов с повышенным качеством; создание механизмов стимулирования производителей к выпуску пищевой продукции, отвечающей критериям качества и принципам здорового питания.

Согласно современным научным данным, потребление молочных продуктов является частью здорового питания. Становится все более очевидным, что обезжиренные молочные продукты набирают популярность среди населения благодаря пользе для здоровья. При этом молочные продукты с нулевым содержанием жира имеют дефекты текстуры и вкуса из-за удаления жира, что снижает их приемлемость для потребителей. Для преодоления этих недостатков необходимо усовершенствовать существующую технологию, чтобы сохранить изначальную функциональную ценность молочной продукции, улучшить органолептические, в первую очередь текстурные, свойства обезжиренных кисломолочных напитков (ОКМН), повысить потребительскую привлекательность продукции.

В связи с вышеизложенным разработка поколения обезжиренных кисломолочных продуктов по усовершенствованной технологии, обладающей целевой возможностью контроля текстуры, с использованием гидроколлоидов – имитаторов жира, в частности с ферментно модифицированными крахмалами, является актуальной задачей.

Степень разработанности темы. Большой научно-практический и теоретический вклад в развитие и совершенствование технологии переработки натурального молочного сырья при его использовании в производстве различных видов кисломолочных продуктов внесли отечественные ученые З. С. Зобкова, Н. Н. Липатов, В. Д. Харитонов, Е. Ю. Агаркова, И. С. Милентьева, А. И. Гнездилова, Л. А. Остроумов, К. К. Полянский, В. Е. Жидков, С. П. Бабенышев, С. А. Рябцева, Г. Б. Гаврилов, Е. И. Мельникова, А. Д. Лодыгин, и др. Теоретические и практические основы создания молочных продуктов функционального назначения заложены в трудах В. И. Ганиной, Г. М. Свириденко, Н. А. Тихомировой, И. С. Хамагаевой, А. Г. Храмова, С. А. Шевелевой, Н. Б. Гавриловой, Л. В. Голубевой, Л. А. Забодаловой, В. Ф. Семенихиной и др. О взаимодействии молочной матрицы и крахмалов различной природы сообщается в трудах зарубежных ученых J. Y. Zuo, O. O. Awolu, S.-S. Wong, M.-C. Gentès, P. N. Agyemang, H. E. Oh, R. P. W. Williams и др.

Основные исследования выполнены на кафедре технологии мясных и молочных продуктов (ТММП) ФГБОУ ВО «КНИТУ».

Цели и задачи работы. *Целью диссертационной работы* являлась разработка технологии обезжиренных кисломолочных напитков с улучшенными органолептическими характеристиками путем применения ферментно модифицированного крахмала как имитатора жира.

Для достижения поставленной цели исследований были поставлены следующие задачи:

- 1) изучить потребительские предпочтения в отношении органолептических показателей и текстуры обезжиренных КМН;
- 2) провести оценку качества обезжиренных КМН, реализуемых в торговых сетях в г. Казани Республики Татарстан;

3) исследовать влияние бактериальных ферментных препаратов (Амилосубтилин[®] и Альфалад БН[®]) на свойства тапиокового крахмала при модификации при варьировании концентрации вносимого фермента, оценить физико-химические свойства полученных крахмалов;

4) дать оценку показателей качества ОКМН на основе симбиотической закваски с применением ферментно модифицированных крахмалов в качестве имитатора жира, определить оптимальные параметры обработки путем математического моделирования и постановки двухфакторного эксперимента;

5) усовершенствовать технологию получения ОКМН на основе симбиотической закваски, оценить качество полученных ОКМН по органолептическим, химическим, структурным свойствам;

6) провести доклинические исследования кисломолочного продукта Лакто-Силк на крысах линии *Wistar*, определить комплексное воздействие на липидный обмен;

7) рассчитать экономическую эффективность для рекомендации технологии производителям.

Научная новизна. Работа содержит элементы научной новизны в рамках п. 11, 15, 29 паспорта специальности ВАК при Минобрнауки России 4.3.3. Пищевые системы.

1. Получены новые данные о различии в воздействии ферментных препаратов: Амилосубтилин[®] инициирует образование геля с разрушением гранул; Альфалад БН[®] сохраняет форму и контур гранул с образованием волокнистых структур, что позволило получить крахмалы с более высокой влагосвязывающей способностью и индексом растворимости (п. 15 паспорта научной специальности 4.3.3).

2. Предложено новое технологическое решение по производству обезжиренного кисломолочного напитка, включающее стадию ферментной модификации крахмала непосредственно в молоке (п. 29 паспорта научной специальности 4.3.3).

3. Впервые научно обосновано применение модифицированного тапиокового крахмала в качестве ингредиента, формирующего текстуру обезжиренных кисло-

молочных напитков и органолептически по консистенции и длительности послевкусия имитирующего жир (п. 11 паспорта научной специальности 4.3.3).

4. Получены новые данные о воздействии ферментно модифицированного тапиокового крахмала на синтез экзополисахаридов молочнокислых бактерий при производстве обезжиренных кисломолочных напитков (п. 15 паспорта научной специальности 4.3.3).

Теоретическая и практическая значимость работы. *Теоретическая значимость* работы заключается в расширении научных знаний в области получения и применения бактериальных ферментных препаратов с ведущей амилазной активностью для модификации крахмалов. Получены сведения о неспецифическом влиянии кисломолочного напитка «ЛактоСилк» с ферментно модифицированным крахмалом на липидный обмен крыс.

Практическая значимость заключается в определении оптимального режима ферментной модификации тапиокового крахмала в условиях усовершенствованной технологии изготовления обезжиренных кисломолочных напитков.

В условиях пищевого перерабатывающего предприятия ООО «Комос Групп» (Казанский молочный комбинат, г. Казань) выпущены опытные партии кисломолочной продукции с ферментно модифицированными крахмалами (приложение А).

Материалы диссертационной работы внедрены в учебный процесс на кафедре технологии мясных и молочных продуктов ФГБОУ ВО «КНИТУ».

Методология и методы исследования. Методологической основой исследований явились труды российских и зарубежных ученых в области переработки молочного сырья и его применения в технологии производства кисломолочных пищевых продуктов для здорового питания, в том числе с использованием гидроколлоидов различной природы. При решении поставленных задач применяли общепринятые стандартные и специальные методы исследований: органолептические, физико-химические, микробиологические, и статистические. Исследования проводились в 3–5-кратной повторности.

Положения, выносимые на защиту:

- обоснование необходимости разработки ОКМН с заданными потребительскими свойствами;
- физико-химические свойства ферментно модифицированных тапиоковых крахмалов, полученных при использовании двух бактериальных ферментных препаратов с варьированием амилазной активности;
- органолептические, химические, структурные свойства ОКМНсСЗ с ферментно модифицированными тапиоковыми крахмалами;
- математическая модель и ее практическая реализация для определения оптимальной модификации тапиокового крахмала при использовании в усовершенствованной технологии производства ОКМНсСЗ «ЛактоСилк»;
- результаты оценки показателей качества ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» с ферментно модифицированным тапиоковым крахмалом и экономическая эффективность усовершенствованной технологии его производства;
- результаты доклинических исследований воздействия ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» с ферментно модифицированным крахмалом на липидный обмен крыс (снижение показателей триглицеридов, ЛПНП, холестерина, соотношения холестерина/ЛПВП, перекисного окисления липидов печени).

Достоверность результатов исследования подтверждается проведением экспериментов в многократной повторности с применением стандартных и специальных современных методов исследований, статистической обработкой результатов эксперимента с использованием пакета компьютерных программ Microsoft Excel, согласованностью результатов с известными представлениями о составе, структуре, свойствах кисломолочных продуктов, а также актами внедрения, опубликованием основных положений диссертации в рецензируемых печатных изданиях.

Апробация результатов исследования. Основные результаты работы представлены и обсуждены на международных, всероссийских научно-практических конференциях: VIII Международная научно-практическая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Нугаевские чтения» (Казань, 2015); XV Международная конференция молодых ученых «Пищевые технологии и био-

технологии» (Казань, 2016); 5-я Международная молодежная научная конференция «Юность и знания – гарантия успеха – 2018» (Курск, 2018); VI Международная студенческая научно-практическая конференция «Студенчество в науке – инновационный потенциал будущего» (Набережные Челны, 2018); XVI Всероссийская конференция молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием, посвященная 150-летию Периодической таблицы химических элементов «Пищевые технологии и биотехнологии» (Казань, 2019); V Международная молодежная научно-практическая конференция «Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам» (Вологда–Молочное, 2020); II Международная научно-практическая конференция «Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции» (Саратов, 2021); XVII Всероссийская конференция молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Пищевые технологии и биотехнологии» (Казань, 2021); XVIII Всероссийская конференция молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Пищевые технологии и биотехнологии» (Казань, 2023).

По материалам диссертационной работы представлены проекты, попавшие в финал 16-й, 17-й и 19-й Всероссийской молодежной научно-технической конференции «ИДЕЛЬ» в области естественных наук (Казань, 2019, 2020 и 2022 гг.); присуждена победа во II Республиканском конкурсе «Инженер года» (Казань, 2021).

Часть исследований в рамках диссертации поддержаны грантом РФФИ, номер проекта 20-016-00025 (2020–2022 гг.).

Личное участие автора. Представленная работа является обобщением результатов научных исследований, проведенных в период с 2015 по 2023 г. Личное участие автора заключается в теоретическом обосновании актуальности исследований, формулировании цели, постановке задач, планировании и выполнении экспериментов, обобщении их результатов, обработке полученных данных, формулировании выводов, подготовке материалов к публикации, производственной апробации.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 17 печатных работ, в том числе 4 научных статей в рецензируемых научных изданиях,

рекомендованных ВАК при Минобрнауки России; 3 статьи в журналах, индексируемых в базе данных Scopus.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа включает введение, пять глав, список литературы, содержащий 277 наименований, в том числе 228 иностранных источников, и четыре приложения. Работа изложена на 168 страницах, проиллюстрирована 31 таблицей и 41 рисунком.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю кандидату биологических наук, доценту Е. В. Никитиной, а также доктору биологических наук; профессору, заведующей кафедрой ТММП КНИТУ Г. О. Ежковой за предоставление научного оборудования для проведения необходимых исследований; сотрудникам научно-образовательного центра (НОЦ) фармацевтики Казанского федерального университета (КФУ) за помощь в проведении экспериментальных исследований по тестированию кисломолочных напитков с крахмалами *in vivo*.

1 Обзор литературы

Рост интереса к потреблению и разработке ферментированных продуктов с пользой для здоровья отражается в тенденции увеличения числа обзорных и исследовательских международных статей, опубликованных в последние годы, которые цитируются в Web of Science (рисунок 1).

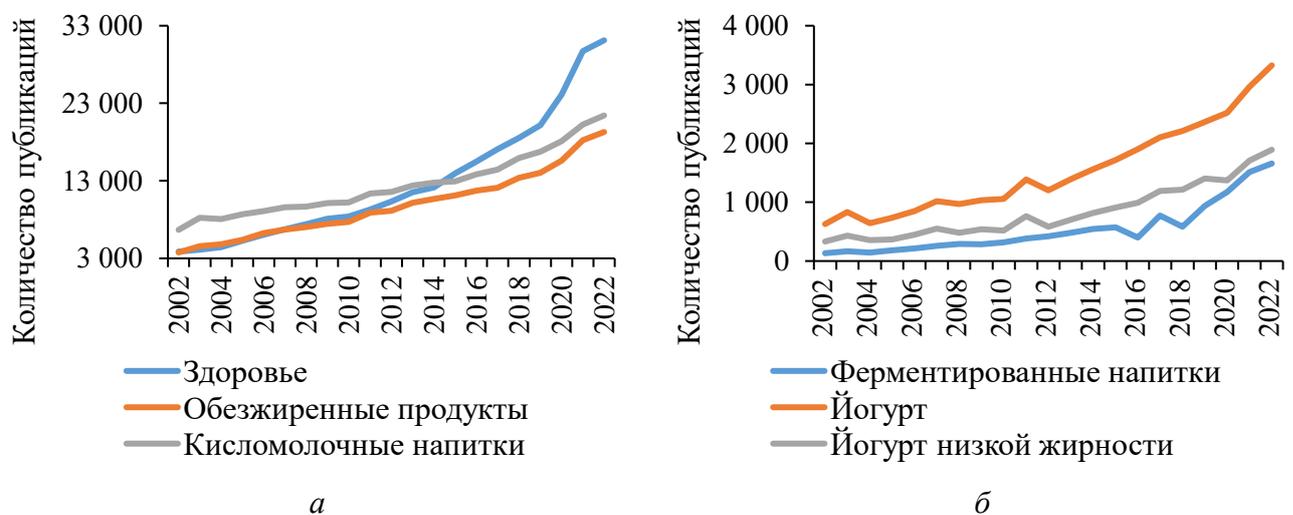


Рисунок 1 – Количество публикаций в Web of Science

При поиске по словам «здоровье», «обезжиренные продукты», «кисломолочные напитки» (рисунок 1а) можно проследить постоянный растущий интерес к данной тематике. Резкий рост публикационной активности, в частности по запросу «здоровье», отмечается с 2019 г. Увеличение интереса к темам «йогурт», «йогурт низкой жирности» (рисунок 1б) можно заметить с 2012 г., а начиная с 2020 г. количество публикаций заметно увеличивается. Подобную картину можно увидеть и при поиске по ключевому слову «ферментированные напитки»: высокая исследовательская активность отмечается начиная с 2018 г. Среди всех статей, выявленных в результате поиска, около 40–50 % публикаций опубликовано за последние пять лет. Аналогичное сообщали С. Марреро и др. [179] на основе поиска публикаций в период с 2000 по 2017 г. по терминам «ферментированные напитки» и «здоровье».

Спрос на молочные продукты, как отмечает Международная молочная федерация, постоянно растет. В 2020 г. мировое потребление молочных продуктов оценивалось в 116,9 кг/чел. По данным ФАО/ВОЗ, к 2025 г. этот показатель должен увеличиться до 129,4 кг/чел. [141]. Глобальный рынок кисломолочных продуктов (КМП) в 2019 г. оценивался в 5,56 трлн р., а к 2024 г., по прогнозам, вырастет до 7,99 трлн р. [225]. Эти тенденции рынка демонстрируют стремительный рост молочного сектора в целом и популярность КМП в частности [225; 256]. В то же время мировой рынок низкожирных йогуртов в 2016 г. оценивался в 0,76 трлн р., а к 2025 г., по прогнозам, достигнет 2,22 трлн р. [269].

Кроме того, в последние годы растет спрос на «здоровую» продукцию и продукты питания с «чистой этикеткой», т. е. потребители предпочитают полезные продукты, содержащие знакомые им ингредиенты, без пищевых добавок (Е-кода) [180; 256].

1.1 Молоко и кисломолочные напитки

Мировое производство молока выросло на 0,5 % в 2017 г. в сравнении с 2016 г. и, как ожидается, вырастет на 22 % в 2027 г. [87]. В России по итогам I квартала 2022 г., по оценкам «Союзмолоко», производство товарного молока выросло на 3,1 % в сравнении с уровнем 2021 г. и составило 5,58 млн т [32].

В настоящее время, по оценкам, во всем мире производится и потребляется около 5 тыс. разновидностей ферментированных продуктов, обладающих потенциальной пользой для здоровья благодаря наличию биологически активных компонентов [107; 272].

Сквашивание молочнокислыми бактериями (МКБ) известно как биотехнологический процесс, позволяющий в разной степени улучшить общее качество, безопасность и сроки хранения продуктов [80]. КМП могут оказывать полезное воз-

действие различными способами [107]. Например, во время ферментации значительно увеличивается содержание многих основных витаминов (B_2 , B_9 , B_{12} или группы К); синтезируется γ -аминомасляная кислота, которая действует как защитный агент против рака и сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) и контролирует кровяное давление. В результате метаболизма МКБ синтезируются экзополисахариды (ЭПС), обладающие гипохолестеринемическими, антиоксидантными и иммуномодулирующими свойствами. В результате гидролиза белка под действием протеаз МКБ образуются биоактивные пептиды. Описаны антигипертензивные, противораковые, противовоспалительные, антидиабетические, антимикробные, антимутагенные, антитромботические свойства пептидов. МКБ также могут преобразовывать сложные соединения в биологически активные метаболиты: например, выделяются короткоцепочечные жирные кислоты (КЦЖК), проявляющие гепатопротекторное и гипохолестеринемическое действие.

Сквашенное молоко легче усваивается [107; 120], обладает прекрасными вкусовыми качествами и имеет длительный срок хранения, что облегчает его распространение, потребление и продажу [225]. При сквашивании молока штаммы МКБ участвуют в снижении уровня лактозы, галактозы и аллергенных белков [11; 45].

Таким образом, большинство полезных для здоровья эффектов, упоминаемых в публикациях о сквашенных продуктах, включают противомикробную активность, противоопухолевое действие через ингибирование мутагенов *in vitro* [120], снижение уровня канцерогенных фекальных ферментов *in vivo*, подавление образования опухолей, стимуляцию иммунной системы, снижение уровня холестерина, риска ССЗ, диабета II типа [179], влияние на бактериальную микробиоту кишечника [120].

КМП имеют долгую историю безопасного использования, являются отличной матрицей для включения биоактивных микробных соединений, их свойства остаются стабильными в процессе охлаждения и хранения [119]. Таким образом, разработка инновационных и функциональных продуктов с использованием КМП, способствующих укреплению здоровья, не утрачивает своей актуальности [9; 10; 43; 120].

Разнообразие заквасочных культур и кисломолочных напитков. Молоко сквашивают промышленно значимыми и безопасными коммерческими штаммами МКБ и пробиотиками. Поэтому в последние годы растет интерес к выделению, характеристике и селекции новых штаммов МКБ в качестве стартовых культур, которые будут успешно обеспечивать технологические и функциональные свойства готовых продуктов [85]. Нестартовые штаммы МКБ могут быть введены в пищевые продукты в качестве: 1) пробиотического агента; 2) биозащитных культур [71]. Согласно А. Тамиме и др., скорость подкисления, концентрация кислоты и время сквашивания являются ключевыми показателями при выборе заквасочных культур [242]. Производители заквасок могут смешивать различные штаммы, в том числе комбинировать МКБ с дрожжами, для создания разнообразных КМП с четко определенными наборами характеристик [118; 119; 179].

Культуры, используемые в молочных продуктах, принадлежат к группам *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* и *Streptococcus thermophilus*. Каждый вид бактерий при сквашивании молока производит различные типы веществ (например, уксусную кислоту, этанол и диацетил), ряд которых отвечают за органолептические свойства напитка [145]. Виды *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Bifidobacterium* и *Pediococcus* синтезируют ферменты, активные в процессах переваривания углеводов, включая глюкозидазы, ксиланазы и амилазы [217]. Термофильные виды *S. thermophilus* и *L. delbrueckii subsp. bulgaricus* вырабатывают фермент β -D-галактозидазу, гидролизующий лактозу.

На мировом рынке КМП наиболее быстрорастущей категорией стали йогурты и йогуртовые продукты [121]. Йогурту приписывают нутрицевтические, терапевтические и пробиотические эффекты, такие как улучшение пищеварения и профилактика желудочно-кишечных расстройств, укрепление иммунной системы и снижение риска заболеваний [52], антиканцерогенная активность и снижение уровня холестерина в сыворотке крови [227; 230], улучшение переносимости лактозы [52; 121]. Йогурт воспринимается потребителями как потенциально полезный для здоровья продукт, содержащий живые и активные бактериальные культуры [256].

Основными симбиотическими заквасочными культурами для производства йогурта являются *S. subsp. thermophilus* и *L. delbrueckii subsp. bulgaricus* с соотношением 1:1 [102]. Эти организмы растут в протокооперативных отношениях, стимулируя друг друга, что приводит к быстрому закислению. В зависимости от типа и активности заквасочных культур, кроме молочной кислоты образуются другие метаболиты, такие как углекислый газ, уксусная кислота, диацетил, ацетальдегид, крупномолекулярные ЭПС или другие соединения, что приводит к формированию характерного вкуса, текстуры и аромата [143]. Для придания дополнительного маслянистого запаха и вкуса могут быть использованы бактерии *Leuconostoc* [143]. Таким образом, питательный и текстурный профиль йогурта уникален и является результатом как исходного качества молока, так и процесса сквашивания [119].

В то же время актуальные тенденции в пищевой промышленности (например, добавление пробиотических организмов в качестве вспомогательных культур для улучшения терапевтической ценности йогурта [44; 216]) и растущий спрос на «здоровую» пищу привели к многоплановым исследованиям и разработке сквашенных молочных продуктов, содержащих пробиотики [107; 225].

В качестве пробиотиков при производстве могут быть использованы различные микроорганизмы, но обычно это бактерии, дрожжи [179]. МКБ объединяет то, что они являются живыми в продукте и могут взаимодействовать с микробиотой кишечника и клетками кишечной стенки [120]. Наиболее известные пробиотические бактерии: *L. acidophilus*, *L. casei* и *Bifidobacterium spp.*; продукты, содержащие такие штаммы, называют «биойогуртами» или «пробиотическими йогуртами». Польза для здоровья от употребления напитков, содержащих *L. acidophilus* и *B. bifidus*, хорошо известна, поэтому содержащие их многочисленные продукты продаются по всему миру [46; 143; 179].

КМП с пробиотическими культурами, наряду с вышеописанными свойствами, обладают и другими полезными характеристиками: регулирование кровяного давления, профилактика рака, в том числе рака толстой кишки [120], антидиабетический эффект, облегчение запоров [216], сокращение продолжительности ротавирусной диареи [215]. Сообщается, что пробиотические бактерии эффективно

задерживают реактивные виды кислорода за счет регулирования микробиоты для избирательного подавления или уничтожения микроорганизмов, связанных с окислительным стрессом [120].

Технологии производства пробиотических сквашенных продуктов успешно применяются для производства йогурта с низким содержанием жира, обладающего желаемыми потребительскими свойствами, однако все еще существует необходимость в оптимизации технологии, поскольку использование различных заквасочных культур потенциально влияет на текстурные, в том числе реологические, свойства [143]. Другими проблемами распространения пробиотических продуктов на массовом рынке является их специфический вкус и высокая цена [216].

Симбилакт. Разработка симбиотических продуктов, содержащих пре- и пробиотики, является предметом современных мировых исследований [36; 107; 179]. Такие продукты позволяют расширить существующий ассортимент и рынок молочной продукции.

Одним из примеров симбиотического пробиотического молочного продукта является «Симбилакт», содержащий, помимо «йогуртовых» культур (*L. delbrueckii ssp. bulgaricus*, *L. acidophilus*, *S. thermophilus*, *B. animalis subsp. lactis*), и другие штаммы МКБ: *L. lactis ssp. cremoris*; *L. lactis ssp. lactis var. diacetylactis*; *L. lactis ssp. lactis*. Эти микроорганизмы обладают антагонистической активностью по отношению к патогенной микробиоте желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) [158].

«Йогуртовые» культуры повышают пищевую ценность, стабильность и безопасность продукта [114; 115; 222; 252]. Так, *L. delbrueckii ssp. bulgaricus* улучшает структуру КМП, предотвращает синерезис [241; 244], проявляет иммуностимулирующее действие [108], способен выживать при прохождении через ЖКТ [110]. *L. acidophilus* придает продукту приятный вкус и аромат, способен утилизировать фруктоолигосахариды и другие пребиотические вещества [67]; проявляет антидиабетическую и антиоксидантную активность [109]. *S. thermophiles* синтезирует ацетальдегид, придающий «типичный» вкус йогурта [131]. *Bifidobacteria* используют в качестве живых культур, которые благотворно влияют на микробиоту кишечника, обладают антиканцерогенной активностью, улучшают усвояемость лактозы, сни-

жают уровень холестерина [189], синтезируют витамины группы В, облегчают всасывание кальция [218]. Благодаря такому сочетанию микроорганизмов «Симбилакт» рекомендован в России в детском и диетическом питании; продукт имеет приятный кисломолочный вкус и густую консистенцию.

1.2 Необходимость производства обезжиренных кисломолочных напитков

Осознание вредного воздействия жира на здоровье привело к тому, что стала расти потребность в функциональных, обогащенных и пробиотических молочных продуктах с нулевым или пониженным содержанием жира [51; 96; 129; 191; 243].

Люди ожидают, что употребление КМП, наряду со снижением содержания сахара, соли и жира, будет полезно для их организма. Вместе с тем все больше научных и клинических данных подтверждают пользу сквашенных КМП для здоровья человека и тем самым способствуют росту популярности данной категории товаров на рынке [232]. Основная цель приобретения молочного продукта – поддержка здоровья, а главными требованиями к молочным продуктам являются функциональные свойства, стабильность хранения, низкое содержание калорий [159]. Рынок йогуртов с низким содержанием жира является развивающимся и занимает значительную долю рынка КМП в развитых странах [54]. Вместе с тем потребители заинтересованы в обезжиренных продуктах, которые имеют разнообразный вкус и органолептические характеристики, схожие с традиционным полножирным молочным продуктом [78; 159].

Ожирение представляет собой серьезную проблему, поскольку оно является фактором риска развития других хронических заболеваний, таких как диабет II типа, нарушение работы печени, гипертония и ССЗ, гиперлипидемия и некоторые виды рака [216]. Статистика показывает, что 40 % взрослых в мире имеют избыточный вес и страдают ожирением. Существующие методы лечения ожирения

основаны на диете, физической активности, хирургическом и фармакологическом вмешательстве, что зачастую малоэффективно и может иметь побочные эффекты [216].

Первый из альтернативных подходов в лечении ожирения – это изменение микробиоты кишечника для снижения его воспаления [216]. Клинические исследования показали, что различные виды штаммов пробиотиков, в основном принадлежащие к *Lactobacillus spp.*, были эффективны при лечении расстройств, связанных с ожирением [216]. Второй подход – это замена жира ингредиентами с более низкой калорийностью, что может помочь в восстановлении дисбаланса между потреблением калорий и физической нагрузкой [53].

Предполагается, что молочный жир имеет гиперхолестеринемический эффект [227]. Диетические рекомендации по снижению содержания холестерина и липопротеидов низкой плотности (ЛПНП) и связанных с ними рисков развития ишемической болезни сердца заключаются в преимущественном потреблении нежирного молока и йогурта [119]. Лечение пробиотиками считается эффективным методом снижения уровня холестерина в сыворотке крови [119; 225]. Предполагается, что пробиотические бактерии могут метаболизировать холестерин и таким образом уменьшать его резорбцию в ЖКТ. Исследования *in vitro* и *in vivo* показывают, что штаммы *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* и другие молочные бактерии усваивают холестерин путем включения в клеточные мембраны, деконъюгации и осаждения холестерина желчными кислотами. Систематическое ежедневное употребление КМП снижает уровень холестерина, увеличивает количество липопротеидов высокой плотности (ЛПВП) в сыворотке крови и улучшает соотношение ЛПНП/ЛПВП [48; 119; 120].

В заключение стоит отметить, что употребление КМП с низким содержанием жира может снизить артериальное давление у пожилых людей с высоким сердечно-сосудистым риском, уменьшить риск развития диабета, обеспечить лучшее качество питания и контроль веса [272].

1.3 Систематизация факторов, снижающих качество обезжиренных кисломолочных продуктов

Разработка рецептуры и производство молочных продуктов с низким содержанием жира и хорошими текстурными свойствами представляет собой проблему для современных производителей [54].

Удаление жира, в том числе снижение содержания общего количества сухих веществ, создает ряд проблем качества обезжиренных КМП:

– ухудшение текстурных, в том числе реологических, показателей продукта [0; 191; 227]. Жир действует как наполнитель, взаимодействует с мицеллами казеина и сывороточными белками, участвует в формировании и укреплении трехмерной структуры кисломолочного геля, что способствует увеличению «толщины» продукта [181]. Следовательно, отсутствие жировых глобул в нежирном йогурте сказывается на плотности молочного геля, приводит к квазистабильной структуре, результатом чего является ухудшение текстуры [191]. Отмечены следующие негативные эффекты снижения или удаления жира: недостаточно упругая текстура, низкая вязкость, синерезис, уменьшение влагоудерживающей способности [159];

– ухудшение органолептических показателей продукта [58; 272]. Известно, что восприятие вкуса происходит через сложную кросс-модальную систему, где вкус, аромат и текстура взаимодействуют для формирования восприятия (флейвора) [13; 124]. Отсутствие жира в продукте приводит к ухудшению консистенции, снижению гладкости, сливочности и насыщенности вкуса, плоскому водянистому вкусу, короткому послевкусию [241, 244], которые считаются наиболее важными потребительскими ожиданиями в отношении текстуры КМП [12; 53; 58; 102; 123; 192; 197]. Удаление молочного жира приводит к потере белизны, продукт становится белесым и сероватым. Снижение содержания жира ведет к потере липофильных соединений и, как следствие, уменьшению аромата [57; 74]. Для устранения вышеуказанных дефектов и улучшения качества маложирного или обезжиренного

йогурта применяют имитаторы жира, стабилизаторы на углеводной и (или) белковой основе [146; 156; 159].

На качество выпускаемых обезжиренных КМП влияет технология производства: подготовка и стандартизация молока-сырья, способ предварительной тепловой обработки, выбор заквасочной культуры [14; 37; 66; 143], условия ферментации (кислотность и температура), способ постферментационной обработки, хранение [99; 100; 156; 159; 272].

1.3.1 Имитаторы жира в обезжиренных кисломолочных напитках.

Полисахариды

Производство молочных продуктов с низким или нулевым содержанием жира как привлекательной категории продуктов для значительной части населения известно уже много лет [38; 129]. В свою очередь, использование стабилизаторов и загустителей для производства обезжиренных КМП, полностью отвечающих запросам потребителей, все еще является новшеством [19; 241; 244]. Данная технология будет развиваться пищевой промышленностью [20; 197].

Имитаторы жира должны выполнять ряд функций. Во-первых, они должны повторять и (или) имитировать все или некоторые функциональные физико-химические свойства качества жира, при этом придавать продукту органолептические свойства, приписываемые жиру, такие как насыщенный сливочный вкус, нежная текстура, внешний вид и вязкость [2; 18; 146; 197]. Во-вторых, они должны снижать калорийность пищи. Это достигается либо за счет способности удерживать воздух и воду, либо за счет того, что они хуже усваиваются [51; 146].

Имитаторы жира обычно делят на группы по составу – белковые и углеводные, каждая из них обладает различными функциональными свойствами и может использоваться отдельно или в виде смеси для улучшения текстурных, в том числе

реологических, и органолептических характеристик продукта в целях удовлетворения потребительских запросов [51; 146; 269].

Имитаторы жира на белковой основе изготавливаются из различных видов белка: растительные – из соевого [104], животные – из яичного, молочного (казеин и сывороточные белки) или сывороточного белка [1; 24; 146; 245]. Цель добавления имитатора жира на основе белков – увеличение общего содержания сухих веществ [6; 55; 191] и доли молочного белка [168; 211].

Обогащение йогурта молочными белками изменяет его микроструктуру, текстурные свойства и связывание ароматических соединений. Сообщалось о высокой корреляции между инструментальными измерениями (анализ текстурного профиля: твердость и когезия) и органолептическими характеристиками при добавлении в йогурт нативных молочных белков [272]. Избыточное добавление сухого белка как имитатора жира может привести к порошкообразному вкусу, чрезмерному образованию кислоты в результате ферментации лактозы, чрезмерной упругости, повышенному выделению сыворотки [168; 227]. Установлено, что микропартикулированные агрегированные белковые частицы по-разному ощущаются во рту: частицы размером 0,1–2 мкм отвечают за ощущение кремообразной консистенции, схожей с жирами, а более крупные частицы (свыше 3 мкм) способствуют формированию зернистой, меловидной текстуры [51; 146]. На гелеобразование и свойства йогурта могут также влиять степень денатурации, поверхностная активность и моно-/полидисперсность белков [272].

Для имитации жира также используются *агенты на углеводной основе* – полисахариды, такие как целлюлоза, декстрины различного строения, камеди, модифицированный крахмал (кукурузный, картофельный, тапиоковый и др.), желатин, инулин, пектин, агар, каррагинан, альгинат [26; 163], хитин/хитозан и ксантан и др. [5; 197; 215]. Оздоровительное действие гидроколлоидов связано с регулированием аппетита, улучшением работы кишечника, снижением риска остеопороза, профилактикой ишемической болезни сердца, диабета II типа и рака толстой кишки [175]. Они безопасны и могут действовать как имитаторы жира, главным образом за счет образования геля и удержания значительного количества свободной воды в пище-

вых системах [7; 23; 51; 146]. Энергетическая ценность таких углеводов равна (2 ± 2) ккал/г [146].

Различные *полисахариды*, используемые как имитаторы жира и стабилизаторы, создают эксклюзивные органолептические характеристики в зависимости от их типа, концентрации, молекулярных характеристик (молекулярной массы, плотности заряда, особенностей углеводной основы и ее боковых цепей, конформации), условий процесса и окружающей среды (например, pH, ионной силы и термической обработки) и типа производимого молочного продукта [39; 40; 96; 269; 272]. Эти взаимодействия могут происходить в виде сольubilизации, сегрегации и комплексообразования, которые направляются электростатическими реакциями, стерическим отталкиванием и силами флокуляции [269]. Для каждой конкретной системы сквашенного молочного геля эти факторы могут быть отрегулированы для достижения желаемого эффекта стабилизации [127]. По этой причине выбор добавки и ее количества важны для улучшения органолептических характеристик продукта [16; 102].

Таким образом, основными целями добавления полисахаридов как имитаторов жира в маложирный или обезжиренный КМП являются:

- увеличение вязкости [241; 244], загущение и стабилизация матрицы молочного геля, в том числе за счет увеличения водоудерживающей способности (ВУС) и минимизации синерезиса [66]. Для предотвращения агрегации и седиментации мицелл казеина необходимо добавить достаточное количество стабилизатора, чтобы он полностью покрыл поверхность частиц казеина за счет электростатического притяжения. Покрытые полисахаридом частицы белка могут оставаться диспергированными и стабильными около или ниже своей изоэлектрической точки [127];

- снижение калорийности и содержания холестерина и насыщенных жирных кислот при сохранении аппетита;

- придание и улучшение органолептических свойств, в том числе консистенции [121; 127; 269]. Внесение стабилизатора повышает общее количество сухих ве-

ществ, способствует равномерному распределению ингредиентов [121] и позволяет получить желаемую текстуру [230; 269].

– увеличение сроков хранения и качества. Снижение активности воды и синерезиса за счет введения стабилизатора ведет к подавлению роста нежелательных микроорганизмов. Стабилизаторы минимизируют колебания значений показателей между партиями, способствуя поддержанию качества продукта [30; 121].

Гидроколлоиды, принадлежащие к группе полисахаридов, хорошо известны как ингредиенты для улучшения вкусовых качеств и текстуры йогурта с низким содержанием жира [53]. Они обычно используются в концентрации менее 1 % [121] и рассматриваются как неотъемлемая часть пищевой промышленности. Желание потребителей использовать продукты питания с улучшенными органолептическими и функциональными свойствами увеличило продажи и производство этих соединений во всем мире [269].

Однако при использовании гидроколлоидов могут возникать текстурные дефекты. Например, чрезмерная стабилизация может привести к желеобразности, пружинистости структуры и неприятному химическому привкусу [76], в то время как из-за недостаточной стабилизации может образоваться «текучая» масса или отделение сыворотки. Для производителя важно, чтобы используемый имитатор жира – гидроколлоид легко диспергировался при технологической температуре в кисломолочной смеси, был эффективным в диапазоне pH 4,0–4,6, легко растворялся, обладал хорошей ВУС, способствовал образованию стабильных эмульсий [121]. Для потребителя же важно, чтобы гидроколлоиды не изменяли натуральный вкус продукта [191].

С учетом этих требований для имитации жира в йогурте часто используются коммерческие гидроколлоиды: пектин, желатин и нативный или модифицированный крахмал [102; 167; 181; 191; 192].

Пектин получают из вторичных сырьевых ресурсов сокового (яблоки, цитрусовые) и свеклосахарного производства. Он является эффективным гелеобразователем и широко используется в пищевой промышленности. Ограничения его применения связаны с ростом стоимости и дефицитом (объема) поставок [49; 90].

Желатин получают путем гидролиза коллагена. Этот гидроколлоид хорошо повышает вязкость и используется в производстве КМП. В последние годы использование желатина сократилось из-за его стоимости, растущего беспокойства потребителей по поводу использования животных для получения желатина [52; 113].

Крахмал в молочной промышленности является коммерчески успешным, широко используемым полисахаридом благодаря своим свойствам загущения и структурирования, а также способности уменьшать синерезис [230; 173] за счет желатинизации. Порошкообразные крахмалы без вкуса, такие как кукурузный, картофельный, тапиоковый, пользуются высоким коммерческим спросом [65]. Использование гидроколлоидов, таких как модифицированный крахмал, может привести к созданию молочных продуктов с низким содержанием жира [269].

1.3.2 Дополнительное улучшение текстуры обезжиренного кисломолочного напитка заквасочной культурой. Экзополисахариды

Использование культур, продуцирующих ЭПС, вызывает значительный интерес в молочной промышленности, поскольку ЭПС могут частично заменить добавляемые стабилизаторы, используемые для улучшения органолептических свойств в технологии КМП с низким содержанием жира [8; 33; 121; 122; 132; 133].

Большинство ЭПС принадлежат к родам *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* и *Pediococcus* (в том числе можно выделить виды *S. thermophilus*, *L. kefiranofaciens*, *L. helveticus*, *L. sake*, *L. delbrueckii subsp. bulgaricus*, *L. lactis subsp. cremoris*, *B. longum* и *B. infantis*) [132-133; 143; 238]. ЭПС, вырабатываемые заквасочными культурами йогурта (*S. thermophilus* и (или) *L. delbrueckii subsp. bulgaricus*), влияют на текстуру, в том числе консистенцию, йогурта, уменьшают синерезис и улучшают такие органолептические характеристики, как блеск, глянец, чистоту среза и кремовость [102; 107].

Тип ЭПС, включая состав мономеров, молекулярную массу, разветвленность, тип связи и заряд, жесткость и способность взаимодействовать с белками, специфичен для продуцирующего штамма. Производство ЭПС различными заквасками для йогурта варьируется в пределах от 45 до 350 мг/л [76; 123]. ЭПС из *L. delbrueckii ssp. bulgaricus* влияет на упругость, в то время как ЭПС, продуцируемый *S. thermophilus*, придает сливочность, плотность конечному продукту [114; 115]. Ощущение сливочности и жирности возникает благодаря покрытию языка ЭПС и дальнейшей задержке ими очищения рта слюной [84].

Кроме того, ЭПС вызывают интерес из-за их антиоксидантных, антимикробных, иммуномодулирующих, гипохолестеринемических, антидиабетических, противоопухолевых и других эффектов. Было показано, что они эффективно снижают уровень холестерина, связывая холестерин и уменьшая его всасывание. Гипохолестеринемические эффекты ЭПС были подтверждены *in vivo* на животных моделях и в испытаниях на людях. ЭПС участвуют в колонизации, прикреплении и иммуномодулирующих функциях в ЖКТ [107]. Из-за их роли в укреплении здоровья некоторые микробные ЭПС определяются как пребиотики [121].

1.4 Крахмал как имитатор жира в обезжиренных кисломолочных напитках

На протяжении десятилетий крахмалы применяются для имитации жира. Как правило, эти крахмалы являются либо кислотными, либо ферментно обработанными [53]. Модифицированный крахмал является нейтральным стабилизатором, не вступает в рН-зависимые взаимодействия с белками, но улучшает структуру и текстуру за счет увеличения вязкости водной фазы системы [191].

1.4.1 Структура нативных крахмалов

Крахмал – энергетический источник для роста растений [77]. Крахмальные гранулы различаются по свойствам и внешнему виду: размеру (от 1 до 100 мкм в диаметре) и форме, которая свойственна их растительному происхождению [234]. Крахмал представляет собой смесь амилозы и амилопектина, которые синтезируются растительными ферментами и одновременно заключены в плотные, нерастворимые в воде гранулы с внутренней пластинчатой структурой [56].

Исследования, посвященные соотношению амилозы и амилопектина в гранулах из разных ботанических источников, организации и структуре крахмала, типам аморфных и кристаллических структур (строение двойных спиралей боковой цепи, ветвление областей) амилопектина, минорным соединениям (белкам, липидам, фосфору (лизифосфолипидам), морфологии гранул и их резистентности к ферментативному гидролизу, освещены в индивидуальных исследовательских статьях и книгах [68; 196; 231], а также в множестве обзорных работ групп авторов. В настоящее время большее внимание уделяется вопросам взаимодействия используемых гидроколлоидов с компонентами пищевых систем.

1.4.2 Физико-химические свойства крахмалов

Физико-химические свойства крахмалов зависят от содержания амилозы и амилопектина. Во время желатинизации крахмальные гранулы набухают и образуют гель. Основу гранул составляет амилопектин, а непрерывная фаза образуется в результате диффузии амилозы из гранул во внешнюю среду [135]. Свойства крахмалов из различных ботанических источников различаются (таблица 1).

Таблица 1 – Свойства нативных гранул крахмала [111]

Свойство	Картофель	Кукуруза	Восковая кукуруза	Тапиока
Диаметр, нм				
Диапазон	5–100	3–26	3–26	4–35
Среднее значение	30	15	15	20
Липиды, % w/w	0–05	0–60	0–15	0–10
Протеины, % w/w	0–06	0–35	0–25	0–10
Фосфор, % w/w	0–08	0–02	0–01	0–01
Амилопектин, %	21	28	0	17
Степень полимеризации				
Амилоза	3 000	800	–	3 000
Амилопектин, $\cdot 10^6$	2	2	2	2
Температура желирования, °С	60–65	75–80	65–70	49–73
Пик вязкости	3 000	600	800	1 000
Сила набухания при 95 °С	1 153	24	64	71
Вязкость геля	Очень высокая	Средняя	Средняя/высокая	Высокая
Прозрачность геля	Прозрачный	Непрозрачный	Немного прозрачный	Полностью прозрачный
Скорость ретроградации	Низкая/средняя	Высокая	Очень низкая	Низкая

Наиболее часто используемым крахмалом в промышленности до настоящего времени считался кукурузный. Однако его высокая стоимость, наличие зернового привкуса, изменяющего первоначальный вкус и аромат продукта, наличие остаточного белка глютена (запрещен для пациентов с целиакией) делают необходимым поиск альтернатив [121].

Нативный крахмал маниоки, напротив, был рекомендован к применению в пищевой промышленности из-за его доступной цены, нейтрального чистого вкуса, высокой химической чистоты и вязкости, хорошей растворимости и способности к набуханию. Модификация нативного крахмала маниоки может улучшить текстурные показатели КМП и способствовать созданию необходимой гладкой кремообразной консистенции [50].

Среди основных процессов, происходящих с гранулами крахмалов в процессе производства, можно отметить следующие: набухание – обратимое поглощение холодной воды аморфными областями гранулы (10–20 %) [254]; клейстеризация (желатинизация) – необратимое изменение свойств и переход гранул в хаотичную структуру, что связано с гидратацией крахмала, поглощением тепла и сольubilизацией [137]; ретроградация – преобразование (рекристаллизация) структуры метастабильного крахмального геля в процессе охлаждения и хранения [149]; синерезис – увеличение жесткости и фазовое распределение между полимером и растворителем [153].

1.4.3 Маниока и тапиоковый крахмал

По итогам 2021 г. на мировом рынке натуральных крахмалов основными странами-импортерами были: Таиланд (30 % продаж, основная доля – маниоковый крахмал); Вьетнам (17 %, маниоковый крахмал); Германия (8 %, из которых 51 % поставок пришлось на картофельный крахмал, 25 % – на кукурузный и 14 % – на пшеничный). При этом на глобальном рынке доля нативного кукурузного крахмала составляет 41 %, тапиокового – 24 %, картофельного – 5 % [25].

Россия по итогам 2021 г. занимала 24-е место (в денежном выражении) в импорте натуральных крахмалов и 8-е место в импорте модифицированных. Согласно информации Ассоциации «Союзкрахмал», в 2022 г. основными видами сырья для производства крахмала в России оставались кукуруза и пшеница [35]. Потребности российских предприятий в картофельном крахмале покрываются на 30–50 % за счет собственного производства, остальная часть закупается за рубежом из Дании, Республики Беларусь, Германии, Франции и Польши (данные 2019 г.) [22; 28].

Тапиоковый крахмал доступен для промышленного применения, в России фасуется сертифицированным производителем (ГОСТ Р ИСО 22000-2007) ООО

«Гарнец» (происхождение Таиланд). В рознице в нативном состоянии реализуется под брендами «Вегана» и «Garnes», ТУ 9187-018-89751414-13.

Источником тапиокового крахмала выступает кассава (*Manihot esculenta* Crantz) – многолетний кустарник, устойчивый к засухе, произрастающий в Азии, Африки и Южной Америке [185] (рисунок 2). Выход урожая составляет 20 т/га, содержание сухого вещества – около 33,6 %, из которых 73–85 % – крахмал.

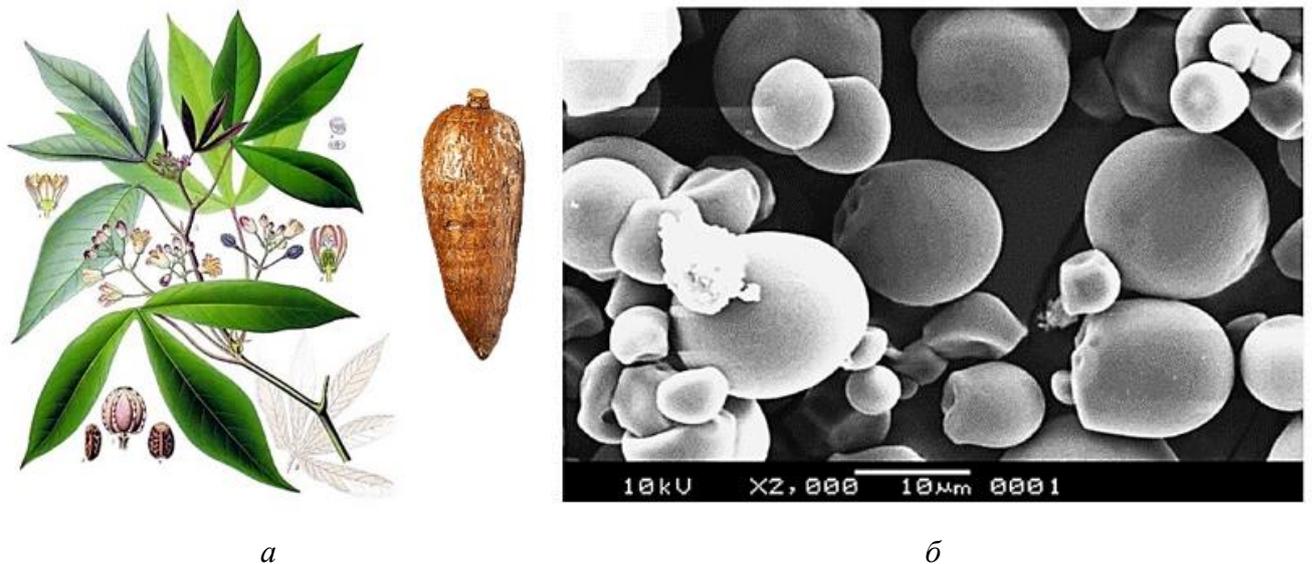


Рисунок 2 – Строение кассавы (а) и микроскопия крахмальных гранул тапиоки (б) [88]

Тапиоковый крахмал изучен подробно (таблица 2) и находит применение в широком спектре отраслей промышленности [185].

Таблица 2 – Свойства нативных гранул тапиокового крахмала [59; 103; 185]

Показатель	Характеристика
Цвет	Чистый белый
Аромат	Мягкий
Прозрачность	Прозрачный
Вязкость	Высокая
Стабильность	Стабильный при размораживании и оттаивании

Продолжение таблицы 2

Показатель	Характеристика
Химический состав, %	
Волокна и зола	0,01–0,49
Липиды	0,07–1,54
Фосфор	0,007–0,012
Амилоза	8–27
Физико-химические свойства	
Влажность, %	10,0–14,8
Степень (объем) набухания, мл/г	46–71
Растворимость, %	25–48
Температура желатинизации, °С:	
$T_{нач}$	50,7–68,5
$T_{макс}$	54,7–78,0
$T_{кон}$	73,7–100,0
Энтальпия желатинизации ΔH , Дж/г	6,8–22,0

По данным ФАО, общий объем производства тапиокового крахмала в 2017 г. в 102 странах составил 277,96 млн т. Лидерами по производству маниоки являются, млн т: Нигерия – 55; Таиланд – 30,94; Бразилия – 20,11; Индонезия – 20,33 [116].

1.4.4 Методы модификации крахмала

Нативные крахмалы модифицируются для преодоления склонности к ретроградации, высокого синерезиса, низкого водоудерживающего потенциала, плохой стабильности к замораживанию-оттаиванию, зернистой текстуры, неустойчивости к механическому сдвигу, которые ограничивают их промышленное применение [65]. Сведения о методах модификации представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Преимущества и недостатки основных методов модификации крахмала

Тип модификации	Процесс	Специфичность и избирательность	Степень безопасности (возможная опасность)	Длительность получения измененного крахмала	Затраты электроэнергии	Вред для окружающей среды
Химическая	Добавление агрессивных реагентов	Случайная/низкая	Наличие вредных реагентов, например кислот	Часы	Высокие	Высокий, сточные воды
Физическая	Изменение температуры, давления, влажности, излучение	Случайная/низкая	Риски отсутствуют, мало-значительны	Часы	Очень высокие	Минимальный
Генетическая	Изменение генов растения	Сложно контролировать	Риски неизвестны	Жизненный цикл растения	Высокие	Не изучено
Микробиологическая ферментация	Действие естественной микрофлоры	Случайная	Наличие микроорганизмов	До 60 сут	–	–
Ферментная	Ферменты микроорганизмов	Высокая	–	Минуты	Низкие	Минимальный
Примечание – Модификация может быть проведена комбинированием указанных способов [63; 164; 200; 271].						

Посредством модификации устраняют недостатки и получают крахмалы с заданными свойствами, что расширяет сферу их применения в пищевых продуктах с разнообразной текстурой, вкусом и удлиненным сроком хранения [95; 188; 235]. При модификации изменяются физико-химические характеристики цепей амилозы и амилопектина, функциональные и текстурные свойства [206] (таблица 4).

Модифицированные крахмалы используются в качестве стабилизаторов, съедобных покрытий, для имитации жира и повышения содержания резистентного крахмала [79].

Физически и ферментно модифицированные крахмалы считаются экологически чистыми [207; 271].

Таблица 4 – Изменение свойств крахмалов при разных методах модификации [79; 112; 148; 155; 182; 257; 276]

Тип модификации	Методы модификации	Изменения в структуре и свойствах
Химическая	Кислотная обработка, сшивание, окисление и замещение, включая этерификацию в суспензии, пасте или твердом состоянии	Присоединение новых функциональных групп, изменение полярности, деградация нативной структуры. Улучшаются растворимость и диспергируемость крахмала в холодной воде. Повышается молекулярная стабильность в условиях механического сдвига, воздействия кислот и высокотемпературного гидролиза; удается получить желаемую вязкость
Физическая	Прежелатинизация, отжиг, термовлагообработка, экструзия, поляризация, механическое истирание	Изменение функциональных, структурных и физических характеристик, таких как растворимость, кристалличность, набухаемость, вязкость, термические свойства и стабильность
Микробиологическая ферментация	Естественная ферментация с участием молочной микрофлоры путем вымачивания крахмала в воде при 26 °С или выдерживания в 1 % растворах молочной кислоты с последующей сушкой (на солнце или в печи при 50 °С)	Повышается прозрачность, водопоглощающая способность, растворимость, увеличивается содержание амилозы, снижается средняя молекулярная масса, температура желатинизации и вязкость

1.4.5 Ферменты и ферментная модификация

Классификации ферментов, используемых для модификации крахмалов, представлены в таблице 5 [21; 34].

Таблица 5 – Классификации ферментов в зарубежной литературе

Вариант 1 [251]	Вариант 2 [207; 208; 263; 271]
Эндоамилазы (α -амилаза)	Гликозилгидролазы – гидролитически расщепляют гликозидную связь гликозидов, в результате чего образуются глюкоза и свободный агликон (α -амилаза (мальтогенная амилаза), β -амилаза, амилосахараза)
Экзоамилазы (β -амилаза, амилоглюкозидаза и глюкоамилаза)	
Разветвляющие ферменты (изоамилаза и пуллуназа)	Трансгликозилазы – катализируют превращение одного гликозида в другой (циклодекстрин гликозилтрансфераза, глюкантрансфераза (фермент ветвления), пуллуланаза и изоамилаза (ферменты разветвления), 4- α -глюканоттрансфераза амилomalтаза)
Трансферазы	

Распространенными ферментами для модификации крахмала являются α -амилаза, β -амилаза, глюкоамилаза, пуллулаза и изоамилаза (таблица 6) [41; 70].

Таблица 6 – Основные ферменты для модификации крахмала

Фермент	Действие	Результат
α -амилаза	Гидролиз (1-4)- α -глюкозидных связей в эндо-действии (случайным образом). Уменьшение молекулярного размера и вязкости крахмалов	Смесь линейных и разветвлённых олигосахаридов, мальтозы, глюкозы и ряд α -предельных декстринов
β -амилаза	Гидролиз (1-4)- α -глюкозидных связей в экзо-действии (направленно), не редуцирующий конец амилозы	Глюкоза, мальтоза и декстрины с высокой молекулярной массой, конверсия 50–60 %
Глюкоамилаза	Гидролизует полисахариды с длинной цепью, разрушая α -D-(1-4) и α -D-(1-6) связь	Глюкоза
Пуллулаза	Гидролизует α -D-(1-6) связь в эндо-действии в амилопектине и предельных декстринах	Продукты без точек ветвления, длинные полисахариды, мальтозы и мальтотриозы
Изоамилаза	Гидролизует α -1,6-глюкозидную связь	Крахмал-разветвляющий фермент
Цикломальтодекстрин D-глюко-трансфераза	Гидролиз 1-4-гликозидной связи молекулы донора и перенос ее на молекулу акцептора с образованием новой гликозидной связи	Ряд невосстанавливающих цикломальтоолигосахаридов, которые содержат от шести до восьми остатков D-глюкозы
Примечание – Модификацию можно проводить с использованием одного и более ферментов при соответствующих условиях температуры и pH.		

Ферментативный гидролиз проводят при низких температурах и pH 4–5 [257]. Применяют ферменты микроорганизмов [169; 170], грибов, дрожжей, растений [208; 235].

Ферментно модифицированные крахмалы. Ферментная модификация протекает мягко, с легким превращением субстрата в чистый продукт, с возможностью извлечь и повторно использовать фермент, а также другими преимуществами, перечисленными в таблице 4 [205].

Основной целью ферментной модификации является изменение молекулярной массы, соотношения амилозы и амилопектина, а также структуры амилопектиновых цепей. Целостность гранул ферментно модифицированных крахмалов в ос-

новном не нарушается, хотя встречаются фрагментированные гранулы, о чем свидетельствуют увеличенные поры и трещины. Образующиеся под действием фермента поры и ямы в грануле крахмала способствуют формированию пористой структуры, которая позволяет проникнуть молекулам воды для облегчения желатинизации, поглощения жидкости [219; 250]. Уровень амилозы, молекулярная масса молекул амилозы и амилопектина, а также кристалличность таких крахмалов снижаются, а количество коротких разветвленных молекул, растворимость и набухание повышаются [198; 199]. Ферментативная модификация крахмала приводит к появлению низкомолекулярных линейных фракций коротких цепей амилопектина, снижает гликемический индекс, повышает устойчивость к замораживанию-оттаиванию, замедляет ретроградацию при хранении [262]. Модифицированные ферментами крахмалы снижают вязкость пасты, демонстрируют отличные реологические свойства [233]. Крахмалы, модифицированные разветвляющими ферментами, образуют короткие глюкозоподобные цепи, которые могут легко перекристаллизовываться и перестраиваться благодаря гидрофобному взаимодействию и водородным связям, демонстрируют бóльшую способность удерживать воду, чем нативный крахмал, образуя гидрогелевую сеть с агрегацией цепей [172]. Модификация крахмала различными ферментами способствует усилению и получению необходимых для конкретной пищевой системы свойств [235].

1.5 Применение крахмалов в молочной промышленности

Простота обработки, низкая себестоимость по сравнению с другими гидроколлоидами [277] сделали крахмал часто используемым загустителем при производстве йогурта [63], а смещение предпочтений потребителей в сторону определенной текстуры (например, более густого consistency или низкой жирности) способствует большему распространению и внедрению крахмалов [173; 261]. В по-

следнее время в качестве загустителей при производстве йогурта, помимо традиционного кукурузного и картофельного крахмалов, используются крахмалы из других растительных источников: например, крахмал кудзу, водяного ямса или тапиоки [261].

Активно ведутся исследования влияния крахмалов (различной природы и типа модификации) на текстурные, в том числе реологические, и органолептические параметры йогуртовой системы (питьевой и термостатный йогурт) из молока с разной жирностью [50; 58; 74; 101; 124; 152; 156; 202–204; 243; 260; 266], содержание жира в готовом продукте варьирует от 0,05 % до 25 %. Кроме основных йогуртовых культур, используют дополнительные пробиотические штаммы, *L. acidophilus* и *Bifidobacterium* [65; 139], штаммы – продуценты ЭПС для увеличения вязкости продукта [123].

В заключение параграфа отметим, что крахмалы положительно влияют на текстурные, в том числе структурно-механические, свойства, снижают синерезис кисломолочных напитков. Использование ЭПС-продуцирующих МКБ в сочетании с крахмалом улучшает реологические свойства йогурта. Крахмалы, обработанные ферментами, способствуют восприятию йогурта с низким содержанием жира как продукта со сливочной консистенцией. Крахмалы влияют на структуру белковой сети, встраиваются в нее, но, вероятно, ведут себя как неактивные наполнители, при этом влияют на формирование аромата. Оптимальное содержание крахмала рекомендуется на уровне 0,5–1,5 %. Установлено, что нативные крахмалы уступают своим модифицированным аналогам и не подходят для использования в йогурте по причине их плохой устойчивости к высокой кислотности, а также из-за высокой степени ретроградации.

Модифицированные крахмалы широко используются для изменения текстуры – имитации жира, стабилизации, эмульгирования и загущения. Тенденции, направленные на исключение из продукта химических ингредиентов, и спрос покупателей на натуральную продукцию заставляют производителей использовать меньшее количество добавок [186] либо переходить на более экологичные, положительно воспринимаемые потребителем технологии, такие как ферментная моди-

фикация. Использование крахмала, полученного из тапиоки, в качестве имитатора жира считается наилучшим выбором среди других коммерческих крахмалов. Тапиоковый крахмал имеет высокую степень чистоты, образует прозрачный гель, не содержит аллергенов (безглютеновый), легче усваивается, имеет идеальную вязкость [136], не передает аромат в продукт, позволяет ему сохранить натуральный вкус [230].

Заключение по обзору литературы

Кисломолочные продукты вызывают интерес как у потребителей и производителей, так и у научного сообщества из-за их потенциальной пользы для здоровья и возможности внедрения на массовый рынок. Подбор штаммов молочнокислых, в том числе пробиотических, бактерий способствует улучшению терапевтической ценности выпускаемых продуктов.

Потребители, осознав вредное воздействие избыточного потребления жира, наряду с функциональными пробиотическими продуктами, предъявляют спрос на продукты с пониженным или полным отсутствием жира. При этом удаление молочного жира при производстве обезжиренных кисломолочных продуктов приводит к ухудшению их текстурных и органолептических показателей, что снижает приемлемость и привлекательность продукта для потребителя. Для борьбы с вышеуказанными дефектами в технологии производства обезжиренных кисломолочных продуктов распространенной стратегией является использование имитатора жира, стабилизатора на белковой или углеводной основе.

При использовании гидроколлоидов как стабилизаторов могут возникать технологические сложности, органолептические дефекты продукта, поэтому возникает необходимость тщательного подбора типа, концентрации и условий применения данных веществ. С учетом этих требований в производстве обезжиренных

кисломолочных продуктов коммерчески успешность приобрел крахмал. Одним из наиболее часто используемых крахмалов, наряду с кукурузным и картофельным, стал тапиоковый. Он рекомендован специалистами и исследователями благодаря его стоимости, отсутствию аллергенов, нейтральному чистому вкусу, высокой химической чистоте и вязкости, хорошей растворимости и способности к набуханию.

Для повышения технологической ценности и разработки пищевых продуктов с разнообразной текстурой, вкусом и удлиненным сроком хранения нативный крахмал подвергают различным видам модификации.

Крахмалы, модифицированные с помощью ферментов, например амилолитических, считаются экологически чистыми и безвредными для человека. Кроме того, ферментная модификация обладает технологическими преимуществами: коротким временем модификации, высоким выходом желаемого продукта, низкими издержками на электроэнергию, отсутствием вредного воздействия на окружающую среду. В связи с вышесказанным данная технология находит все большее применение в пищевой и, в частности, молочной промышленности.

Исследовательские работы, посвященные применению модифицированных крахмалов, в том числе ферментами, тапиоковых крахмалов, для производства питьевых и термостатных низкожирных и обезжиренных кисломолочных напитков подтверждают перспективность разработки и внедрения такой технологии в промышленное производство.

2 Материалы и методы исследования

2.1 Организация эксперимента

Экспериментальные исследования и оценка обезжиренных КМП, реализуемых в розничных магазинах г. Казани, проводились в период с 2016 по 2022 г. на базе кафедры ТММП ФГБОУ ВО «КНИТУ». Теоретические и экспериментальные исследования выполнены в соответствии с поставленными задачами. Общая схема исследования представлена на рисунке 3.

2.2 Объекты и материалы исследований

В исследовании использовались следующие объекты.

Сырье: нативный тапиоковый крахмал (Таиланд, производитель в России – ООО «Гарнец», ТУ 9187-018-89751414-13); ферментный препарат Амилосубтилин[®] («Сиббиофарм», Россия, G3x (A – 1500 U/g)). Оптимум: 30–50 °С, рН 4,5–7,0 [42]; препарат ферментный Альфалад БН[®] (ООО «Концерн «Микробиопром», Россия (A – 2000 ед/см³)). Оптимум: 60–70 °С, рН 6,0–6,5 [3]; молоко коровье обезжиренное (жир 0,05 %, белок 3,18 %, лактоза 4,7 %), молоко коровье нормализованное (жир 3,2 %, белок 3,1 %, лактоза 4,7 %); лиофильно высушенная закваска «Симбилакт» (ООО «ВИВО Индустрия», состав: лиофильно высушенные штаммы: *S. thermophilus*, *L. delbrueckii subsp. bulgaricus*, *L. acidophilus*, *B. lactis*, *L. lactis subsp. cremoris*, *L. lactis subsp. lactis*, *L. lactis subsp. lactis var. diacetylacti*).

Готовая продукция: образцы КМП, приобретенные в торговых сетях г. Казани, соответствующие требованиям НТД.



Рисунок 3 – Общая схема исследований

Живые системы: экспериментальные исследования по тестированию КМП с крахмалами *in vivo* проводили на базе НОЦ фармацевтики КФУ. В работе использовали крыс линии *Wistar*.

Первичные документы: анкеты для мониторинга предпочтений респондентов – покупателей продукции торговых сетей (приложение Б); дегустационные листы для проведения дегустаций разработанных образцов КМП и образцов из розничной сети. Для исследования ассортимента обезжиренных КМП были выбраны торговые организации г. Казани – Auchan Retail, SELGROS Cash&Carry, «Бахетлэ», ПАО «Магнит», сеть X5 Retail Group («Перекрёсток», «Карусель», «Пятёрочка»).

В работе термины «стабилизатор» (ГОСТ 33782-2016) и «имитатор жира» были приняты как синонимы по отношению к нативному, ферментно модифицированному в водной среде, ферментно модифицированному в технологической линии производства ОКМН, тапиоковому крахмалу.

2.3 Методики модификации крахмала и получения кисломолочных напитков

2.3.1 Модификация крахмала

Модификацию тапиокового крахмала проводили в воде (30 г/100 мл), pH = 7, 40 °С в течение 1 ч согласно таблице 7. Гидролиз останавливали добавлением концентрированной серной кислоты (pH = 2), фильтровали и сушили при 40 °С. Полученный крахмал использовали для дальнейших исследований.

Таблица 7 – Коды тапиоковых ферментно модифицированных крахмалов

Крахмал	Амилазная активность, У/г крахмала	Амилосубтилин, г/100 мл реакционной смеси	Альфалад БН, мл/100 мл реакционной смеси
АТ-0,05	0,415	0,0100	–
АТ-0,1	0,830	0,0201	–
АТ-0,25	2,070	0,0500	–
АТ-0,5	4,150	0,1005	–
АТ-1	8,300	0,2010	–
ВТ-0,05	0,415	–	0,05
ВТ-0,1	0,830	–	0,10
ВТ-0,25	2,070	–	0,25
ВТ-0,5	4,150	–	0,50
ВТ-1	8,300	–	1,00

2.3.2 Получение кисломолочных напитков

В исследовательской работе получены обезжиренные кисломолочные напитки на симбиотической закваске (ОКМНсСЗ). Коды обозначений ОКМНсСЗ с различными ферментно модифицированными крахмалами остались аналогичными (см. таблицу 7). Был добавлен ОКМНсСЗ без крахмала (далее в работе – контроль). По усовершенствованной технологии произведен обезжиренный кисломолочный напиток на симбиотической закваске, названный «ЛактоСилк» (лат. *lactis* – молоко; англ. *silky* – мягкий, нежный, шелковый).

Крахмалы добавляли в молоко в концентрации 1 %. Смесь пастеризовали на водяной бане при 95 °С в течение 30 мин, периодически перемешивая, после чего остужали до 40 °С. Для получения активированной закваски сухую закваску вносили в обезжиренное молоко из расчета 0,1 г/100 мл, культивировали при 37 °С в течение 16 ч, получали стартовую культуру. Полученную культуру добавляли в молочные смеси с крахмалами из расчета 5 % к массе смеси. Для получения ОКМНсСЗ молоко сквашивали при 40 °С 8 ч до рН = 4,5, далее охлаждали при 4–5 °С в течение 20 ч для стабилизации. Затем образцы хранили при 4 °С и подвергали анализу.

2.4 Методы исследований

2.4.1 Методы анализа свойств крахмала

Содержание амилозы определяли методом связывания йода, описанным П. Уильямсом и др. [259] с некоторой модификацией [246]. Метод спектрофотометрический, оптическую плотность определяют при 625 нм. *Количество белка* измеряли по методу, описанному М. Брэдфордом [72]. Колориметрический метод основан на сдвиге спектра поглощения кумасси (Coomassie Blue) в сторону значений 595 нм прямо пропорционально концентрации содержащегося в растворе белка [72]. *Количество остаточных редуцирующих сахаров* (остаточной глюкозы) определяли методом 3,5-динитросалициловой кислоты (DNS) [183]. Интенсивность окраски измерялась спектрофотометром при 575 нм. Для определения *водосвязывающей способности* (ВСС) и *индекса растворимости в воде* (ИРВ) использовали гравиметрические методы, описанные М. Омойолой и др. [201]. Для определения ВСС образец крахмала (5 % w/v) диспергировали в предварительно взвешенной центрифужной пробирке. Пробирку помещали в вихревую мешалку на 2 мин, оставляли при комнатной температуре на 30 мин, осторожно перемешивали в течение этого периода, а затем центрифугировали при 3000 мин^{-1} в течение 15 мин. Надосадочную жидкость отделяли и измеряли вес пробирки и гидратированного образца. Вес рассчитывали и выражали как вес воды, связанной 100 г сухого крахмала. ИРВ определяли как вес сухих твердых веществ в надосадочной жидкости по результатам теста ВСС. Надосадочную жидкость декантировали в специальную испарительную емкость с известным весом, фиксировали вес сухого твердого вещества после выпаривания в печи с циркуляцией воздуха при температуре 103 °С. ИРВ, выраженный в граммах твердого вещества на 100 г крахмала, рассчитывали по весу сухого твердого вещества, полученного при выпаривании надосадочной

жидкости при 110 °С в течение 12 ч. [201; 246]. Температуру желатинизации оценивали термометрическим методом с применением контактного нагрева и фиксации температуры термометром [62]. Коэффициент вязкости оценивали по методу, описанному Е. В. Никитиной и М. С. Цыгановым [27], при этом использовали 1 % крахмальный гель и капиллярный вискозиметр ВНЖ (Россия). Световая оптическая микроскопия крахмалов описана ранее [47]: метод основан на окрашивании исследуемого вещества и его просмотре под световым микроскопом в поляризованном свете Axio Imager при увеличении в 400 раз.

2.4.2 Методы анализа кисломолочного напитка

Анализ белков, сухого вещества и плотности в продукте проводили по методу Е. В. Никитиной и др. [192]. Анализ проводили на приборе InfraLUM® FT-12 (Россия) с калибровочными данными для продукта «йогурт». Анализ основан на связи инфракрасного спектра поглощения и состава образца.

Анализ минеральных веществ, белков и углеводов проводили в сыворотке продукта после центрифугирования при температуре окружающей среды при 3000 g в течение 15 мин анализатором молока «Клевер-2М» (Россия). Анализ основан на измерении характеристик ультразвука, проходящего через образец, зависящих от концентрации веществ и температуры пробы.

Анализ количества глюкозы. Количество глюкозы в продукте определяли фотометрическим методом по количеству глюкозы в сыворотке с помощью глюкометра AccuCheck Active.

Анализ кислотности. Измерения pH проводились потенциометрическим методом с помощью цифрового pH-метра (HI 2216, Hanna Instruments, Германия). Титруемую кислотность измеряли методом титриметрического анализа по ГОСТ 31976-2012.

Для анализа водоудерживающей способности и синерезиса использовали методы, описанные М. Омйолой и др. [201; 246]. Образцы продукта (около 20 г) (Y) после охлаждения до 4 °С за 24 ч хранения, центрифугировали в течение 10 мин при 3000 мин⁻¹ и 20 °С. Выделившуюся сыворотку (W) удаляли и взвешивали. Водоудерживающую способность (ВУС) ферментированного молока рассчитывали следующим образом:

$$\text{ВУС} = \frac{Y - W}{W} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Синерезис измеряли после охлаждения образцов (около 20 г) до +4 °С через 24 ч хранения (Y). Образцы центрифугировали в течение 5 мин при 500 мин⁻¹ и 20 °С. Выделившуюся сыворотку (S) удаляли и взвешивали. Синерезис ферментированного молока рассчитывали следующим образом:

$$\text{Синерезис} = \frac{S}{Y} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Аппаратную (динамическую) вязкость определяли вибрационным методом вискозиметрии. Вязкость продукта (100 мл) измеряли при 8 °С с помощью вискозиметра Брукфильда с концентрическим цилиндром (модель RV-DVIII, Inc., Китай), оснащенного ротором № 3, перемешивающим при 60 мин⁻¹; измерение проводили в течение 180 с. Измерение коэффициента сопротивления сгустка проводили при скорости ротора 6; 12; 30 и 60 мин⁻¹. Для описания поведения коэффициента сдвига использовали модель поведения образцов:

$$\sigma = A \cdot \gamma^n, \quad (3)$$

где γ – вязкость, мПа·с⁻¹; A – коэффициент густоты потока; n – показатель поведения жидкости.

Показатели A , n и R^2 рассчитывали с помощью Microsoft Excel. Измерения проводили в трех повторах, результаты записывали в $\text{мПа} \cdot \text{с}^{-1}$.

Органолептическая оценка. Анализ продукции проводили по ГОСТ ISO 4121-2016, ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011, ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011 с использованием описаний органолептических характеристик для кисломолочных продуктов «Йогурт», «Кефир», «Ацидофилин» и продуктов, обогащенных бифидобактериями (ГОСТ 31981-2013, ГОСТ 31454-2012, ГОСТ 32926-2014, ГОСТ 33491-2015, ТР ТС 032/2013). Использовали термины и их определения, относящиеся к органолептическому анализу согласно ГОСТ ISO 5492-2014. На основании вышеуказанной НТД и гедонистической шкалы с коэффициентами весомости, представленной в работах [192; 29] с некоторыми изменениями, разработана 20-балльная шкала (таблица 8).

Таблица 8 – Балльная оценка кисломолочных напитков

Наименование показателя	«Скидка»	Балльная оценка
Вкус и запах (10 баллов) ²		
Отличный	1–0	9–10
Хороший	2–3	8–7
Удовлетворительный	4–5	6–5
Неудовлетворительный	6–10	4–0
Консистенция и цвет (5 баллов) ¹		
Отличная	0	5
Хорошая	1	4
Удовлетворительная	2	3
Упаковка, внешний вид (5 баллов) ¹		
Отличная	0	5
Хорошая	1	4
Удовлетворительная	2	3
<p>Примечание – Оценивая каждое свойство по балльной системе, использовали цифровую дискретную интервальную шкалу:</p> <p>5¹ / (9–10²) – нет отклонения от заранее установленных требований к органолептическим свойствам;</p> <p>4¹ / (8–7²) – минимальное отклонение;</p> <p>3¹ / (6–5²) – заметное отклонение;</p> <p>2¹ / (4–0²) – значительное отклонение.</p>		

По итогам балльной оценки продукцию характеризовали следующим образом: отличная – 18–20 баллов; хорошая – 15–17 баллов; удовлетворительная – 12–14 баллов; неудовлетворительная – ниже 11 баллов.

Испытателей для органолептического анализа отбирали по ГОСТ ISO 85861-2011, ГОСТ Р ИСО 22935-1-2011. В состав отобранных кандидатов входили специалисты и преподаватели Института пищевых производств и биотехнологии ФГБОУ ВО «КНИТУ». Каждый участник получил 50 мл продукта, температурой 12 °С в стеклянном флаконе объемом 100 мл с откручивающейся крышкой.

Дегустационный лист оценки органолептических показателей представлен на рисунке 4.

Дата оценки _____			Фамилия, инициалы _____		
№ пробы		Органолептические свойства		Баллы	
Подпись _____					

Рисунок 4 – Дегустационный лист

Оценка цвета. Параметры цвета измеряли колориметрическим методом с помощью колориметра Chroma Meter (Китай) [221] по методу М. С. Цыганова и др. [246].

Анализ профиля текстуры (ТРА). Анализ используется для инструментальной оценки структурно-механических характеристик продукции. ТРА определен с помощью структурометра СТ-2 (Россия). Программа: два цикла погружения и поднятия цилиндра (\varnothing 36 мм и h 35 мм) с тензодатчиком, h погружения – 15 мм, $v = 0,5$ мм/с. По результатам измерения производили расчеты показателей (таблица 9) [247].

Таблица 9 – Параметры анализа профиля текстуры на структурометре СТ-2

Параметр ТРА	Измерение
Твердость, г	$P_1 = F_{1\max}$
Эластичность	A_2/A_1
Сила адгезии, г	$F_{1\min}$
Адгезия, г·с	A_3
Когезия (по unit)	B_1/A_1
Скорректированная когезия	$(B_1 - B_2) / (A_1 - A_2)$
Клейкость/липкость, г	$P_1 \times B_1 / A_1$
Упругость, мм	d_2
Тягучесть, мм	d_3
Разжевываемость, Г·мм	$P_1 \times B_1 / A_1 \times d_2$

Подготовка фракций к анализу антиоксидантных свойств:

1) продукт в виде водного экстракта (ВЭ). Образцы ОКМНсСЗ разбавляли в 10 раз водой;

2) сыворотка. Образцы ОКМНсСЗ разбавляли в 5 раз водой;

3) экзополисахариды. Образцы ОКМНсСЗ 20–30 г выдерживали на водяной бане (100 °С) 30 минут. После охлаждения образцы центрифугировали при 3500 мин⁻¹ в течение 15 мин и к 4 мл образца добавляли 0,7 мл 85 % трихлоруксусной кислоты. Образцы охлаждали (до 4 °С) и повторно центрифугировали при 8000 мин⁻¹ в течение 10 мин. Осаждение ЭПС из образцов проводили с помощью холодного этанола (-20 °С, 1:3). Образцы выдерживали в холодильнике 48 ч и центрифугировали (4 °С, 8000 мин⁻¹, 10 мин), растворяли осадок в H₂O_{дист} (объем равен объему пробы) и определяли ЭПС;

4) безбелковый экстракт. Образец ОКМНсСЗ (10 г) смешивали с 2,5 мл дистиллированной воды и рН продукта доводили до 4,0 с помощью 1М HCl. Далее смесь инкубировали на водяной бане (45 °С) 10 мин. Остужали до 4 °С, после чего центрифугировали при 10 000 мин⁻¹ в течение 10 мин. Супернатант отделяли и рН доводили до 7,0, используя NaOH (0,5 М), после чего вновь центрифугировали при 10 000 мин⁻¹ в течение 10 мин для удаления остатков солей и белков. Супернатант хранили в холодильнике и использовали в течение 24 ч для анализа.

В случае анализа напитка по технологии производства КМП были изучены две фракции – продукт и сыворотка. При анализе напитка по усовершенствованной технологии изучены все четыре фракции.

Оценка радикал-связывающей активности с помощью 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (метод DPPH, RSA, %). Антиоксидантную способность анализировали по методу У. Брэнд-Уильямс и др. [73] с изменениями, описанными в работе М. С. Цыганова и др. [246]. Метод колориметрический, основан на реакции DPPH, растворенного в этаноле, с образцом антиоксиданта, содержащегося в исследуемом веществе, и определении оптической плотности при 517 нм.

Восстановительная сила. Анализ проводили по методу В. Лертиттикула [166] с изменениями, описанными в работе М. С. Цыганова и др. [246]. Метод фотометрический, основан на измерении изменений цвета, при которых раствор желтого цвета (Fe^{3+}) восстанавливается до различных оттенков синего цвета (Fe^{2+}) в зависимости от восстанавливающей способности образца, которая обнаруживается при 700 нм.

Гидроксирадикал-связывающая активность (ГА). Способность улавливать свободные радикалы ОН определяли по методу С. Цинь и др. [220] с изменениями. Образцы предварительно разводили в 5 раз для анализа. Затем добавили 0,5 мл 5 мМ/л раствора $FeSO_4$, 0,5 мл этанольного раствора салициловой кислоты концентрацией 5 мМ/л и 0,5 мл раствора перекиси водорода концентрацией 3 мМ/л к 0,5 мл образца, который затем смешивали и инкубировали при 37 °С в течение 30 мин, далее образцы центрифугировали 5 мин при 9000 об/мин. ГА выражалась как поглощение при 510 нм относительно контроля ($H_2O_{дист}$).

Способность связывать Fe^{2+} . Анализ проводили по методике П. Мунианди [187] с изменениями. К исследуемому образцу (1 мл) приливали $FeCl_2$ (0,1 мл 2 ммоль/л), раствор феррозина (0,2 мл 5 ммоль/л) и 3,7 мл воды, после чего выдерживали при 30 °С 10 мин. Дополнительные ряды пробирок: 1 – по основной методике, но с заменой раствора феррозина (0,2 мл 5 ммоль/л) на 0,2 мл воды; 2 – две пробирки по основной методике, но с заменой образца на $H_2O_{дист}$. Поглощение при

562 нм измеряли на спектрофотометре (СФ-2000, Санкт-Петербург, Россия) относительно контроля (дистиллированной воды).

Световая оптическая микроскопия продукта. Анализ проводили по методу, описанному А. Вафиной [250], при увеличении в 400 раз.

Сканирующая электронная микроскопия. Микроструктуру образцов оценивали по методу Е. В. Никитиной и др. [195]. Образцы фиксировали 2 % глутаровым альдегидом в течение 4–5 ч; затем трижды промывали 0,2 М Na–К фосфатным буфером (рН 7,0) и обезвоживали на 30; 40; 50; 60; 70 и 80 % (дважды для каждой концентрации) в течение 15 мин, с последующей трехкратной дегидратацией 95 % этанолом по 30 мин. Образцы устанавливали на металлические штифты и покрывали золото-палладиевым сплавом (толщиной порядка 10 нм) с помощью установки для нанесения покрытий Quorum Q150T ES. Образцы наблюдали с помощью самоэмиссионного сканирующего электронного микроскопа Merlin (Carl Zeiss, Германия) при ускоряющем напряжении 5 кВ с детектором вторичных электронов. Анализ проводили на базе Аналитического центра микроскопии КФУ.

Лазерно-сканирующая микроскопия (ЛСМ). КМП исследовали нативно, предварительно образцы помещали на предметное стекло и накрывали покровным. Объект визуализировали с помощью ЛСМ на инвертированном Carl Zeiss LSM 780 конфокальном лазерно-сканирующем микроскопе (Carl Zeiss, Jena, Германия). Анализ проводили на базе Аналитического центра микроскопии КФУ.

Микробиологические методы. Регламентированы ТР ТС 033/2013. Определяли согласно ГОСТ 10444.11-2013, ГОСТ 10444.12-2013, ГОСТ 30347-97, ГОСТ 31659-2012, ГОСТ 32031-2012, ГОСТ 32901-2014, ГОСТ 32923-2014, ГОСТ 33566-2015.

2.5 Доклинические исследования кисломолочного напитка

Проведение эксперимента одобрено Локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО «КФУ» (протокол № 38 от 4 октября 2022 г.). Крыс содержали при 20–24 °С, влажности 60–65 % и цикле свет/темнота 12 ч, обеспечивали свободный доступ к стандартному корму и водопроводной воде. Пятнадцать крыс возрастом 12–14 недель были случайным образом разделили по сходности особей на три группы. Каждая группа получала следующее питание:

- контроль: группа с нормальной диетой получала базовую диету (НД) и стерильную воду. Использовали коммерческий корм (DeltaFids, компания «БиоПро», Новосибирск, Россия) (обменная энергия – 2500 ккал/кг, сырой протеин – 19 %);
- ОКМНсСЗ: НД + ОКМНсСЗ (2 г/животное) и стерильная вода;
- ЛактоСилк: НД + ОКМНсСЗ «ЛактоСилк», полученный по усовершенствованной технологии с модифицированным крахмалом (2 г/животное), и стерильную воду.

ОКМНсСЗ получали по технологии производства КМП, ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» – по усовершенствованной. После стабилизации каждый образец использовали для кормления животных в течение 7 сут, хранили при 6 °С. Каждые 7 сут готовили новую порцию молочных продуктов. Через шесть недель (42 сут) образцы крови животных собирали сразу после эвтаназии в одноразовые пробирки, содержащие разделительный гель, и центрифугировали при 3500 мин⁻¹ в течение 10 мин. До анализа образцы хранили в холодильнике.

Анализ крови проводили на анализаторе Abacus Junior 5 VET (Diatron Messtechnik GmbH, Австрия). Селезенку, почки (вместе), сердце и печень каждого животного взвешивали. Индекс массы органов определяли между соотношением массы тела и органами животного, выражали в процентах.

Анализ крови крыс. TC, HDL, LDL, триглицериды, ALT и AST, AP, LDG, общего белка и билирубина определяли в ChemWell2902 (Awareness Technology,

США) с использованием наборов или реагентов Spinreact S. A. (Испания). VLDL рассчитывали по формуле: $VLDL = TC - HDL - LDL$.

Анализы печени крыс. Перекисное число (POV) определяли по методу Салама [195; 226].

Значение свободных жирных кислот (FFA) определяли по методу Рукундуна (официальный метод AOCS) [195; 223].

Реактивное вещество тиобарбитуровой кислоты (ТБК). Значения 2-тиобарбитуровой кислоты определяли методом, описанным А. Шмедесом [195; 229].

2.6 Статистический анализ

Все эксперименты проводились в трех повторах. Статистическую значимость результатов определяли с помощью двухстороннего анализа ANOVA с помощью программного обеспечения GraphPad Prism при уровне значимости $P < 0,05$. Графическое представление анализа главных компонент (PCA) позволяет анализировать данные на двухмерной карте P1/P2 с помощью программы Statistica12 (Statsoft) и выявлять тенденции между переменными при уровне значимости $P < 0,05$.

При работе с крысами учитывались переменные, т. е. общий холестерин, HDL-C, LDL-C, VLDL-C и концентрация триглицеридов. Среднее значение каждой из переменных для каждой крысы и различия между ними для каждого вида питания были измерены методом ANOVA. Результаты, полученные для каждой группы, оценивали попарно с помощью теста достоверно значимых различий Tukey. Расчеты проводили с помощью программы GraphPad.

3 Мониторинг обезжиренных кисломолочных продуктов и предпочтений покупателей в г. Казани в 2021–2022 гг.

Органолептические свойства, такие как вкус и текстура, являются одними из основных факторов, определяющих выбор и приемлемость пищи для потребителя [117; 237]. Однако именно текстуре продуктов питания, играющей роль в формировании вкуса для покупателей, не уделяется должного внимания. Вязкие, липкие или слизистые продукты, а также продукты, содержащие неожиданные комочки или твердые частицы, потребителями отвергаются из-за страха подавиться [239]. Таким образом, чтобы получить «вкусный» с точки зрения покупателя продукт, нужно соблюсти баланс между текстурой (реологией продукта) и натуральным кисломолочным вкусом. Реология продуктов может быть улучшена с помощью добавления различных веществ растительного и животного происхождения для получения оптимального результата под каждую отдельную отрасль или пищевой продукт.

3.1 Социальный опрос – анкетирование

Для оценки удовлетворенности покупателей текстурой и жирностью КМП, представленных в розничных торговых сетях, был проведен социологический опрос в виде анкетирования потребителей (Google-анкета, приложение Б). В качестве объекта исследования (генеральная выборка) выступали трудоспособные, социально активные, обладающие покупательской способностью жители Республики Татарстан (г. Казань). Целевые признаки – пол и возраст. Респонденты приглашались к участию в анкетировании рандомно (случайно), путем живых встреч по месту работы (учебы) и через социальные контакты. Основа выборки (группа из

500 чел., прошедших опрос) представлена женщинами в возрасте от 18 до 30 лет (2/3 опрошенных).

Вопрос о приемлемости существующих дефектов КМП для покупателей являлся ключевым. Кроме того, исследовали предпочтения респондентов относительно вида (питьевой/термостатный), состава (содержания сахара и белка), частоты употребления КМП и склоняющего к покупке фактора (натуральность, текстура, вкус, жирность).

Исследование показало, что респонденты употребляют КМП от 1 до 3–4 раз в неделю. Предпочтения относительно вида продукта распределились в соотношении 46,4 % (термостатный) к 53,6 % (питьевой). Среди покупателей (рисунок 5) порядка 20 % предпочитают продукты с жирностью от 0,1 % до 1,5 %.

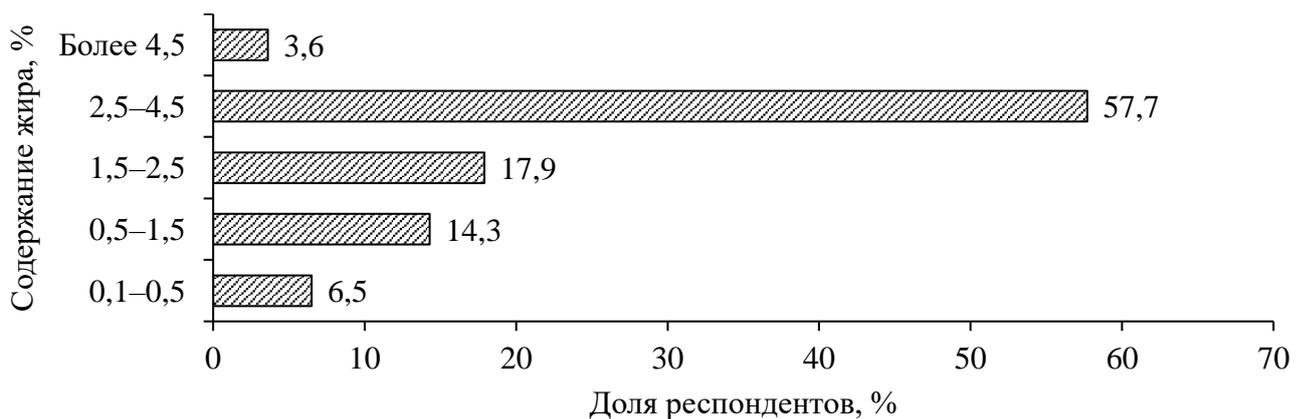


Рисунок 5 – Предпочтения респондентов по содержанию жира в кисломолочной продукции

Для 34,5 % респондентов не важно наличие наполнителей в продукции. Среди опрошенных 43,5 % хотели бы видеть на полках магазинов продукцию без внесенного сахара и подсластителей; еще 22,0 % респондентов не отказались бы от продукции с подсластителем. Выявлено, что 41,1 % респондентов изучают состав продукта перед покупкой; 47 % приобрели бы продукт, содержащий загустители, стабилизаторы.

В открытом вопросе анкеты респонденты среди наиболее часто встречающихся дефектов приобретаемых КМП отметили зернистость, комочки, расслоение

и неоднородность молочного сгустка после покупки, ухудшение структуры продукта при хранении. Среди опрошенных 35,6 % не удовлетворены запахом и вкусом обезжиренных КМП, реализуемых в г. Казани, 36 % – консистенцией и цветом, 17 % – внешним видом.

Распределение факторов, определяющих выбор КМП, по значимости представлено на рисунке 6а. Жирность не является самым важным фактором при выборе КМП, а значит, имеется возможность увеличения доли людей, потребляющих продукцию с меньшим количеством жира, за счет улучшения текстуры и создания КМП, соответствующего запросу потребителей. «Вкусный» для покупателя – это продукт с приемлемой текстурой (реологией) и натуральным кисломолочным вкусом. При этом жирность можно уменьшить, а для сохранения текстуры и натуральности продукта внести стабилизатор природного происхождения.

Установлено, что 66,1 % опрошенных высказали желание приобрести обезжиренный КМП при условии сохранения «вкусно-текстурных» свойств продукта (рисунок 6б).

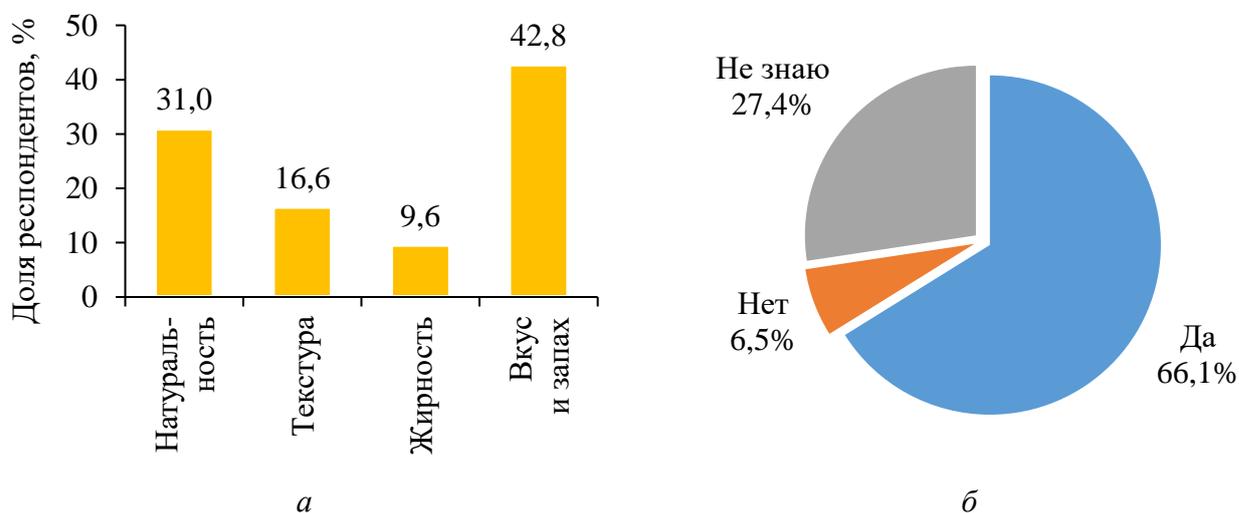


Рисунок 6 – Факторы покупки кисломолочного продукта (а) и желание респондентов приобрести обезжиренный кисломолочный продукт (б)

Анализ потребительских предпочтений показал, что жирность не является главным фактором покупки. Для респондентов гораздо важнее получить «вкусный» продукт. Однако жирность является основной характеристикой КМП, напрямую

определяющей его потребительские органолептические и текстурные свойства. Отмеченные дефекты текстуры (зернистость, расслоение и неоднородность) в основном связаны с добавлением плодово-ягодных наполнителей в состав КМП. Вместе с тем возникает необходимостью загущать стабилизаторами измененную структуру таких продуктов, а также добавлять подсластители для маскировки химического привкуса стабилизаторов. Молочный сгусток в таких продуктах неполноценен, что приводит к кумулятивному негативному эффекту при транспортировке и хранении.

Можно заключить, что удаление и замена молочного жира на загуститель или стабилизатор не являлись бы критичными почти для 70 % опрошенных, в то же время 34,5 % опрошенных не видят ценности в употреблении КМП с наполнителями, по-видимому, стремясь вести здоровый образ жизни. Сохранить текстуру жирного продукта для таких покупателей в обезжиренном продукте возможно, например, с помощью полисахаридов, при условии правильного их дозирования и соблюдения технологии. Разработка такой технологии представляется востребованным и выгодным экономическим решением.

3.2 Оценка качества обезжиренных кисломолочных продуктов в розничных магазинах г. Казани в 2021–2022 гг.

Оценка качества продукции, востребованной на потребительском рынке, представляет собой один из этапов совершенствования технологий продуктов питания. Для оценки параметров КМП и дальнейшего обоснования выбора наиболее желательной для потребителя текстуры во взаимосвязи с органолептической оценкой обезжиренного продукта были исследованы образцы, выпускаемые отечественными производителями. Цель оценки – изучить текстурные (вязкость, сопротивление) свойства обезжиренных КМП, реализуемых на рынке г. Казани, а также выявить их текстурные дефекты.

Основную анализируемую группу представлял продукт кефир (наибольший удельный вес в ассортименте), также исследовали по одному образцу биокефира и йогурта – всего девять образцов с жирностью от 0,1 % до 0,5 % (таблица 10).

Таблица 10 – Образцы ОКМН для оценки качества

Торговая марка	Полное наименование	Состав	НТД	Изготовитель
Valio Clean label	Йогурт питьевой без наполнителя	Обезжиренное молоко, цельное молоко, сухое обезжиренное молоко, молочный белок, йогуртовая закваска	ТУ 10.51.52-005-00428347-2016	ООО «Галактика», Россия, Ленинградская обл., г. Гатчина
Био Баланс	Биопродукт кисломолочный кефирный, обогащенный бифидобактериями, обезжиренный	Нормализованное молоко (Р), обезжиренное молоко (У), закваска молочнокислых культур, молочных дрожжей, пробиотических культур (бифидобактерий)	ТУ 10.51.52-045-13605199	АО «Данон Россия», Россия, г. Москва
Наша корова	Кефир обезжиренный	А – молоко обезжиренное, закваска на кефирных грибкаx. Б – молоко восстановленное, закваска на кефирных грибкаx	ГОСТ 31454-2012	ОАО «Ядринмолоко», Чувашская Республика, г. Ядрин
Просто молоко				ООО «Агросила – молоко», г. Набережные Челны
Вкусняев				ОАО «Алабуга Сете», г. Елабуга
Очень важная корова				АО «Зеленодольский молочно-перерабатывающий комбинат», г. Зеленодольск
Свой				Крестьянское (фермерское) хозяйство Муллагалиев Адель Рафаилович, РТ, с. Пестрецы
Молочная речка				ОАО «Милком», Удмуртская Республика, г. Ижевск «Ижмолоко»; ООО «Казанский молочный комбинат», г. Казань
Васькино счастье				АО «Зеленодольский молочно-перерабатывающий комбинат», г. Зеленодольск

По итогам балльной оценки 4/9 образцов можно характеризовать как «хорошие», образцы 3, 5, 7, 8 – «удовлетворительные», образец 1 – «отличный» (рисунок 7). Ни один из образцов анализируемой продукции не получил максимальных баллов.

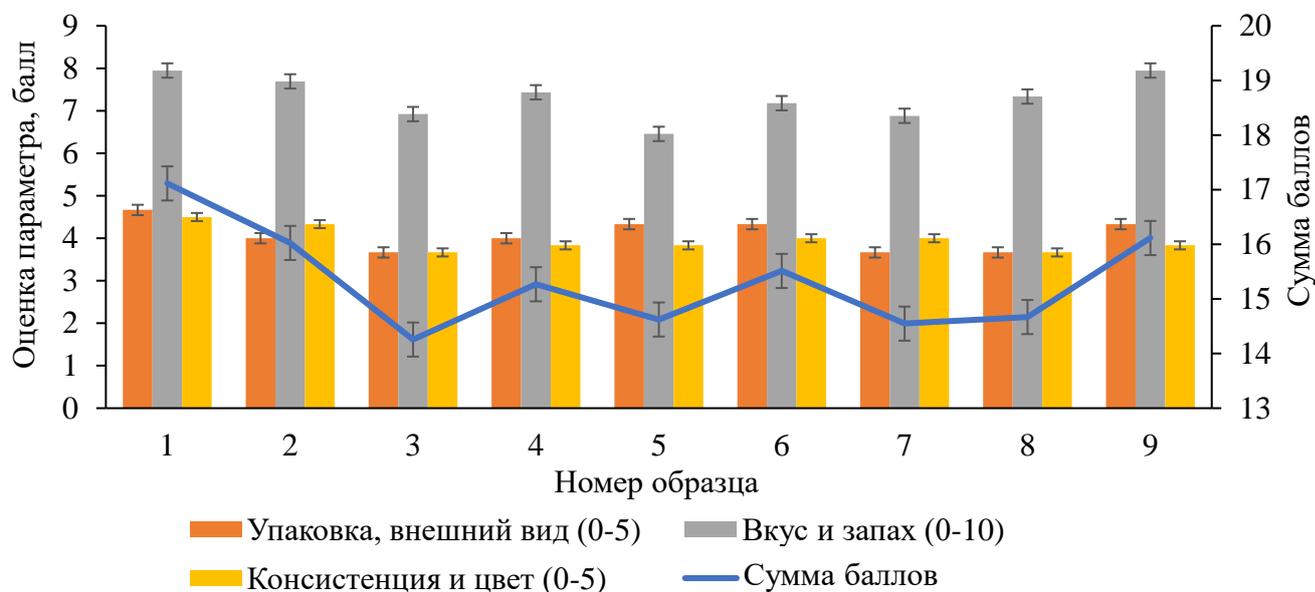


Рисунок 7 – Органолептические показатели покупной обезжиренной кисломолочной продукции

Образцы 3 и 8 получили низкую оценку (3,7 балла) за параметры «упаковка, внешний вид», а также «консистенция и цвет». При органолептической оценке дегустаторами были сделаны замечания: горький или кислый вкус, отделение сыворотки, короткое послевкусие, скудный вкус.

Анализ показал, что кислотность соответствовала требованиям нормативно-технической документации¹: титруемая кислотность находилась в диапазоне 110–135 °Т, рН – в диапазоне 4,8–5,1 (рисунок 8).

¹ Титруемая кислотность кефира – 75–130 °Т (ГОСТ 31454-2012); кефира с бифидобактериями – 85–130 °Т (ГОСТ 33491-2015); йогуртов – 75–140 °Т (ГОСТ 31981-2013); рН не регламентируется.

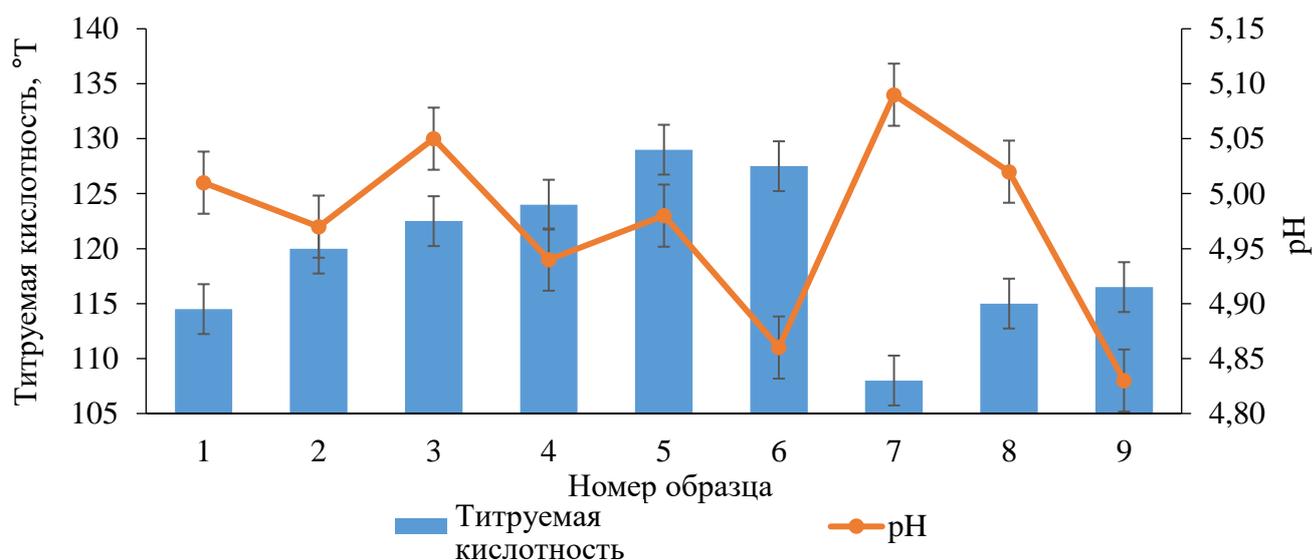


Рисунок 3.4 – Рисунок 8 – Титруемая кислотность и pH обезжиренной кисломолочной продукции из торговых сетей г. Казани

У всех образцов фактическое содержание (таблица 11) белка было выше, чем заявлено на этикетке (таблица 12). Доля жира также не была выдержана, наибольшее отклонение зафиксировали в образцах 1, 4, 5. Количество углеводов соответствовало информации на упаковке. Общее содержание сухого вещества в образцах коррелировало с содержанием минеральных веществ.

Таблица 11 – Химический состав обезжиренных кисломолочных продуктов

Номер образца	Белок, %	Белок в сыворожке, %	Лактоза в сыворожке, %	Минеральные вещества, %	Сухие вещества, %	Плотность, кг/м ³	Жир, %	ЭПС*, мг глюкозы /мл
1	4,04 ± 0,28	2,71 ± 0,04	4,01 ± 0,06	0,63 ± 0,01	9,82 ± 0,33	1032,34 ± 0,82	1,14 ± 0,05	20,32 ± 0,50
2	4,13 ± 0,21	2,77 ± 0,08	4,10 ± 0,07	0,65 ± 0,01	9,65 ± 0,35	1030,05 ± 0,74	0,77 ± 0,02	19,60 ± 0,17
3	4,31 ± 0,25	2,93 ± 0,03	4,33 ± 0,04	0,68 ± 0,01	10,15 ± 0,21	1030,96 ± 0,91	0,83 ± 0,04	20,32 ± 1,59
4	4,28 ± 0,31	2,84 ± 0,03	4,19 ± 0,03	0,66 ± 0,01	10,60 ± 0,33	1032,01 ± 1,03	1,47 ± 0,07	22,94 ± 0,08
5	3,85 ± 0,23	2,80 ± 0,04	4,13 ± 0,10	0,65 ± 0,01	11,12 ± 0,20	1030,84 ± 0,71	2,49 ± 0,04	9,66 ± 0,74
6	4,17 ± 0,18	2,74 ± 0,05	4,05 ± 0,08	0,64 ± 0,01	9,52 ± 0,32	1030,10 ± 1,10	0,66 ± 0,03	12,05 ± 0,01
7	3,97 ± 0,20	2,74 ± 0,04	4,05 ± 0,06	0,64 ± 0,01	9,44 ± 0,28	1029,52 ± 0,74	0,78 ± 0,01	12,58 ± 1,09
8	4,13 ± 0,27	2,71 ± 0,06	4,01 ± 0,10	0,63 ± 0,01	9,51 ± 0,36	1030,03 ± 0,97	0,74 ± 0,02	19,50 ± 0,41
9	4,15 ± 0,22	2,65 ± 0,02	3,92 ± 0,07	0,62 ± 0,01	9,52 ± 0,28	1029,78 ± 0,73	0,83 ± 0,04	13,23 ± 1,21

Таблица 12 – Информация из маркировочных данных потребительской тары

Номер образца	Пищевая ценность, г на 100 г			Энергетическая ценность на 100 г, ккал	КОЕ/г, не более	Срок годности, сут
	Белки	Угле-воды	Жиры			
1	3,7	4,9	0,4	38,0	Молочнокислые микроорганизмы (МК МО) $1 \cdot 10^7$	35
2	3,3	4,4	0,1	32,0	МК МО $1 \cdot 10^7$; Бифидобактерии $1 \cdot 10^6$	21
3	3,0	4,0	0,1	29,0	МК МО $1 \cdot 10^7$; Дрожжи $1 \cdot 10^4$	10
4	3,0	4,0	0,1	29,0		10
5	3,0	4,0	0,1	28,4		14
6	3,0	4,0	0,0	29,0		10
7	3,0	4,0	0,1	29,0		7
8	3,0	4,0	0,5	33,0		10
9	3,0	4,0	0,0	29,0		7к

Результаты проведенного ранее опроса позволяют сделать вывод, что для потребителей важны текстурные характеристики продукции, поэтому был проведен лабораторный текстурный анализ покупной продукции по таким показателям, как вязкость, ВУС и синерезис. Образцы 4 и 5 (рисунок 9а) имели самый низкий синерезис (1,7 % и 3,8 %) и самую высокую ВУС (45,6 % и 49,2 %), что свидетельствует о высокой связности всех молочных компонентов. Образцы 8 и 9 имели низкий синерезис (2,1 % и 3,3 %), однако значения ВУС ниже (36,7 % и 38,3 %), чем у образцов 4 и 5. Высокий синерезис был выявлен у образцов 1, 2, 3.

Реологическое поведение продуктов (рисунок 9б) при низких скоростях вращения ротора ($0,1 \text{ с}^{-1}$) сильно различалось. У большинства образцов вязкость находилась в диапазоне $1500\text{--}2300 \text{ мПа} \cdot \text{с}^{-1}$, у образца 6 вязкость была наивысшей – $3700 \text{ мПа} \cdot \text{с}^{-1}$. При увеличении скорости вращения ротора (1 с^{-1}) значимые отличия в реологических свойствах продуктов снижались.

Расчеты зависимости степенной функции n (является отрицательным числом) также свидетельствовали об убывании сопротивления при повышении скорости вращения (таблица 13).

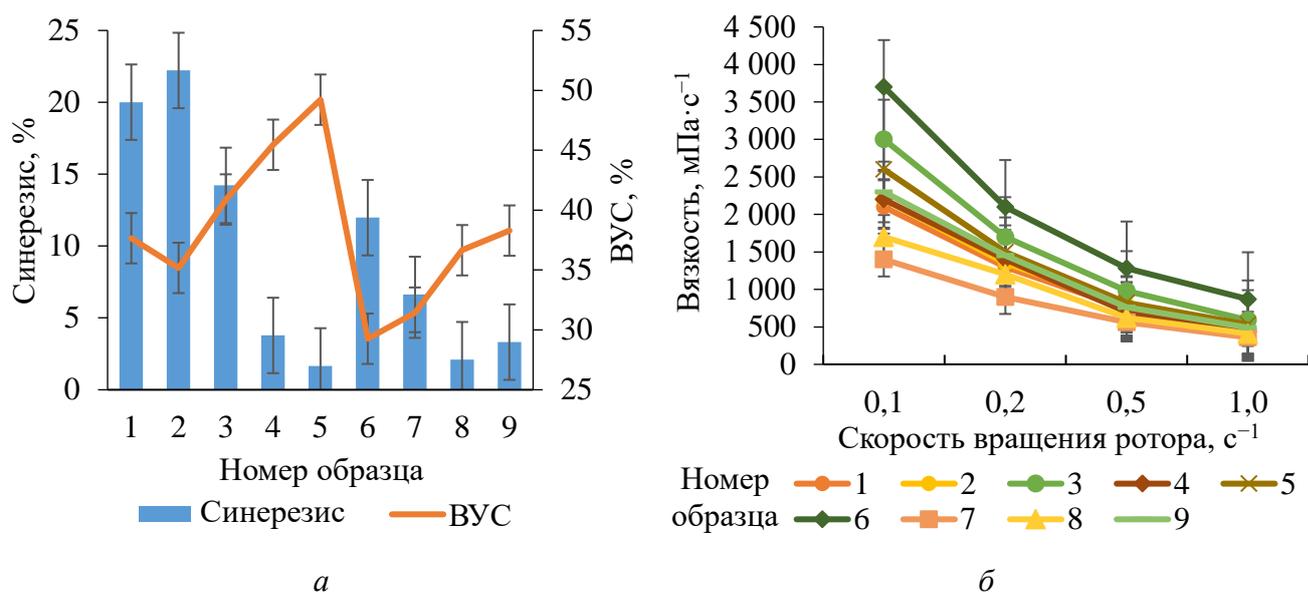


Рисунок 9 – Синерезис и водоудерживающая способность (а), активная вязкость (б) обезжиренных кисломолочных продуктов

Таблица 13 – Характеристика зависимости вязкости обезжиренных кисломолочных продуктов при изменении градиента скорости

Номер образца	A	n	Величина достоверной аппроксимации R ²	Уравнение зависимости
1	2 274,3	-1,031	0,9682	$y = 2\,274,3x - 1,031R^2 = 0,9682$
2	2 416,3	-1,069	0,9562	$y = 2\,416,3x - 1,069R^2 = 0,9562$
3	3 263,2	-1,148	0,9693	$y = 3\,263,2x - 1,148R^2 = 0,9693$
4	2 475,3	-1,157	0,9459	$y = 2\,475,3x - 1,157R^2 = 0,9459$
5	2 823,3	-1,140	0,9721	$y = 2\,823,3x - 1,140R^2 = 0,9721$
6	3 902,8	-1,035	0,9854	$y = 3\,902,8x - 1,035R^2 = 0,9854$
7	1 518,5	-0,957	0,9595	$y = 1\,518,5x - 0,957R^2 = 0,9595$
8	1 918,4	-1,027	0,9287	$y = 1\,918,4x - 1,027R^2 = 0,9287$
9	2 552,9	-1,111	0,9538	$y = 2\,552,9x - 1,111R^2 = 0,9538$

При оценке обезжиренных КМП, реализуемых в магазинах г. Казани, выявили, что 7 из 9 продуктов представлены кефиром. Консистенция реализуемых обезжиренных продуктов находится на низком для потребителя уровне: 5 из 9 продуктов по параметру «консистенция и цвет» оценены ниже 4 баллов. Сумма баллов

органолептической оценки продуктов была не всегда максимальной. Необходимо улучшать органолептические свойства обезжиренных КМП для потребителя путем улучшения текстуры. Добиться текстуры полножирового продукта в ОКМН можно с помощью загустителей и стабилизаторов.

Проблема загущения пищи не нова [269], наибольшее распространение в качестве загустителей и стабилизаторов получили гидроколлоиды [241; 244]. Двумя наиболее часто используемыми гидроколлоидами-стабилизаторами являются желатин и крахмал [213].

Опыт использования крахмалов в технологии кисломолочных продуктов обширен [60; 188; 241; 244; 251], причем прослеживается тенденция применения крахмалов с измененными свойствами. В пищевой промышленности рекомендованы к использованию ферментно модифицированные крахмалы. Такие крахмалы благодаря своей низкой стоимости и простоте обработки используются в йогуртах для повышения вязкости, улучшения вкуса и предотвращения синерезиса.

Исследование свойств тапиокового крахмала, модифицированного промышленными амилазными препаратами, позволит определить его применимость и возможность внедрения в технологическую линию производства обезжиренных КМП.

4 Исследование ферментно модифицированных крахмалов в качестве имитатора жира в технологии обезжиренных кисломолочных продуктов

4.1 Исследование свойств ферментно модифицированного крахмала тапиоки

В разработках, представленных в научных публикациях, чаще всего предлагается модификация и использование в молочном производстве кукурузных, картофельных и тапиоковых крахмалов. Недостатки картофельного крахмала – это появление специфического вкуса, высокая степень ретроградации при хранении, кукурузного – мутность и низкая прозрачность паст. Тапиоковый крахмал более универсален: имеет мягкий нейтральный вкус, высокую степень чистоты, менее заметную ретроградацию, клейстер из крахмала тапиоки более прозрачный и вязкий, чем из зерновых крахмалов [75; 92; 106; 274]. Мировое производство маниоки в 2021 г. достигло 292 млн т свежих клубней (35 % сухого веса) с 26,3 млн га (в энергетическом отношении эквивалентно более 100 млн т зерновых культур) [91]. Тапиоковый крахмал доступен для промышленного применения, в России фасуется сертифицированным производителем (ГОСТ Р ИСО 22000-2007) ООО «Гарнец» (страна происхождения – Таиланд) под брендами «Вегана» и «Garnec».

Исследователи [176] обнаружили, что частицы диаметром менее 3 μm воспринимаются языком как кремообразная, сливочная и гладкая жидкость. Другие авторы [98] сообщили, что мелкогранулированный крахмал диаметром 2 μm может быть использован в качестве имитатора жира. Соответственно, с точки зрения размеров наиболее подходящими для использования в пищевой промышленности будут крахмалы из тапиоки (5–25 μm) и кукурузы (5–20 μm), размер гранул которых изначально (без учета последующих модификаций) близок к этим значениям.

О положительном опыте применения тапиоковых крахмалов в технологии КМП сообщали различные авторы. Так, П. Агеманг и др. [50] использовали крахмал тапиоки при производстве йогурта для предотвращения синерезиса. К. Аранцибия и др. [57] добавляли химически модифицированные крахмалы тапиоки в молочные десерты. О. Сандоваль-Кастилья и др. [227] получали йогурт жирностью 1,4 % и 1 % с включением ферментно модифицированного тапиокового крахмала, вкус такого йогурта был похож на полножирный.

Вышесказанное свидетельствует о перспективности применения тапиокового крахмала в технологии ОКМН. Подход, реализованный в данном исследовании, предполагает использование ферментно модифицированного тапиокового крахмала для имитации жира и сохранения текстуры продукта в технологии производства ОКМНсСЗ.

Для модификации использовали бактериальные ферментные препараты Амилосубтилин[®] и Альфалад БН[®], широко используемые в пищевой отрасли. Ранее на кафедре ТММП ФГБОУ ВО «КНИТУ» были проведены исследования с этими ферментами [193; 194], показана их эффективность и экономическая доступность. Амилосубтилин используется для получения суслу из злаков, улучшения усвояемости кормов; Альфалад БН применяется в процессе переработки крахмалосодержащего сырья, в пивоварении, хлебопечении, кондитерском производстве. Ферменты производятся на территории России, что согласуется со стратегией импортозамещения.

Крахмалы получили на базе кафедры ТММП ФГБОУ ВО «КНИТУ» согласно методу, описанному в главе 2, после чего изучили их свойства. Полученные в работе крахмалы относятся к добавкам, разрешенным к использованию в пищевых продуктах (ГОСТ 32902-2014), обозначение по «Кодекс алиментариус CODEX STAN 192-1995» FAO/ВОЗ – E1405 Крахмал, обработанный ферментом.

4.1.1 Физико-химические и технологические свойства

Физико-химические свойства нативного и ферментно модифицированного крахмала тапиоки представлены в таблицах 14 и 15.

Таблица 14 – Химические свойства нативного и ферментно модифицированных тапиоковых крахмалов

Образец крахмала	Амилоза, %	Амилопектин, %	Редуцирующая глюкоза, г глюкозы/100 г крахмала
Нативный	5,20 ± 0,42 ^a	94,69 ± 0,28 ^a	10,55 ± 0,07 ^a
АТ-0,05	20,22 ± 2,55	79,37 ± 1,98	4,26 ± 0,23
АТ-0,1	22,69 ± 2,84	76,90 ± 2,28	4,77 ± 0,03
АТ-0,25	24,99 ± 0,72	74,45 ± 0,37	5,49 ± 0,04
АТ-0,5	23,54 ± 2,18	76,05 ± 1,61	4,26 ± 0,28
АТ-1	22,26 ± 2,74	77,33 ± 2,18	1,73 ± 0,03
ВТ-0,05	22,69 ± 0,71	76,90 ± 0,14	3,89 ± 0,01 ^b
ВТ-0,1	25,33 ± 0,47	74,66 ± 0,47	6,27 ± 0,06
ВТ-0,25	23,71 ± 0,71	75,88 ± 1,27	5,10 ± 0,14
ВТ-0,5	20,47 ± 0,28	79,42 ± 0,42 ^b	5,31 ± 0,21
ВТ-1	16,47 ± 0,66 ^b	83,42 ± 0,52 ^b	3,97 ± 0,05 ^b

Примечание – Данные представляют собой среднее значение ± стандартное отклонение трех независимых повторов ($N = 3$). Значения в одном и том же столбце с разными буквами значительно различаются ($P < 0,05$).

Содержание амилозы в крахмалах тапиоки, модифицированных Амилосубтилином и Альфаладом БН, увеличилось в среднем в 4 раза по сравнению с нативным. Самое высокое содержание амилозы было в крахмалах АТ-0,25, ВТ-0,1. Увеличение концентрации Альфалада БН выше 0,830 У/г крахмала приводило к уменьшению доли амилозы, по-видимому, за счет ее деградации. Содержание амилопектина в образцах было обратно пропорционально амилозе. Количество остаточной глюкозы в модифицированных крахмалах (1,73–6,27 г глюкозы/100 г крахмала) уменьшилось в среднем в два раза по сравнению с нативным (10,55 г глюкозы/100 г крахмала).

Таблица 15 – Функциональные свойства нативного и ферментно модифицированных тапиоковых крахмалов

Образец крахмала	Коэффициент вязкости	Температура желатинизации, °С	ВСС, г H ₂ O / г крахмала	ИРВ, г жидкости /100 г крахмала
Нативный	8,43 ± 1,41 ^a	52,9 ± 0,8 ^a	2,40 ± 0,28 ^a	4,72 ± 0,31 ^a
АТ-0,05	2,74 ± 1,13	55,1 ± 1,4	3,57 ± 0,24	8,18 ± 0,25
АТ-0,1	3,17 ± 0,71	52,1 ± 1,9	3,21 ± 0,16	7,84 ± 0,28
АТ-0,25	2,03 ± 0,66 ^c	52,2 ± 0,7	2,88 ± 0,11	5,93 ± 0,24
АТ-0,5	4,52 ± 1,27	51,8 ± 0,8	4,36 ± 0,08	7,81 ± 0,30
АТ-1	2,85 ± 0,99	50,9 ± 1,3	3,42 ± 0,06	7,65 ± 0,21
ВТ-0,05	3,08 ± 0,85	55,0 ± 1,4	3,60 ± 0,14	7,06 ± 0,23
ВТ-0,1	1,44 ± 0,74 ^c	54,8 ± 0,6	3,11 ± 0,18	7,08 ± 0,25
ВТ-0,25	2,40 ± 0,78	55,8 ± 0,8	2,92 ± 0,25	23,72 ± 0,29 ^b
ВТ-0,5	3,98 ± 0,99 ^b	57,5 ± 1,0	4,59 ± 0,14	36,70 ± 0,21 ^b
ВТ-1	4,33 ± 1,17	59,8 ± 1,2 ^b	4,88 ± 0,10	49,34 ± 0,20 ^b

Примечание – Данные представляют собой среднее значение ± стандартное отклонение трех независимых повторов ($N = 3$). Значения в одном и том же столбце с разными буквами значительно различаются ($P < 0,05$).

Коэффициент вязкости модифицированных крахмалов ниже, чем у нативных. Наименьший коэффициент вязкости отмечен у образцов АТ-0,25, ВТ-0,1 и ВТ-0,25.

Ферменты, используемые для модификации крахмала, по-разному влияли на температуру клейстеризации. Увеличение концентрации Амилосубтилина при модификации приводило к монотонному снижению температуры желатинизации полисахаридов. В случае Альфалада БН происходил обратный эффект.

ВСС крахмалов после модификации увеличилась (см. таблицу 15). Наибольшее увеличение ВСС отмечено у образцов АТ-0,5, ВТ-0,5 и ВТ-1.

Значение ИРВ модифицированных крахмалов было выше в 2–10 раз в сравнении с нативным. Высокие концентрации Альфалада БН (2,07 U/г крахмала и выше) приводят к большей деградации крахмалов, переводя их в более растворимую форму. Таким образом, действие ферментов на крахмалы вызывало увеличение ВСС и ИРВ.

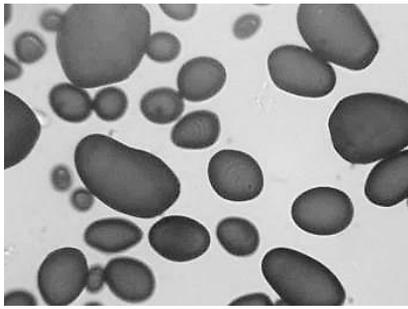
Обработка ферментными препаратами приводила к изменению физико-химических свойств крахмалов (содержания амилозы, амилопектина), что, в свою очередь, вело к изменению технологических параметров: вязкости, ВСС, ИРВ и температуры желирования.

4.1.2 Микроструктурные свойства

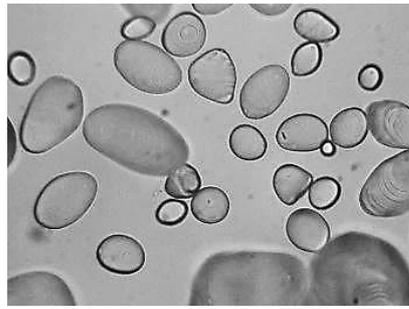
Микроскопию гранул нативного и ферментно модифицированного тапиокового крахмалов проводили при комнатной температуре (26 °С) (рисунок 10) и при нагреве до 50 °С (температуре, близкой к желатинизации) (рисунок 11).

Нативный крахмал при 26 °С (см. рисунок 10) имел четкий контур, окраска гранул равномерная, с затемнением в области периферии, нарушения структуры гранулы не выявлены. Нативный крахмал, нагретый до 50 °С (см. рисунок 11), набухал, проявлялись радиальные линии, нарушений структуры и контуров гранулы не выявлено. Окраска гранул интенсивная, практически равномерная, что свидетельствует о взаимодействии крахмала и раствора Люголя и образовании комплексных соединений включений (клатратов) канального типа – реакция сопровождается изменением бурой окраски раствора Люголя на сине-фиолетовую.

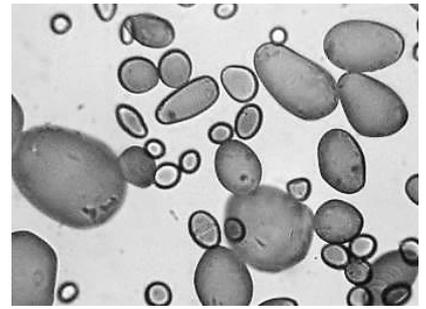
На основе исследования гистологических свойств гранул нативного и ферментно модифицированных тапиоковых крахмалов выявили, что активность и специфичность действия выбранного фермента, вносимого для модификации, существенно влияет на внешний вид, целостность и строение гранул при комнатной температуре (см. рисунок 10) (происходит проявление «колец» ⇒ визуализируются радиальные и концентрические линии в виде осколков ⇒ увеличивается количество поврежденных частиц, осколков и частиц неправильной формы с разрыхленной поверхностью по отношению к неразрушенным ⇒ соотношение крупных гранул к мелким снижается).



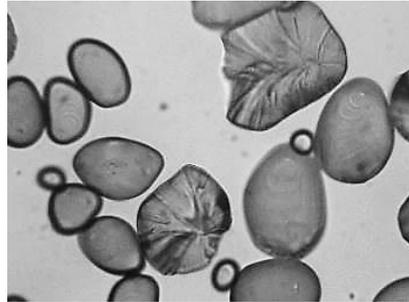
Нативный



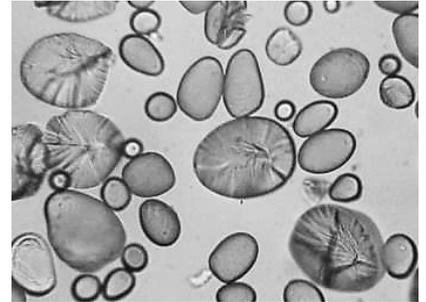
AT-0,05



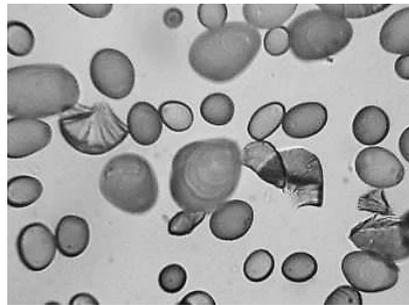
BT-0,05



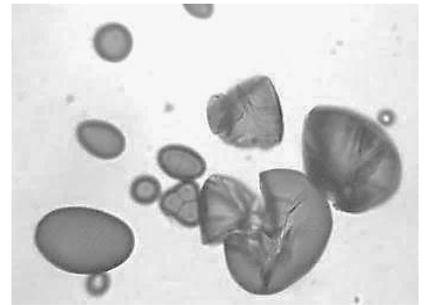
AT-0,1



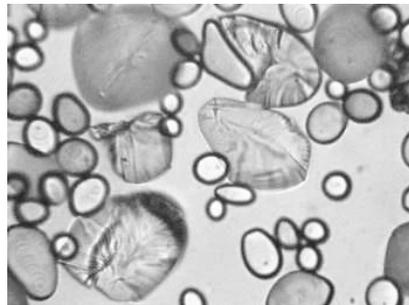
BT-0,1



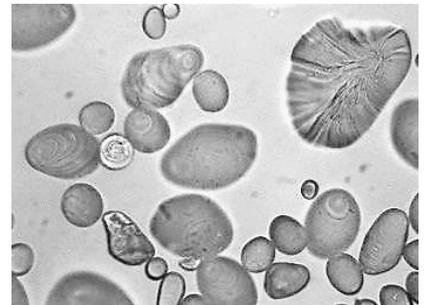
AT-0,25



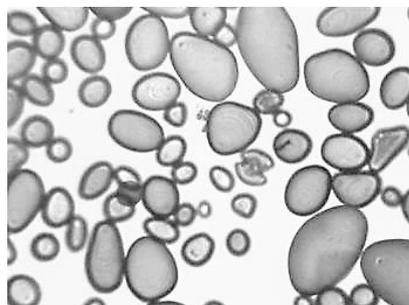
BT-0,25



AT-0,5



BT-0,5



AT-1

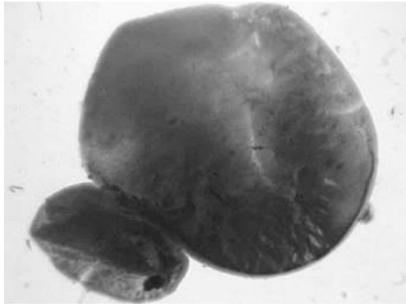


BT-1

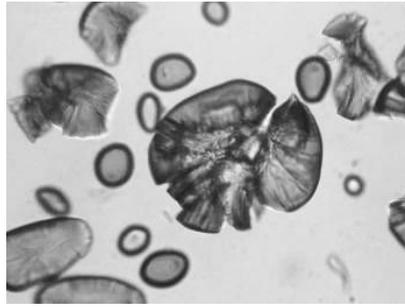
Рисунок 10 – Световая микроскопия гранул тапиоковых крахмалов при 26 °С:

AT – крахмалы, обработанные Амилосубтилином;

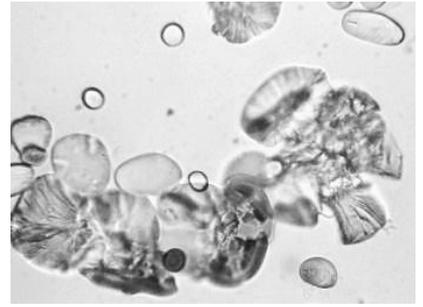
BT – крахмалы, обработанные Альфа-лактоальбумином



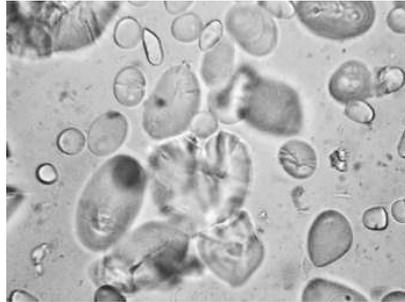
Нативный



АТ-0,05



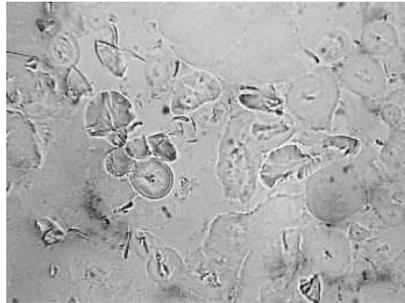
ВТ-0,05



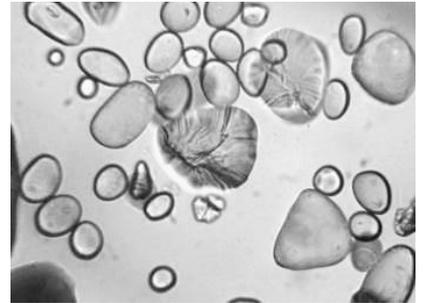
АТ-0,1



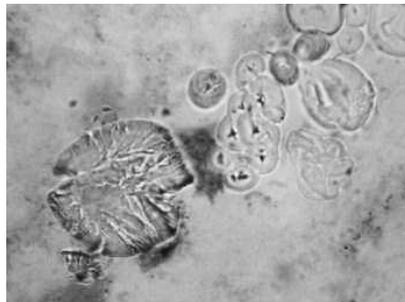
ВТ-0,1



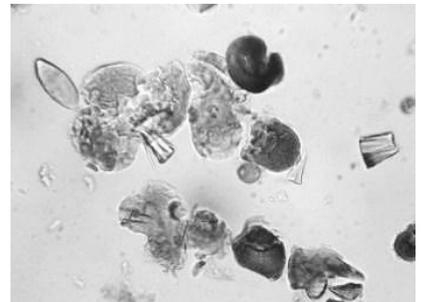
АТ-0,25



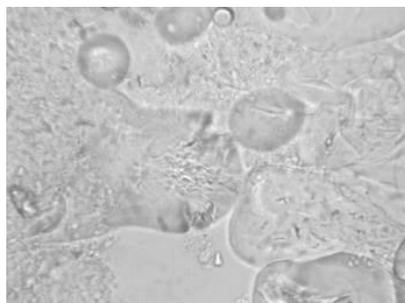
ВТ-0,25



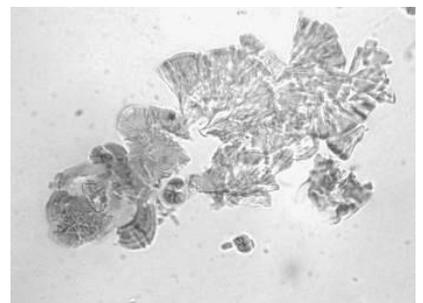
АТ-0,5



ВТ-0,5



АТ-1



ВТ-1

Рисунок 11 – Световая микроскопия гранул тапиоковых крахмалов при 50 °С:

АТ – крахмалы, обработанные Амилосубтилином;

ВТ – крахмалы, обработанные Альфа-лактоальбумином

Кроме того, вносимый фермент также влияет на поведение крахмалов при нагревании до температур, близких к желатинизации (см. рисунок 11) (происходит набухание \Rightarrow проявляются радиальные и концентрические линии \Rightarrow идет разрушение гранул и далее для АТ-крахмалов происходит высвобождение содержимого в межгранульное пространство, потеря границ гранул и образование геля, а для ВТ-крахмалов – частичное сохранение формы и контура гранул, без вымывания содержимого и образование структур, напоминающих волокна. О специфичности действия ферментов Амилосубтилина и Альфалада БН сообщается далее.

Продуктом взаимодействия полисахаридов и Амилосубтилина является комплекс соединений: смесь линейных и разветвленных олигосахаридов, мальтозы, глюкозы, широкий ряд α -предельных декстринов, изомальтоза и мальтотриоза. Данный механизм действия, возможно, объясняет наблюдаемое при термическом воздействии набухание, разрушение, высвобождение содержимого гранул модифицированных крахмалов во внешнюю среду с образованием неокрашенного раствора Люголя.

Ферментный препарат Альфалад БН[®] преимущественно активен по отношению к амилозе: разрушая гранулы крахмала, он приводит к образованию глюкозы и олигосахаридов, при этом «обнажая» структурный амилопектиновый «скелет». Замедленное по сравнению с крахмалом, модифицированным Амилосубтилином, видимое набухание гранул при равной активности фермента, отсутствие мелких гранул и «амилозного» геля, а также наличие темноокрашенного йодно-крахмального комплекса в виде разбухших амилопектиновых осколков подтверждает данный эффект.

Таким образом, подтверждена целесообразность ферментной модификации для улучшения технологических свойств гранул крахмала. Происходило увеличение значений ВСС и ИРВ модифицированных крахмалов, обработанных Амилосубтилином и Альфаладом БН, соответственно в 1,2–2,1 раза и 2–10 раз по сравнению с нативным, что подразумевает лучшее проникновение водных компонентов в крахмальные гранулы и, как следствие, образование лучшей полисахаридной белково-водной матрицы, улучшение текстуры продукта. Коэффициент вязкости мо-

дифицированных крахмалов снижался в 1,8–5,8 раза, что повышает удобство внесения таких крахмалов в кисломолочный продукт и приводит к отсутствию комков. Активность ферментов 2,070–8,300 U/г крахмала при обработке крахмала Амило-субтилином приводила к увеличению соотношения мелких гранул к крупным и нарастанию числа гранул с разрыхленной поверхностью, а при обработке Альфа-ладом БН – к преобладанию осколков и частиц с неправильной формой над цельными гранулами. Наилучшими ферментно модифицированными крахмалами были приняты АТ-0,5, ВТ-0,5 и ВТ-1.

4.2 Получение и анализ свойств обезжиренных кисломолочных напитков с добавлением ферментно модифицированного крахмала тапиоки

При оценке обезжиренных КМП, реализуемых в розничных сетях г. Казани, установили необходимость расширения ассортимента и улучшения органолептических и текстурных свойств обезжиренных продуктов. Для решения данной задачи, согласующейся со Стратегией повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. (стимулирование производителей к выпуску пищевой продукции, отвечающей критериям качества и принципам здорового питания), необходимо рассмотреть новые продукты, в том числе на основе симбиотических и пробиотических заквасок.

Используемая в исследовании симбиотическая закваска для выработки обезжиренного кисломолочного напитка (см. главу 2) многокомпонентна, содержит высокие концентрации полезных бактерий. Сообщается об отдельном вкладе и влиянии штаммов микроорганизмов на свойства продукта. Бактерии вида *Lactococcus* улучшают вкус, аромат и пищевую ценность кисломолочного продукта [83]. *L. lactis* используется в качестве потенциального пробиотического штамма [268]. *L. lactis ssp. lactis var. diacetylactis* способен производить диацетил из цитрата, придавая ореховый, сливочный и маслянистый аромат. *L. lactis subsp. lactis* может вы-

зывать фруктовые ароматы из сложных эфиров, но может производить горькие пептиды из белков. *L. lactis subsp. cremoris* расщепляет горькие пептиды, что предотвращает появление горького вкуса в продукте [105]. *B. lactis* выполняют задачи физиологической защиты ЖКТ от микробов и токсинов, выступают активными участниками пищеварения, синтезируют витамины К, группы В, жирные кислоты. Напиток на симбиотической закваске поддерживает нормальную микрофлору кишечника в экологически неблагоприятных условиях, способствует укреплению иммунитета и очищению организма от токсинов.

Производство напитка на симбиотической закваске для массового потребления представляется перспективным. Это позволит расширить существующий ассортимент ОКМН, удовлетворить потребительские предпочтения и улучшить здоровье населения. ОКМНсСЗ с использованием ранее изученных ферментно модифицированных крахмалов был получен согласно методике, изложенной в пункте 2.3.2.

В связи с использованием новых технологий производства, связанных с усовершенствованными режимами тепловой обработки, использованием пищевых добавок, в том числе обладающих антимикробной активностью, а также новыми видами упаковочных материалов, появились условия для производства продукции со сроками годности, превышающими регламентируемые по СанПиН 2.3.2.1324-03. Согласно СанПиН 2.3.2.1324-03 срок годности жидких кисломолочных продуктов составляет 72 ч. При обосновании пролонгированных сроков годности (в соответствии с требованиями ст. 16 Федерального закона от 2 января 2000 г. № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов») используются методические указания МУК 4.2.1847-04. Коэффициент резерва для продуктов со сроком годности до 7 сут включительно равен 1,5. Срок годности продукта устанавливает и подтверждает изготовитель с учетом НТД в области безопасности пищевой продукции, поэтому срок годности на практике увеличен: например, для йогурта, до 15–180 сут (ТУ 9222-018-00441187-14 (29 сут), ТУ 10.51.52-005-00428347-2016 (35 сут), ТУ 10.5152-002-18252860-2017 (38 сут), СТО 85483371-001-2014 (21 сут)) [15]. Срок годности для ОКМНсСЗ был установлен продолжительностью 28 сут на основе вышеуказанных данных, а также разработок исследователей, применявших стабили-

заторы и загустители в технологии кисломолочных продуктов (например, 9 сут [74], 15 сут [50; 52; 173], 21 сут [139], 28 сут, в том числе с применением ферментно модифицированных крахмалов [142], 49 сут [140], 60 сут [230] и др.).

4.2.1 Физико-химические свойства

В таблице 16 показаны изменения рН и титруемой кислотности образцов ОКМНсСЗ во время хранения.

Таблица 16 – Измерение рН и титруемой кислотности ОКМНсСЗ с добавлением различных крахмалов тапиоки

Образец ОКМНсСЗ	рН		Титруемая кислотность, °Т	
	1 сут	28 сут	1 сут	28 сут
Контроль	4,44 ± 0,03	4,25 ± 0,03	100,9 ± 0,1 ^a	105,9 ± 0,6
Нативный	4,72 ± 0,01 ^a	4,27 ± 0,01	100,7 ± 0,2 ^a	102,3 ± 0,4 ^a
АТ-0,05	4,44 ± 0,00	4,24 ± 0,03	111,9 ± 0,1	108,0 ± 0,7
АТ-0,1	4,49 ± 0,03	4,25 ± 0,00	113,8 ± 0,4	101,8 ± 0,4
АТ-0,25	4,53 ± 0,01 ^b	4,28 ± 0,03	111,8 ± 0,4	104,0 ± 0,0
АТ-0,5	4,43 ± 0,03	4,28 ± 0,04	112,8 ± 0,4	107,9 ± 0,6 ^b
АТ-1	4,48 ± 0,03	4,24 ± 0,01	118,0 ± 1,4 ^b	108,0 ± 0,0 ^b
ВТ-0,05	4,40 ± 0,01	4,37 ± 0,01	100,9 ± 0,1 ^a	101,0 ± 0,7 ^a
ВТ-0,1	4,54 ± 0,01 ^b	4,32 ± 0,00	111,8 ± 0,4	102,8 ± 0,4 ^a
ВТ-0,25	4,52 ± 0,03	4,28 ± 0,06	101,0 ± 0,1 ^a	107,0 ± 0,7
ВТ-0,5	4,52 ± 0,04	4,27 ± 0,04	100,8 ± 0,3 ^a	105,0 ± 0,7
ВТ-1	4,42 ± 0,00	4,29 ± 0,01	116,8 ± 0,4 ^b	104,7 ± 0,2

Примечание – Данные представляют собой среднее ± стандартное отклонение трех независимых повторов ($N = 3$).
Значения в одном столбце с разными буквами существенно различаются ($P < 0,05$).

Значение рН ОКМНсСЗ с нативным крахмалом составило 4,72, что выше, чем у других образцов в 1-е сутки. После 28 сут хранения рН всех образцов снизился за

счет постокисления из-за остаточной активности микроорганизмов даже при низких температурах хранения. Такой эффект связан со снижением активности воды и блокированием метаболизма МКБ [134].

Титруемая кислотность обратно пропорциональна значению рН. Кислотность контроля и ОКМНсСЗ с нативным крахмалом увеличивалась при хранении (см. таблицу 16). Напротив, кислотность ОКМНсСЗ-АТ уменьшилась для всех образцов. В ОКМНсСЗ-ВТ наблюдалось как увеличение (ВТ-0,25; ВТ-0,5), так и снижение титруемой кислотности (ВТ-0,1; ВТ-1).

Титруемая кислотность образца ОКМНсСЗ ВТ-0,05 не изменилась, что свидетельствует о его стабильности при хранении. Снижение рН ОКМНсСЗ при хранении в холодильнике вызвано ростом и активностью заквасочных бактерий, которые остаются активными во время хранения.

Физико-химический состав ОКМНсСЗ с различными крахмалами представлен в таблицах 17 и 18.

Таблица 17 – Изменение содержания белков и углеводов в составе ОКМНсСЗ с добавлением различных крахмалов

Образец ОКМНсСЗ	Белки, %		Белки в сыворотке, %		Углеводы, %	
	1 сут	28 сут	1 сут	28 сут	1 сут	28 сут
Контроль	3,81 ± 0,28	3,78 ± 0,31	2,77 ± 0,04 ^a	2,81 ± 0,03 ^a	4,67 ± 0,03 ^a	4,64 ± 0,06 ^a
Нативный	3,87 ± 0,25	3,67 ± 0,28	2,88 ± 0,08 ^a	2,71 ± 0,06 ^a	5,64 ± 0,06 ^b	5,45 ± 0,07 ^b
АТ-0,05	4,05 ± 0,23	4,12 ± 0,30	3,12 ± 0,03	3,05 ± 0,07	5,12 ± 0,06	5,12 ± 0,03
АТ-0,1	4,10 ± 0,28	4,13 ± 0,31	3,09 ± 0,06	2,95 ± 0,07	5,39 ± 0,03	5,08 ± 0,08
АТ-0,25	4,03 ± 0,25	4,01 ± 0,22	3,04 ± 0,06	2,93 ± 0,04	5,46 ± 0,04	5,02 ± 0,03
АТ-0,5	4,07 ± 0,30	4,15 ± 0,21	3,15 ± 0,07	2,91 ± 0,03	5,36 ± 0,08	5,08 ± 0,10
АТ-1	3,86 ± 0,23	3,94 ± 0,28	3,02 ± 0,03	2,77 ± 0,04	5,12 ± 0,07	5,04 ± 0,06
ВТ-0,05	3,96 ± 0,20	4,16 ± 0,23	3,12 ± 0,03	3,00 ± 0,04	5,16 ± 0,08	5,12 ± 0,06
ВТ-0,1	4,00 ± 0,31	4,14 ± 0,19	3,07 ± 0,05	2,97 ± 0,03	5,23 ± 0,04	5,08 ± 0,10
ВТ-0,25	4,05 ± 0,27	4,15 ± 0,22	3,17 ± 0,03	3,09 ± 0,03	5,17 ± 0,10	5,14 ± 0,06
ВТ-0,5	4,00 ± 0,21	4,10 ± 0,29	3,23 ± 0,04	3,18 ± 0,04	5,18 ± 0,07 ^c	5,09 ± 0,10
ВТ-1	3,93 ± 0,18	4,13 ± 0,26	3,17 ± 0,02	3,12 ± 0,03	5,20 ± 0,07	5,11 ± 0,08

Примечание – Данные представляют собой среднее ± стандартное отклонение трех независимых повторов ($N = 3$).
Значения в одном столбце с разными буквами существенно различаются ($P < 0,05$).

Таблица 18 – Физико-химические показатели образцов ОКМНсСЗ с добавлением различных крахмалов

Образец ОКМНсСЗ	Минеральные вещества, %		Сухие вещества, %		Плотность, кг/м ³	
	1 сут	28 сут	1 сут	28 сут	1 сут	28 сут
Контроль	0,65 ± 0,01 ^a	0,66 ± 0,01 ^a	9,52 ± 0,33	9,53 ± 0,28 ^a	1 032,3 ± 0,8 ^a	1 032,9 ± 0,8 ^a
Нативный	0,68 ± 0,01 ^b	0,63 ± 0,01	10,84 ± 0,20	10,35 ± 0,35	1 037,5 ± 0,7	1 035,1 ± 0,8
АТ-0,05	0,73 ± 0,01	0,71 ± 0,01	10,50 ± 0,32	10,65 ± 0,36	1 038,1 ± 0,7	1 037,5 ± 0,7
АТ-0,1	0,72 ± 0,01	0,69 ± 0,01	10,75 ± 0,23	10,55 ± 0,35	1 037,8 ± 1,1	1 037,6 ± 0,8
АТ-0,25	0,71 ± 0,01	0,68 ± 0,01	10,84 ± 0,28	10,36 ± 0,36	1 037,2 ± 0,9	1 036,8 ± 0,8
АТ-0,5	0,73 ± 0,00	0,68 ± 0,01	10,82 ± 0,35	10,56 ± 0,23	1 037,2 ± 0,9	1 037,7 ± 1,0
АТ-1	0,70 ± 0,01	0,65 ± 0,01	10,35 ± 0,28	10,28 ± 0,28	1 037,2 ± 1,0	1 036,3 ± 1,1
ВТ-0,05	0,73 ± 0,01	0,70 ± 0,01	10,56 ± 0,28	10,66 ± 0,23	1 037,1 ± 0,8	1 037,6 ± 0,8
ВТ-0,1	0,72 ± 0,01	0,69 ± 0,01	10,65 ± 0,21	10,62 ± 0,31	1 036,8 ± 1,1	1 036,9 ± 1,3
ВТ-0,25	0,74 ± 0,01	0,72 ± 0,01	10,69 ± 0,20	10,70 ± 0,28	1 037,3 ± 0,7	1 038,2 ± 0,7
ВТ-0,5	0,75 ± 0,01	0,74 ± 0,01	10,61 ± 0,28	10,63 ± 0,33	1 038,3 ± 1,1	1 037,7 ± 1,0
ВТ-1	0,74 ± 0,01	0,73 ± 0,01	10,49 ± 0,35	10,63 ± 0,28	1 038,5 ± 0,7	1 037,8 ± 1,1

Примечание – Данные представляют собой среднее ± стандартное отклонение трех независимых повторов ($N = 3$). Значения в одном столбце с разными буквами существенно различаются ($P < 0,05$).

Содержание сухих и минеральных веществ, плотность, как и ожидалось, увеличились в образцах с крахмалами, что явилось следствием их введения в количестве 1 % к общей массе.

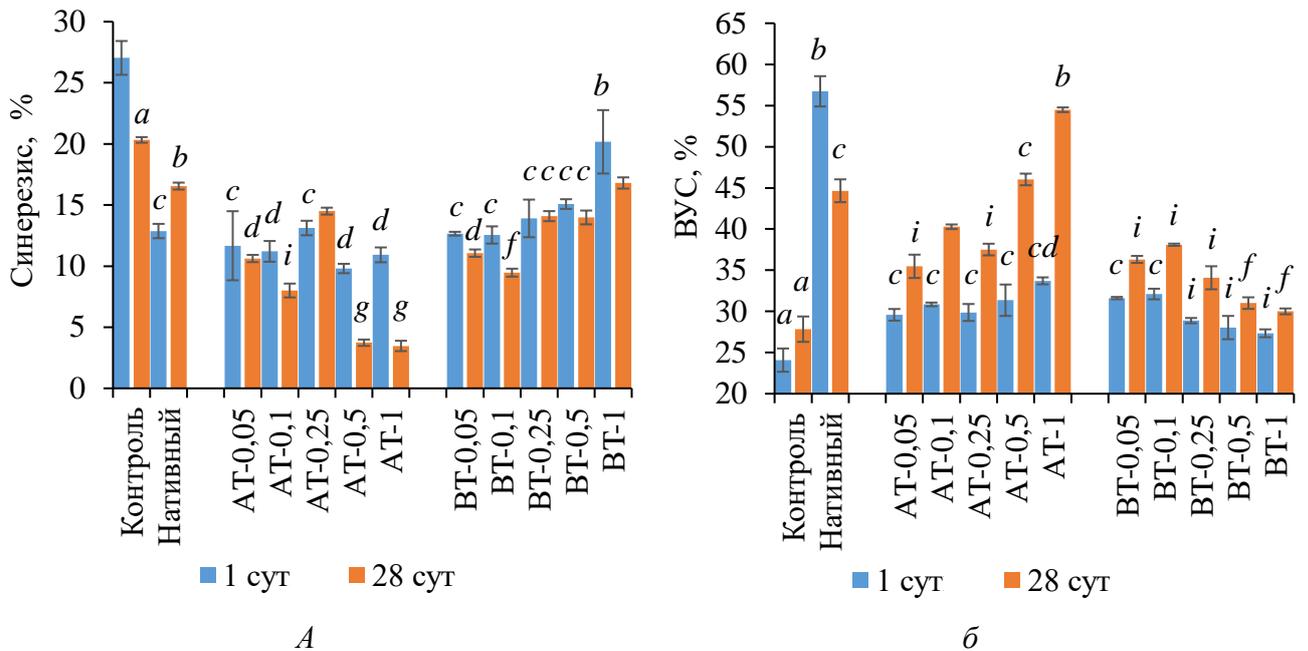
Количество белка в продукте с модифицированными крахмалами было несколько выше, чем в контроле и ОКМНсСЗ с нативным крахмалом, что, возможно, связано с увеличением плотности молочного сгустка. Более высокое содержание общего белка, сухих и минеральных веществ обусловлено повышенной плотностью ОКМНсСЗ за счет добавления крахмалов. В результате изменяется водная активность, белковая фракция молока перераспределяется. На 28-е сутки хранения количество общего белка в ОКМНсСЗ с модифицированными крахмалами было в пределах 3,94–4,16 %. Добавление модифицированных крахмалов привело к увеличению доли белков в сыворотке за счет поверхностно активных свойств крахмала. Через 28 сут хранения содержание этого белка снижалось во всех образцах, но оставалось еще выше в образцах с модифицированными крахмалами по сравнению с контролем, что, вероятно, связано с протеолитической активностью ферментов МКБ.

Введение крахмалов повысило уровень углеводов: у ОКМНсСЗ с модифицированными крахмалами значение этого показателя находилось в пределах 5,12–5,46 %. Наибольшее количество углеводов содержится в ОКМНсСЗ с нативным крахмалом, что связано с его низкой водорастворимостью. Модифицированный крахмал в процессе ферментации и хранения легче гидролизуется МКБ по сравнению с нативным, поэтому может выступать в качестве дополнительного углеводного субстрата, в результате чего синтез молочной кислоты усиливается.

4.2.2 Структурно-механические свойства

Добавление ферментно модифицированных крахмалов тапиоки снизило уровень синерезиса в образцах (рисунок 12а). В первые сутки хранения синерезис ОКМНсСЗ с крахмалами находился в пределах 9,8–20,2 %; в контроле – 27 %. Через 28 сут хранения синерезис уменьшился во всех образцах, кроме нативного ОКМНсСЗ, где этот показатель увеличился. Образец АТ-1 имел минимальный синерезис в конце срока годности. ВУС ОКМНсСЗ обратно коррелировал с синерезисом (рисунок 12б).

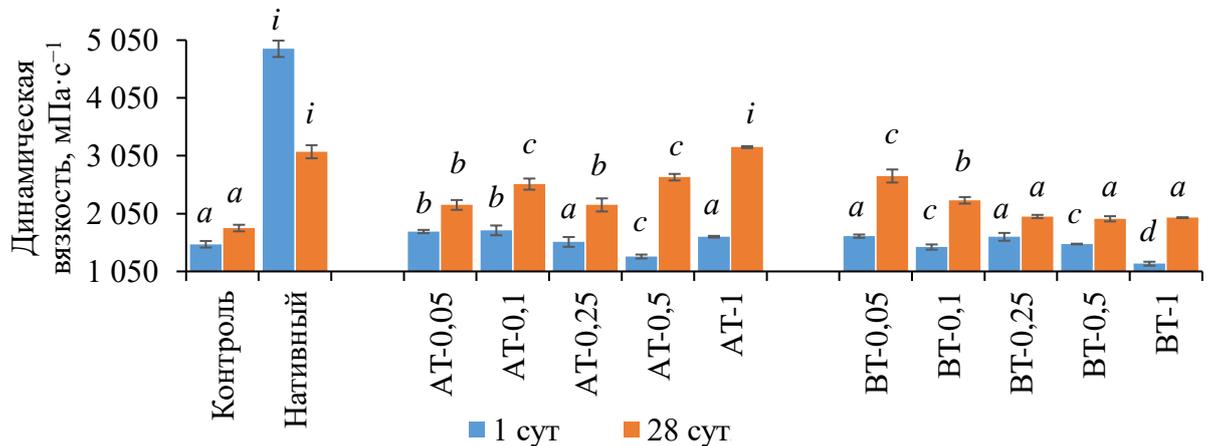
Наименьшая ВУС через 1 сут хранения отмечена у контроля – 24,1 %; самая высокая ВУС у ОКМНсСЗ с нативным крахмалом – 56,7 %, что связано с высокой способностью к набуханию цельных крахмальных зерен. ВУС ОКМНсСЗ-АТ и ВТ находилась в пределах 27,3–33,7 %, что выше контроля. После 28 сут хранения ВУС всех образцов увеличилась, за исключением ОКМНсСЗ с нативным крахмалом, где происходило уменьшение ВУС вследствие ретроградного действия нативного крахмала в системе молочного геля; кроме того, крупные гранулы нативного крахмала не способны к тесному взаимодействию и образованию прочных связей с белково-молочным гелем. Самые высокие значения ВУС отмечены у образцов АТ-0,5 и АТ-1.



Примечание – Данные представляют собой среднее \pm стандартное отклонение трех независимых повторов ($N=3$). Разные буквы (через 1 или 28 сут) указывают на различия ($P < 0,05$).

Рисунок 12 – Синерезис (а) и ВУС (б) образцов ОКМНсСЗ с добавлением различных крахмалов

Аналогичная тенденция ВУС была обнаружена для динамической вязкости (рисунок 13).



Примечание – Данные представляют собой среднее \pm стандартное отклонение трех независимых повторов ($N=3$). Разные буквы (через 1 или 28 сут) указывают на различия ($P < 0,05$).

Рисунок 13 – Динамическая вязкость образцов ОКМНсСЗ с добавлением различных крахмалов

Введение нативного крахмала в ОКМНсСЗ привело к увеличению вязкости в 3,2 раза по сравнению с контролем. Вязкость образцов АТ и ВТ находилась в пределах 1 184–1 760 мПа·с⁻¹. Через 28 сут хранения вязкость всех образцов с модифицированными крахмалами увеличилась в 1,3–1,7 раза; в контроле в 1,2 раза. У ОКМНсСЗ с нативным крахмалом кажущаяся вязкость уменьшилась в 1,5 раза, вероятно, в результате ретроградации крахмала.

Статистический анализ индекса корреляции между ВУС и кажущейся вязкостью составил 0,909. Увеличение количества сухих веществ за счет добавления крахмала привело к увеличению вязкости напитка; повышенное количество молочной кислоты в вариантах с модифицированными крахмалами усиливало дестабилизацию мицелл казеина до агрегации с образованием геля.

4.2.3 Органолептические свойства и цвет

Контроль и ОКМНсСЗ с модифицированными крахмалами имели гладкую и кремообразную консистенцию, выраженный кисломолочный вкус и аромат (таблица 19). Дегустаторы отметили легкую сладость в образцах ОКМНсСЗ АТ-0,1, АТ-0,5, АТ-1, ВТ-0,1, ВТ-0,5 и ВТ-1.

Таблица 19 – Органолептическая оценка образцов ОКМНсСЗ (1-е сутки хранения)

Образец ОКМНсСЗ	Оценка, балл			Сумма баллов
	Внешний вид (0–5)	Вкус и запах (0–10)	Консистенция (0–5)	
Контроль	3,7 ± 0,6	4,9 ± 0,4	3,3 ± 0,3	11,9 ± 1,2
Нативный	1,7 ± 0,6	5,4 ± 0,8	1,5 ± 0,5	8,6 ± 0,4
А-0,05	4,0 ± 0,0	6,4 ± 0,4	3,5 ± 0,0	13,9 ± 0,4
А-0,1	4,7 ± 0,6	7,2 ± 1,2	4,0 ± 0,5	15,8 ± 1,2
А-0,25	3,7 ± 0,6	6,2 ± 0,0	3,2 ± 0,6	13,0 ± 1,2
А-0,5	4,3 ± 0,6	8,5 ± 0,8	3,7 ± 0,3	16,5 ± 1,6
А-1	4,3 ± 1,2	8,2 ± 0,4	3,8 ± 0,3	16,4 ± 1,9

Продолжение таблицы 19

Образец ОКМНсСЗ	Оценка, балл			Сумма баллов
	Внешний вид (0–5)	Вкус и запах (0–10)	Консистенция (0–5)	
В-0,05	4,7 ± 0,6	6,4 ± 0,4	3,3 ± 0,3	14,4 ± 1,2
В-0,1	4,3 ± 1,2	7,4 ± 0,4	3,3 ± 0,3	15,1 ± 1,5
В-0,25	4,0 ± 1,0	6,2 ± 0,8	3,7 ± 0,3	13,8 ± 1,4
В-0,5	4,7 ± 0,6	7,9 ± 0,4	3,8 ± 0,3	16,4 ± 0,7
В-1	5,0 ± 0,0	8,5 ± 0,8	4,3 ± 0,3	17,8 ± 0,8

ОКМНсСЗ с нативным крахмалом имел зернистую, твердую, плотную консистенцию с комочками, при перемешивании было заметно разделение фаз, ощущался крахмалистый привкус. Сумма баллов органолептической оценки ОКМНсСЗ с ферментно модифицированными крахмалами была выше, чем у контроля.

Наивысшую суммарную оценку (16–18 баллов) получили образцы АТ-0,5, АТ-1, ВТ-0,5, ВТ-1, поскольку имели длительное послевкусие, насыщенный, полный вкус.

Цветовая характеристика ОКМНсСЗ приведена в таблице 20.

Таблица 20 – Цветовая характеристика ОКМНсСЗ (1-е сутки хранения)

Образец ОКМНсСЗ	L^*	a^*	b^*
Контроль	100,00 ± 0,00	-7,98 ± 0,04	25,13 ± 1,24
Нативный	100,00 ± 0,00	-5,18 ± 0,03	11,43 ± 0,04
АТ-0,05	93,50 ± 1,41	-3,28 ± 0,01	7,45 ± 0,01
АТ-0,1	99,31 ± 0,42	-3,24 ± 0,01	8,35 ± 0,04
АТ-0,25	100,00 ± 0,00	-3,63 ± 0,04	7,69 ± 0,03
АТ-0,5	100,00 ± 0,00	-7,05 ± 0,07	16,00 ± 0,03
АТ-1	100,00 ± 0,00	-3,90 ± 0,04	9,67 ± 0,03
ВТ-0,05	100,00 ± 0,00	-4,47 ± 0,14	11,85 ± 0,07
ВТ-0,1	92,41 ± 0,85	-2,98 ± 0,01	7,29 ± 0,03
ВТ-0,25	96,42 ± 2,26	-2,95 ± 0,01	9,03 ± 0,03
ВТ-0,5	100,00 ± 0,00	-4,53 ± 0,03	12,55 ± 0,01
<p>Примечания L^* – темный/светлый (0–100); a^* – зеленый/красный (от -60 до +60); b^* – голубой/желтый (от -60 до +60). Данные представляют собой среднее ± стандартное отклонение трех независимых повторов ($N = 3$). Разные буквы указывают на различия ($P < 0,05$).</p>			

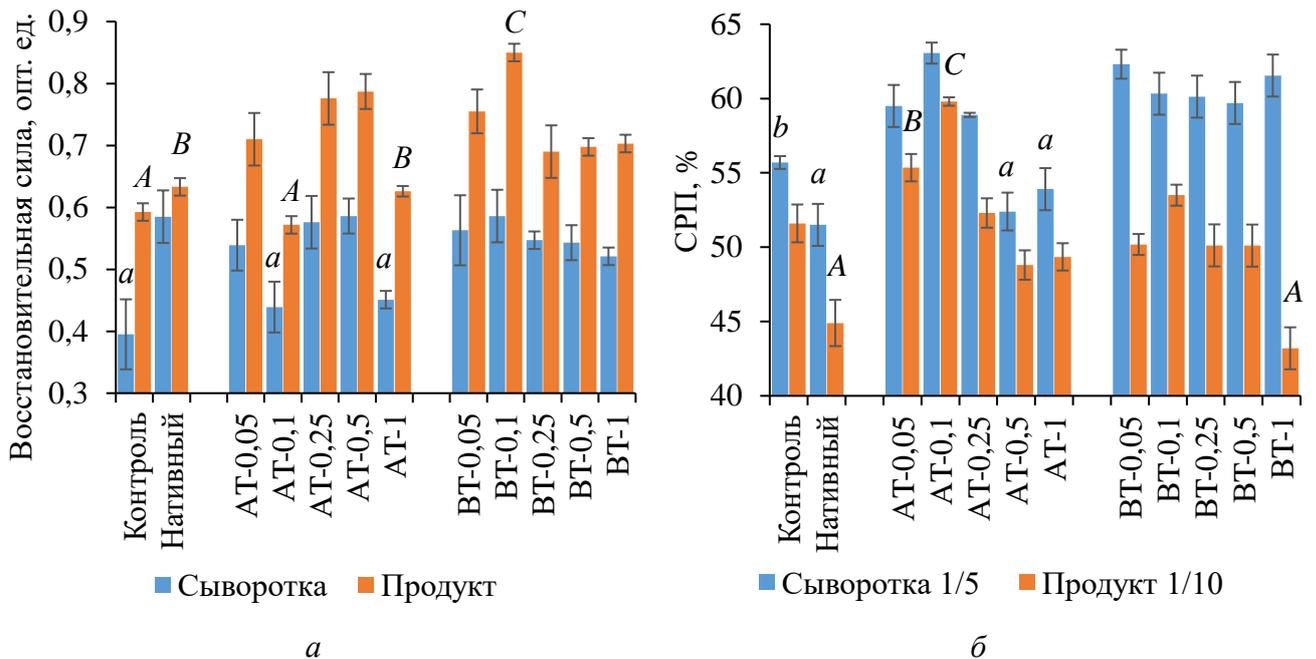
В присутствии модифицированных крахмалов показатель белизны L некоторых образцов ОКМНсСЗ (АТ-0,05, АТ-0,1, ВТ-0,1 и ВТ-0,25) снижался (см. таблицу 20). Сдвиг цветовой гаммы ОКМНсСЗ-АТ и ВТ в красную и синюю стороны, вероятно, может быть связан с реакцией Майяра.

4.2.4 Антиоксидантные свойства

В мировой научной литературе возрастает интерес к формированию антиоксидантных свойств кисломолочных продуктов [157; 210; 236; 249; 267]. Сотрудниками кафедры ТММП ФГБОУ ВО «КНИТУ» было обнаружено, что частично гидролизованный картофельный крахмал сам проявляет антиоксидантные свойства [193; 194], а также повышает антиоксидантные свойства обезжиренного варенца [193; 194]. Актуальность исследования антиоксидантных свойств в изучаемых системах обусловлена перспективой создания продукта с функциональными свойствами.

Восстановительная сила (ВС) сыворотки и продукта ОКМНсСЗ с крахмалами через 28 сут хранения была выше, чем у контроля (рисунок 14а). Наибольший восстановительный потенциал отмечен у ОКМНсСЗ с крахмалами, модифицированными Альфаладом БН. Максимальная ВС продукта обнаружена в ВТ-0,1, а в сыворотке – в АТ-0,5 и ВТ-0,1.

Добавление ферментно модифицированных крахмалов приводило к увеличению на 5–10 % способности к поглощению свободных радикалов (СРП) сыворотки в большинстве случаев по сравнению с контролем (рисунок 14б). Использование нативного крахмала снижает способность сыворотки и самого продукта связывать свободные радикалы. Напитки с ФМК в большинстве случаев показали СРП на уровне контроля, однако СРП образцов АТ-0,05 и АТ-0,1 был статистически выше.



Примечание – Данные представляют собой среднее \pm стандартное отклонение независимых повторов ($N = 3$ для ВС, $N = 5$ для РСА). Разные буквы указывают на различия ($P < 0,05$).

Рисунок 14 – Восстановительная сила (а) и способность к поглощению свободных радикалов (метод ДФПГ) (б) образцов ОКМНсСЗ с добавленными различными крахмалами после 28 сут хранения

4.2.5 Микроструктурный анализ

Результаты световой микроскопии ОКМНсСЗ с модифицированными крахмалами и контроля представлены на рисунках 15–17. Относительно данной микроскопии можно говорить о наличии/отсутствии гранул крахмала в теле продукта, их количестве, состоянии. На всех рисунках представлена белковая сеть продукта серого цвета. В образцах с добавлением крахмала можно наблюдать темные фиолетово окрашенные цельные или разрушенные вкрапления гранул крахмала в составе белковой сети [186].

Контроль при хранении не изменился (рисунок 15). В ОКМНсСЗ с нативным крахмалом при хранении происходили изменения: в 1-е сутки хранения гранулы крахмала выглядели как мелкие вкрапления, распределенные по всей поверхности;

на 28-е сутки гранулы крахмала набухали. Вокруг набухших гранул нативного крахмала и на их поверхности прослеживались молочные белки (серые нити белка на фиолетовом фоне крахмала), происходили агрегация и слипание.

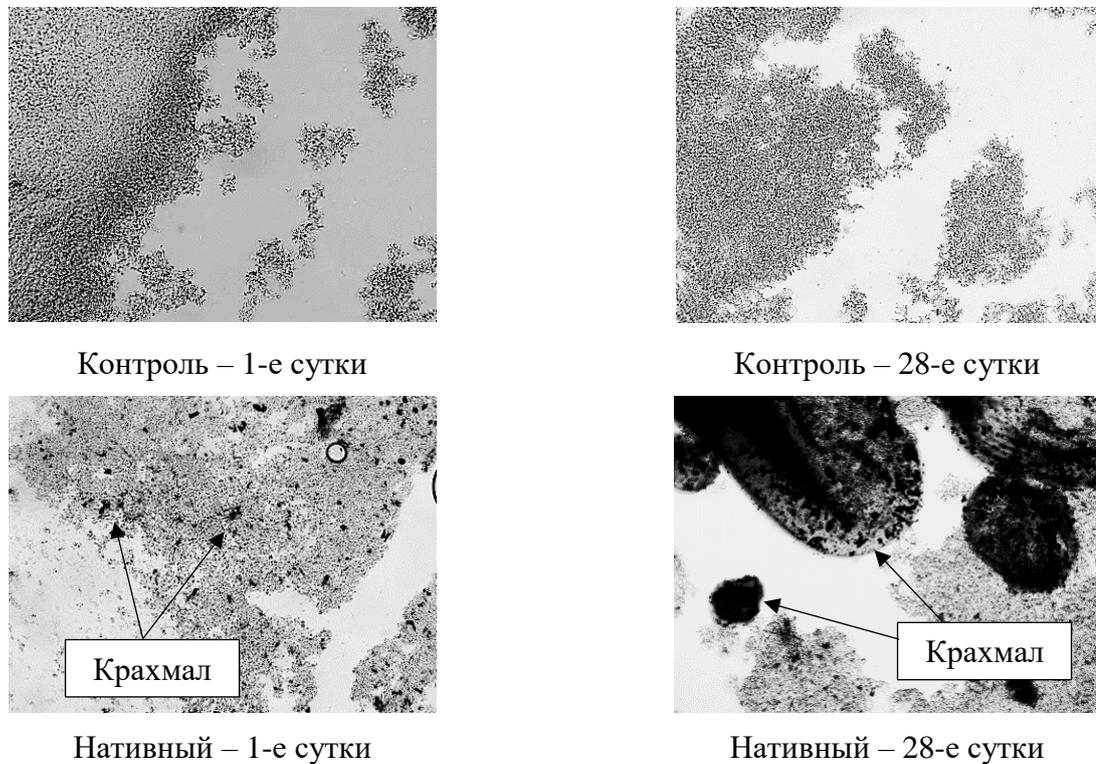
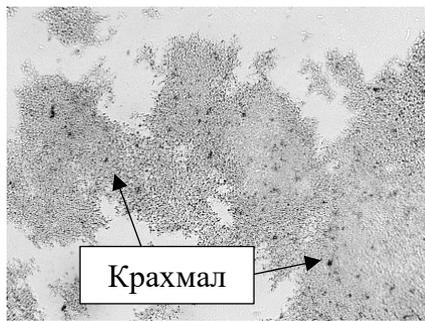


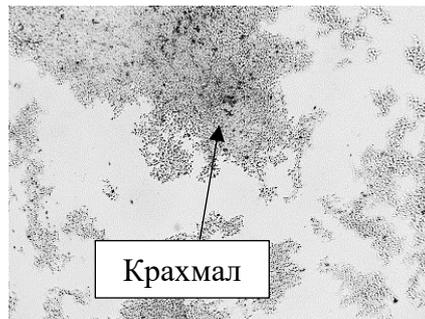
Рисунок 15 – Световая микроскопия контроля и ОКМНсСЗ с нативным крахмалом в процессе хранения

Проведенные исследования подтверждают выявленные респондентами органолептические изменения ОКМНсСЗ с нативным крахмалом в процессе хранения: рваную рыхлую зернистую структуру – консистенцию. О схожем поведении сообщали О. Сандовал-Кастилья и др.: добавление 1 % модифицированного крахмала тапиоки привело к относительно открытой и рыхлой структуре йогурта [227].

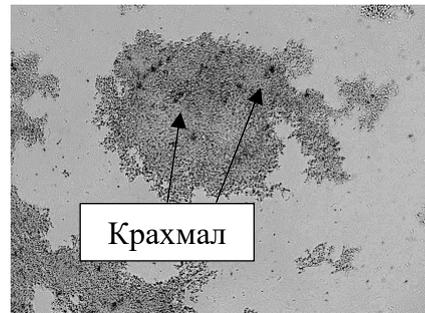
ОКМНсСЗ с ферментно модифицированными крахмалами при микроскопировании выглядели иначе, отличались друг от друга, что обусловлено использованием разных ферментных препаратов для модификации (рисунки 16 и 17).



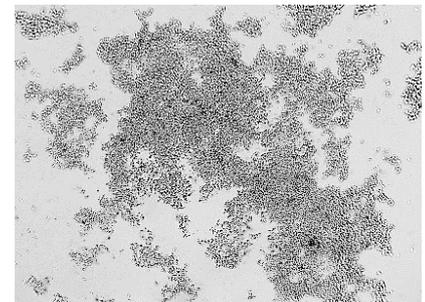
АТ-0,05 – 1-е сутки



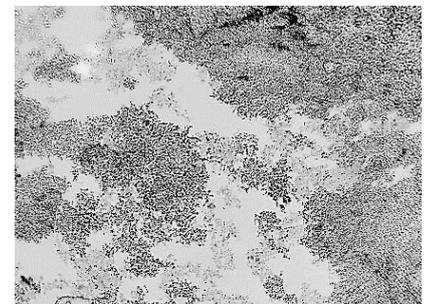
АТ-0,1 – 1-е сутки



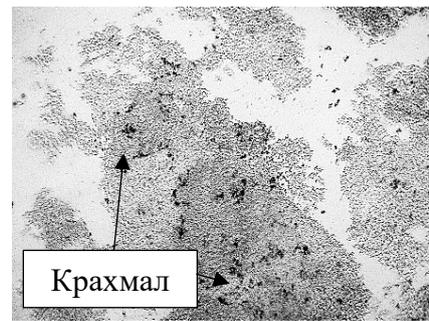
АТ-0,25 – 1-е сутки



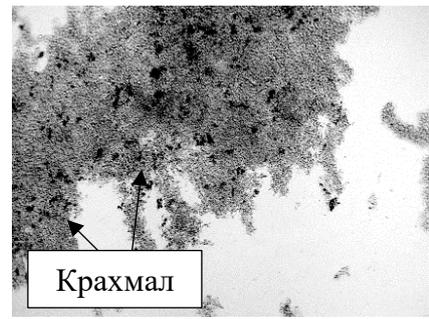
АТ-0,5 – 1-е сутки



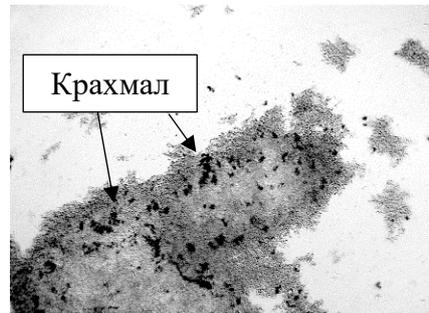
АТ-1 – 1-е сутки



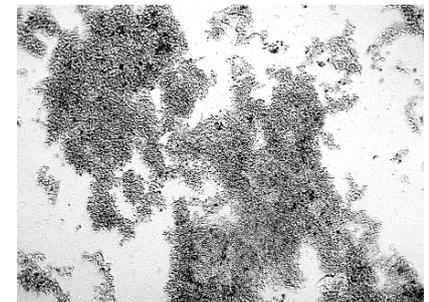
АТ-0,05 – 28-е сутки



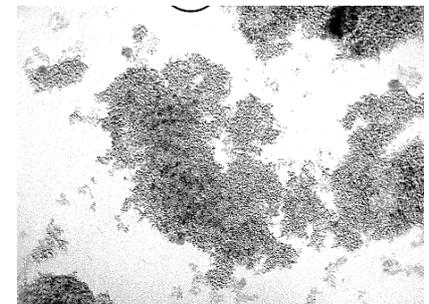
АТ-0,1 – 28-е сутки



АТ-0,25 – 28-е сутки

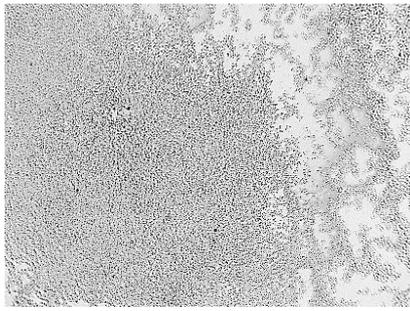


АТ-0,5 – 28-е сутки

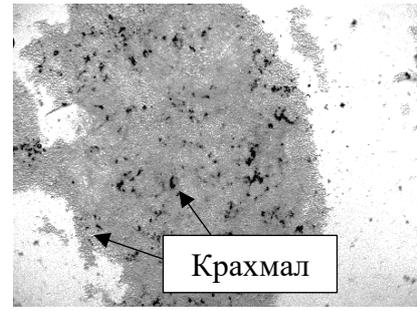


АТ-1 – 28-е сутки

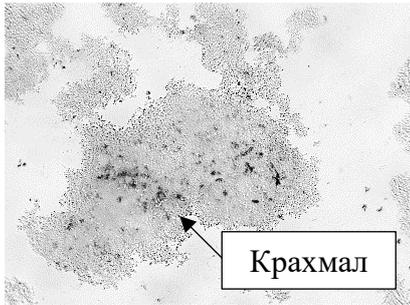
Рисунок 16 – Микроскопия напитков с АТ-крахмалами в 1-е и 28-е сутки хранения



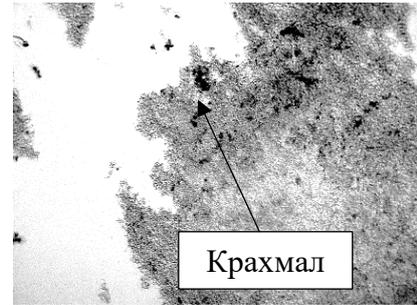
BT-0,05 – 1-е сутки



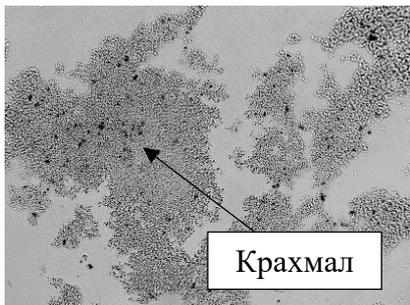
BT-0,05 – 28-е сутки



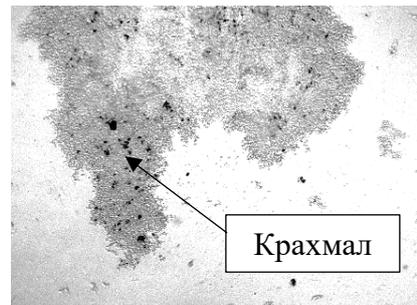
BT-0,1 – 1-е сутки



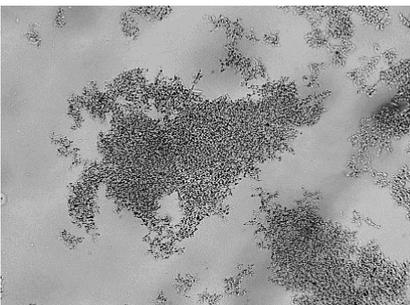
BT-0,1 – 28-е сутки



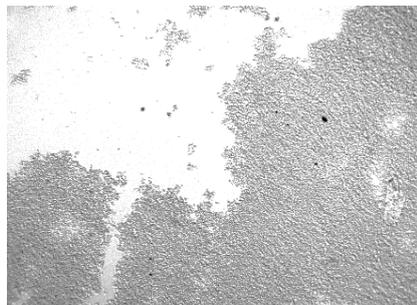
BT-0,25 – 1-е сутки



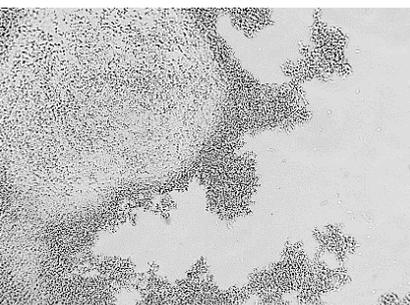
BT-0,25 – 28-е сутки



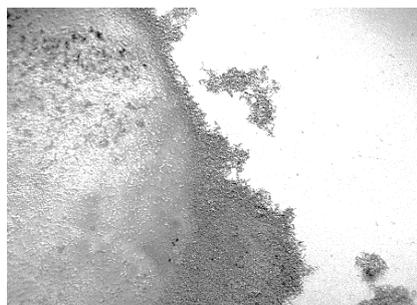
BT-0,5 – 1-е сутки



BT-0,5 – 28-е сутки



BT-1 – 1-е сутки



BT-1 – 28-е сутки

Рисунок 17 – Микроскопия напитков с ВТ-крахмалами в 1-е и 28-е сутки хранения

В ОКМНсСЗ-АТ в 1-е сутки хранения обломки крахмальных гранул выглядели как мелкие единичные темно-фиолетовые точки в серой белковой сети, их количество меньше, чем в ОКМНсСЗ с нативным крахмалом. На 28-е сутки хранения картина изменилась: обломки гранул крахмала набухали, их было проще идентифицировать, количество было бóльшим в сравнении с 1-ми сутками. В образцах АТ-0,1 и АТ-0,25 обломки гранул крахмала были более крупными и (или) представляли собой группу единичных осколков.

В ОКМНсСЗ-ВТ крахмальные обломки в 1-е сутки хранения просматривались только в образцах ВТ-0,1 и ВТ-0,25. На 28-е сутки хранения набухшие обломки гранул крахмала были обнаружены в ОКМНсСЗ-ВТ-0,05; ВТ-0,1; ВТ-0,25, они просматривались как единичные мелкие, реже крупные частицы.

Вероятно, существует оптимальное значение концентрации фермента при модификации крахмала, вследствие чего гранулы крахмала, разрушаясь частично, сохраняют свое нативное строение и свойства. Такие крахмалы смогут взаимодействовать с молочной белковой сетью, встраиваться в нее и способствовать улучшению текстуры напитка. Излишняя активность фермента приводит к критическому состоянию молекул крахмала.

Поврежденные крахмалы после ферментной модификации физически сохраняют внешний вид гранул, однако при добавлении в напиток, будучи доступными для метаболизации, полностью используются МКБ в качестве субстрата. Это могло бы объяснить отсутствие обломков гранул ферментно модифицированных крахмалов (АТ-1, ВТ-0,5 и ВТ-1) при микрокопировании.

4.2.6 Анализ главных компонент

Одна из современных тенденций в науке – это анализ большого массива данных. Анализ главных компонент (РСА) – один из наиболее используемых статистических методов. Он позволяет работать с большими наборами данных и снижать

их размерность на основе закономерностей корреляции между исходными переменными. Метод PCA направлен на извлечение основных ортогональных факторов (главных компонент), которые объясняют большую часть дисперсии проанализированной матрицы данных. Для визуального анализа обычно строят двумерную или трехмерную проекцию образцов [125; 94].

Анализ выявил, что в 1-е сутки хранения свойства ОКМНсСЗ с модифицированными крахмалами АТ и ВТ схожи (находятся в одной области, близко друг к другу); Контроль и ОКМНсСЗ с нативным крахмалом отдалены друг от друга и от центра, в котором в том числе находятся ОКМНсСЗ АТ и ВТ (рисунок 18).

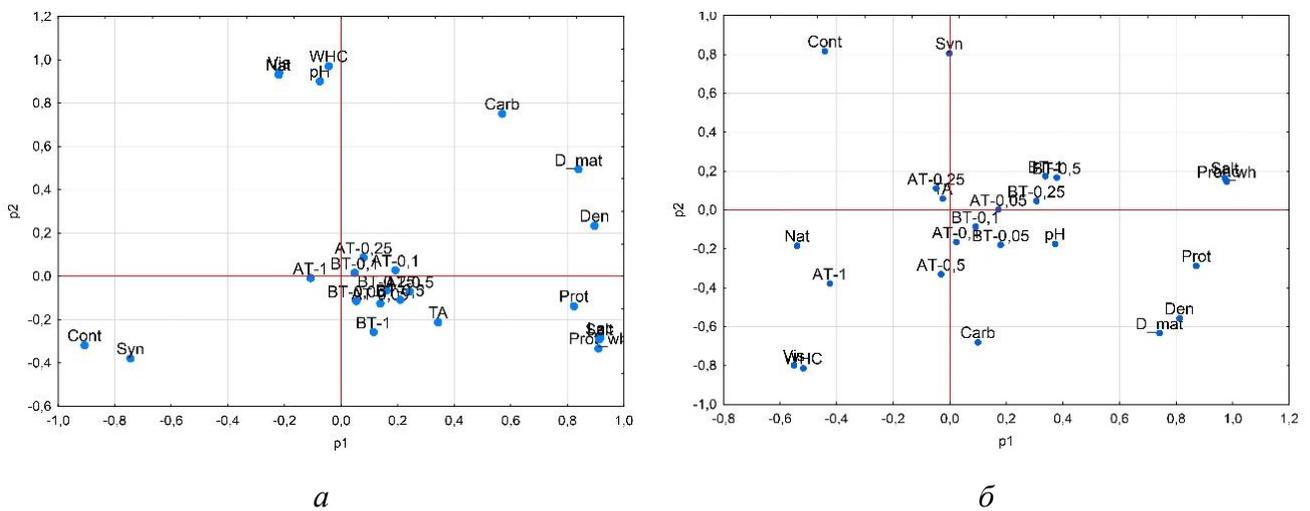


Рисунок 18 – Анализ главных компонент образцов ОКМНсСЗ с добавлением различных крахмалов после 1 сут (*а*) и 28 сут (*б*) хранения:

Cont – контроль; Nat – нативный; АТ-0,05, АТ-0,1, АТ-0,25, АТ-0,5, АТ-1, ВТ-0,05, ВТ-0,1, ВТ-0,25, ВТ-0,5, ВТ-1 – образцы ОКМНсСЗ; Prot – белок;

Prot_wh – белок в сыворотке; Carb – углеводы; Lac – лактоза; Salt – минеральные вещества;

D_mat – сухое вещество; Den – плотность; TA – титруемая кислота;

pH – кислотность; Syn – синерезис; WHC – ВУС; Vis – кажущаяся вязкость

Через 28 сут хранения контроль и ОКМНсСЗ с нативным крахмалом изменили область расположения, расстояние между свойствами ОКМНсСЗ АТ и ВТ увеличилось. Увеличение расстояния между АТ-образцами и их отдаление от центра было более значительным, чем для ОКМНсСЗ с ВТ-крахмалами. Разница, вносимая используемым стабилизатором – крахмалом, т. е. его влияние на стабиль-

ность и конечные свойства напитка, имеет кумулятивный характер и проявляется в процессе хранения.

Для пар показателей «вязкость – ВУС», «плотность – сухие вещества», «минеральные вещества – белки», между векторами которых угол минимален, проявляется высокая степень корреляции как на 1-е, так и на 28-е сутки хранения. Корреляция между синерезисом (Syn) и углеводами (Carb) отрицательная, угол между ними равен почти 180° . Чем длиннее вектор (отдаленность от центра графика), тем важнее показатель. При анализе образцов выявлено, что наиболее важные текстурные показатели – вязкость, ВУС, синерезис и химический состав (белки), плотность и сухие вещества.

Внесение модифицированных крахмалов в обезжиренный КМП приводило к положительным изменениям. ОКМНсСЗ с ВТ-крахмалами (ВТ-0,05, ВТ-0,1, ВТ-0,25) имели лучшую сохранность и стабильность свойств, чем контроль и ОКМНсСЗ с нативным крахмалом. Среди АТ-крахмалов со схожим поведением можно выделить образец АТ-0,05.

Таким образом, тапиоковый крахмал как имитатор жира отвечает большинству технологических требований (мягкий вкус, чистота, гипоаллергенность, меньшая ретроградация, прочный и вязкий клейстер, малые размеры гранул – 5–25 μm) и может быть успешно применен в молочном производстве. Активность и вид ферментного препарата (Амилосубтилин[®] или Альфалад БН[®]), вносимого для модификации тапиоковых крахмалов, существенно влияет на микроструктурные свойства гранул крахмалов, изменяет физико-химические свойства.

Учитывая наибольший вклад текстурных характеристик в стабильность при хранении, наиболее перспективным ферментом для использования в технологии обезжиренных КМП представляется коммерческий препарат Альфалад БН[®], разрешенный к использованию в пищевой промышленности.

5 Совершенствование технологии обезжиренных кисломолочных напитков и введение тапиокового крахмала, предварительно обработанного препаратом Альфалад БН[®] непосредственно в молоке

5.1 Разработка модели-схемы технологии производства

Предложена технологическая схема (рисунок 19) с введением тапиокового крахмала, предварительно обработанного препаратом Альфалад БН[®] непосредственно в молоке, при производстве обезжиренных КМП, предполагающая исключение стадии модификации крахмала на отдельном производстве – например, заводе биополимеров [17] или предприятии крахмалопаточной отрасли [31]. Модификация крахмала осуществляется в рамках предложенной технологии на молочном производстве, с сохранением всех основных процессов, режимов и оборудования для молочной промышленности. Таким образом, контроль качества производимой продукции полностью обеспечивает молочное предприятие, которое получает возможность при варьировании заквасок производить новую ассортиментную линейку обезжиренных КМП с повышенной пользой для населения. Категория граждан, для которой рекомендованы данные КМП, может быть расширена за счет использования специального безглютенового крахмала (крахмала тапиоки), что позволит использовать такие продукты в спортивном, диетическом, детском и, возможно, функциональном питании.

Для обоснования работоспособности предложенной технологической схемы и определения оптимального режима модификации крахмала-сырья был проведена исследовательская работа по моделированию условий.

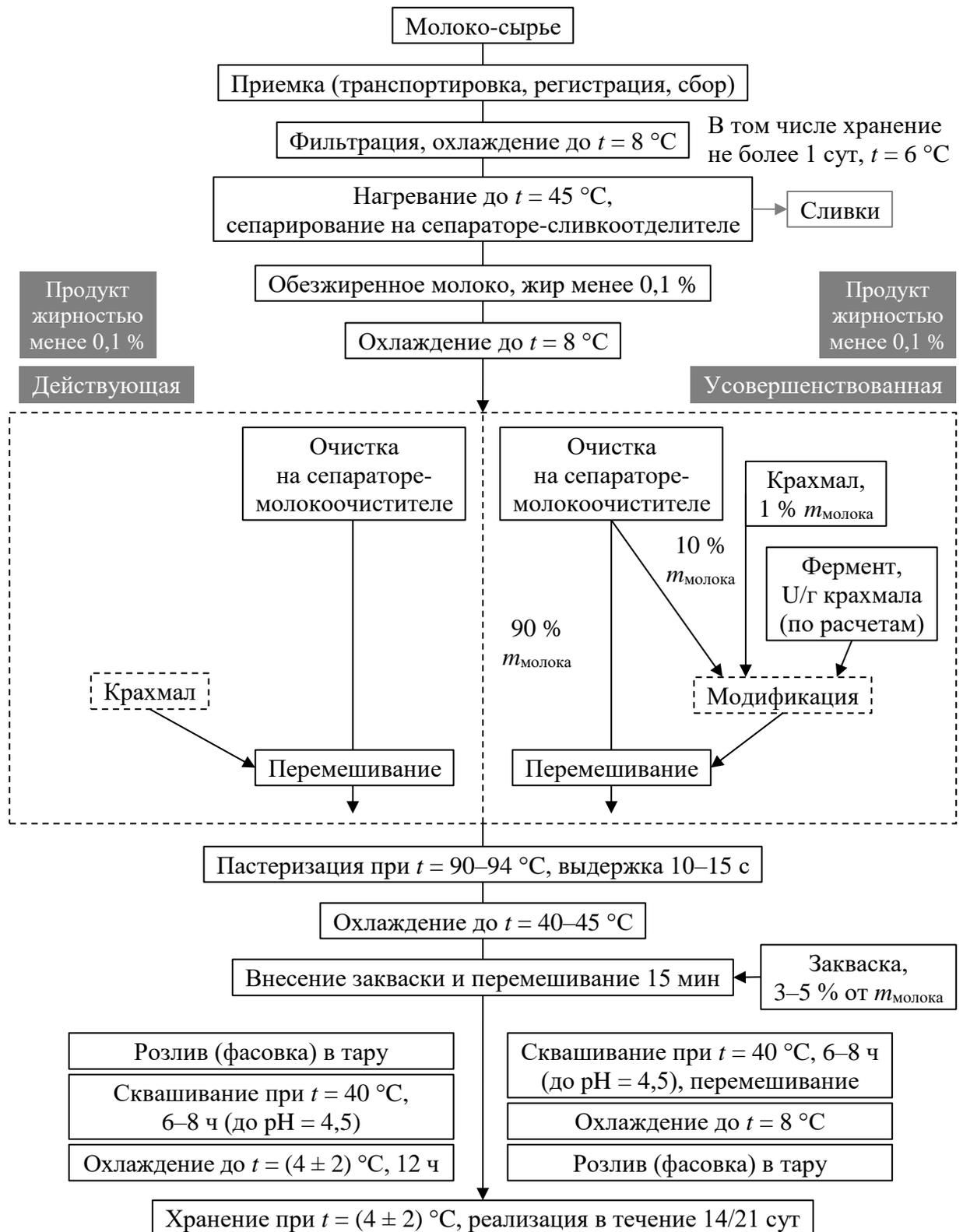


Рисунок 19 – Модель технологической схемы производства обезжиренного кисломолочного продукта

5.2 Моделирование и разработка аппаратурной схемы технологии производства

5.2.1 Математическое моделирование и планирование эксперимента

В случае статистического подхода математическая модель объекта или процесса представляется в виде полинома, т. е. отрезка ряда Тейлора, в который разлагается неизвестная функция [4].

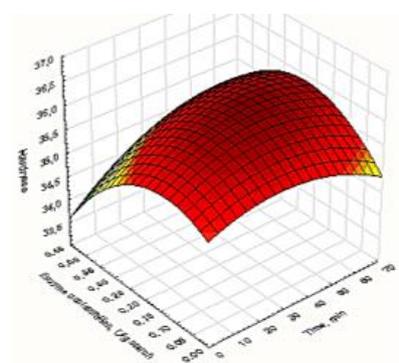
Метод поверхности отклика (RSM) представляет собой инструмент для анализа экспериментальных данных, приводящий к оптимизации процесса. Центральный композиционный (последовательный) план (полином 2-го порядка) был использован для анализа взаимодействия переменных процесса (двух факторов) с помощью RSM [265]. Основные независимые параметры отклика – это концентрация ферментного препарата (X_2) и время обработки (X_1). Кодирование эксперимента осуществлено по таблице 21.

Согласно математической модели со сквашиванием по технологии получения КМП до pH 4,5 были изготовлены образцы ОКМНсСЗ с внесением тапиокового крахмала, обработанного ферментным препаратом Альфалад БН[®], по режимам композиционного плана для двух факторов (см. таблицу 21). Образцы охлаждали и стабилизировали при 4 °С в течение 1 сут. Далее провели экспериментальную часть исследования и получили значения отклика системы (приложение В).

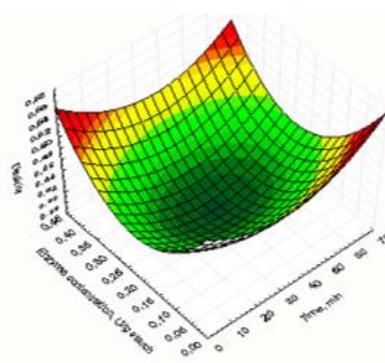
Оценку текстуры проводили по расчетно и инструментально независимым друг от друга параметрам профиля текстуры – твердости, эластичности, адгезии, клейкости, упругости, тягучести и параметрам вязкость, синерезису. Графики – линии поверхности (рисунки 20 и 21) по полученным откликам системы были построены с помощью программы Statistica. Графики расчетно зависимых друг от друга параметров профиля текстуры представлены в приложении Г.

Таблица 21 – Композиционный план для двух факторов

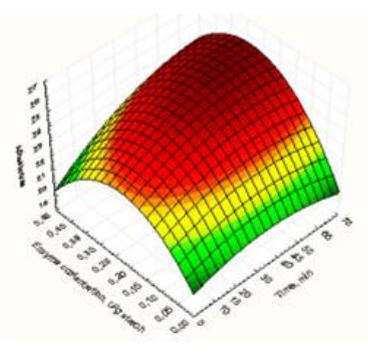
Вариант	Факторы в безразмерной системе координат			Факторы в натуральном масштабе	
	X_0	X_1	X_2	X_1 (время обработки)	X_2 (доза фермента)
1	1	-1	-1	0	0
2	1	-1	-0,5	0	0,1
3	1	-0,5	-0,5	15	0,1
4	1	0	-0,5	30	0,1
5	1	0,5	-0,5	45	0,1
6	1	1	-0,5	60	0,1
7	1	-1	0	0	0,2
8	1	-0,5	0	15	0,2
9	1	0	0	30	0,2
10	1	0,5	0	45	0,2
11	1	1	0	60	0,2
12	1	-1	1	0	0,4
13	1	-0,5	1	15	0,4
14	1	0	1	30	0,4
15	1	0,5	1	45	0,4
16	1	1	1	60	0,4
Σ	16,0	8,5	7,3	–	–



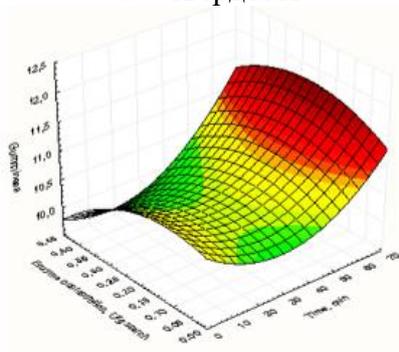
а – твёрдость



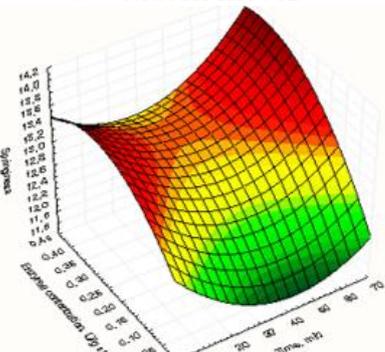
б – эластичность



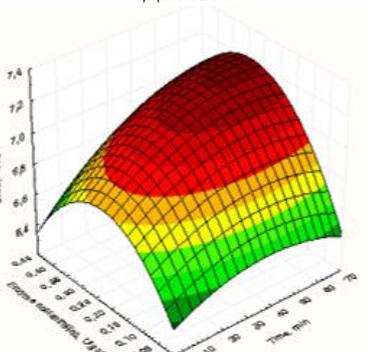
в – адгезия



з – клейкость



д – упругость



е – тягучесть

Рисунок 20 – Влияние концентрации и времени обработки на текстурные характеристики

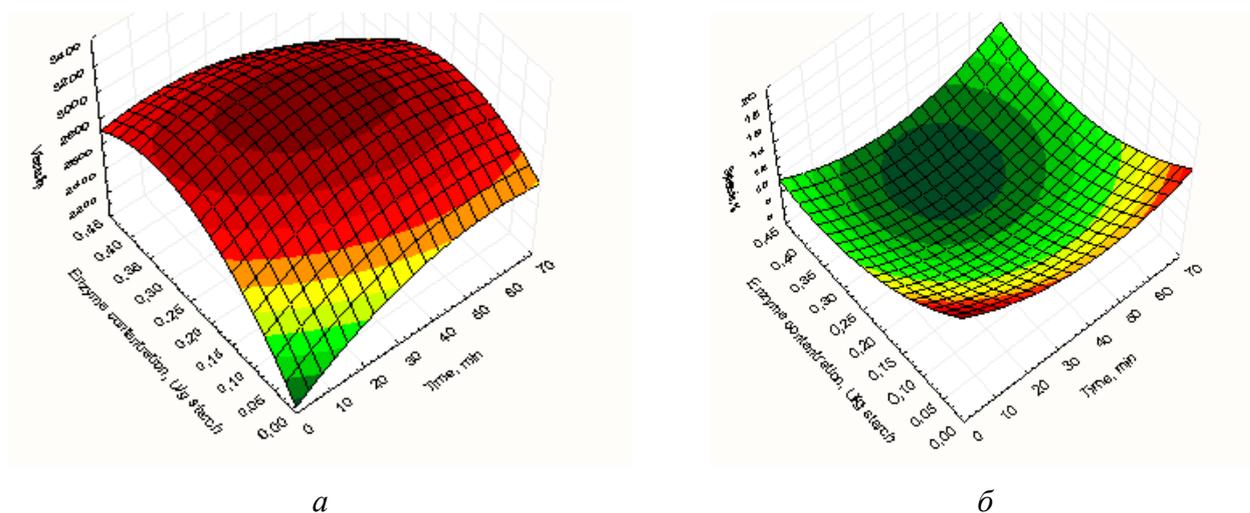


Рисунок 21 – Влияние концентрации и времени обработки на вязкость (а) и синерезис (б)

Составлена матрица расчета коэффициентов двухфакторной модели и рассчитаны коэффициенты уравнения регрессии для каждого параметра. Величины коэффициентов уравнения регрессии характеризуют вклад каждого фактора в значение функции отклика. С помощью программы MS Excel получены уравнения зависимостей вида $Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1x_1 + b_{22}x_2x_2$ для каждого параметра. Полученные уравнения и заданные ограничения приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Уравнения зависимостей для параметров

Параметр	Уравнение регрессии	Ограничения
Твердость $X_{ТВ}$	$35,21 + 0,02x_1 + 4,73x_2 - 0,0004x_1^2 + 0,06x_1x_2 - 18,55x_2^2$	$33 \leq X_{ТВ} \leq 37,0$
Когезия X_K	$0,31 - 0,0011x_1 + 0,01x_2 + 2,01E^{-5}x_1x_1 + 0,0003x_1x_2 - 0,08x_2^2$	$0,26 \leq X_K \leq 0,34$
Скорректированная когезия $X_{СК}$	$0,26 - 0,001x_1 - 0,18x_2 + 1,20E^{-5}x_1x_1 + 0,001x_1x_2 + 0,31x_2^2$	$0,21 \leq X_{СК} \leq 0,29$
Сила адгезии $X_{СА}$	$-6,04 - 0,02x_1 - 2,74x_2 + 2,00E^{-4}x_1x_1 - 0,01x_1x_2 + 7,56x_2^2$	$-7 \leq X_{СА} \leq -5$
Адгезия X_A	$19,69 + 0,06x_1 + 31,17x_2 - 1,00E^{-3}x_1x_1 + 0,14x_1x_2 - 70,64x_2^2$	$19 \leq X_A \leq 26$
Эластичность X_3	$0,55 - 0,003x_1 - 0,98x_2 + 4,83E^{-5}x_1x_1 - 0,002x_1x_2 + 2,19x_2^2$	$0,38 \leq X_3 \leq 0,54$
Клейкость $X_{КЛ}$	$10,72 - 0,03x_1 + 1,99x_2 + 6,00E^{-4}x_1x_1 + 0,03x_1x_2 - 9,03x_2^2$	$9,7 \leq X_{КЛ} \leq 12,5$

Продолжение таблицы 22

Параметр	Уравнение регрессии	Ограничения
Упругость X_y	$12,78 - 0,05x_1 + 7,13x_2 + 6,00E^{-4}x_1x_1 + 0,04x_1x_2 - 12,82x_2x_2$	$12 \leq X_y \leq 15$
Тягучесть X_T	$6,37 + 0,01x_1 + 4,02x_2 - 1,00E^{-4}x_1x_1 + 0,02x_1x_2 - 9,05x_2x_2$	$6 \leq X_T \leq 8$
Разжевываемость X_p	$137,28 - 0,99x_1 + 97,57x_2 + 0,01x_1x_1 + 0,84x_1x_2 - 246,44x_2x_2$	$122 \leq X_p \leq 167$
Вязкость X_b	$2\,060,21 + 20,15x_1 + 5\,446,47x_2 - 0,18x_1x_1 - 33,40x_1x_2 - 8\,901,60x_2x_2$	$2\,075 \leq X_b \leq 3\,230$
Отстой сыворотки (синерезис) X_c	$17,95 - 0,24x_1 - 48,01x_2 + 2,70E^{-3}x_1x_1 + 0,10x_1x_2 + 65,14x_2x_2$	$6 \leq X_c \leq 17$
Водоудерживающая способность X_{BUC}	$40,63 - 0,05x_1 - 85,42x_2 + 2,00E^{-4}x_1x_1 + 0,26x_1x_2 + 145,45x_2x_2$	$29 \leq X_{BUC} \leq 34$

С помощью программы Statistica и функции «Поиск решения» MS Excel выявлены оптимальные значения факторов для каждого параметра: время обработки t (X_1 , мин) и концентрация ферментного препарата (X_2 , У/г крахмала) (таблица 23).

Таблица 5.3 – Таблица 23 – Результат расчета оптимальных показателей концентрации фермента и времени обработки

Параметр	Оптимальные значения		Прогнозируемые значения параметров при $X_1 = 30$, $X_2 = 0,23$
	X_1 , мин	X_2 , У/г крахмала	
Твердость, г	33,45	0,23	36,04
Эластичность	32,51	0,23	0,38
Сила адгезии, г	–	–	–6,65
Адгезия, г·с	32,30	0,23	25,10
Когезия	32,48	0,20	0,29
Скорректированная когезия	30,64	0,24	0,22
Клейкость, г	32,70	0,23	10,42
Упругость, мм	34,08	0,23	12,99
Тягучесть, мм	31,53	0,22	7,13
Разжевываемость, г·мм	33,96	0,20	135,61
Вязкость, мПа/с	27,38	0,23	3 053,10
Синерезис, %	34,38	0,21	6,36
ВУС, %	31,86	0,22	29,24
<i>Среднее значение</i>	32,27	0,22	–

Об оптимальности значений полученных факторов свидетельствуют математические модели. Ограничения были выбраны между максимумами и минимумами значений отклика для двухфакторного эксперимента. Превышение пределов максимума и минимума границ моделей ведет к резкому ухудшению взаимозависимых параметров (приложение В). Так, излишняя твердость приведет к снижению эластичности текстуры продукта, высокая эластичность текстуры – к снижению вязкости и тягучести продукта.

В рамках совершенствования технологии получения обезжиренных КМП с введением тапиокового крахмала, предварительно обработанного препаратом Альфалад БН[®] непосредственно в молоке, оптимальный диапазон значений для концентрации ферментного препарата и времени обработки для модификации крахмального сырья лежит в диапазонах 25–35 мин и 0,2–0,25 U/г крахмала соответственно.

5.2.2 Разработка аппаратурной схемы технологии производства

Исходя из полученных результатов математического моделирования и подтверждения работоспособности модели-технологической схемы предложена аппаратурная схема технологии производства (рисунок 22). Стадии производства сопровождаются числовым обозначением (I–V) и пояснительным текстом вдоль линий технологического процесса. При модификации крахмала необходимо периодичное перемешивание с частотой 1 мин каждые 10 мин.

По предложенной схеме был получен ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» с введением тапиокового крахмала, предварительно обработанного препаратом Альфалад БН[®] непосредственно в молоке.

Далее был проведен комплексный анализ свойств напитка по физико-химическим, текстурным, органолептическим, оптическим, антиоксидантным, микробиологическим параметрам.

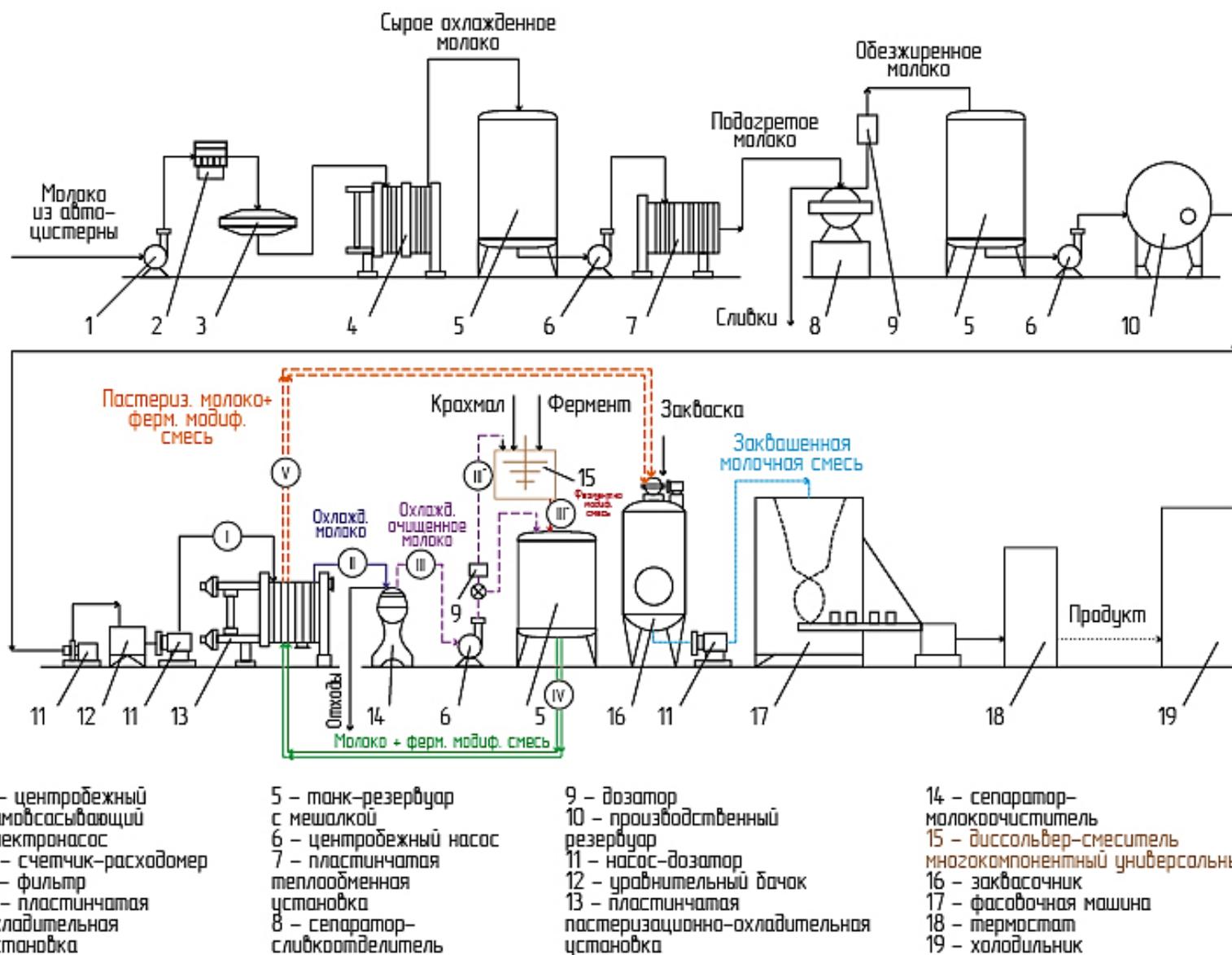


Рисунок 22 – Аппаратурная схема разрабатываемой технологии

5.3 Анализ свойств кисломолочных напитков, полученных по усовершенствованной технологии

Напиток, выработанный по традиционной технологии получения обезжиренных кисломолочных продуктов с внесением ферментно модифицированных крахмалов, соответствовал требованиям МУК 4.2.1847-04 (параграф 4.2, данные по санитарно-микробиологическому анализу не представлены). Срок годности продуктов, выработанных по усовершенствованной технологии, снижен до 21 сут с целью сохранения антиоксидантного потенциала продуктов, максимум которого приходится на 14–21-е сутки, а далее идет его снижение [142; 193; 194; 275].

5.3.1 Физико-химические свойства

В первые сутки титруемая кислотность ЛактоСилк и ОКМНсСЗ с нативным крахмалом была равна 117 °Т, что выше, чем у контроля – 115 °Т (рисунок 23). рН контроля – 4,97, ЛактоСилк – 4,83, ОКМНсСЗ-Натив – 4,9. К 21-м суткам хранения титруемая кислотность всех образцов после колебаний в процессе хранения нарастала, при этом постокислительные процессы у ОКМНсСЗ-Натив проявлялись с задержкой на 7 сут.

На 21-е сутки значения кислотности продуктов были близки: титруемая кислотность 117–118 °Т, рН 4,94–4,97.

Изучено влияние внесения крахмала на физико-химические свойства напитков (таблица 24). В контроле выявили постепенное уменьшение общего белка и наращивание доли сывороточного белка при хранении, что, как и сообщали ранее, вероятно, связано с активностью клеток *Lactococcus*, которые могут гидролизовать казеины и пептиды.

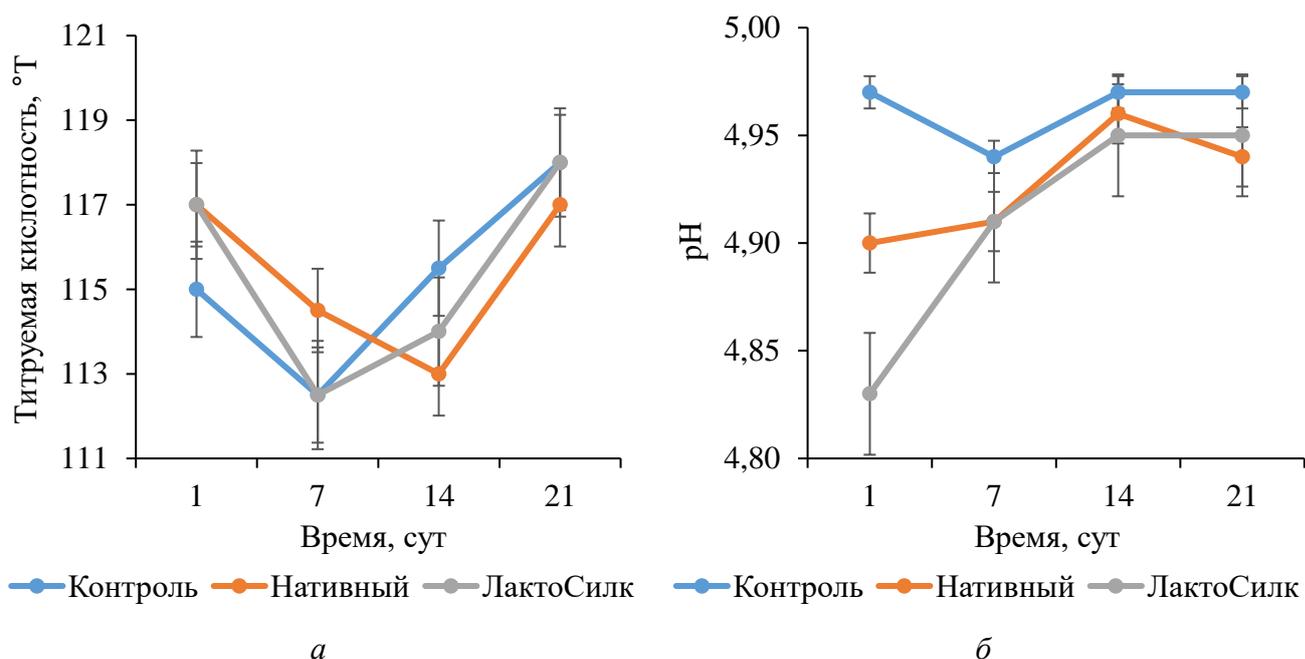


Рисунок 23 – Изменения титруемой кислотности (а) и рН (б) ОКМНсСЗ в процессе хранения

Содержание общего белка в ЛактоСилк в процессе хранения статистически значимо не отличалось. Доля общего белка в ОКМНсСЗ с нативным крахмалом (3,78 %) была ниже, чем у контроля (3,83 %) в 1-е сутки, что, вероятно, связано с разбавлением общей массы, к 21-м суткам была на уровне ЛактоСилк (3,89 %). Содержание сывороточного белка в образцах с крахмалами постепенно снижалось в процессе хранения.

Внесение крахмалов увеличивало процентное содержание углеводов в сыворотке, минеральных веществ, сухих веществ и плотность продукта. Количество глюкозы в ОКМНсСЗ с нативным крахмалом было выше, чем у контроля в 1-е сутки хранения. На 21-е сутки хранения количество глюкозы в образцах с крахмалами возрастало в сравнении с 1-ми сутками, в контроле не изменялось и находилось в пределах диапазона погрешностей. Изменение количества глюкозы в образцах с крахмалами в процессе хранения свидетельствует, вероятно, о поэтапном расщеплении гранул крахмала и метаболизме глюкозы микрофлорой.

Таблица 24 – Физико-химические параметры ОКМНсСЗ в процессе хранения

Образец	Продолжительность хранения, сут	Белок, %	Белок в сыворотке, %	Углеводы в сыворотке, %	Глюкоза, ммоль/л	Минеральные вещества, %	Сухие вещества, %	Плотность, кг/м ³
Контроль	1	3,83 ± 0,07	2,00 ± 0,03	4,13 ± 0,01	7,1 ± 0,1	0,65 ± 0,01	8,93 ± 0,14	1 035,1 ± 0,8
	7	3,86 ± 0,01	2,82 ± 0,04	4,16 ± 0,01	7,4 ± 0,1	0,66 ± 0,01	8,96 ± 0,08	1 037,0 ± 0,7
	14	3,82 ± 0,04	2,91 ± 0,01	4,00 ± 0,01	7,0 ± 0,3	0,68 ± 0,01	9,07 ± 0,24	1 039,2 ± 1,0
	21	3,77 ± 0,03	3,08 ± 0,01	4,05 ± 0,03	6,8 ± 0,1	0,72 ± 0,01	9,33 ± 0,32	1 039,1 ± 0,3
Нативный	1	3,78 ± 0,01	3,29 ± 0,02	4,85 ± 0,01	7,8 ± 0,1	0,77 ± 0,01	10,05 ± 0,07	1 037,2 ± 0,5
	7	3,72 ± 0,03	3,04 ± 0,01	4,48 ± 0,02	9,0 ± 0,3	0,71 ± 0,01	9,38 ± 0,18	1 038,1 ± 0,7
	14	3,71 ± 0,05	3,12 ± 0,02	4,61 ± 0,02	6,4 ± 0,6	0,73 ± 0,01	9,44 ± 0,06	1 039,0 ± 0,8
	21	3,86 ± 0,07	3,14 ± 0,04	4,63 ± 0,02	8,9 ± 0,8	0,73 ± 0,01	9,75 ± 0,21	1 039,9 ± 1,3
ЛактоСилк	1	3,88 ± 0,04	3,33 ± 0,01	4,92 ± 0,02	7,2 ± 0,3	0,78 ± 0,01	9,97 ± 0,11	1 037,6 ± 0,6
	7	3,93 ± 0,04	3,07 ± 0,02	4,54 ± 0,03	8,2 ± 0,2	0,72 ± 0,01	9,51 ± 0,07	1 039,5 ± 0,7
	14	3,85 ± 0,03	3,18 ± 0,01	4,69 ± 0,03	6,7 ± 0,4	0,74 ± 0,01	9,57 ± 0,10	1 039,4 ± 0,5
	21	3,89 ± 0,01	3,17 ± 0,01	4,68 ± 0,01	8,0 ± 0,6	0,74 ± 0,01	9,71 ± 0,09	1 039,8 ± 0,4

Увеличение плотности ОКМНсСЗ может быть связано с агрегацией молекул белков и молекул ЭПС, накапливаемых в процессе жизнедеятельности микрофлоры и (или) с внедрением крахмалов в молочную белковую сеть.

Общее количество ЭПС, в том числе с погрешностью, вносимой неудаляемым водорастворимым крахмальным остатком, в напитках в процессе хранения разнилось. Количество ЭПС в контроле (рисунок 24) было ниже, чем в напитках с крахмалами, на протяжении всего срока хранения. Количество ЭПС в ЛактоСилк практически не изменялось в процессе хранения и было наибольшим среди всех образцов.

Таким образом, внесение цельных гранул крахмала или гранул, предварительно обработанных Альфаадам БН непосредственно в молоко, способствует синтезу и накоплению ЭПС. Количество ЭПС в ЛактоСилк было на 18–22 мг глюкозы/мл больше, чем в контроле, на протяжении всего периода хранения.

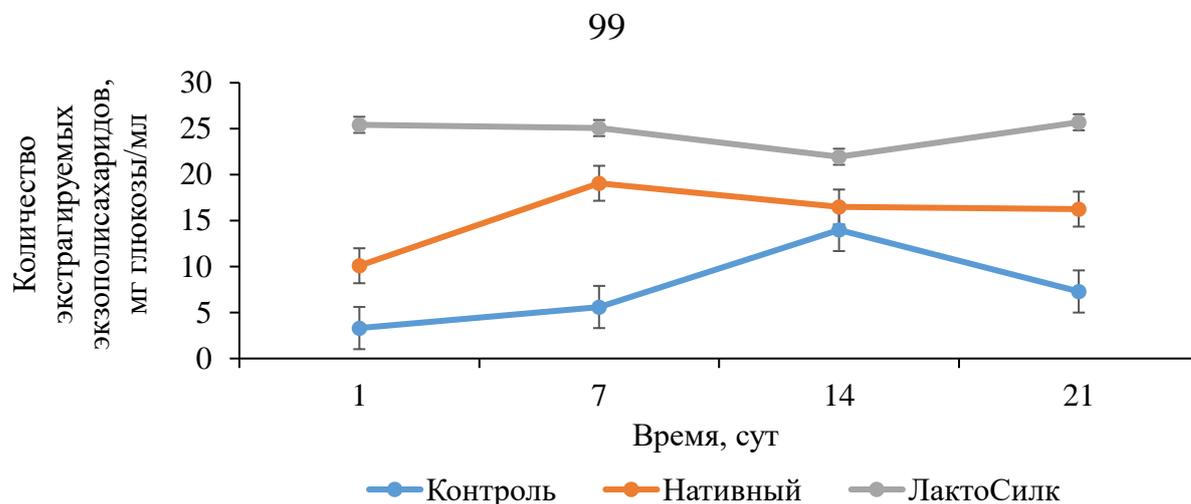


Рисунок 24 – Общее количество экстрагируемых экзополисахаридов в ОКМНсСЗ при хранении

Добавление ферментно модифицированного картофельного крахмала в обезжиренный продукт приводило к увеличению ЭПС [193; 194]. Кроме того, сообщалось, что синтез ЭПС МКБ улучшает текстуру продукта [114; 115; 270].

5.3.2 Структурно-механические свойства

Изготовление ЛактоСилк по усовершенствованной технологии положительно сказалось на синерезисе (рисунок 25а). Значение синерезиса в ЛактоСилк снизилось с 12,8 % (1-е сутки) до 10,7 % (21-е сутки), при этом на протяжении всего срока хранения значение этого показателя было ниже, чем у контроля. Достоинства введения нативного крахмала в напиток нивелировались его ретроградацией [193; 194].

Снижение значения синерезиса ЛактоСилк в сравнении с контролем связано с поглощением воды и набуханием гранул крахмала [58].

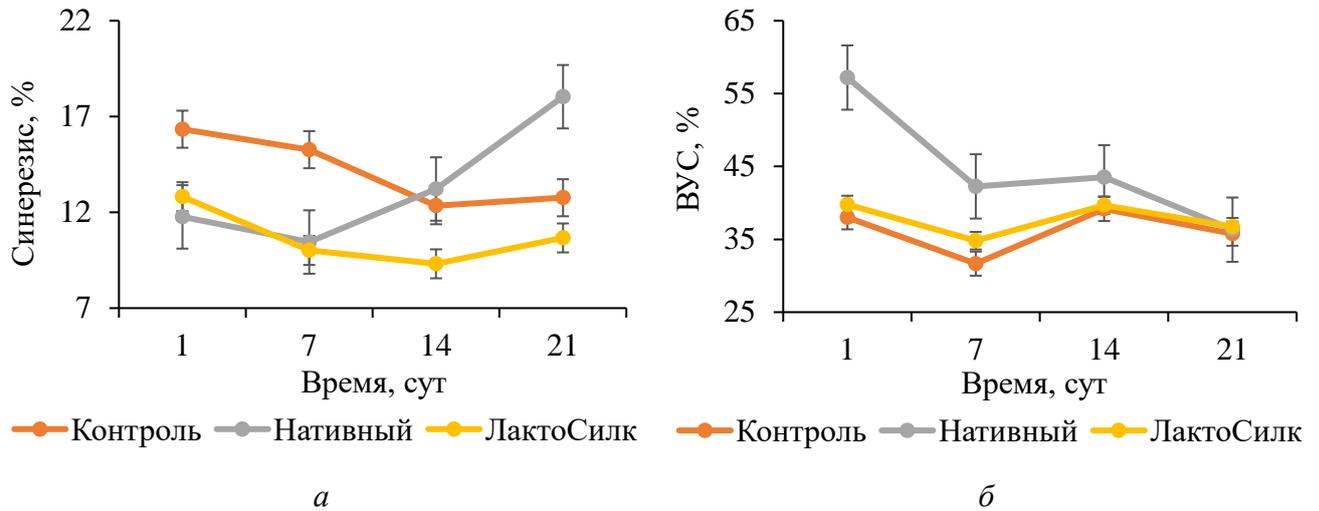


Рисунок 25 – Изменение показателей синерезиса (а) и ВУС (б) образцов ОКМНсСЗ при хранении

Значительное отличие во влиянии на синерезис нативного крахмала и крахмала, предварительно обработанного препаратом Альфалад БН[®] непосредственно в молоке, вероятно, связано с морфологическими перестройками и разрыхлением крахмальных зерен при модификации (см. пункт 4.1.2, рисунки 10 и 11) и, соответственно, с увеличением общей площади контакта с молочными компонентами [193; 194].

ВУС (рисунок 25б) обратно коррелировала с синерезисом. Набухание и абсорбция жидкости цельными нативными гранулами тапиокового крахмала, добавленными в ОКМНсСЗ-Натив, приводили к повышению ВУС в 1-е сутки – 57 %, однако дальнейшая ретроградация гранул приводила к снижению ВУС до 35–36 %. Значения ВУС контроля и ЛактоСилк находились на постоянном уровне 38–40 % в течение всего срока хранения, что, вероятно, может быть связано с водной и пространственной конкуренцией между молочными белками и крахмалом. Эффект связывания воды крахмалом, предварительно обработанным препаратом Альфалад БН[®] непосредственно в молоке, был нивелирован его вмешательством в гелеобразование молочного белка, о чем сообщали О. Сандовал-Кастилья и др. [227].

Добавление крахмалов приводило к увеличению вязкости напитков в 1-е сутки (рисунок 26). Для всех образцов ОКМНсСЗ было характерно увеличение вязкости в конце срока хранения.

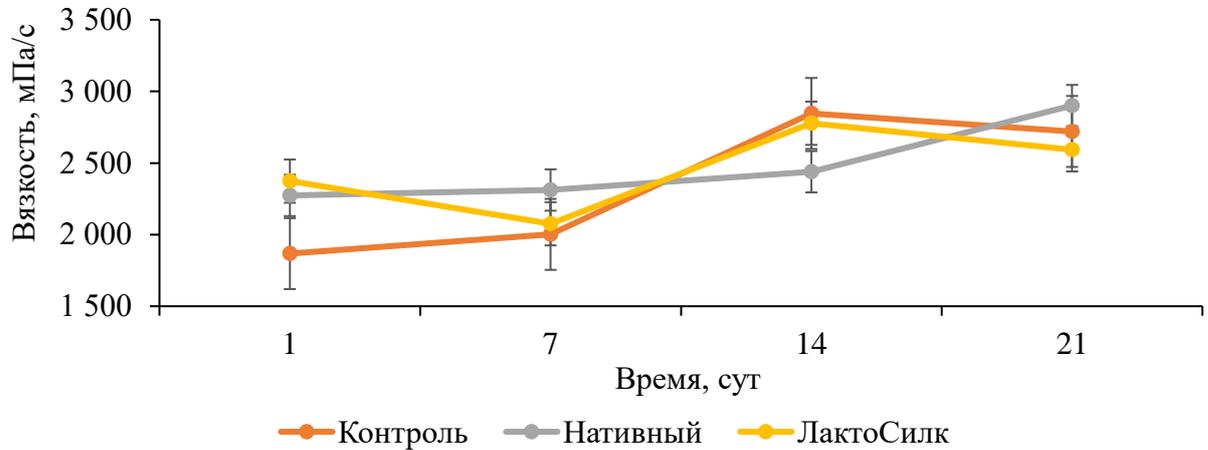


Рисунок 26 – Изменение вязкости ОКМНсСЗ при хранении

Проведен анализ профиля текстуры для напитков (таблица 25).

Таблица 25 – Структурно-механические свойства напитков (инструментальный анализ профиля текстуры на структуромере СТ-2)

Образец ОКМНсСЗ	Продолжительность хранения, сут	Твердость, г	Адгезия, г·с	Эластичность	Клейкость, г	Упругость, мм
Контроль 3,2 %	1	39,20 ± 1,20	37,00 ± 2,01	0,22 ± 0,02	20,00 ± 2,10	9,60 ± 0,60
Контроль 0,05 %	1	37,10 ± 0,42	33,12 ± 0,16	0,34 ± 0,05	10,75 ± 0,71	11,60 ± 0,57
	7	36,50 ± 0,71	32,73 ± 0,34	0,35 ± 0,05	10,36 ± 0,51	11,80 ± 0,28
	14	38,40 ± 0,57	44,22 ± 0,32	0,29 ± 0,05	10,25 ± 0,35	11,31 ± 0,44
	21	35,50 ± 0,85	30,61 ± 0,43	0,38 ± 0,03	10,64 ± 0,90	12,39 ± 0,55
Нативный 0,05 %	1	41,90 ± 0,28	52,23 ± 0,32	0,28 ± 0,04	11,31 ± 0,43	11,11 ± 0,16
	7	39,00 ± 0,78	37,76 ± 0,34	0,31 ± 0,03	10,51 ± 0,73	11,00 ± 0,71
	14	38,90 ± 0,28	46,39 ± 0,55	0,29 ± 0,03	9,44 ± 0,57	10,98 ± 0,42
	21	36,70 ± 0,14	38,23 ± 4,11	0,39 ± 0,05	10,22 ± 0,98	12,06 ± 0,62
ЛактоСилк 0,05 %	1	37,00 ± 0,57	35,60 ± 0,14	0,34 ± 0,04	10,10 ± 0,13	11,61 ± 0,71
	7	35,70 ± 0,99	40,49 ± 0,57	0,37 ± 0,08	9,65 ± 0,35	11,70 ± 0,42
	14	36,30 ± 0,42	45,45 ± 0,64	0,31 ± 0,02	8,87 ± 0,28	10,89 ± 0,14
	21	36,25 ± 0,49	40,56 ± 2,59	0,37 ± 0,06	9,87 ± 0,28	11,85 ± 0,49

В качестве референтного образца использовали контроль жирностью 3,2 %. Для всех ОКМНсСЗ жирностью 0,05 % на протяжении 21 сут хранения в сравнении с их первоначальными значениями выявлена тенденция – снижение твердости (ГОСТ ISO 5492-2014: механическая характеристика текстуры, связанная с усилием, необходимым для достижения установленной деформации, разрушения продукта или проникания в него, во рту она воспринимается при сдавливании продукта между языком и небом (полутвердые продукты); ГОСТ ISO 11036-2017: первичный параметр механических признаков полужидких и твердых пищевых продуктов) и клейкости, увеличение эластичности. Значимые различия между ЛактоСилк 0,05 % и контролем 0,05 % выявлены для твердости, адгезии, клейкости, упругости и тягучести через 21 сут хранения. ЛактоСилк 0,05 % относительно референтного образца (контроль 3,2 %) имел сопоставимый уровень твердости, бóльшую адгезию ($(40,56 \pm 2,59) > (37,00 \pm 2,01)$), бóльшую эластичность ($(0,37 \pm 0,06) > (0,22 \pm 0,02)$), меньшую клейкость ($(9,87 \pm 0,28) < (20,00 \pm 2,10)$), бóльшую упругость ($(11,85 \pm 0,49) > (9,60 \pm 0,60)$).

Аналогичное повышение адгезии и твердости кислых молочных гелей, полученных путем восстановления сухого обезжиренного молока, с добавлением 1 % или 2 % химически модифицированных крахмалов тапиоки выявляли З. Панг и др. [202; 203]. Более высокую твердость йогурта жирностью 1,41 %, содержащего модифицированный крахмал тапиоки, в сравнении с йогуртом жирностью 4 % отметили также О. Сандовал-Кастилья и др. [227]. Влияние на текстуру объясняется тем, что углеводные молекулы модифицированного крахмала тапиоки прочно связывают и ориентируют воду, увеличивая вязкость непрерывной фазы, при этом ослабляя эффект приложенного напряжения и приводя к меньшим деформациям. Увеличение эластичности геля обуславливает меньшую восприимчивость к разрыву. Изменение эластичности в процессе хранения может свидетельствовать об усилении белковых взаимодействий и белково-белковых связей [165]. Более высокое значение адгезии ЛактоСилк в сравнении с другими образцами подразумевает его мягкую нежную текстуру, что может быть высоко оценено потребителями [86; 154]. Снижение клейкости ЛактоСилк относительно референтного образца указы-

вает на необходимость приложения меньших усилий для жевания [86]. Сопоставимое значение твердости ЛактоСилк 0,05 % и референтного образца положительно, поскольку при разжевывании будет ощущаться плотность, сопоставимая с полножировым йогуртом.

Изменения текстурных параметров могут быть объяснены потерей влаги, физическими изменениями вследствие хранения и присутствием крахмалов в текстуре йогурта [140]. Стоит отметить возможный вклад в текстуру, вносимый экзогенными полисахаридами, синтезируемыми МКБ (см. рисунок 24): некоторые исследователи сообщили, что МКБ, продуцирующие ЭПС, демонстрируют более высокую вязкость и меньший синерезис, в отличие от МКБ, не продуцирующих ЭПС [114; 115; 121].

Визуализация данных с помощью статистического анализа главных компонент текстуры ОКМНсСЗ дополнила понимание ранее описанных явлений (рисунки 27 и 28). При этом текстурные параметры, взаимосвязанные с прочими расчетными данными, были исключены для снижения размерности. Схожие данные с высокой корреляцией образуют кластеры (группы) в одной области графика. Контур демонстрирует область с нормальным распределением данных. Ось абсцисс имеет большее значение, поскольку отвечает за PCA_1 : данные, расположенные дальше друг от друга, имеют большее количество различий.

При анализе показателей (рисунок 27) в 1; 7; 14; 21-е сутки и весь период хранения сразу был выявлен один кластер, где находились практически все показатели. Вязкость (Vis) была все время обособлена, что означает наличие значимых различий между данным показателем и всеми остальными.

Также была и другая обособленная точка-параметр, которая изменялась в зависимости от суток хранения: 1-е и 21-е сутки – ВУС (WHC), 7-е сутки – твердость (Hard), 14-е сутки – адгезия (Adhes); на общем графике также был обособлен параметр ВУС (WHC). Данный факт подтверждает, что добавление крахмалов значимо влияет на вязкость и ВУС ЛактоСилк.

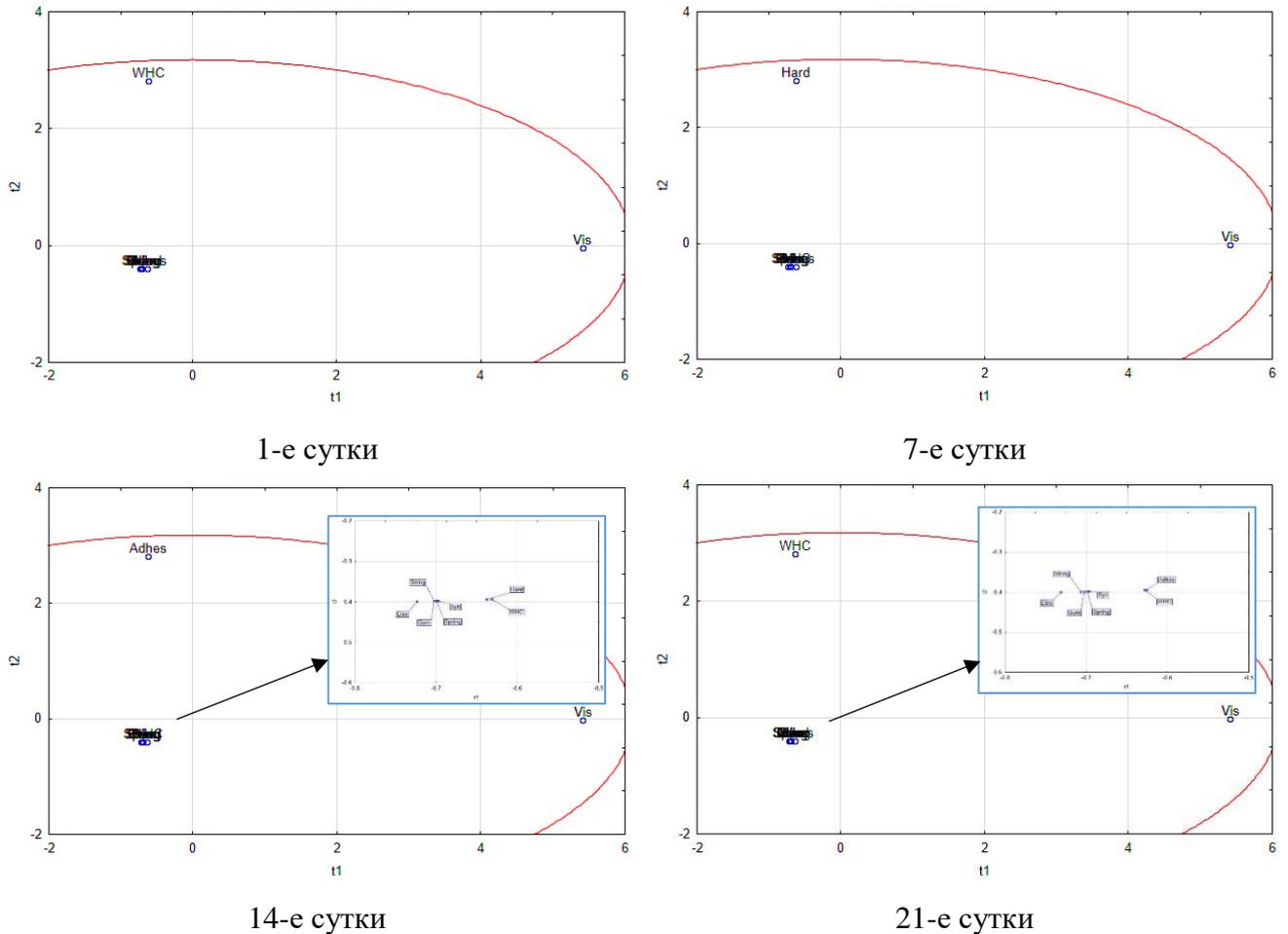


Рисунок 27 – PCA-анализ текстуры ОКМНсСЗ по показателям в процессе хранения:

t_1 , t_2 – стандартное отклонение ($t_1 = 2,031$; $t_2 = 1,061$);

WHC – ВУС; Hard – твердость; Adhes – адгезия

Проведенный анализ по образцам (рисунок 28) также выявил наличие групп кластеров, распределенных по разным областям: значения контрольного образца ОКМНсСЗ (Контр) преимущественно находились в правой нижней части графика; значения образца ОКМНсСЗ с нативным крахмалом (Нат) – в центральной и нижней части; значения ЛактоСилк (ФМК) – в верхней и центральной части. Анализ подтвердил значимые различия в текстуре ОКМНсСЗ при внесении крахмалов.

На текстуру ЛактоСилк в большей степени влияло наличие или отсутствие крахмала, его тип (нативный или модифицированный); в меньшей степени влияло время хранения. Изготовление ЛактоСилк с крахмалом, предварительно обработанным ферментным препаратом АльфаЛад БН[®] непосредственно в молоке, приводило к формированию нежной гладкой текстуры.

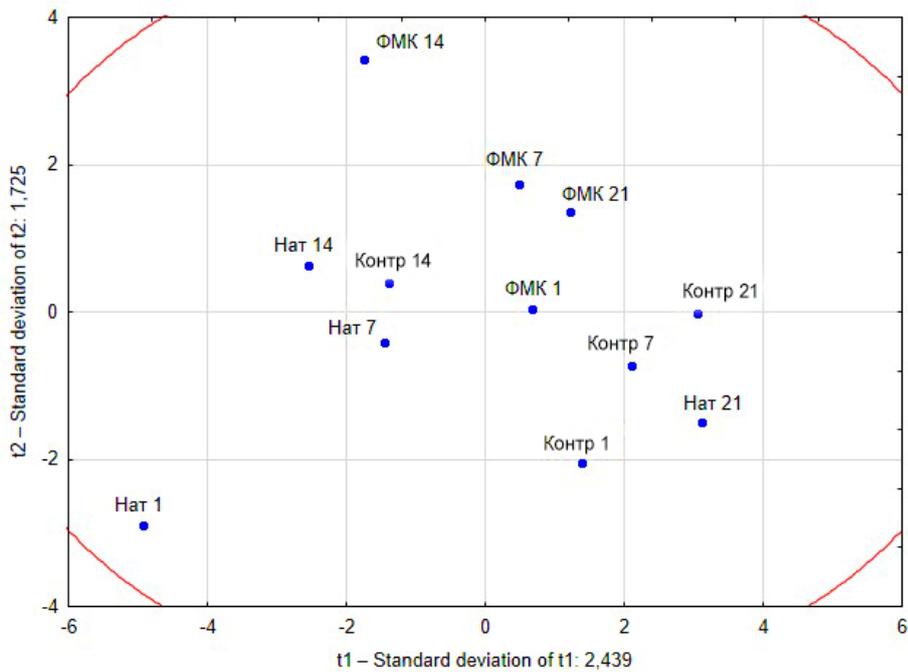


Рисунок 28 – PCA-анализ текстуры образцов ОКМНсСЗ:

t_1 , t_2 – стандартное отклонение; Контр – ОКМНсСЗ; Нат – ОКМНсСЗ с нативным крахмалом; ФМК – ЛактоСилк с крахмалом, предварительно обработанным ферментом АльфаЛад БН®

5.3.3 Органолептические свойства и цвет

В качестве референтного образца использовали кисломолочный продукт с симбиотической закваской жирностью 3,2 % (контроль 3,2 %) – этот образец получил наибольшую оценку (рисунок 29). ЛактоСилк 0,05 % получил лучшие баллы по показателям «вкус и запах», «консистенция» по сравнению с контролем 0,05 % и был сопоставим с контролем 3,2 %. У ЛактоСилк 0,05 % респонденты отмечали выраженный, насыщенный полный кисломолочный вкус и аромат с увеличенной длительностью послевкусия, сладковатый привкус; густую, гладкую, кремообразную консистенцию, без разделения фаз и отделения сыворотки. В контроле отмечали выделение сыворотки, вязкую, текучую консистенцию. В ОКМНсСЗ с нативным крахмалом 0,05 % отмечали недостатки консистенции: комковатость, рыхлость, песчанность, отделение сыворотки при перемешивании, выраженный крахмальный привкус; образец получил наименьшую оценку.

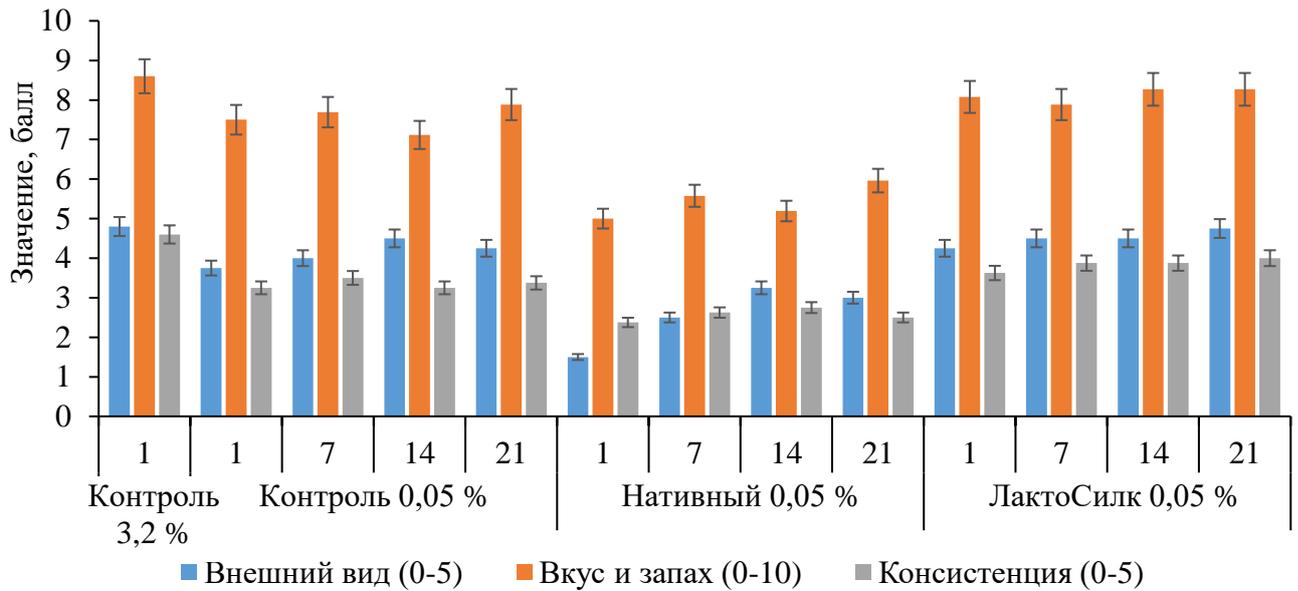


Рисунок 29 – Органолептические свойства образцов ОКМНсСЗ

Органолептический анализ показал, что изготовление ЛактоСилк по предложенной технологии, предполагающей ферментную обработку крахмала, приводит к формированию лучшего вкуса, запаха, консистенции, длительность послевкусия соответствует продукту с жиром (рисунок 30).

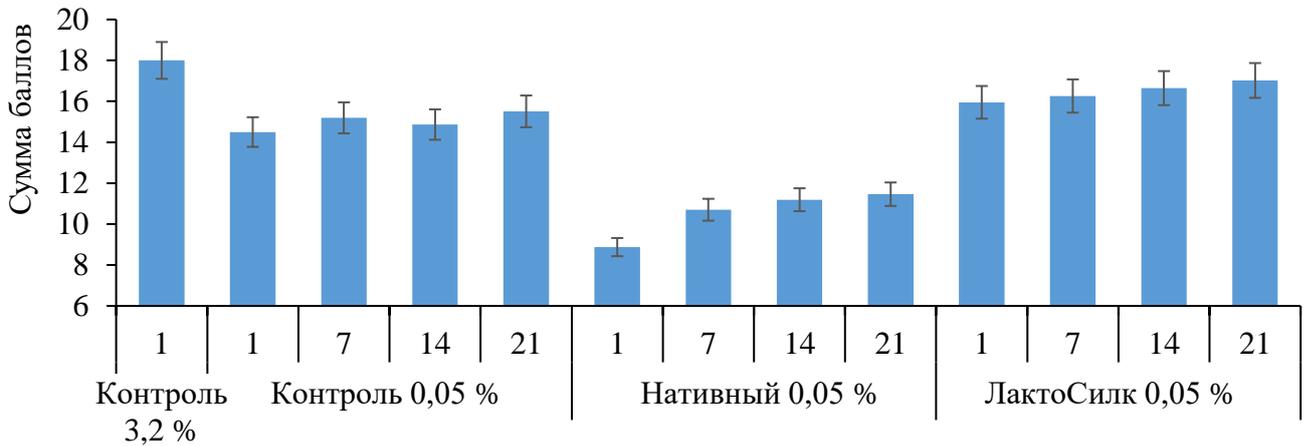


Рисунок 30 – Сумма баллов органолептической оценки образцов ОКМНсСЗ в процессе хранения

Наличие или отсутствие крахмалов не влияло на белизну (L) продукта в процессе хранения (таблица 26).

Таблица 26 – Изменение цвета образцов ОКМНсСЗ в процессе хранения

Образец ОКМНсСЗ	Продолжительность хранения, сут	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>
Контроль (0,05 %)	1	100,00 ± 0,00	-1,64 ± 0,41	26,29 ± 1,12	26,34 ± 1,14
	7	100,00 ± 0,00	-1,76 ± 0,41	27,77 ± 2,69	27,82 ± 2,71
	14	100,00 ± 0,00	-1,44 ± 0,38	25,86 ± 0,89	25,90 ± 0,91
	21	100,00 ± 0,00	-1,13 ± 0,31	26,50 ± 1,66	26,52 ± 1,67
Нативный (0,05 %)	1	100,00 ± 0,00	-1,69 ± 0,04	26,41 ± 0,56	26,46 ± 0,56
	7	100,00 ± 0,00	-1,62 ± 0,22	27,95 ± 1,78	27,99 ± 1,78
	14	100,00 ± 0,00	-2,14 ± 0,57	28,44 ± 1,57	28,53 ± 1,61
	21	100,00 ± 0,00	-1,89 ± 0,31	28,70 ± 1,77	28,76 ± 1,78
ЛактоСилк (0,05 %)	1	100,00 ± 0,00	-1,44 ± 0,03	28,22 ± 0,45	28,25 ± 0,45
	7	100,00 ± 0,00	-2,23 ± 0,14	30,79 ± 1,34	30,87 ± 1,34
	14	100,00 ± 0,00	-1,77 ± 0,17	27,66 ± 1,08	27,72 ± 1,09
	21	100,00 ± 0,00	-1,66 ± 0,21	30,49 ± 1,05	30,54 ± 1,06

Примечание – *L* – темный/светлый (0–100); *a* – зеленый/красный (от -60 до +60); *b* – голубой/желтый (от -60 до +60). Данные представляют собой среднее ± стандартное отклонение трех независимых повторов (*N* = 3).

Параметр *a* контроля увеличивался в процессе хранения, параметр *b* остался на уровнях аналогичных первым суткам хранения. Для ОКМНсСЗ с нативным крахмалом и ЛактоСилк характерно смещение цветовой гаммы в красную и желтую область на конец срока хранения.

5.3.4 Микробиологический анализ

Количество МКБ в ОКМНсСЗ при хранении уменьшалось (рисунок 31), однако сохранялось на уровне выше 10^7 КОЕ/г. На 21-е сутки хранения исследуемых напитков наибольшее количество МКБ отмечено в ЛактоСилк. Содержание МКБ в ОКМНсСЗ с нативным крахмалом было на одном уровне с контролем.

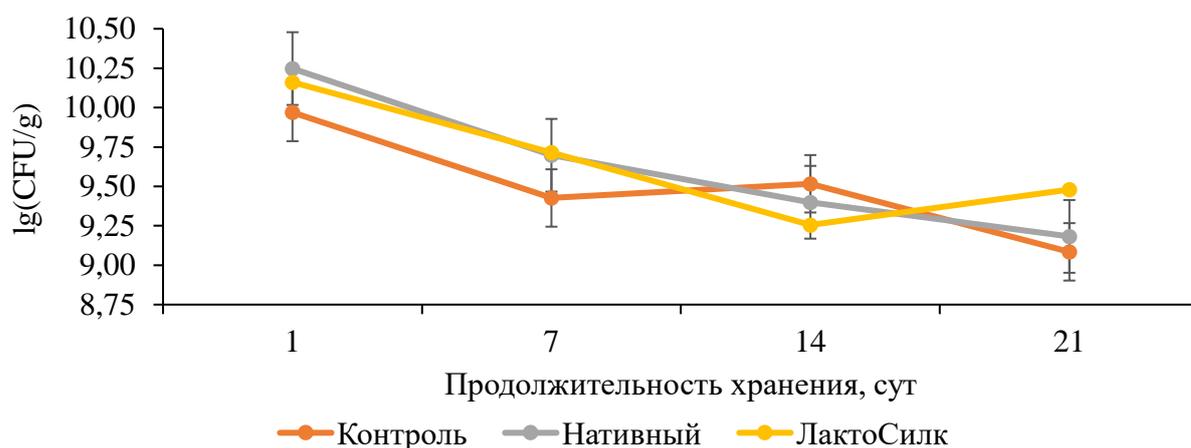


Рисунок 31 – Количество молочнокислых бактерий в образцах ОКМНсСЗ

При анализе как в 1-е, так и в 21-е сутки хранения (таблица 27) не выявили наличия патогенной и условно-патогенной микрофлоры в напитках.

Таблица 27 – Санитарно-гигиенические показатели качества ЛактоСилк

Показатель	Требования ТР ТС 033/2013, п. 8	ОКМНсСЗ		ОКМНсСЗ с нативным крахмалом		ЛактоСилк	
		1 сут	21 сут	1 сут	21 сут	1 сут	21 сут
КМАФАнМ*, КОЕ**/см ³ (г)							
Молочнокислые микроорганизмы (МК МО)	Не менее $1 \cdot 10^7$	$\geq 1 \cdot 10^7$		$\geq 1 \cdot 10^7$		$\geq 1 \cdot 10^7$	
Бифидобактерии (ББ) и (или) пробиотические микроорганизмы (ПБ МО)	Не менее $1 \cdot 10^6$	$\geq 1 \cdot 10^6$		$\geq 1 \cdot 10^6$		$\geq 1 \cdot 10^6$	
Объем (масса) продукта, см ³ (г), в которой не допускаются							
БГКП*** (колиформы)	0,1	Не обнаружены		Не обнаружены		Не обнаружены	
Патогенные, в том числе сальмонеллы	25	Не обнаружены		Не обнаружены		Не обнаружены	
Стафилококки <i>S. aureus</i>	1	Не обнаружены		Не обнаружены		Не обнаружены	
<p>Примечания</p> <p>* КМАФАнМ – количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов.</p> <p>** КОЕ – колониеобразующие единицы.</p> <p>*** БГКП – бактерии группы кишечной палочки.</p>							

5.3.5 Антиоксидантные свойства

Количество антиоксидантных тестов было увеличено для полноты оценки антиоксидантной способности, которая определяется сложными факторами с различными механизмами действия [224]. Антиоксидантные свойства анализировали у четырех фракций: напиток – в виде водного экстракта (ВЭ), сыворотки напитка, безбелкового экстракта (ББЭ), ЭПС.

Результаты оценки радикал-связывающей активности с помощью 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (метод DPPH) представлены на рисунке 32.

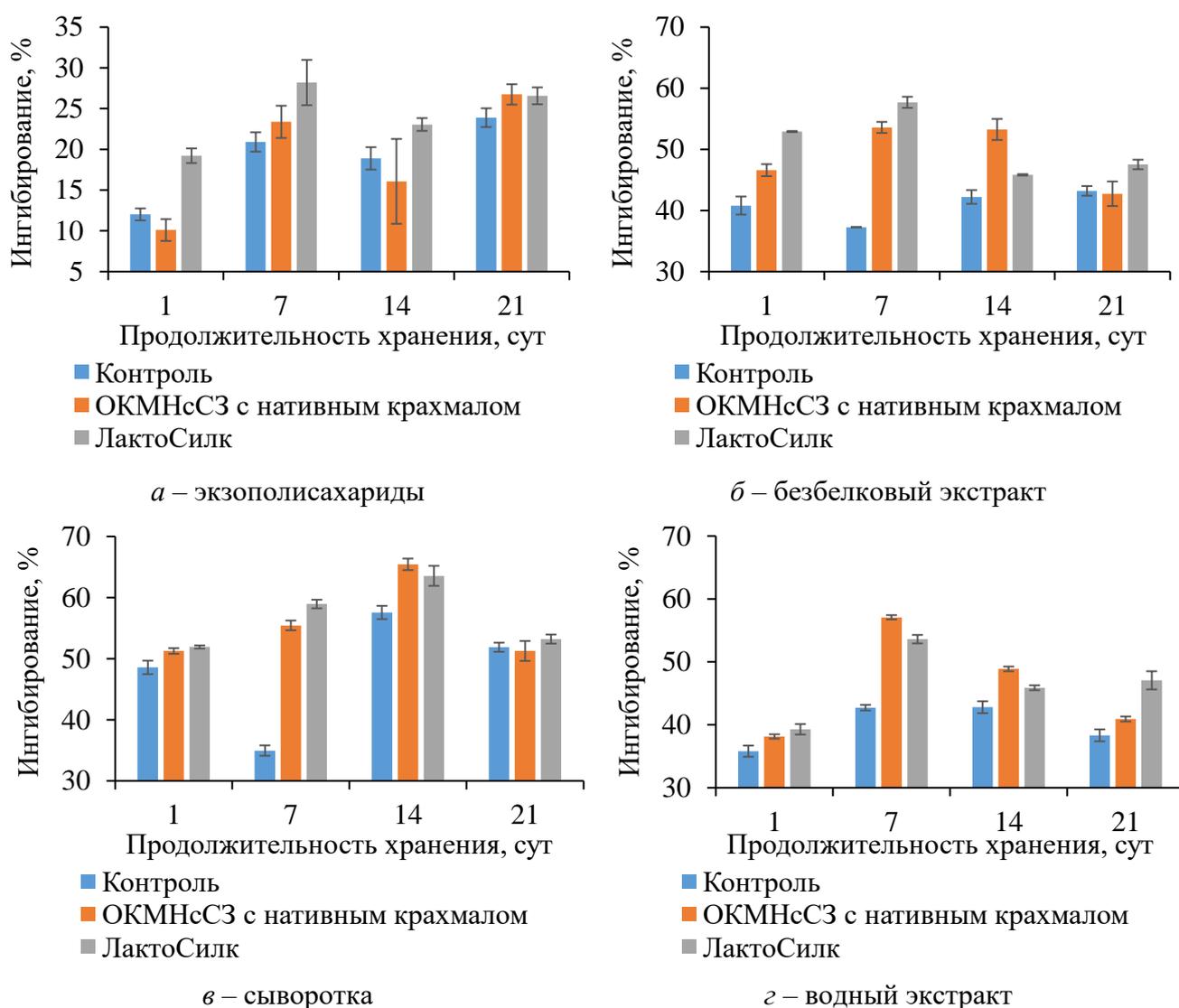


Рисунок 32 – Изменение радикал-связывающей активности разных фракций ОКМНсСЗ

Как следует из рисунка 32,ДФПГ-активность всех четырех фракций ЛактоСилк была выше по сравнению с контролем, и эта тенденция сохранилась на 21-е сутки.ДФПГ-активность фракций ОКМНсСЗ с нативным крахмалом варьировала на протяжении срока хранения: на 7-е сутки значения для ВЭ и на 14-е сутки для ББЭ и сыворотки были самыми высокими среди всех образцов; в остальном ДФПГ-активность фракций данного ОКМНсСЗ была сравнима с ЛактоСилк [161].

Восстановительную силу (ВС) оценивали методом FRAP (рисунок 33).

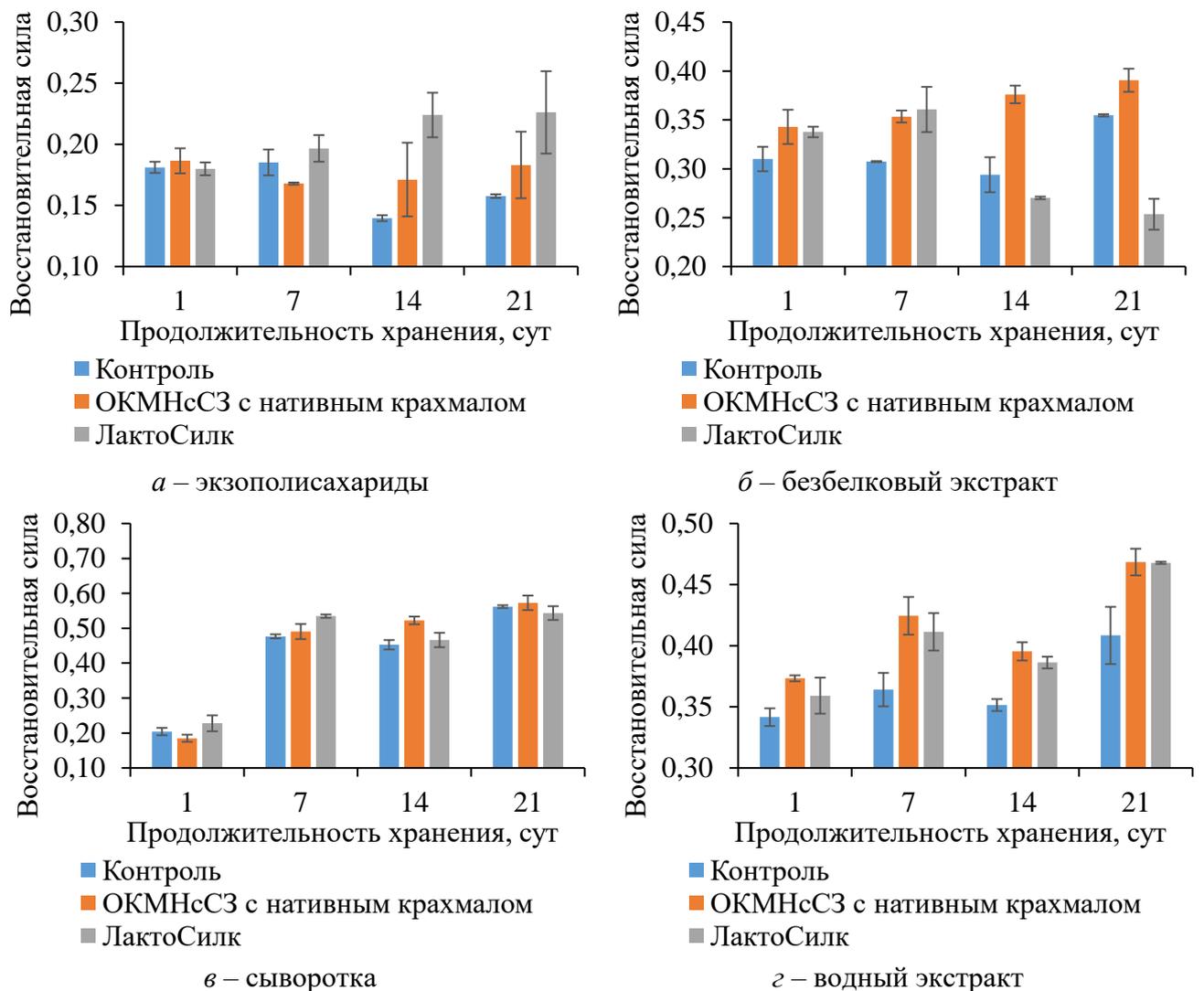


Рисунок 33 – Изменение восстановительной силы разных фракций ОКМНсСЗ (FRAP)

На 7-е сутки ВС сыворотки возростала более чем в 2 раза – с 0,2 до 0,50–0,54 для всех образцов. На 21-е сутки хранения ВС ББЭ ЛактоСилк была ниже контроля, ВС ЭПС и водного экстракта – выше контроля, ВС сыворотки равна контролю.

ВС всех фракций ОКМНсСЗ с нативным крахмалом на 21-е сутки хранения была на сопоставимом с ЛактоСилк уровне, за исключением ББЭ, где значение ВС было самым высоким.

Высокая восстановительная активность водного экстракта образцов с крахмалом, возможно, обусловлена присутствием высокого остаточного содержания восстанавливающих сахаров и олигосахаридов как продуктов гидролиза крахмалов.

Далее исследовали гидроксирадикал-связывающую активность (ГА) (рисунок 34).

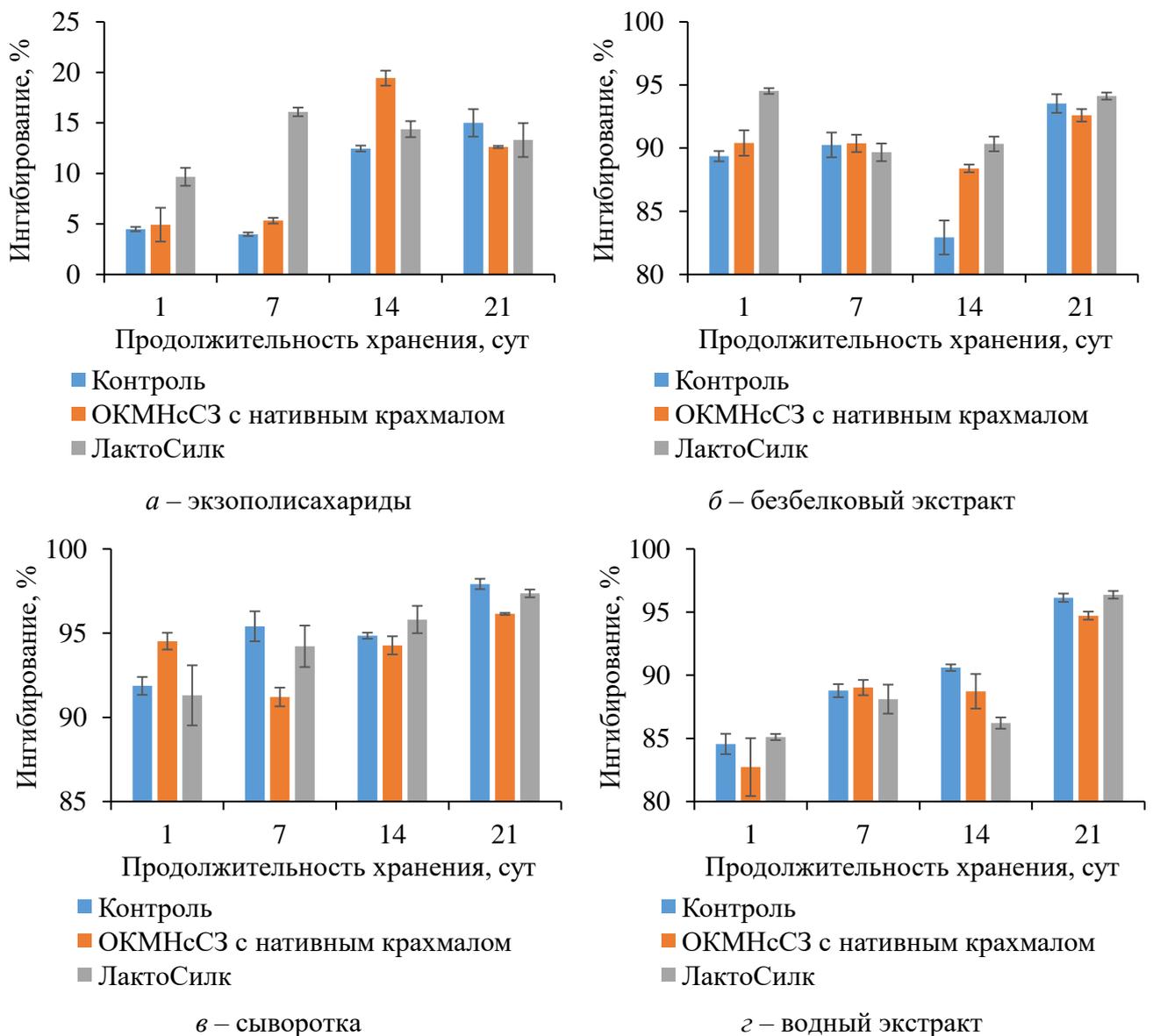


Рисунок 34 – Изменение гидроксил-радикалсвязывающей активности разных фракций ОКМНсСЗ

На 1-е сутки хранения ГА фракций сыворотки и ВЭ ЛактоСилк была на одном уровне с контролем, фракций ББЭ и ЭПС – выше, чем у контроля. К концу срока хранения ГА всех фракций ЛактоСилк была на аналогичных контролю уровнях. При этом ГА анализируемых фракций ОКМНсСЗ с нативным крахмалом была ниже, чем ГА других образцов. В процессе хранения было заметное увеличение ГА ВЭ всех образцов с 85 % до 94–96 %.

Далее исследовали способность связывать Fe^{2+} (ССИДЖ) (рисунок 35).

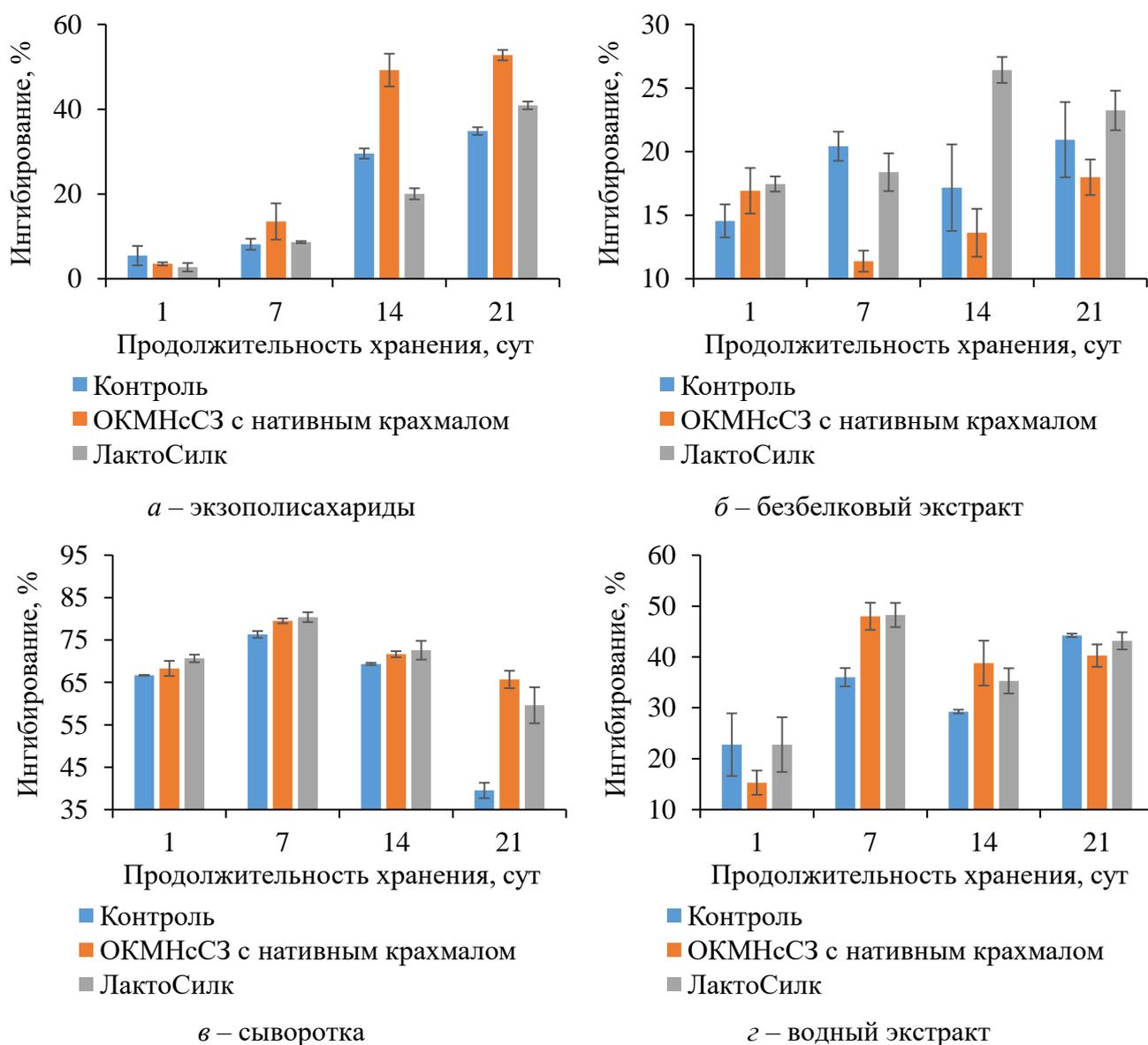


Рисунок 35 – Изменение способности связывать ионы Fe^{2+} разных фракций ОКМНсСЗ

В начале хранения ССИДЖ ЛактоСилк у фракций ВЭ и ЭПС была на одном уровне с контролем, у фракций сыворотки и ББЭ – выше контроля. Через 21 сут хранения значения ССИДЖ ББЭ и ВЭ ЛактоСилк и контроля были равны, а сыворотки и ЭПС – выше у ЛактоСилк. Для фракции ЭПС всех ОКМН было характерно постепенно увеличение значения ССИДЖ в течение срока хранения.

О схожем увеличении антиоксидантных свойств йогуртов при хранении (21 сут), приготовленных с ферментно модифицированным α -амилазой картофельным порошком, сообщали А. Иштиак и др. [142]. Для антиоксидантных свойств ОКМНсСЗ, обусловленных участием множества различных аминокислот, биоактивных пептидов, высвобождаемыми из α -лактальбумина, β -лактоглобулина и α -казеина в процессе ферментации [210; 267], были характерны колебания в процессе 21 сут хранения. При этом наибольшей способностью к поглощению свободных радикалов, илиДФПГ-активностью (см. рисунок 32), восстановительной силой (см. рисунок 33), гидроксирадикальной активностью (см. рисунок 34), способностью связывать Fe^{2+} (см. рисунок 35) среди четырех фракций обладала сыворотка напитка (whey). Об аналогичном сообщалось в работе Е. В. Никитиной: добавление в продукт картофельных крахмалов привело к увеличению регенеративной способности сыворотки продукта [193; 194]. Данные наблюдения имеют научное обоснование: антиоксиданты сыворотки могут эффективно ингибировать окисление липидов путем хелатирования переходных металлов лактоферрином и сжигания свободных радикалов серосодержащими аминокислотами [157].

Пробиотические штаммы (в составе закваски «Симбилакт») также могли способствовать формированию антиоксидантных свойств [157]. Авторы, исследовавшие влияние *L. bulgaricus*, *L. rhamnosus*, *S. thermophilus*, *L. fermentum* на антиоксидантную способность коровьего молока и сыворотки, сообщали, что штаммы улучшали радикал-связывающую активность, ингибировали образование супероксидных анионов и окисление липидов [253].

Изготовление ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» по усовершенствованной технологии с ферментной модификацией крахмала, включенной в технологический процесс, приводит к улучшению антиоксидантных свойств напитка. Исследованный эффект

сохранения и усиления антиоксидантных свойств повышает привлекательность таких напитков для людей, заботящихся о своем здоровье, появляется возможность применять такие напитки в функциональном питании.

5.3.6 Микроструктурный анализ

Применение современных методов микроскопии позволяет выявить изменения структуры на микроуровне. Выявлено, что в контроле молочный гель однороден, состоит из белковой сети, содержащей пустоты-поры (рисунок 36а) [266; 277].

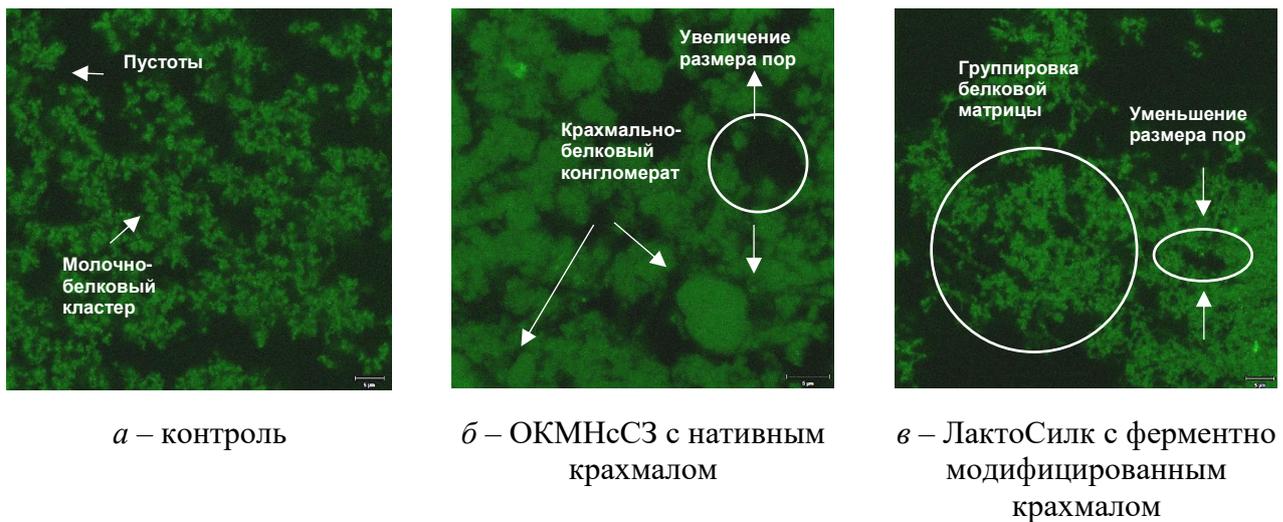


Рисунок 36 – Конфокальная лазерная сканирующая микроскопия (CLSM) белковой сети ОКМНсСЗ

В ЛактоСилк гранулы крахмала не наблюдались, что подтверждает их желатинизацию при нагревании и производстве КМП. ЛактоСилк имел схожую с контролем непрерывную и однородную белковую сеть, с отдельными визуально различимыми белковыми мостиками и порами. Однако ЛактоСилк имел более сгруппированную, компактно упакованную структуру, в отличие от контроля. На микрофотографии ОКМНсСЗ с нативным крахмалом (рисунок 36б) видно, что

белковая сеть представлена крупными слипшимися комками-конгломератами, отдельные «цепочки» белковой сети практически не наблюдались. Ранее исследователи [198; 199; 227; 277] сообщали, что добавление крахмала в рецептуру йогурта приводит к образованию набухших гранул крахмала, встроенных в белковую сеть, а увеличение концентрации крахмала приводит к увеличению плотности белковой сети.

Ультраструктуры ОКМНсСЗ анализировали с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (рисунок 37) – метода, часто используемого для изучения микроструктуры сквашенных молочных продуктов [132; 133]. Представлено три масштаба – $\times 1000$, $\times 10000$, $\times 20000$. В случае контроля структура обезжиренного сквашенного молока была мелкозернистой, с четкими границами и видимыми белковыми мостиками, с равномерно распределенными по объему продукта порами [202; 203].

Добавление крахмалов вызывало изменение микроструктуры напитка ОКМНсСЗ. Добавление нативного крахмала в ОКМНсСЗ приводило к образованию крупных слипшихся конгломератов (рисунок 37б), с рыхлой поверхностью и множеством неровностей. Структура сети имела большее количество выраженных межчастичных промежутков в виде пустот и меньше видимых взаимосвязей в нитях, составляющих сеть геля, в сравнении с Контролем.

Микроструктура ЛактоСилк была представлена взаимосвязанными скоплениями белковых частиц: поры продукта казались меньшими (рисунок 37в), чем в контроле. Можно говорить об интеграции молекул модифицированного тапикового крахмала в сеть мицелл казеина: не было крупных частиц гранул крахмала, слипшихся конгломератов, как в случае ОКМНсСЗ-Натив; структура сохранила гладкую-мелкозернистую поверхность, как в контроле. В то же время ЛактоСилк от контроля отличала губчатая структура с просматриваемыми клетками заквасочной культуры – стрептококками и лактобактериями. Эта губкоподобная структура, возможно, приводила к более гладкой кремообразной текстуре, отмеченной при органолептическом анализе [139].

у ЛактоСилк по сравнению с контролем, вероятно, может быть связана с добавлением крахмала и стабильностью эмульсии, катализирующими образование поперечных связей между молочными белками [174].

Микроструктурный анализ ОКМНсСЗ расширил понимание механизмов влияния крахмала, ферментно модифицированного непосредственно в молоке, на изученные текстурные и органолептические свойства. Гранулы ферментно модифицированного крахмала интегрируются в белковую сеть, что приводит к снижению синерезиса, повышению вязкости, формированию лучшей текстуры по сравнению с контролем. Это подтверждает перспективность применения ферментной модификации крахмалов по предложенной технологии для изготовления ОКМНсСЗ.

5.4 Доклинические исследования *in vivo* на самцах крыс линии *Wistar*

Влияние ФМК в составе ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» на сохранность полезных свойств исследовали на самцах крыс линии *Wistar* возрастом 12–14 недель. В эксперименте не наблюдали клинических симптомов заболеваний, функциональные показатели крыс были в норме.

На конец эксперимента проведено морфологическое вскрытие крыс. У животных контрольной группы наблюдали полнокровие капилляров органов ЖКТ и незначительное набухание слизистой кишечника. При этом в печени и почках отмечали напряженность капсулы органов, в печени выявляли сглаженность краев органа, в почках граница мозгового и коркового слоев хорошо идентифицировалась. При исследовании внутренних органов крыс, получавших ОКМНсСЗ или ЛактоСилк, визуальных изменений органов ЖКТ не выявлено. Печень и почки по внешнему виду, цвету, состоянию капсул и консистенции соответствовали видовым и возрастным параметрам органов здоровых крыс.

5.4.1 Функциональные показатели крыс

Оценены биометрические показатели крыс. Эффективность кормления определяли по приростам веса и потреблению корма раз в 3 дня. Добавление в стандартный рацион крыс 2 г ОКМНсСЗ или ЛактоСилк статистически значимо не влияло на абсолютный и среднесуточный прирост массы тела, группы были аналогичны контрольной.

В то же время в группе ОКМНсСЗ наблюдали некоторую задержку прироста (рисунок 38), что, вероятно, может быть связано с действием МКБ, которые сдерживают набор массы тела [150], микробиота кишечника может влиять на метаболизм липидов в тонком кишечнике.

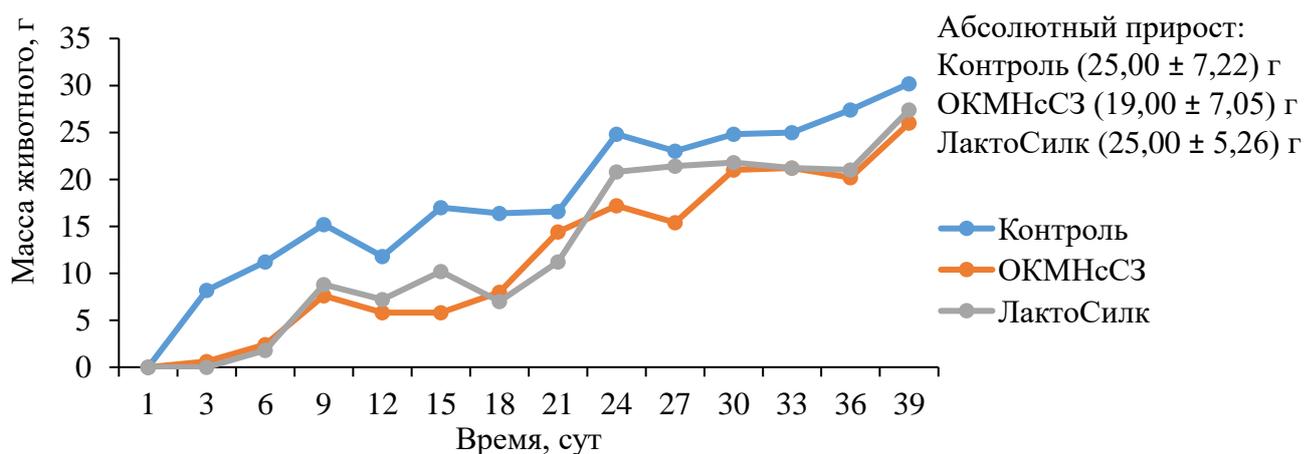


Рисунок 38 – Динамика прироста массы животных в процессе эксперимента

Н. Ксе и др. сообщали, что синтез желчных кислот может повышаться за счет увеличения выделения желчных кислот с калом и, следовательно, может способствовать наблюдаемому эффекту снижения веса [264].

Внутренние органы крыс в трех группах не имели статистически значимых различий ($P < 0,05$) (таблица 28). Это означает отсутствие общих признаков токсичности ОКМНсСЗ и ЛактоСилк *in vivo*. Об аналогичном отсутствии разницы в весе органов сообщали Э. Урданета и др., изучавшие влияние кефирной диеты на крыс [248].

Таблица 28 – Биологические показатели крыс и массовые коэффициенты внутренних органов

Показатель	Конт	ОКМНсСЗ	ЛактоСилк
Средняя масса животного в начале, г	260,00 ± 32,22	284,00 ± 26,07	250,00 ± 17,36
Средняя масса животного в конце, г	287,00 ± 28,81	292,00 ± 20,52	275,40 ± 20,51
Масса съеденного корма, г	3 292,3	3 261,8	3 345,3
Среднесуточный прирост, г	0,60 ± 0,17	0,45 ± 0,17	0,60±0,13
Абсолютный прирост, г	25,00 ± 7,22	19,00 ± 7,05	25,00 ± 5,26
Относительный прирост (к контролю), %	100	76	100
Сердце, %	1,53 ± 0,11	1,70 ± 0,15	1,69 ± 0,04
Селезенка, %	1,07 ± 0,18	1,17 ± 0,09	1,19 ± 0,10
Почки (2 шт.), %	3,05 ± 0,26	3,23 ± 0,15	3,15 ± 0,17
Печень, %	13,88 ± 2,93	14,05 ± 0,90	14,61 ± 0,76

5.4.2 Биохимические показатели крови крыс

Было изучено влияние рациона на биохимические показатели крови крыс, в том числе отвечающие за липидный обмен (рисунок 39).

Добавление в рацион крыс ОКМНсСЗ и ЛактоСилк приводило к снижению общего количества липидов, холестерина в сравнении с контролем.

Триглицериды в крови крыс контрольной группы и группы, получавшей ОКМНсСЗ, были сопоставимы, в пределах погрешностей.

Несмотря на снижение количества ЛПВП и ЛПНП, можно заметить увеличение индекса ЛПВП/ЛПНП, что является положительным моментом.

Индекс холестерин/ЛПВП, имеющий прогностическую ценность риска ишемической болезни сердца, снижался.

В группе, получавшей ЛактоСилк, наблюдали большее улучшение «липидных» показателей.

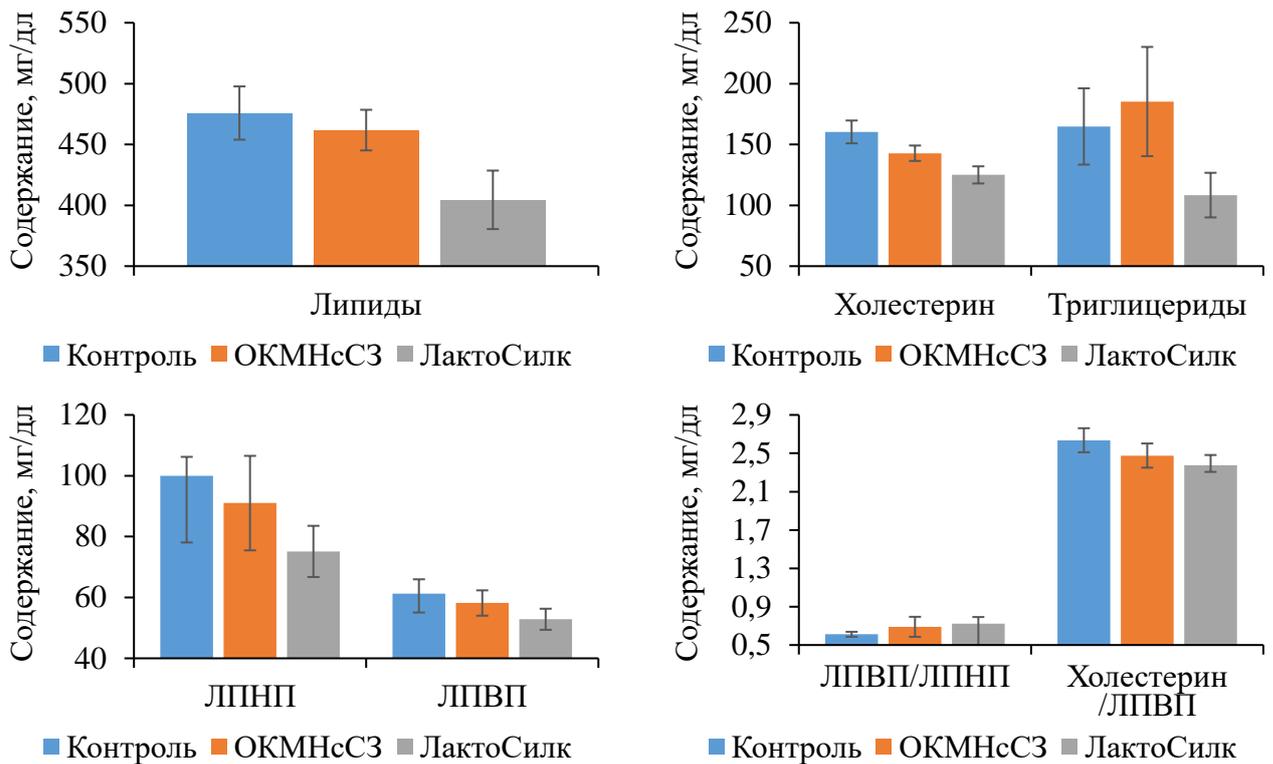


Рисунок 39 – Влияние ОКМНсСЗ и ЛактоСилк на показатели липидного обмена в крови у крыс

Выявленное снижение количества липидов в сыворотке крови крыс в группах, получавших ОКМНсСЗ и ЛактоСилк, согласуется с выводами исследований, посвященных гипохолестеринному эффекту сквашенных молочных продуктов и холестеринснижающему действию МКБ, как *in vitro* [160; 184], так и *in vivo* на животных [97; 138; 171; 178; 264; 273] и людей [147; 228]. Современными авторами предложено несколько потенциальных механизмов удаления и снижения уровня холестерина в сыворотке крови: 1) деконъюгация желчных солей пробиотическими бактериями, продуцирующими гидролазу желчных солей (изменение пути синтеза холестерина – деконъюгированные соли желчи более гидрофобны, чем их конъюгированные аналоги, поэтому они хуже реабсорбируются в кишечнике), с последующим выводом с фекалиями [184; 209]; 2) ассимиляция холестерина из среды (всасывание холестерина из кишечника) в клеточную стенку пробиотических бактерий во время роста, а также в нерастущие и мертвые клетки [177; 214]. Кроме того, сообщалось, что удаление холестерина сильно зависит от выбранных пробио-

тических штаммов [171], условий их роста [212] и уровня синтезируемых ими гипохолестеринемических соединений [89].

Снижение всех липидных фракций и улучшение индексов ЛПВП/ЛПНП и холестерина/ЛПВП в группе, получавшей ЛактоСилк, в сравнении с ОКМНсСЗ, вероятно, могло быть связано с возросшим общим количеством экстрагируемых ЭПС (см. рисунок 24, пункт 5.3.1). Выявленная способность снижать уровень холестерина в культуральной среде напрямую коррелировала с бактериальным ЭСП [126]. Х. Накадзима и др. обнаружили, что употребление КМП, сквашенного штаммом *L. lactis subsp. cremoris*, продуцирующим ЭПС, значительно снизило уровень холестерина в сыворотке крови крыс, чего не было выявлено для КМП с ЭПС-непродуцирующим штаммом. Из-за устойчивости полисахарида к пищеварительным ферментам и его ВУС они предположили, что бактериальный полимер действует подобно пищевым волокнам [190].

Ферменты сыворотки крови (таблица 29).

Таблица 29 – Влияние ОКМНсСЗ и ЛактоСилк на биохимические показатели сыворотки крови крыс

Показатель	Контроль	ОКМНсСЗ	ЛактоСилк
Ферменты			
Аспартатаминотрансфераза, ед/л	111,20 ± 18,04	128,80 ± 18,45	113,6 ± 51,52
Аланинаминотрансфераза, ед/л	57,00 ± 13,52	43,00 ± 15,88	37,00 ± 9,98
Лактатдегидрогеназа, ед/л	962,00 ± 430,87	697,80 ± 183,72	731,15 ± 464,78
Щелочная фосфатаза, ед/л	124,00 ± 27,291	116,50 ± 37,33	120,20 ± 43,49
Белки			
Альбумин, г/дл	4,40 ± 0,18	4,30 ± 0,16	4,30 ± 0,16
Общий белок, г/дл	9,80 ± 2,15	9,80 ± 2,08	8,30 ± 1,75
Креатинин, мг/дл	0,70 ± 0,48	0,70 ± 0,28	0,60 ± 0,36
Общий билирубин, мг/дл	1,00 ± 0,39	2,00 ± 0,61	1,20 ± 0,28
Углеводы			
Глюкоза, мг/дл	205,00 ± 63,78	202,00 ± 89,28	211,40 ± 77,70

Активность АСТ (аспартатамино-трансферазы) и АЛТ (аланинаминотрансферазы) в крови является биомаркерами хронических заболеваний печени, включая

гепатит, цирроз и жировую дистрофию печени, которые могут быть проявлениями основных метаболических синдромов (как сахарный диабет, гиперлипидемия и поздняя кожная порфирия). Активность АСТ и щелочной фосфатазы в сыворотке крови крыс всех групп статистически не отличались. Показатель АЛТ был ниже в группах, получавших ЛактоСилк и ОКМНсСЗ.

Аналогичное влияние выявлено при кормлении мышей [151] и крыс [69] йогуртом: снижался уровень сывороточных АСТ и АЛТ. Статистически значимо ($P < 0,01$) различались концентрации лактатдегидрогеназы в контрольной группе и группе, получавшей ЛактоСилк, – в последней концентрация была ниже. Понижение уровня лактатдегидрогеназы сигнализирует об активном расщеплении глюкозы организмом и получении из нее энергии для клеток [19]. Статистически значимых неблагоприятных воздействий различной диеты на содержание глюкозы, белка и его фракций в организме крыс не выявлено (см. таблицу 29).

5.4.3 Гематология сыворотки крови крыс

Гематологические параметры являются индикаторами физиологического здоровья и адаптации крыс к гаважу и условиям окружающей среды (таблица 30).

Двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA) не выявил значимых отличий между группами крыс по гематологическим параметрам (см. таблицу 30), следовательно, негативное воздействие разработанного ОКМНсСЗ отсутствует. Исключение составляет показатель количества тромбоцитов ($P < 0,05$), изменения в пределах референсных значений. Предполагаем, что повышение уровня тромбоцитов в экспериментальных группах связано с диетой и потреблением сквашенного КМП, который содержит витамин К (кофактор ферментов для белков свертывания крови), который необходим для синтеза белков крови, ответственных за коагуляцию и образование тромбоцитов [255].

Таблица 30 – Влияние ОКМНсСЗ и ЛактоСилк на гематологические показатели крыс

Показатель	Контроль	ОКМНсСЗ	ЛактоСилк	Референсные значения
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	6,27 ± 2,04	7,17 ± 2,43	6,71 ± 0,63	2,1–19,5
Лимфоциты, 10 ⁹ /л	4,34 ± 1,79	6,21 ± 1,35	5,39 ± 0,43	1,3–14,1
Сумма: нейтрофилы, моноциты, эозинофилы, базофилы, 10 ⁹ /л	0,10 ± 0,18	0,26 ± 0,25	0,20 ± 0,33	0–0,98
Гранулоциты, 10 ⁹ /л	0,78 ± 0,58	0,65 ± 0,85	0,72 ± 0,24	0–7,5
Лимфоциты, %	79,80 ± 6,89	87,30 ± 7,39	85,60 ± 5,91	25–97
Сумма: нейтрофилы, моноциты, эозинофилы, базофилы, %	2,30 ± 4,67	3,60 ± 1,94	3,60 ± 4,78	0–7
Гранулоциты, %	16,40 ± 6,92	9,10 ± 5,68	10,90 ± 2,61	0–75
Эритроциты, 10 ¹² /л	8,38 ± 0,36	9,08 ± 0,70	8,20 ± 0,36	4,5–10
Гемоглобин, г/л	134,00 ± 11,35	141,00 ± 10,17	137,00 ± 3,13	140–180
Гематокрит, %	42,49 ± 3,95	47,30 ± 5,57	43,65 ± 1,34	35–52
Средний объем эритроцитов, фют	51,00 ± 3,13	51,00 ± 2,97	51,00 ± 1,87	50–96
Среднее содержание гемоглобина в крови, пг	16,00 ± 0,74	16,30 ± 1,68	16,40 ± 0,36	16–32
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л	312,00 ± 3,29	313,00 ± 35,56	317,00 ± 5,29	300–400
Ширина распределения эритроцитов, %	14,50 ± 0,50	15,30 ± 0,93	14,80 ± 0,11	–
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	531,00 ± 31,38	774,00 ± 229,16	614,00 ± 69,43	150–1370
Тромбокрит (доля тромбоцитов в общем объеме цельной крови), %	0,36 ± 0,03	0,55 ± 0,16	0,39 ± 0,05	0–15
Средний объем тромбоцитов, фют	6,80 ± 0,32	7,10 ± 0,18	6,400 ± 0,369	–
Широта распределения популяции тромбоцитов, %	33,00 ± 0,53	33,10 ± 1,01	33,00 ± 0,87	–

5.4.4 Анализ окисленности липидов печени крыс

Липидная фракция печени у крыс изменялась при включении КМП в рацион (рисунок 40).

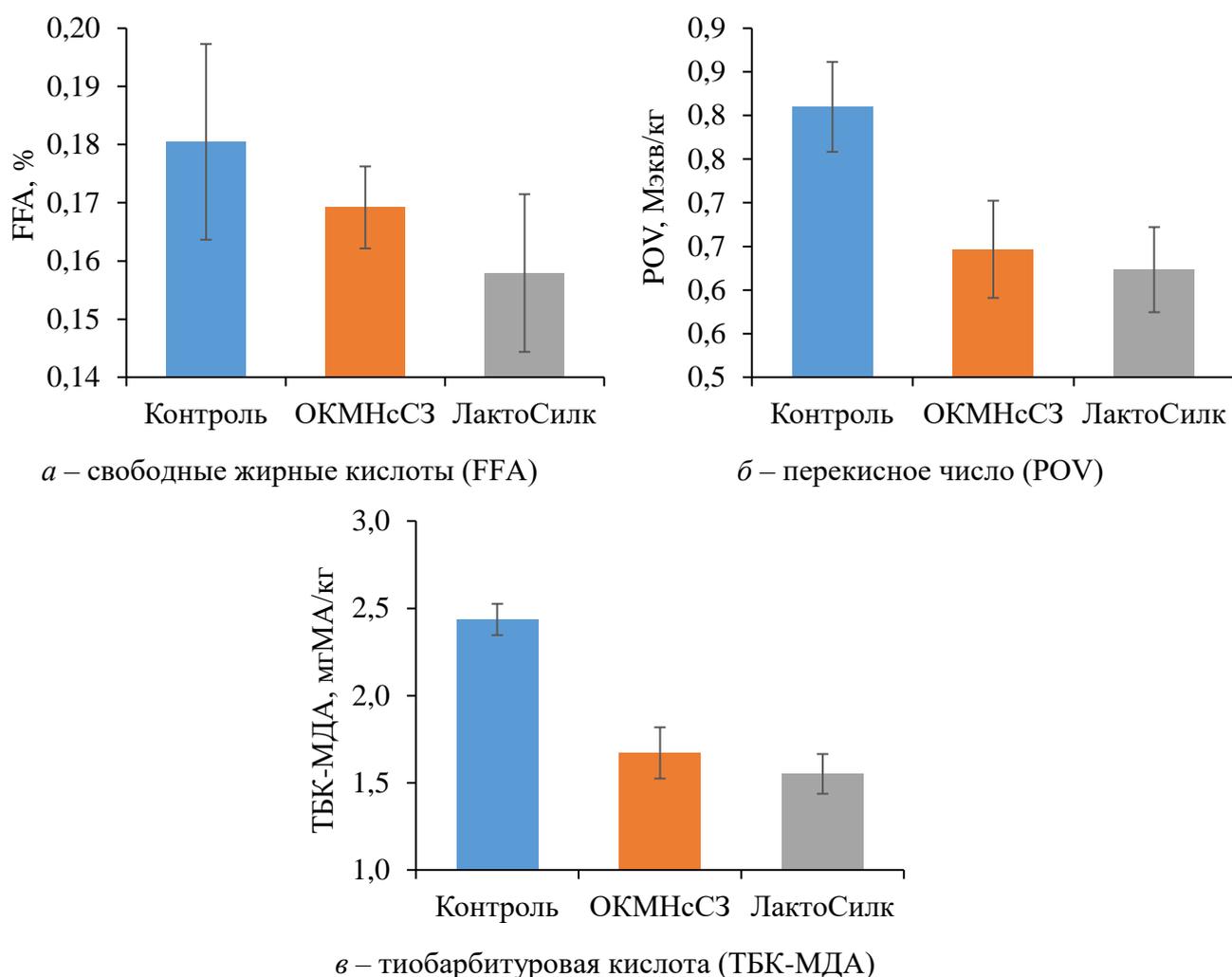


Рисунок 40 – Влияние ОКМНсСЗ на показатели продуктов перекисного окисления липидов в тканях печени крыс

Количество малонового альдегида (МДА) статистически значимо было ниже в экспериментальных вариантах ($P < 0,001$), что свидетельствует о снижении уровня окислительного стресса [144]. Количество свободных жирных кислот и перекисное число имели тенденцию к снижению в ряду контроль – ОКМНсСЗ – ЛактоСилк.

Исследованные ранее антиоксидантные свойства ОКМНсСЗ (см. пункт 5.3.5) могут объяснить снижение уровня МДА и повышение активности печеночных антиоксидантных ферментов.

О схожем влиянии КМП сообщали Ф. Тахер и др.: при добавлении 200 мкл/сут кефира в рацион крыс биомаркеры токсичности печени улучшались [240]. Кроме того, микрофлора кефира была способна ослаблять окислительный стресс как *in vitro*, так и *in vivo* [128]. Лактобациллы и бифидобактерии могли за-

щищать от перекисного окисления липидов *in vitro* и снижать уровень свободных радикалов [82]. У животных, получавших козий йогурт, наблюдалось снижение окислительного стресса ($P < 0,01$), определяемое по снижению уровня МДА [61].

5.4.5 Анализ главных компонент показателей крыс

Анализ главных компонент (РСА) был предложен в качестве метода для получения общего представления о результатах на основе данных биохимических параметров, полученных при всех видах питания (рисунок 41).

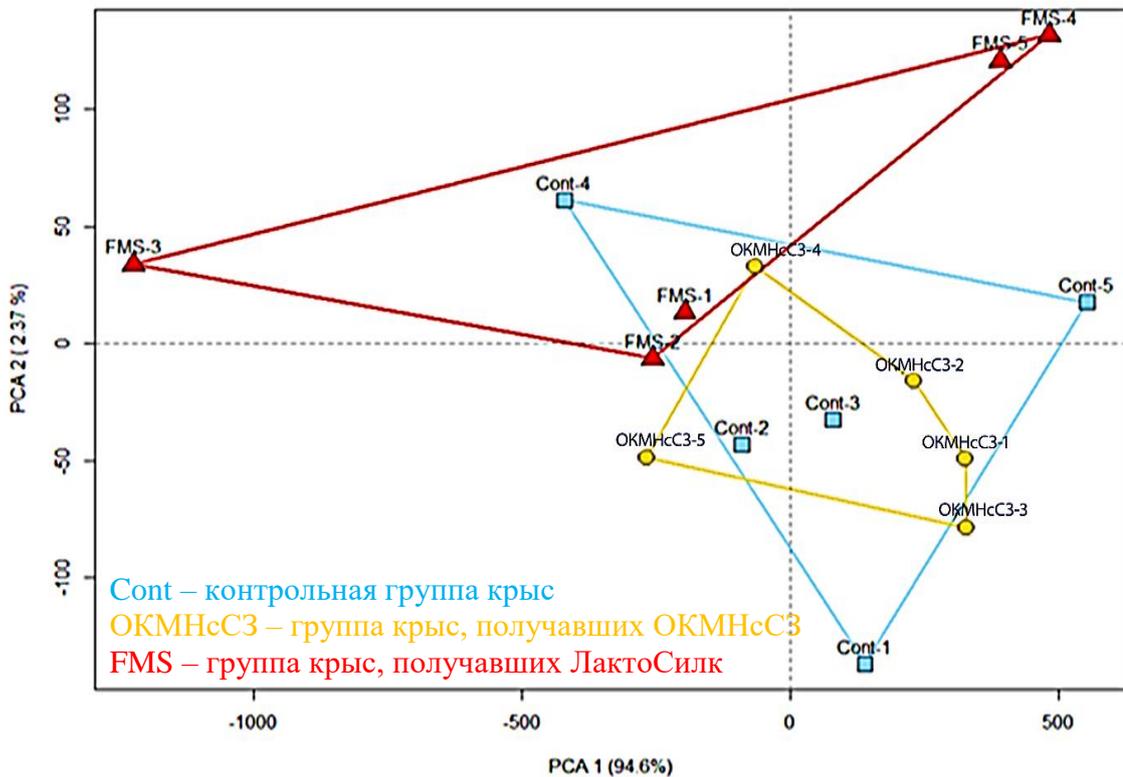


Рисунок 41 – Анализ главных компонент (РСА) биологических показателей крыс

Фактор 1 со значением 94,6 % и фактор 2 (2,37 %) общей дисперсии подтвердили, что существуют определенные различия во влиянии ЛактоСилк и ОКМНсСЗ на состояние млекопитающих.

Области контрольной группы и группы, получавшей ОКМНсСЗ, практически идентичны, что говорит об отсутствии значимых различий при употреблении крысами данных диет. Сравнение контроля с группой, получавшей ЛактоСилк, наоборот, демонстрирует различия, поскольку области перекрываются частично.

Благодаря анализу главных компонент подтверждено наличие действительных различий в свойствах разработанного ОКМНсСЗ. Анализ безопасности ОКМНс крахмалом, модифицированным амилазой, на модели крыс не выявил негативного воздействия на организмы лабораторных животных.

Не выявлено статистически значимых различий в биологических показателях крыс: массовых коэффициентах внутренних органов, гематологии, ферментах сыворотки. В то же время выявлены положительные изменения в биохимических показателях, связанных с липидным обменом. Наблюдали значимое снижение количества триглицеридов, ЛПНП, холестерина, увеличение соотношения ЛПВП/ЛПНП. Вместе с этим улучшились показатели перекисного окисления липидов печени крыс, что говорит о снижении уровня окислительного стресса. Полученный комплекс результатов о коррекции холестерина обмена у крыс позволяет рекомендовать употребление ОКМНсСЗ «ЛактоСилк», изготовленного по новой технологии с ферментной модификацией тапиокового крахмала в молоке. Систематическое потребление такого напитка может стать потенциальной стратегией по снижению риска ССЗ и инсульта.

Таким образом, ОКМНсСЗ «ЛактоСилк», выработанный по усовершенствованной технологии производства обезжиренных КМП, с активностью ферментного препарата Альфалад БН® 0,22 U/г крахмала и временем модификации 30 мин, не имеет типичных дефектов текстуры, отталкивающих покупателей от приобретения обезжиренной продукции. Проведенная комплексная оценка свойств ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» подтверждает наличие положительных изменений в структуре напитка и, как следствие, свойствах продукта. Данное исследование может помочь производителям молокоперерабатывающей отрасли улучшить привлекательность КМП с пониженным содержанием жира или обезжиренных продуктов.

5.5 Расчет экономической эффективности

Обезжиренный кисломолочный напиток на симбиотической закваске «ЛактоСилк», выработанный по усовершенствованной технологии, благодаря применению ферментно модифицированного тапиокового крахмала в качестве ингредиента обладает консистенцией и длительностью послевкусия аналогичной или схожей с полножировым продуктом. Напиток «ЛактоСилк» получил высокую дегустационную оценку, что подтверждает отсутствие в нем типичных дефектов текстуры, отталкивающих покупателей от приобретения обезжиренной продукции.

Для расчета экономического эффекта были использованы входные данные (таблица 31): молоко-сырье (Республика Татарстан) – 30 р./л; лиофилизированная закваска Profiline® YO 22.11 R2 Golden Line (50 EA), 1000л – 350 р. за упаковку; крахмал кукурузный/тапиоковый химически модифицированный – 310 р./кг; крахмал тапиоковый нативный – 65 р./кг; фермент Альфалад БН® – 660 р./л; плотность молока – 1,03 кг/м³.

Таблица 31 – Экономическая эффективность усовершенствованной технологии

Статья расхода	Йогурт 0,1 %	Йогурт 0,1 % + E1442*	Йогурт 0,1 % + E1405**
Стоимость молока-сырья, р./м ³	30 000,00	30 000,00	30 000,00
Стоимость крахмала, р./м ³	–	3 100,00	650,00
Стоимость необходимого фермента, р./м ³	–	–	0,66
Стоимость лиофилизированной закваски «Йогурт», р./т	339,81	339,81	339,81
Итого стоимость 1 т готового продукта, р.	30 339,81	33 439,81	30 990,47
Удорожание в сравнении с контролем (йогурт 0,1 %), %	–	10,22	2,14
<p>Примечания * Кукурузный/тапиоковый химически модифицированный крахмал. ** Тапиоковый нативный крахмал. Предполагается внедрение технологии на существующее предприятие, соответственно все основные и вспомогательные статьи расходов остаются прежними, с поправкой на крахмал и фермент.</p>			

Экономический эффект от внедрения заключается в снижении затрат на закупаемое сырье – крахмал, а также в возможности увеличения прибыли производства как за счет переработки «свободного» молочного жира в другие виды продукции, так и за счет увеличения стоимости продукта, выпускаемого по разработанной технологии, как продукта для диетического, спортивного и других видов питания.

Усовершенствованная технология может быть адаптирована и использована с различными заквасками и крахмалами как имитаторами жира, что подходит для широкого спектра рецептур ОКМН.

Согласно расчетам разработанная технология удорожает существующее производство на 2 %, в то время как технология с приобретаемым химически модифицированным крахмалом приводит к удорожанию на 10 %.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Выявлено, что обезжиренные и маложирные кисломолочные продукты предпочитают 20 % респондентов, но только 10 % опираются на жирность как фактор покупки. Вкус является основным фактором покупки, именно вкусом обезжиренных КМП не удовлетворены 35,6 % опрошенных, 36 % – консистенцией и цветом. Установлено желание потребителей приобрести обезжиренный кисломолочный продукт (66,1 % опрошенных) при условии сохранения органолептических свойств, при этом 47 % респондентов приобрели бы продукт с загустителем.

2. Анализ качества обезжиренных КМП торговых сетей г. Казани показал их соответствие НТД (ГОСТ 31454-2012, ГОСТ 33491-2015, ГОСТ 31981-2013) по химическим показателям: титруемая кислотность 85–135 °Т, белок $\leq 2,8$ %; однако 45 % образцов по органолептическим показателям получили оценку «удовлетворительно», замечания дегустаторов касались отделения сыворотки (синерезис более 5 % у 55 % образцов), жидкой консистенции, короткого послевкусия, плоского ненасыщенного, водянистого вкуса.

3. Ферментная модификация крахмала препаратами Амилосубтилином[®] (АТ) и Альфалад БН[®] (ВТ) при варьировании концентрации привела к увеличению влаго-связывающей способности в 1,2–2,1 раза и растворимости в 2–10 раз, к снижению коэффициента вязкости в 1,8–5,8 раза по сравнению к нативным. Различалась микроструктура АТ- и ВТ-крахмалов: обработка Амилосубтилином привела к увеличению доли гранул с разрыхленной поверхностью и мелких гранул, обработка Альфаладом БН – к преобладанию осколков гранул и частиц с неправильной формой.

4. Установлено, что применение в рецептуре ОКМН с симбиотической закваской тапиоковых крахмалов АТ и ВТ в качестве имитатора жира приводит к улучшению показателей качества. Образцы АТ-0,5, АТ-1, ВТ-0,5, ВТ-1 имели насыщенный вкус, длительное послевкусие, густую консистенцию. Применение крахмалов увеличивает концентрацию сухих веществ, плотность, приводит к пере-

распределению белковых фракций молочных белков в сторону увеличения сывороточных. Внесение ФМК позволяет снизить синерезис ОКМНсСЗ на 4–17 %, увеличить вязкость на 500–1000 мПа/с по сравнению с контролем, причем данные эффекты более выражены у образцов с ВТ-крахмалами. По результатам комплексного анализа ОКМНсСЗ обосновано использование фермента Альфалад БН[®] для дальнейшей работы. Оптимальные условия обработки тапиокового крахмала Альфаладом БН[®] (время 30 мин, активность 0,22 У/г крахмала) позволяют получить оптимальные текстурные и структурные свойства ОКМНсСЗ, что установлено с математическим моделированием и двухфакторным экспериментом.

5. В технологию производства кисломолочного напитка внесена дополнительная стадия добавления тапиокового крахмала, предварительно обработанного препаратом Альфалад БН[®] в молоке. По усовершенствованной технологии произведен продукт «ЛактоСилк», органолептическая оценка которого на 1,5 балла выше, чем у контроля. У «ЛактоСилк» выявлено увеличение доли белков в сыворотке, количества сухих, минеральных веществ, плотности, интенсифицируется синтез ЭПС на 18–22 мг глюкозы/мл, снижается синерезис на 5 %, повышается вязкость на 500 мПа/с. Улучшения органолептических, структурных свойств обусловлены изменением микроструктуры, внедрением ФМК в белковый матрикс.

6. В доклинических исследованиях выявлено положительное влияние ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» на липидный обмен крыс: в группе, получавшей ЛактоСилк, по сравнению с контролем количество липидов было ниже на 67 мг/дл; холестерин – на 33 мг/дл; возрос индекс ЛПВП/ЛПНП на 0,1 ед., в тканях печени снижались перекисное число на 0,165 Мэкв/кг и малоновый диальдегид на 1 мгМА/кг.

7. Выполнен расчет экономической эффективности усовершенствованной технологии. Установлено, что себестоимость разработанного напитка составляет 30 991 р. за тонну, что на 8 % ниже, чем для напитка с коммерчески модифицированным крахмалом.

Список сокращений и условных обозначений

НТД – научно-техническая документация.

МКБ – молочнокислые бактерии.

КМП – кисломолочный продукт.

ОКМН – обезжиренный кисломолочный напиток.

ОКМНсСЗ – обезжиренный кисломолочный напиток с симбиотической закваской.

ССЗ – сердечно-сосудистые заболевания.

ФМК – ферментно модифицированный крахмал.

ВСС – водосвязывающая способность.

ИРВ – индекс растворимости в воде.

ВУС – водоудерживающей способности.

КОЕ – колониеобразующие единица.

ТХУ – трихлоруксусная кислота.

АПТ – анализ профиля текстуры.

СРП – способность к поглощению свободных радикалов.

ДФПГ – 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил.

ВС – восстановительная (антиоксидантная) сила.

СЖК – свободные жирные кислоты.

ТБК – тиобарбитуровая кислота.

АГК – анализ главных компонент.

СГПК – санитарно-гигиенические показатели качества.

ЭПС – экзополисахариды.

КЛСМ – конфокальная лазерная сканирующая микроскопия.

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия.

Список литературы

1. Агаркова, Е. Ю. Белки молочной сыворотки как источник антиоксидантных пептидов / Е. Ю. Агаркова, К. А. Рязанцева, А. Г. Кручинин. – DOI 10.31515/2073-4018-2020-2-55-56 // Сыроделие и маслоделие. – 2020. – № 2. – С. 57–58.
2. Агаркова, Е. Ю. Ферментативная обработка как инструмент придания функциональных свойств белкам молочной сыворотки / Е. Ю. Агаркова, А. Г. Кручинин, К. А. Рязанцева, Н. С. Пряничникова. – DOI 10.31208/2618-7353-2019-8-81-88 // Аграрно-пищевые инновации. – 2019. – № 4 (8). – С. 81–88.
3. Альфа-амилаза бактериальная низкотемпературная / Биопрепарат. – URL: <https://tdbiopreparat.ru/alfa-amilaza-bakterialnaya-nizkotemperaturnaya.html> (дата обращения: 30.04.2023).
4. Ахназарова, С. Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – Москва : Высш. шк., 1978. – 213 с.
5. Бабенышев, С. П. Напитки из молочной сыворотки с растительными полисахаридами / С. П. Бабенышев, Д. С. Мамай, В. П. Уткин [и др.] // Инновационные направления развития в образовании, экономике, технике и технологиях : сб. ст. науч.-практ. конф. (Ставрополь, 18–19 мая 2017 г.) : в 2 ч. – Ставрополь : Ставролит, 2017. – Т. 1. – С. 308–310.
6. Банникова, А. В. Инновационный подход к созданию обогащенных молочных продуктов с повышенным содержанием белка / А. В. Банникова, И. А. Евдокимов. – Москва : ДеЛи плюс, 2015. – 136 с. – ISBN 978-5-905170-170-72-0.
7. Белякова, Т. Н. Продукты функционального назначения с растительными компонентами / Т. Н. Белякова, О. В. Морозова, Л. А. Забодалова [и др.]. – DOI 10.31515/1019-8946-2021-05-56-57 // Молочная промышленность. – 2021. – № 5. – С. 56–57.
8. Ботина, С. Г. Использование штаммов молочнокислых бактерий, синтезирующих экзополисахариды, в производстве кисломолочных продуктов питания

/ С. Г. Ботина, И. В. Рожкова, В. Ф. Семенихина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2010. – № 1. – С. 38–40.

9. Бурмагина, Т. Ю. Оценка консистенции концентрированного продукта на молочной основе / Т. Ю. Бурмагина, А. И. Гнездилова. – DOI 10.52231/2225-4269_2021_3_187 // Молочнохозяйственный вестник. – 2022. – № 1 (45). – С. 187–196.

10. Гаврилов, Г. Б. Технологии мембранных процессов переработки молочной сыворотки и создание продуктов с функциональными свойствами : монография / Г. Б. Гаврилов. – Москва : Изд-во Россельхозакадемии, 2006. – 135 с. – ISBN 5-85941-160-X.

11. Ганина, В. И. К вопросу о функциональных продуктах питания / В. И. Ганина, И. И. Ионова // Молочная промышленность. – 2018. – № 3. – С. 44–47.

Голубева, Л. В. Структурно-механические свойства кисломолочных напитков с биологически ценными добавками / Л. В. Голубева, С. А. Титов, Н. П. Довгун // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3 (38). – С. 141–148.

12. Горностаева, Ж. В. Формирование и управление ассортиментом продуктов функционального назначения с учетом потребительских предпочтений / Ж. В. Горностаева, Ю. С. Чернышева, В. Е. Жидков // Kant. – 2019. – № 2 (31). – С. 305–309.

13. ГОСТ ISO 5492-2014. Органолептический анализ. Словарь : межгосударственный стандарт : дата введения 01.01.2016. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 50 с.

14. Гришина, А. С. Изучение реологических свойств кисломолочного напитка «Кремола» / А. С. Гришина, И. А. Евдокимов, А. Д. Лодыгин // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. – 2009. – № 3. – С. 58–60.

15. Гучок, Ж. Л. Особенности разработки программ по обоснованию сроков годности кисломолочных продуктов / Ж. Л. Гучок, Д. С. Пудовкина // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2013. – № 7 (244). – С. 20–21.

16. Жидков, В. Е. Разработка технологии молочного жидкого продукта с добавлением подсластителя природного происхождения / В. Е. Жидков, С. П. Бабенных, Д. С. Мамай, Н. А. Попова // Биоразнообразие, биоресурсы, вопросы биотехнологии и здоровье населения Северо-Кавказского региона : материалы 63-й конференции «Университетская наука – региону» (Ставрополь, 2–27 апреля 2018 г.). – Ставрополь : СКФУ, 2018. – С. 107–111.

17. Завод био. Производство модифицированного крахмала. – URL: <https://zavodbio.ru> (дата обращения: 24.01.2023).

18. Зобкова, З. С. Комплексное применение гидроколлоидов и транsgлутамины с целью совершенствования технологии кисломолочных продуктов / З. С. Зобкова, Т. П. Фурсова, Д. В. Зенина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – № 1. – С. 28–33.

19. Зобкова, З. С. Разработка инновационных технологий кисломолочных продуктов адаптагенной направленности / З. С. Зобкова, Т. П. Фурсова. – DOI 10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-205-214 // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. – 2020. – Т. 1, № 1 (1). – С. 205–214.

20. Кручинин, А. Г. Сравнение структурно-механических характеристик ферментированных молочных концентратов / А. Г. Кручинин, Е. Е. Илларионова. – DOI 10.36718/1819-4036-2022-3-162-170 // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 3 (180). – С. 162–170.

21. Лияскина, И. Г. Применение ферментов, продуцируемых микроорганизмами в пищевой промышленности / И. Г. Лияскина, И. С. Миленьева. – DOI 10.21603/-I-IC-74 // Новейшие достижения в области медицины, здравоохранения и здоровьесберегающих технологий : сб. материалов I Междунар. конгресса (Кемерово, 28–30 ноября 2022 г.). – Кемерово : КемГУ, 2022. – С. 240–242.

22. Лукиных, М. И. Производство крахмалопродуктов: состояние финансовых показателей и перспективы развития отрасли / М. И. Лукиных // Финансовая экономика. – 2019. – № 8. – С. 171–175.

23. Лунева, О. Н. Влияние растительных компонентов на свойства кисломолочных продуктов / О. Н. Лунева, Т. Н. Иванова, А. А. Макаренко // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2019. – № 4 (57). – С. 23–27.
24. Мельникова, Е. И. Концентраты белков молока: функционально-технологические свойства и применение / Е. И. Мельникова, Е. Б. Станиславская. – DOI 10.31515/1019-8946-2022-11-28-30 // Молочная промышленность. – 2022. – № 11. – С. 28–30.
25. Мировой и российский рынок крахмала в 2022 году // Российский продовольственный рынок. – 2023. – № 1. – URL: <https://foodmarket.spb.ru/archive/2023/222652/222663> (дата обращения: 25.04.2023).
26. Научные и практические аспекты технологии производства молочно-растительных продуктов : монография / Н. Б. Гаврилова, О. В. Пасько, И. П. Каня [и др.]. – Омск : Вариант-Омск, 2006. – 336 с. – ISBN 5-7065-0269-2.
27. Никитина, Е. В. Физико-химические свойства модифицированных амило-субтилином тапиоковых крахмалов / Е. В. Никитина, М. С. Цыганов // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 2. – С. 156–158.
28. Обзор рынка крахмала и крахмалопродуктов // Картофельная система : [сайт]. – 2020. – URL: <https://potatosystem.ru/obzor-rynka-krahmala/> (дата обращения: 25.04.2023).
29. Огнева, О. А. Стандартизация и экспертиза молока и молочных продуктов : методические рекомендации / О. А. Огнева, Н. Н. Забашта. – Краснодар : КубГАУ, 2020. – 84 с.
30. Остроумов, Л. А. Активность воды в структурированных молочных продуктах / Л. А. Остроумов, А. Н. Архипов // Молочная промышленность. – 2011. – № 12. – С. 50–51.
31. Производство и реализация крахмала и крахмалопродуктов / АО «Крахмалопродукты». – URL: <http://krahmal-orel.ru> (дата обращения: 20.01.2023).
32. Производство молока в России выросло на 3,1% / New Retail. – URL: https://new-retail.ru/novosti/retail/proizvodstvo_moloka_v_rossii_vyroslo_na_3_17624 (дата обращения: 18.01.2023).

33. Родионова, Н. С. Экзополисахаридная активность пробиотических микроорганизмов при разных режимах ферментации / Н. С. Родионова, Т. А. Разинкова, Е. С. Попов [и др.]. – DOI 10.31515/1019-8946-2020-04-28-30 // Молочная промышленность. – 2020. – № 4. – С. 28–30.

34. Руссаков, Д. М. Сравнение эффективности ферментов в гидролизе картофельного и кукурузного крахмалов для получения мальтодекстрина / Д. М. Руссаков, И. С. Милентьева // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д. И. Менделеева : сб. ст. (Тюмень, 24–26 ноября 2022 г.). – Тюмень : ТИУ, 2023. – Т. 2. – С. 115–117.

35. Рынок глубокой переработки зерна – итоги 2022 года и будущее отрасли / Ассоциация «Союзкрахмал». – URL: <https://starchunion.com/rynok-glubokoj-pererabotki-zerna-itogi-2022-goda-i-budushhee-otrasli/> (дата обращения: 25.04.2023).

36. Рябцева, С. А. Пробиотики, пребиотики, синбиотики, постбиотики: проблемы и перспективы / С. А. Рябцева, А. Г. Храмцов // Биоразнообразие, биоресурсы, вопросы биотехнологии и здоровье населения Северо-Кавказского региона : сб. науч. тр. – Ставрополь : СКФУ, 2020. – С. 119–123.

37. Свириденко, Г. М. Кислотообразующая активность заквасочных микроорганизмов – основной критерий подбора культур в состав бактериальных заквасок для ферментируемых молочных продуктов / Г. М. Свириденко, О. М. Шухалова // Сборник научных трудов к 75-летию со дня основания ВНИИМС «Научные подходы к решению актуальных вопросов в области переработки молока» (Углич, 5–6 сентября 2019 г.). – Углич : ВНИИМС, 2019. – С. 209–215.

38. Технохимический контроль жиров и жирозаменителей / О. Б. Рудаков, Н. В. Королькова, К. К. Полянский [и др.]. – Санкт-Петербург : Лань, 2011. – 576 с. – ISBN 978-5-8114-1147-4.

39. Тихомирова, Н. А. Использование пищевых добавок и ингредиентов в молочной промышленности / Н. А. Тихомирова // Молочная промышленность. – 2014. – № 5. – С. 26–27.

40. Тихомирова, Н. А. Специализированная пищевая продукция: качество и безопасность / Н. А. Тихомирова // Молочная промышленность. – 2017. – № 6. – С. 38–42.

41. Толкачева, А. А. Ферменты промышленного назначения – обзор рынка ферментных препаратов и перспективы его развития / А. А. Толкачева, Д. А. Черенков, О. С. Корнеева, П. Г. Пономарев. – DOI 10.20914/2310-1202-2017-4-197-203 // Вестник ВГУИТ. – 2017. – № 79. – С. 197–203.

42. Ферментный препарат Амилосубтилин / Сиббиофарм. – URL: <https://www.sibbio.ru/catalog/zhivotnovodstvo/fermentnyy-preparat-amilosubtilin/> (дата обращения: 30.04.2023).

43. Фролова, А. С. Роль воздействия молочнокислых бактерий (МКБ) из молочных продуктов на здоровье человека / А. С. Фролова, И. С. Миленьева, М. К. Переверзева. – DOI 10.36684/79-1-2022-110-114 // Экологический инжиниринг, агро- и биотехнологии : материалы всерос. науч.-практ. конф. (Грозный, 15 ноября 2022 г.). – Грозный : ЧГУ им. А. А. Кадырова, 2022. – С. 110–114.

44. Хамагаева, И. С. Перспективы использования пробиотических микроорганизмов в современной биотехнологии / И. С. Хамагаева // Вестник ВСГУТУ. – 2014. – № 5 (50). – С. 111–116.

45. Харитонов, В. Д. Перспективы разработки новых функциональных молочных продуктов для людей с непереносимостью белков молока / В. Д. Харитонов, В. Г. Будрик, Е. Ю. Агаркова [и др.] // Молочная река. – 2012. – № 4. – С. 22–24.

46. Храмцов, А. Г. Пребиотики как функциональные пищевые ингредиенты: терминология, критерии выбора и сравнительной оценки, классификация / А. Г. Храмцов, С. А. Рябцева, Р. О. Будкевич [и др.]. – DOI 10.24411/0042-8833-2018-10001 // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87, № 1. – С. 5–17.

47. Цыганов, М. С. Гистологические свойства тапиоковых крахмалов, модифицированных амилосубтилином и амилазой *Bacillus licheniformis* / М. С. Цыганов, Е. В. Никитина // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 16. – С. 145–148.

48. Шевелева, С. А. Медико-биологические требования к пробиотическим продуктам и биологически активным добавкам к пище / С. А. Шевелева // Инфекционные болезни. – 2004. – Т. 2, № 3. – С. 86–90.

49. Adetunji, L. R. Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review / L. R. Adetunji [et. al.] // Food Hydrocolloids. – 2017. – № 62. – P. 239–250.

50. Agyemang, P. N. Effect of the use of starches of three new Ghanaian cassava varieties as a thickener on the physicochemical, rheological and sensory properties of yoghurt / P. N. Agyemang, P. T. Akonor, C. Tortoe [et al.] // Scientific African. – 2020. – № 9. – Art. no. e00521.

51. Akbari, M. Application and functions of fat replacers in low-fat ice cream: A review / M. Akbari, M.H. Eskandari, Z. Davoudi // Trends in Food Science & Technology. – 2019. – № 86. – P. 34-40.

52. Altemimi, A. Extraction and optimization of potato starch and its application as a stabilizer in yogurt manufacturing / A. Altemimi // Foods. – 2018. – Vol. 7, № 2. – Art. no. 14.

53. Alting, A. C. Improved creaminess of low-fat yoghurt: the impact of amyloamylase-treated starch domains / A. C. Alting [et al.] // Food Hydrocolloids. – 2009. – Vol. 23? № 3. – P. 980–987.

54. Amaya-Llano, S. L. Acid thinned jicama and maize starches as fat substitute in stirred yogurt / S. L. Amaya-Llano [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2008. – Vol. 41, № 7. – P. 1274–1281.

55. Andiç, S. Effects of carboxyl methyl cellulose and edible cow gelatin on physico-chemical, textural and sensory properties of yoghurt / S. Andiç, G. Boran, Y. Tunçtürk // International journal of agriculture and biology. – 2013. – Vol. 15, № 2. – P. 245–251.

56. Appelqvist, I. A. M. Starch-biopolymer interactions – a review / I. A. M. Appelqvist, M. R. M. Debet // Food reviews international. – 1997. – Vol. 13, № 2. – P. 163–224.

57. Arancibia, C. Colour, rheology, flavour release and sensory perception of dairy desserts. Influence of thickener and fat content / C. Arancibia [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 62, № 1. – P. 408–416.

58. Ares, G. Influence of gelatin and starch on the instrumental and sensory texture of stirred yogurt / G. Ares [et al.] // International journal of dairy technology. – 2007. – Vol. 60, № 4. – P. 263–269.

59. Asaoka, M. Seasonal effects on the physico-chemical properties of starch from four cultivars of cassava / M. Asaoka, J. M. V. Blanshard, J. E. Rickard // Starch-Stärke. – 1991. – Vol. 43, № 12. – P. 455–459.

60. Ashogbon, A. O. Dual modification of various starches: Synthesis, properties and applications / A. O. Ashogbon // Food chemistry. – 2021. – № 342. – Art. no. 128325.

61. Assis, P. O. A. de. Intestinal anti-inflammatory activity of goat milk and goat yoghurt in the acetic acid model of rat colitis / P. O. A. de Assis [et al.] // International dairy journal. – 2016. – № 56. – P. 45–54.

62. Attama, A. A. Effect of hypochlorite oxidation on the physicochemical properties of gladiolus starch / A. A. Attama [et al.] // Journal of pharmaceutical and allied Sciences. – 2003. – № 1. – P. 28–35.

63. Awolu, O. O. Physico-chemical, functional and pasting properties of native and chemically modified water yam (*Dioscorea alata*) starch and production of water yam starch-based yoghurt / O. O. Awolu, S. J. Olofinlae // Starch/Stärke. – 2016. – Vol. 68, № 7.8. – P. 719–726.

64. Ayala-Hernandez, I. Interactions between milk proteins and exopolysaccharides produced by *Lactococcus lactis* observed by scanning electron microscopy / I. Ayala-Hernandez, H. D. Goff, M. Corredig // Journal of dairy science. – 2008. – Vol. 91, № 7. – P. 2583–2590.

65. Azim, Z. Influence of cross-linked waxy maize starch on the aggregation behavior of casein micelles during acid-induced gelation / Z. Azim [et al.] // Food biophysics. – 2010. – Vol. 5, № 3. – P. 227–237.

66. Aziznia, S. Whey protein concentrate and gum tragacanth as fat replacers in nonfat yogurt: chemical, physical, and microstructural properties / S. Aziznia [et al.] // *Journal of dairy science*. – 2008. – Vol. 91, № 7. – P. 2545–2552.
67. Barrangou, R. Functional and comparative genomic analyses of an operon involved in fructooligosaccharide utilization by *Lactobacillus acidophilus* / R. Barrangou [et al.] // *Proceedings of the National academy of sciences*. – 2003. – № 100. – P. 8957–8962.
68. BeMiller, J., *Starch chemistry and technology* / J. BeMiller, R. Whistler. – Third edition. – Academic Press, 2009. – 879 p.
69. Bertazzoni Minelli, E. Assessment of novel probiotic *Lactobacillus casei* strains for the production of functional dairy foods / E. Bertazzoni Minelli [et al.] // *International dairy journal*. – 2004. – Vol. 14, № 8. – P. 723–736.
70. Biwer, A. Enzymatic production of cyclodextrins / A. Biwer, G. Antranikian, E. Heinzle // *Applied microbiology and biotechnology*. – 2002. – Vol. 59, № 6. – P. 609–617.
71. Bourdichon, F. Food fermentations: Microorganisms with technological beneficial use / F. Bourdichon [et. al.] // *International journal of food microbiology*. – 2012. – Vol. 154, № 3. – P. 87–97.
72. Bradford, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding / M. M. Bradford // *Analytical biochemistry*. – 1976. – Vol. 72, № 1.2. – P. 248–254.
73. Brand-Williams, W. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity / W. Brand-Williams, M. E. Cuvelier, C. L. Berset // *LWT Food Science and Technology*. – 1995. – Vol. 28, № 1. – P. 25–30.
74. Bravo-Núñez, Á. Physically and chemically modified starches as texturisers of low-fat milk gels / Á. Bravo-Núñez, V. Pando, M. Gómez // *International dairy journal*. – 2019. – № 92. – P. 21–27.
75. Breuninger, W. F. Chapter 12 – Tapioca/Cassava starch: production and use / W. F. Breuninger, K. Piyachomkwan, K. Sriroth // *Starch: Chemistry and Technology* / eds. J. B. Miller, R. Whistler. – Third edition. – Academic Press, 2009. – P. 541–568.

76. Buldo, P. The role of exopolysaccharide-producing cultures and whey protein ingredients in yoghurt / P. Buldo [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2016. – Vol. 72. – P. 189–198.

77. Buléon, A. Starch granules: structure and biosynthesis / A. Buléon [et al.] // *Int. Journal of biological macromolecules*. – 1998. – Vol. 23? № 2. – P. 85–112.

78. Cais-Sokolińska, D. Consumer-perception, nutritional, and functional studies of a yogurt with restructured elderberry juice / D. Cais-Sokolińska, D. Walkowiak-Tomczak // *Journal of Dairy Science*. – 2021. – Vol. 104, № 2. – P. 1318–1335.

79. Calvin, O. Starch and modified starch in bread making: a review / O. Calvin // *African journal of food science*. – 2016. – Vol. 10, № 12. – P. 344–351.

80. Capozzi, V. Spontaneous food fermentations and potential risks for human health / V. Capozzi, M. Fragasso, R. Romaniello [et al.]. // *Fermentation*. – 2017. – Vol. 3, iss. 4. – Art. no. 49.

81. Carmen, G. Invited review: Potential antiobesity effect of fermented dairy products / G. Carmen [et al.] // *Journal of dairy science*. – 2021. – Vol. 104, № 4. – P. 3766–3778.

82. Cavallini, D. C. Effects of probiotic bacteria, isoflavones and simvastatin on lipid profile and atherosclerosis in cholesterol-fed rabbits: a randomized double-blind study / D. C. Cavallini [et. al.] // *Lipids in health and disease*. – 2009. – Vol. 8, № 1. – P. 1–17.

83. Cavanagh, D. From field to fermentation: the origins of *Lactococcus lactis* and its domestication to the dairy environment / D. Cavanagh, G. F. Fitzgerald, O. McAuliffe // *Food microbiology*. – 2015. – Vol. 47. – P. 45–61.

84. Cayot, P. Creaminess in relation to consistency and particle size in stirred fat-free yogurt / P. Cayot [et al.] // *International dairy journal*. – 2008. – Vol. 18, № 3. – P. 303–311.

85. Celik, O. F. Isolation and identification of lactobacilli from traditional yogurts as potential starter cultures / O. F. Celik [et al.] // *LWT*. – 2021. – № 148. – Art. no. 111774.

86. Chandra, M. V. Texture profile analysis and functional properties of gelatin from the skin of three species of fresh water fish / M. V. Chandra, B. A. Shamasundar // International journal of food properties. – 2015. – Vol. 18, № 3. – P. 572–584.
87. Chapter 7. Dairy and dairy products / OECD/FAO. – URL: https://www.fao.org/3/i9166e/i9166e_Chapter7_Dairy.pdf (дата обращения: 20.01.2023).
88. Chen, Y. Structural changes of cassava starch granules hydrolyzed by a mixture of α -amylase and glucoamylase / Y. Chen [et al.] // Carbohydrate polymers. – 2011. – Vol. 85, № 1. – P. 272–275.
89. Choi, S.-B. Probiotics and the BSH-related cholesterol lowering mechanism: a Jekyll and Hyde scenario / S.-B. Choi [et al.] // Critical reviews in biotechnology. – 2014. – Vol. 35, № 3. – P. 392–401.
90. Ciriminna, R. Pectin: new science and forthcoming applications of the most valued hydrocolloid / R. Ciriminna [et al.] // Food hydrocolloids. – 2021. – Vol. 127. – Art. no. 107483.
91. Cock, J. H. Chapter 19 – Cassava / J. H. Cock, D. J. Connor // Crop physiology case histories for major crops / eds. V. O. Sadras, D. F. Calderini. – Academic Press, 2021. – P. 588–633.
92. Collares, R. M. Optimization of enzymatic hydrolysis of cassava to obtain fermentable sugars / R. M. Collares [et al.] // Journal of Zhejiang University Science B. – 2012. – Vol. 13, № 7. – P. 579–586.
93. Colonna, P. Limiting factors of starch hydrolysis / P. Colonna, V. Leloup, A. Buleon // European journal of clinical nutrition. – 1992. – Vol. 46. – P. 17–32.
94. Cozzolino, D. Interpreting and reporting principal component analysis in food science analysis / D. Cozzolino [et al.] // Food analytical methods. – 2019. – № 12. – P. 2469–2473.
95. Cui, B. Effect of cross-linked acetylated starch content on the structure and stability of set yoghurt / B. Cui [et al.] // Food hydrocolloids. – 2014. – № 35. – P. 576–582.

96. Dai, S. Utilization of konjac glucomannan as a fat replacer in low-fat and skimmed yogurt / S. Dai, H. Corke, N. P. Shah // *Journal of dairy science*. – 2016. – Vol. 99, № 9. – P. 7063–7074.
97. Damodharan, K. Functional probiotic characterization and in vivo cholesterol-lowering activity of *Lactobacillus helveticus* isolated from fermented cow milk / K. Damodharan [et al.] // *Journal of microbiology and biotechnology*. – 2016. – № 26. – P. 1675–1686.
98. Daniel, J. R. Fatty sensory qualities of polysaccharides (abstract) / J. R. Daniel, R. L. Whistler // *Cereal Foods World*. – 1990. – № 35. – P. 825.
99. Das, K. Effects of new technology on the current manufacturing process of yogurt-to increase the overall marketability of yogurt / K. Das, R. Choudhary, K. A. Thompson-Witrick // *LWT*. – 2019. – № 108. – P. 69–80.
100. De Ancos, B. Characteristics of stirred low-fat yoghurt as affected by high pressure / B. De Ancos, M. Pilar Cano, R. Gómez // *International dairy journal*. – 2000. – Vol. 10, № 1-2. – P. 105–111.
101. Decourcelle, N. Effect of thickeners and sweeteners on the release of blended aroma compounds in fat-free stirred yoghurt during shear conditions / N. Decourcelle [et al.] // *International dairy journal*. – 2004. – Vol. 14, № 9. – P. 783–789.
102. Deepa, M. Chapter 9 – Innovative practices in the development of yogurt with special concern over texture and flavor / M. Deepa, T. Poongodi Vijayakumar, A. Sankaranarayanan, A. A. Bekhit // *Advances in dairy microbial products* / eds. J. Singh, A. Vyas. – Woodhead Publishing, 2022. – P. 133–144.
103. Defloor, I. Physico-chemical properties of cassava starch / I. Defloor, I. Dehing, J. A. Delcour // *Starch/Stärke*. – 1998. – Vol. 50, № 2-3. – P. 58–64.
104. Delgado, K. F. Different alternatives to improve rheological and textural characteristics of fermented goat products – a review / K. F. Delgado [et al.] // *Rheology*. – 2017. – Vol. 1, № 1. – P. 1-6.
105. Demarigny, Y. *Lactococcus lactis* subspecies *lactis* and *cremoris* // *Encyclopedia of food microbiology, second edition* / eds. C. A. Batt, M. L. Tortorello. – Academic Press, 2014. – P. 442–446.

106. Deminate, I. M. Cassava starch in the Brazilian food industry / I. M. Deminate, V. Kotovicz // Food Science and Technology (Campinas). – 2011. – Vol. 31, № 2. – P. 388–397.

107. Diez-Ozaeta, I. Fermented foods: An update on evidence-based health benefits and future perspectives / I. Diez-Ozaeta, O. J. Astiazaran // Food Research International. – 2022. – Vol. 156, № 5. – P. 111–133.

108. Easo, J. G. Immunostimulatory actions of *Lactobacilli*: mitogenic induction of antibody production and spleen cell proliferation by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Lactobacillus acidophilus* / J. G. Easo [et al.] // Food and Agricultural Immunology. – 2002. – № 14. – P. 73–83.

109. Ejtahed, H. S. Probiotic yogurt improves antioxidant status in type 2 diabetic patients / H. S. Ejtahed [et al.] // Nutrition. – 2012. – № 28. – P. 539–543.

110. Elli, M. Survival of yogurt bacteria in the human gut / M. Elli, M. L. Callegari, S. Ferrari // Applied and environmental microbiology. – 2006. – № 72. – P. 5113–5117.

111. Ellis, R. P. Starch production and industrial use / R. P. Ellis [et al.] // Journal of the science of food and agriculture. – 1998. – Vol. 77, № 3. – P. 289–311.

112. Fan, Y. Modification of starch: a review on the application of “green” solvents and controlled functionalization / Y. Fan, F. Picchioni // Carbohydrate polymers. – 2020. – P. 116350.

113. Fiszman, S. M. Effect of gelatine on the texture of yoghurt and of acid-heat-induced milk gels / S. M. Fiszman, A. Salvador // Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung. – 1999. – Vol. 208, № 2. – P. 100–105.

114. Folkenberg, D. M. Interactions between EPS-producing *Streptococcus thermophilus* strains in mixed yoghurt cultures / D. M. Folkenberg [et. al.] // Journal of dairy research. – 2006. – № 73. – P. 385–393.

115. Folkenberg, D. M. Sensory and rheological screening of exopolysaccharide producing strains of bacterial yoghurt cultures / D. M. Folkenberg [et al.] // International dairy journal. – 2006. – Vol. 16, № 2. – P. 111–118.

116. Food Outlook Biannual Report on Global Food Markets / FAO. – URL: <https://www.fao.org/3/I8080e/I8080e.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).

117. Forde, C. G. Flavor perception and satiation / C. G. Forde. – DOI 10.1016/b978-0-08-100295-7.00012-8 // Flavor. – 2016. – P. 251–276.
118. Fox, P. F. Bacteria, beneficial | Lactic acid bacteria: an overview / P. F. Fox // Encyclopedia of dairy sciences. – 2011. – P. 401–402.
119. Freitas, M. The benefits of yogurt, cultures, and fermentation / M. Freitas // The microbiota in gastrointestinal pathophysiology. – 2017. – P. 209–223.
120. García-Burgos, M. New perspectives in fermented dairy products and their health relevance / M. García-Burgos [et al.] // Journal of functional foods. – 2020. – № 72. – Art. no. 104059.
121. Gawai, K. M. Stabilizers, colorants, and exopolysaccharides in yogurt / K. M. Gawai, S. P. Mudgal, J. B. Prajapati // Yogurt in health and disease prevention. – 2017. – P. 49–68.
122. Gentès, M.-C. Exopolysaccharide – milk protein interactions in a dairy model system simulating yoghurt conditions / M.-C. Gentès, D. St-Gelais, S. L. Turgeon // Dairy Science & Technology. – 2013. – Vol. 93, № 3. – P. 255–271.
123. Gentès, M.-C. Impact of starch and exopolysaccharide-producing lactic acid bacteria on the properties of set and stirred yoghurts / M.-C. Gentès, S.L. Turgeon, D. St-Gelais // International dairy journal. – 2016. – № 55. – P. 79–86.
124. González-Tomás, L. Rheology, flavour release and perception of low-fat dairy desserts / L. González-Tomás [et al.] // International dairy journal. – 2008. – Vol. 18, № 8. – P. 858–866.
125. Granato, D. Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: a critical perspective / D. Granato [et al.] // Trends in Food Science & Technology. – 2017. – P. 83–90.
126. Guan, X. Screening and characterization of lactic acid bacterial strains that produce fermented milk and reduce cholesterol levels / X. Guan [et al.] // Brazilian journal of microbiology. – 2017. – Vol. 48, № 4. – P. 730–739.

127. Guo, Y. Stability of acidified milk drinks induced by various polysaccharide stabilizers: a review / Y. Guo [et al.] // Food hydrocolloids. – 2021. – № 118. – Art. no. 106814.
128. Guven, A. The effect of kefir on the activities of GSH-Px, GST, CAT, GSH and LPO levels in carbon tetrachloride-induced mice tissues / A. Guven, A. Guven, M. Gulmez // Journal of veterinary medicine series B. – 2003. – Vol. 50, № 8. – P. 412–416.
129. Guven, M. The effect of inulin as a fat replacer on the quality of set-type low-fat yogurt manufacture / M. Guven [et al.] // International journal of dairy technology. – 2005. – Vol. 58, № 3. – P. 180–184.
130. Harisun, Y. Optimization of ingredient and processing levels for the production of coconut yogurt using response surface methodology / Y. Harisun [et al.] // Food science and biotechnology. – 2012. – № 21. – P. 933–940.
131. Harnett, J. Lactic acid bacteria | *Streptococcus thermophiles* / J. Harnett, G. Davey, A. Patrick [et al.] // Encyclopedia of Dairy Sciences, second edition / ed. J. W. Fuquay. – Academic Press, 2011. – P. 143–148.
132. Hassan, A. N. Microstructure and rheology of yogurt made with cultures differing only in their ability to produce exopolysaccharides / A. N. Hassan [et al.] // Journal of dairy science. – 2003. – Vol. 86, № 5. – P. 1632–1638.
133. Hassan, A. N. Observation of bacterial exopolysaccharide in dairy products using cryo-scanning electron microscopy / A. N. Hassan, J. F. Frank, M. Elsoda // International dairy journal. – 2003. – Vol. 13, № 9. – P. 755–762.
134. He, J. Effect of 2 types of resistant starches on the quality of yogurt / J. He [et al.] // Journal of dairy science. – 2019. – Vol. 102, № 5. – P. 3956–3964.
135. Hermansson, A. M. Developments in the understanding of starch functionality / A. M. Hermansson, K. Svegmak // Trends in Food Science & Technology. – 1996. – Vol. 7, № 11. – P. 345–353.
136. Hong, L. F. Physicochemical and functional properties of enzyme modified tapioca starches : thesis / L. F. Hong. – Universiti Sains Malaysia, 2007. – 158 p.

137. Hoover, R. Starch retrogradation / R. Hoover // Food reviews international. – 1995. – Vol. 11, № 2. – P. 331–346.
138. Huang, Y. Lactobacillus plantarum strains as potential probiotic cultures with cholesterol-lowering activity / Y. Huang [et al.] // Journal of dairy science. – 2023. – Vol. 96, № 5. – P. 2746–2753.
139. Ibrahim, A. The effects of various stabilizers on physiochemical properties of camel milk yoghurt / A. Ibrahim, S. Khalifa // Journal of American science. – 2015. – № 11. – P. 15–24.
140. Imamoglu, H. Influence of storage time and starches on texture attributes of conventional milk yogurt using response surface methodology / H. Imamoglu, P. C. Coggins, D. E. Rowe // International food research journal. – 2017. – № 24. – P. 1721–1727.
141. International Dairy Federation, The World Dairy Situation 2021. – URL: <https://shop.fil-idf.org/products/bulletin-of-the-idf-n-512-2021-the-world-dairy-situation-2021> (дата обращения: 16.01.2023).
142. Ishtiaq, A. Physicochemical, rheological and antioxidant profiling of yogurt prepared from non-enzymatically and enzymatically hydrolyzed potato powder under refrigeration / A. Ishtiaq [et al.] // Food science and human wellness. – 2023. – Vol. 12, № 1. – P. 69-78,
143. Jaros, D. Controlling the texture of fermented dairy products: the case of yoghurt / D. Jaros, H. Rohm // Dairy Processing. – 2003. – Vol. 3. – P. 155–184.
144. Jia, Z. Toxic effects of zearalenone on oxidative stress, inflammatory cytokines, biochemical and pathological changes induced by this toxin in the kidney of pregnant rats / Z. Jia [et al.] // Environmental toxicology and pharmacology. – 2014. – Vol. 37, № 2. – P. 580–591.
145. Jokovic, N. A survey of the lactic acid bacteria isolated from Serbian artisanal dairy product kajmak / N. Jokovic [et al.] // International journal of food microbiology. – 2008. – Vol. 127, № 3. – P. 305–311.
146. Jones, J. M. The use of fat replacers for weight loss and control / J. M. Jones, S. S. Jonnalagadda // Improving the fat content of foods / eds. C. Williams, J. Buttriss. – Woodhead Publishing, 2006. – P. 380–390.

147. Jones, M. L. Cholesterol-lowering efficacy of a microencapsulated bile salt hydrolase-active *Lactobacillus reuteri* NCIMB 30242 yoghurt formulation in hypercholesterolaemic adults / M. L. Jones [et al.] // *British journal of nutrition*. – 2011. – Vol. 107, № 10. – P. 1505–1513.

148. Juliant, E. Physicochemical and functional properties of fermented starch from four cassava varieties / E. Julianti, Z. Lubis, E. Y. Ridwansyah, I. Suhaidi // *Asian Journal of Agricultural Research*. – 2011. – Vol. 5, № 6. – P. 292–299.

149. Kalichevsky, M. T. The retrogradation and gelation of amylopectins from various botanical sources / M. T. Kalichevsky, P. D. Orford, S. G. Ring // *Carbohydrate research*. – 1990. – Vol. 198, № 1. – P. 49–55.

150. Kang, J.-H. Effects of *Lactobacillus gasseri* BNR17 on body weight and adipose tissue mass in diet-induced overweight rats / J.-H. Kang, S.-I. Yun, H.-O. Park // *The journal of microbiology*. – 2010. – Vol. 48, № 5. – P. 712–714.

151. Kang, S. M. Effect of yogurt containing deep sea water on health-related serum parameters and intestinal microbiota in mice / S. M. Kang [et. al.] // *Journal of dairy science*. – 2015. – Vol. 98, № 9. – P. 5967–5973.

152. Kanning, M. W. Improved creaminess in stirred yoghurt through amylopectin-treated starch domains / M. W. Kanning [et al.] // *International dairy journal*. – 2012. – Vol. 27, № 1–2. – P. 86–91.

153. Karim, A. A. Methods for the study of starch retrogradation / A. A. Karim, M. H. Norziah, C. C. Seow // *Food chemistry*. – 2000. – Vol. 71, № 1. – P. 9–36.

154. Kasapis, S. Developing minced fish products of improved eating quality: An interplay of instrumental and sensory texture / S. Kasapis // *International journal of food properties*. – 2009. – № 12. – P. 11–26.

155. Kaur, B. Progress in starch modification in the last decade / B. Kaur [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2012. – Vol. 26, № 2. – P. 398–404.

156. Keogh, M. K. Rheology of stirred yogurt as affected by added milk fat, protein and hydrocolloids / M. K. Keogh, B. T. O’Kennedy // *Journal of food science*. – 1998. – Vol. 63, № 1. – P. 108–112.

157. Khan, I. T. Antioxidant properties of Milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge / I. T. Khan [et al.] // *Lipids in health and disease*. – 2019. – Vol. 18, № 1. – Art. no. 41.

158. Khaneghah, A. M. Interactions between probiotics and pathogenic microorganisms in hosts and foods: A review / A.M. Khaneghah [et. al.] // *Trends in Food Science & Technology*. – 2020. – № 95. – P. 205–218.

159. Kim, S. Y. The quality characteristics, antioxidant activity, and sensory evaluation of reduced-fat yogurt and nonfat yogurt supplemented with basil seed gum as a fat substitute / S. Y. Kim [et al.] // *Journal of dairy science*. – 2019. – Vol. 103. – P. 1324–1336.

160. Kimoto, H. Cholesterol removal from media by *Lactococci* / H. Kimoto, S. Ohmomo, T. Okamoto // *Journal of dairy science*. – 2002. – Vol. 85, № 12. – P. 3182–3188.

161. Kulisic, T. Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil / T. Kulisic [et al.] // *Food chemistry*. – 2004. – № 85. – P. 633–640.

162. Kurup, G. T. Storage and drying systems / G. T. Kurup, S. K. Nanda // *Advances in horticulture*. – 1994. – Vol. 8. – P. 589–607.

163. Lal, S. N. D. Application of emulsifiers/stabilizers in dairy products of high rheology / S. N. D. Lal, C. J. O'Connor, L. Eyres // *Advances in colloid and interface science*. – 2006. – № 123–126. – P. 433–437.

164. Lan, X. Thermal and enzymatic degradation induced ultrastructure changes in canna starch: Further insights into short-range and long-range structural orders / X. Lan [et al.] // *Food hydrocolloids*. – 2016. – № 58. – P. 335–342.

165. Lankes, H. The effect of elevated milk solids and incubation temperature on the physical properties of natural yogurt / H. Lankes, H. Ozer, R. Robinson // *Milchwissenschaft*. – 1998. – Vol. 53, № 9. – P. 510–513.

166. Lertittikul, W. Characteristics and antioxidative activity of Maillard reaction products from a porcine plasma protein-glucose model system as influenced by pH / W. Lertittikul, S. Benjakul, M. Tanaka // *Food chemistry*. – 2007. – Vol. 100, № 2. – P. 669–677.

167. Lesme, H. Controlled whey protein aggregates to modulate the texture of fat-free set-type yoghurts / H. Lesme [et. al.] // International dairy journal. – 2019. – Vol. 92. – P. 28–36.

168. Lesme, H. Yogurts enriched with milk proteins: Texture properties, aroma release and sensory perception / H. Lesme [et. al.] // Trends in food science technology. – 2020. – № 98. – P. 140–149.

169. Li, X. Reducing digestibility and viscoelasticity of oat starch after hydrolysis by pullulanase from *Bacillus acidopullulyticus* / X. Li [et al.] // Food hydrocolloids. – 2018. – № 75. – P. 88–94.

170. Li, X. Wheat starch with low retrogradation properties produced by modification of the GtfB enzyme 4,6- α -glucanotransferase from *Streptococcus thermophiles* / X. Li [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. – 2018. – Vol. 66, № 15. – P. 3891–3898.

171. Liu, D.-M. The probiotic role of *Lactobacillus plantarum* in reducing risks associated with cardiovascular disease / D.-M. Liu [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. – 2017. – № 52. – P. 127–136.

172. Liu, G. Preparation and characterization of pullulanase debranched starches and their properties for drug controlled-release / G. Liu [et al.] // RSC Advances. – 2015. – Vol. 5, № 117. – P. 97066–97075.

173. Lobato-Calleros, C. Impact of native and chemically modified starches addition as fat replacers in the viscoelasticity of reduced-fat stirred yogurt / C. Lobato-Calleros [et al.] // Journal of food engineering. – 2014. – № 131. – P. 110–115.

174. Lorenzen, P. C. Effect of enzymatic cross-linking of milk proteins on functional properties of set-style yoghurt / P. C. Lorenzen [et al.] // International Journal of Dairy Technology. – 2002. – № 55. – P. 152–157.

175. Lu, W. The future trends of food hydrocolloids / W. Lu [et al.] // Food hydrocolloids. – 2020. – Vol. 103. – Art. no. 105713.

176. Lucca, A. Fat replacers and the functionality of fat in foods / A. Lucca, B. J. Tepper // Trends in food science and technology. – 1994. – № 5. – P. 12–19.

177. Lye, H.-S. Removal of cholesterol by lactobacilli via incorporation and conversion to coprostanol / H.-S. Lye, G. Rusul, M.-T. Liong // Journal of dairy science. – 2010. – Vol. 93, № 4. – P. 1383–1392.

178. Maeda, H. Structural characterization and biological activities of an exopolysaccharide kefiran produced by *Lactobacillus kefiranofaciens* WT-2BT / H. Maeda [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. – 2004. – Vol. 52, № 17. – P. 5533–5538.

179. Marrero, S. C. New trends and applications in fermented beverages / S. C. Marrero [et al.] // Fermented beverages. – Woodhead, 2019. – P. 31–66.

180. Maruyama, S. Clean label: why this ingredient but not that one? / S. Maruyama, N. A. Streletskaya, J. Lim // Food Quality and Preference. – 2020. – Vol. 87. – Art. no. 104062.

181. McCann, T. H. Microstructure, rheology and storage stability of low-fat yoghurt structured by carrot cell wall particles / T. H. McCann, F. Fabre, L. Day // Food research international. – 2011. – Vol. 44? № 4. – P. 884–892.

182. Mestres, C. Comparison of the expansion ability of fermented maize flour and cassava starch during baking / C. Mestres, O. Boungou, N. Akissoe, N. Zakhia // Journal of the science of food and agriculture. – 2000. – Vol. 80, № 6. – P. 665–672.

183. Miller, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar / G. L. Miller // Analytical chemistry. – 1959. – Vol. 31, № 3. – P. 426–428.

184. Miremadi, F. Cholesterol reduction mechanisms and fatty acid composition of cellular membranes of probiotic *Lactobacilli* and *Bifidobacteria* / F. Miremadi // Journal of functional foods. – 2014. – № 9. – P. 295–305.

185. Moorthy, S. N. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review / S. N. Moorthy // Starch/Stärke. – 2002. – Vol. 54, № 12. – P. 559–592.

186. Morell, P. Yogurts with an increased protein content and physically modified starch: rheological, structural, oral digestion and sensory properties related to enhanced satiating capacity / P. Morell [et al.] // Food research international. – 2015. – № 70. – P. 64–73.

187. Muniandy, P. Influence of green, white and black tea addition on the antioxidant activity of probiotic yogurt during refrigerated storage / P. Muniandy, A. B. Shori, A. S. Baba // Food packaging and shelf life. – 2016. – Vol. 8. – P. 1–8.
188. Murphy, P. Starch / P. Murphy // Handbook of hydrocolloids / eds. G. Philips, P. Williams. – CRC Press, 2000. – P. 41–65.
189. Nagpal, R. Probiotics, their health benefits and applications for developing healthier foods: a review / R. Nagpal [et al.] // FEMS Microbiology Letters. – 2012. – № 334. – P. 1–15.
190. Nakajima, H. Cholesterol lowering activity of ropy fermented milk / H. Nakajima, Y. Suzuki, T. Hirota // Journal of food science. – 1992. – Vol. 57, № 6. – P. 1327–1329.
191. Nguyen Phuong, T. M. Effect of different hydrocolloids on texture, rheology, tribology and sensory perception of texture and mouthfeel of low-fat pot-set yoghurt / T.M. Nguyen Phuong [et al.] // Food Hydrocolloids. – 2017. – № 72. – P. 90–104.
192. Nikitina, E. V. Effect of fermented modified potato starches to low-fat yogurt / E. V. Nikitina, R. A. Riyanto, A. Vafina [et al.] // Journal of food and nutrition research. – 2019. – Vol. 7, № 7. – P. 549–553.
193. Nikitina, E. V. Physico-chemical and antioxidant properties of skimmed varenets (slavic baked milk yogurt) mixed with enzyme-modified potato starches / E. V. Nikitina, T. A. Yurtaeva, M. S. Tsyganov, G. O. Ezhkova. – DOI 10.12944/CRNFSJ.9.1.09 // Current research in nutrition and food science. – 2021. – Vol. 9, no. 1. – P. 88–99.
194. Nikitina, E. V. Potato starch as a component increasing the antioxidant potential of yogurt / E. V. Nikitina. – DOI 10.1088/1755-1315/715/1/012072 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – № 715(1). – Art. no. ID012072.
195. Nikitina, E. V. Textural and functional properties of skimmed and whole milk fermented by novel *Lactiplantibacillus plantarum* AG10 strain isolated from silage / E. V. Nikitina [et al.] // Fermentation. – 2022. – Vol. 8, № 6. – Art. no. 290.
196. Nilsson, L. Starch in food: structure, function and applications / L. Nilsson, M. Sjöö. – 2nd edition. – Woodhead Publishing, 2018. – 916 p.

197. O'Sullivan, M. G. Chapter 3 – Reduced-fat products and challenges / M. G. O'Sullivan // Salt, fat and sugar reduction / ed. M. G. O'Sullivan. – Woodhead Publishing, 2020. – P. 63–96.

198. Oh, H. E. Effect of pH adjustment at heating on the rheological properties of acid skim milk gels with added potato starch / H. E. Oh [et al.] // International dairy journal. – 2007. – Vol. 17, № 12. – P. 1384–1392.

199. Oh, H. E. Effect of potato starch addition on the acid gelation of milk / H. E. Oh [et al.] // International dairy journal. – 2007. – Vol. 17, № 7. – P. 808–815.

200. Omodunbi Ashogbon, A. Dual modification of various starches: synthesis, properties and applications / A. Omodunbi Ashogbon // Food chemistry. – 2020. – Vol. 37. – Art. no. 128325.

201. Omojola, M. Isolation and physico-chemical characterization of cola starch / M. Omojola [et al.] // African journal of food, agriculture, nutrition and development. – 2010. – Vol. 10. – P. 2884–2900.

202. Pang, Z. Development of rheological and sensory properties of combinations of milk proteins and gelling polysaccharides as potential gelatin replacements in the manufacture of stirred acid milk gels and yogurt / Z. Pang [et al.] // Journal of food engineering. – 2015. – Vol. 169. – P. 27–37.

203. Pang, Z. Effect of polysaccharides with different ionic charge on the rheological, microstructural and textural properties of acid milk gels / Z. Pang, H. Deeth, N. Bansal // Food research international. – 2015. – № 72. – P. 62–73.

204. Pang, Z. Physicochemical properties of modified starch under yogurt manufacturing conditions and its relation to the properties of yogurt / Z. Pang [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2018. – Vol. 245. – P. 11–17.

205. Park, H. R. Structural and physicochemical properties of enzymatically modified rice starch as influenced by the degree of enzyme treatment / H. R. Park [et al.] // Journal of carbohydrate chemistry. – 2020. – P. 1–17.

206. Park, K. H. Enzymatic modification of starch for food industry / K. H. Park [et al.] // Carbohydrate-active enzymes. – Woodhead Publishing, 2008. – P. 157–183.

207. Park, S. Clean label starch: production, physico-chemical characteristics, and industrial applications / S. Park, Y. Kim // *Food science and biotechnology*. – 2021. – Vol. 30, № 1. – P. 1–17.

208. Park, S. H. Properties and applications of starch modifying enzymes for use in the baking industry / S. H. Park [et al.] // *Food science and biotechnology*. – 2017. – Vol. 27, № 5. – P. 299–312.

209. Park, Y. H. Effect of dietary inclusion of *Lactobacillus acidophilus* ATCC 43121 on cholesterol metabolism in rats / Y. H. Park [et. al.] // *Journal of microbiology and biotechnology*. – 2007. – Vol. 17, № 4. – P. 655–662.

210. Park, Y.W. Bioactive peptides in milk and dairy products: a review / Y. W. Park, M. S. Nam // *Korean journal for food science of animal resources*. – 2015. – № 35. – P. 831–840.

211. Peng, Y. Effect of fortification with various types of milk proteins on the rheological properties and permeability of nonfat set yogurt / Y. Peng [et al.] // *Journal of food science*. – 2009. – Vol. 74? № 9. – P. 666–673.

212. Pereira, D. I. A. Cholesterol assimilation by lactic acid bacteria and bifidobacteria isolated from the human gut / D. I. A. Pereira, G. R. Gibson // *Applied and environmental microbiology*. – 2002. – Vol. 68, № 9. – P. 4689–4693.

213. Phillips, G. O. *Handbook of hydrocolloids* / G. O. Phillips, P. A. Williams. – 2nd edition. – New Delhi : Woodhead, 2009. – 948 p.

214. Pigeon, R. M. Binding of free bile acids by cells of yogurt starter culture bacteria / R. M. Pigeon, E. P. Cuesta, S. E. Gilliland // *Journal of dairy science*. – 2002. – Vol. 85, № 11. – P. 2705–2710.

215. Pirsá, S. Hydrocolloids: structure, preparation method, and application in food industry / S. Pirsá, K. Hafezi. – DOI 10.1016/j.foodchem.2022.133967 // *Food chemistry*. – 2023. – Vol. 399. – Art. no. 133967.

216. Pothuraju, R. Fermented milk in protection against inflammatory mechanisms in obesity / R. Pothuraju [et al.] // *Immunity and inflammation in health and disease*. – Academic Press, 2018. – P. 389–401.

217. Prajapat, JB. A. P. Food and health applications of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria / JB. A. P. Prajapat // *Advances in dairy research*. – 2013. – Vol. 1, № 2. – Art. no. 107.

218. Prasanna, P. H. P. Bifidobacteria in milk products: an overview of physiological and biochemical properties, exopolysaccharide production, selection criteria of milk products and health benefits / P. H. P. Prasanna, A. S. Grandison, D. Charalampopoulos // *Food research international*. – 2014. – Vol. 55. – P. 247–262.

219. Purcell, S. Enzyme-modified starch as an oil delivery system for bake-only chicken nuggets / S. Purcell, Y.-J. Wang, H.-S. Seo // *Journal of Food Science*. – 2014. – Vol. 79, № 5. – P. 802–809.

220. Qin, S. Probiotic potential of *Lactobacillus* isolated from horses and its therapeutic effect on DSS-induced colitis in mice / S. Qin [et al.] // *Microbial Pathogenesis*. – 2022. – Vol. 165. – Art. no. 105216.

221. Rengsutthi, K. Physico-chemical properties of jackfruit seed starch (*Artocarpus heterophyllus*) and its application as a thickener and stabilizer in chilli sauce / K. Rengsutthi, S. Charoenrein // *LWT – Food Science and Technology*. – 2011. – Vol. 44, № 5. – P. 1309–1313.

222. Riaz, M. S. *Lactobacillus* exopolysaccharides: new perspectives on engineering strategies, physiochemical functions, and immunomodulatory effects on host health / M. S. Riaz Rajoka // *Trends in Food Science & Technology*. – 2020. – № 103. – P. 36–48.

223. Rukunudin, I. H. A modified method for determining free fatty acids from small soybean sample sizes / I. H. Rukunudin [et al.] // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. – 1998. – № 75. – P. 563–568.

224. Sadowska-Bartosz, I. Evaluation of the antioxidant capacity of food products: methods, applications and limitations / I. Sadowska-Bartosz, G. Bartosz // *Processes*. – 2022. – Vol. 10, № 10. – Art. no. 2031.

225. Sakandar, H. A. Trends in probiotic(s)-fermented milks and their *in vivo* functionality: a review / H.A. Sakandar, H. Zhang // *Trends in Food Science & Technology*. – 2021. – № 110. – P. 55–65.

226. Sallam, K. I. Antioxidants and antimicrobial effects of garlic in chicken sausage / K. I. Sallam, M. Ishioroshi, K. Samejima // *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*. – 2004. – № 37. – P. 849–855.

227. Sandoval-Castilla, O. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers / O. Sandoval-Castilla [et al.] // *International dairy journal*. – 2004. – Vol. 14, № 2. – P. 151–159.

228. Schaafsma, G. Effects of a milk product, fermented by *Lactobacillus acidophilus* and with fructo-oligosaccharides added, on blood lipids in male volunteers / G. Schaafsma [et al.] // *European journal of clinical nutrition*. – 1998. – Vol. 52, № 6. – P. 436–440.

229. Schmedes, A. A new thiobarbituric acid (TBA) method for determining freemalondialdehyde (MDA) and hydroperoxides selectively as a measure of lipidperoxidation / A. Schmedes, G. Homer // *Journal of the American oil chemists' society*. – 1989. – № 66. – P. 813–817.

230. Schmidt, K. A. Modified wheat starches used as stabilizers in set-style yogurt / K. A. Schmidt, T. J. Herald, K. A. Khatib // *Journal of Food Quality*. – 2001. – Vol. 24, № 5. – P. 421–434.

231. Schmiele, M. Starches for food application / M. Schmiele // *Chemical, technological and health properties* / ed. M. Schmiele. – Elsevier Science, 2018. – 460 p.

232. Shakya, M. Recent advances in microbial diversity usage in fermented dairy microbial products / M. Shakya, P. Verma, S. Sandhu // *Advances in dairy microbial products* / ed. S. Mridul. – Woodhead, 2022. – P. 19–39.

233. Singla, D. Taro starch: isolation, morphology, modification and novel applications concern – a review / D. Singla [et al.] // *International journal of biological macromolecules*. – 2020. – Vol. 163. – P. 1283–1290.

234. Smith, A. M. What controls the amount and structure of starch in storage organs? / A. M. Smith, K. Denyer, C. R. Martin // *Plant physiology*. – 1995. – Vol. 107, № 3. – P. 673–677.

235. Sneh, P. B. Enzymatic modification of starch: a green approach for starch applications / P. B. Sneh [et al.] // *Carbohydrate polymers*. – 2022. – Vol. 287. – Art. no. 119265.
236. Stobiecka, M. Antioxidant activity of milk and dairy products / M. Stobiecka J. Król, A. Brodziak // *Animals (Basel)*. – 2022. – Vol. 12, № 3. – Art. no. 245.
237. Stokes, J. R. Oral processing, texture and mouthfeel: From rheology to tribology and beyond / J. R. Stokes, M. W. Boehm, S. K. Baier // *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. – 2013. – Vol. 18, № 4. – P. 349–359.
238. Surono, S. Fermented Milks | Starter Cultures / S. Surono, A. Hosono // *Encyclopedia of dairy sciences*. – Woodhead, 2011. – P. 477–482.
239. Szczesniak, A. S. Texture is a sensory property / A. S. Szczesniak // *Food quality and preference*. – 2002. – Vol. 13, № 4. – P. 215–225.
240. Taheur, F. B. Does probiotic Kefir reduce dyslipidemia, hematological disorders and oxidative stress induced by zearalenone toxicity in wistar rats? / F. B. Taheur [et al.] // *Toxicon: X*. – 2022. – Vol. 14. – P. 100–121.
241. Tamime, A. Y. Biochemistry of fermentation / A. Y. Tamime, R. K. Robinson // *Tamime and Robinson's Yoghurt*, third edition. – Woodhead, 2007. – P. 535–607.
242. Tamime, A. Y. Starter cultures / A. Y. Tamime, A. Skriver, L. E. Nilsson // *Fermented milk* / ed. A. Y. Tamime. – Blackwell, 2006. – P. 11–25.
243. Tamime, A. Y. The effect of starch based fat substitutes on the microstructure of set-style yogurt made from reconstituted skimmed milk powder / A. Y. Tamime, E. Barrantes, A. M. Sword // *International journal of dairy technology*. – 1996. – Vol. 49, № 1. – P. 1–10.
244. Tamime, A. Y. Traditional and recent developments in yoghurt production and related products / A. Y. Tamime, R. K. Robinson // *Tamime and Robinson's Yoghurt*, third edition. – Woodhead, 2007. – P. 348–467.
245. Torres, I. C. Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer / I. C. Torres [et al.] // *International dairy journal*. – 2018. – № 81. – P. 62–71.

246. Tsyganov, M. S. Cassava starch as an effective texture corrector of fat-free dairy products based on symbiotic starter culture / M. S. Tsyganov, G. O. Ezhkova, E. V. Nikitina, M. A. Kharitonova. – DOI 10.1155/2022/1087043 // International journal of food science. – 2022. – Vol. 2022. – Art. no. 1087043.

247. Tuoc, T. K. On the texture profile analysis test / T. K. Tuoc, S. Glasgow. – 2012. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/316093466> (дата обращения: 19.12.2022).

248. Urdaneta, E. Intestinal beneficial effects of kefir-supplemented diet in rats / E. Urdaneta [et al.] // Nutrition research. – 2007. – Vol. 27, № 10. – P. 653–658.

249. Usta, B. Antioxidant enzymes of milk and their biological effects / B. Usta, L. Yilmaz-Ersan // Agric faculty of Uludag university. – 2013. – Vol. 2. – P. 123–130.

250. Vafina, A. Physicochemical and morphological characterization of potato starch modified by bacterial amylases for food industry applications / A. Vafina [et al.] // Journal of chemistry. – 2018. – № 3. – P. 1–9.

251. Van Der Maarel, M. J. Properties and applications of starch-converting enzymes of the α -amylase family / M. J. Van Der Maarel [et al.] // Journal of biotechnology. – 2002. – Vol. 94, № 2. – P. 137–155.

252. Vaningelgem, F. Biodiversity of exopolysaccharides produced by *Streptococcus thermophilus* strains is reflected in their production and their molecular and functional characteristics / F. Vaningelgem // Applied and environmental microbiology. – 2004. – № 70. – P. 900–912.

253. Vankudre, M. Comparative analysis of α -amylase inhibition and antioxidant activity of whey from cow and buffalo milk fermented with *Lactobacillus* species / M. Vankudre, A. Balpande, M. Athale // Bioscience biotechnology research communications. – 2015. – № 8. – P. 25–28.

254. Vasanthan, T. Barley starch: Production, properties, modification and uses / T. Vasanthan, R. Hoover // Starch: chemistry and technology / eds. J. BeMiller, R. Whistler. – New York : Academic Press, 2009. – P. 601–628.

255. Walther, B. Menaquinones, bacteria, and the food supply: the relevance of dairy and fermented food products to vitamin K requirements / B. Walther [et al.] // *Advances in nutrition*. – 2013. – Vol. 4, № 4. – P. 463–473.

256. Wan, Z. Strategies for lowering the added sugar in yogurts / Z. Wan [et al.] // *Food chemistry*. – 2021. – № 344. – Art. no. 128573.

257. Wang, Q. Food carbohydrates chemistry, physical properties and applications / Q. Wang, S.W. Cui // *Food carbohydrates*. – Boca Raton : CRC Press, 2005. – P. 2–43.

258. Widyastuti, Y. Health-Promoting Properties of Lactobacilli in Fermented Dairy Products / Y. Widyastuti, A. Febrisiantosa, F. Tidona // *Frontiers in microbiology*. – 2021. – Vol. 12. – Art. no. 673890.

259. Williams, P. A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours / P. Williams, F. D. Kuzina, I. Hlynka // *Cereal chemistry*. – 1970. – Vol. 47. – P. 411–413.

260. Williams, R. P. W. Properties of stirred yogurts with added starch: effects of alterations in fermentation conditions / R. P. W. Williams, O. Glagovskaia, M. A. Augustin // *Australian journal of dairy technology*. – 2003. – № 58. – P. 228–232.

261. Wong, S.-S. Starch swelling behavior and texture development in stirred yogurt / S.-S. Wong [et al.] // *Food hydrocolloids*. – 2019. – Vol. 98. – Art. no. 105274.

262. Woo, S.-H. Development of freeze-thaw stable starch through enzymatic modification / S.-H. Woo [et al.] // *Foods*. – 2021. – № 10. – Art. no. 2269.

263. Wu, W. Effects of extrusion technology combined with enzymatic hydrolysis on the structural and physicochemical properties of porous corn starch / W. Wu [et al.] // *Food and Bioprocess Technology*. – 2020. – Vol. 13, № 1–2. – P. 1–10.

264. Xie, N. Effects of two *Lactobacillus* strains on lipid metabolism and intestinal microflora in rats fed a high-cholesterol diet / N. Xie [et al.] // *BMC complementary and alternative medicine*. – 2011. – Vol. 11, № 1. – Art. no. 53.

265. Yaakob, H. Optimization of ingredient and processing levels for the production of coconut yogurt using response surface methodology / H. Yaakob [et al.] // *Food science and biotechnology*. – 2012. – № 21. – P. 933–940.

266. Yang, Z. Effect of porous waxy rice starch addition on acid milk gels: Structural and physicochemical functionality / Z. Yang [et al.] // *Food hydrocolloids*. – 2020. Vol. 12. – Art. no. 106092.
267. Yazdanparast, R. In vitro antioxidant and free radical scavenging activity of *Cyperus rotundus* / R. Yazdanparast, A. Ardestani // *Journal of medicinal food*. – 2007. – № 10. – P. 667–674.
268. Yerlikaya, O. Probiotic potential and biochemical and technological properties of *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* strains isolated from raw milk and kefir grains / O. Yerlikaya // *Journal of Dairy Science*. – 2019. – № 102. – P. 124–134.
269. Yousefi, M. Recent advances in application of different hydrocolloids in dairy products to improve their techno-functional properties / M. Yousefi, S. M. Jafari // *Trends in Food Science & Technology*. – 2019. – Vol. 88, № 2. – P. 468–483.
270. Zhang, H. Characterization of a yogurt-quality improving exopolysaccharide from *Streptococcus thermophiles* / H. Zhang [et al.] // *Food hydrocolloids*. – 2018. – № 81. – P. 220–228.
271. Zhang, Z. Recent advances in modification approaches, health benefits, and food applications of resistant starch / Z. Zhang, J. Bao // *Starch/Stärke*. – 2021. – Vol. 75, iss. 9–10. – Art. no. 2100141.
272. Zhao, Y. Application of different hydrocolloids as fat replacer in low-fat dairy products: Ice cream, yogurt and cheese / Y. Zhao [et al.] // *Food hydrocolloids*. – 2023. – Vol. 138. – Art. no. 108493.
273. Zhong, Z. *Lactobacillus casei* Zhang stimulates lipid metabolism in hypercholesterolemic rats by affecting gene expression in the liver / Z. Zhong [et al.] // *European journal of lipid science and technology*. – 2012. – Vol. 114, № 3. – P. 244–252.
274. Zhu, F. Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch / F. Zhu // *Carbohydrate polymers*. – 2015. – № 122. – P. 456–480.
275. Zhu, H. Physicochemical, sensory, and antioxidant characteristics of stirred-type yogurt enriched with *Lentinula edodes* stipe powder / H. Zhu, Z. Chen, G. Li [et al.] // *Food Science & Nutrition*. – 2023. – № 11 (10). – P. 6231–6240.

276. Zia-ud-Din. Physical and chemical modification of starches: a review / Zia-ud-Din, H. Xiong, P. Fei // *Critical reviews in food science and nutrition*. – 2015. – Vol. 57, № 12. – P. 2691–2705.

277. Zuo, J. Y. Effect of the extent of pasting on the dynamic rheological properties of acidified skim milk gels containing normal rice starch / J. Y. Zuo [et al.] // *Food hydrocolloids*. – 2008. – Vol. 22, № 8. – P. 1567–1573.

Приложение А (обязательное)

Акты выработки продукции



УДВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора
ООО "Казанский молочный комбинат"
Габдрахимов А.Ф.
2019 г.

АКТ

выработки опытной партии йогурта обезжиренного с включением крахмального полисахарида повышенной резистентности в промышленных условиях на ООО "Казанский молочный комбинат"

Настоящий акт составлен в том, что 15 марта 2019 г. на технологической линии ООО "Казанский молочный комбинат" была выработана партия йогурта обезжиренного с компонентами, соответствующего ГОСТу Р 51331-99. Выработка проводилась по классической технологии термостатного способа производства.

Для производства йогурта обезжиренного с включением крахмального полисахарида повышенной резистентности использовали молоко коровье сырое по ГОСТ Р 52054, которое в процессе технологической обработки сепарировали с получением обезжиренного молока. Обезжиренное молоко после внесения крахмала и пастеризации непосредственно использовали для производства обезжиренного йогурта. В качестве крахмального полисахарида использовали тапиоковый крахмал, который был модифицирован бактериальным препаратом Амилосубтилином®, название крахмала АМ-0.05. Ферментно модифицированный крахмал соответствовал ГОСТу Р 53876-2010, как 1 сорт, был более устойчивым к действию панкреатической альфа-амилазы. Тапиоковый ферментно модифицированный крахмала АМ-0.5 был получен на кафедре Технологии мясных и молочных продуктов Казанского национального исследовательского технологического университета. Использовали закваски бактериальные и бакконцентраты для йогурта по нормативным и техническим документам, утвержденным в установленном порядке.

Дегустационная оценка новых обезжиренных йогуртов с включением крахмального полисахарида повышенной резистентности осуществлялась по следующим показателям: внешний вид, запах, консистенция, вкус. Дегустационный анализ показал, что разработанные йогурты обезжиренные с включением крахмального полисахарида повышенной резистентности имели высокие оценки по органолептическим показателям.

Комиссия одобрила работу по применению ферментно модифицированных крахмалов в технологии йогуртов обезжиренных термостатных. Эта технология рекомендована к внедрению на ООО "Казанский молочный комбинат"

Представители ООО "Казанский молочный комбинат"
Руководитель группы качества

М.Е.Ахметзянова

Технолог

М.А.Егорова

Представители ФГБОУ ВО "КНИТУ"

к.б.н., доцент кафедры ТММП

Е.В. Никитина

д.б.н., профессор кафедры ТММП

Г.О. Ежкова

к.т.н., доцент кафедры ТММП

Э.Ш. Юнусов

аспирант кафедры ТММП

М.С. Цыганов



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора
ООО "Казанский молочный комбинат"

Габдрахимов А.Ф.

2019 г.

АКТ

выработки опытной партии йогурта обезжиренного с включением крахмального полисахарида повышенной резистентности в промышленных условиях на ООО "Казанский молочный комбинат"

Настоящий акт составлен в том, что 12 марта 2019 г. на технологической линии ООО "Казанский молочный комбинат" была выработана партия симбилакта обезжиренного с компонентами, соответствующего ГОСТу Р 51331-99. Выработка проводилась по классической технологии термостатного способа производства.

Для производства йогурта обезжиренного с включением крахмального полисахарида повышенной резистентности использовали молоко коровье сырое по ГОСТ Р 52054, которое в процессе технологической обработки сепарировали с получением обезжиренного молока. Обезжиренное молоко после внесения крахмала и пастеризации непосредственно использовали для производства обезжиренного йогурта. В качестве крахмального полисахарида использовали тапиоковый крахмал, который был модифицирован бактериальным препаратом Амилосубтилином®, название крахмала АМ-0.5. Ферментно модифицированный крахмал соответствовал ГОСТу Р 53876-2010, как 1 сорт, был более устойчивым к действию панкреатической альфа-амилазы. Тапиоковый ферментно модифицированный крахмала АМ-0.5 получен на кафедре Технологии мясных и молочных продуктов Казанского национального исследовательского технологического университета. Использовали закваски бактериальные для симбилакта по нормативным и техническим документам, утвержденным в установленном порядке.

Дегустационная оценка нового обезжиренного симбилакта с включением крахмального полисахарида повышенной резистентности осуществлялась по следующим показателям: внешний вид, запах, консистенция, вкус. Дегустационный анализ показал, что разработанный безжиренного симбилакта с включением крахмального полисахарида повышенной резистентности имел высокие оценки по органолептическим показателям.

Комиссия одобрила работу по применению ферментно модифицированных крахмалов в технологии симбилакта обезжиренного термостатного. Эта технология рекомендована к внедрению на ООО "Казанский молочный комбинат"

Представители ООО "Казанский молочный комбинат"

Руководитель группы качества

М.Е.Ахметзянова

Технолог

М.А.Егорова

Представители ФГБОУ ВО "КНИТУ"

к.б.н., доцент кафедры ТММП

Е.В. Никитина

д.б.н., профессор кафедры ТММП

Г.О. Ежкова

к.т.н., доцент кафедры ТММП

Э.Ш. Юнусов

аспирант кафедры ТММП

М.С. Цыганов

Приложение Б (обязательное)

Анкета-опросник для мониторинга предпочтений респондентов

Анкета

*Обязательный вопрос

1. Ваш пол *

Отметьте только один овал.

- Женский
 Мужской

2. Ваш возраст *

Отметьте только один овал.

- до 18 лет
 18 - 30 лет
 31 - 50 лет
 более 50 лет

7. Удовлетворяет ли Вас **"запах и вкус"** обезжиренных кисломолочных продуктов реализуемых в Казани? *

Отметьте только один овал.

- Да
 Нет

8. Удовлетворяет ли Вас **"консистенция (текстура) и цвет"** обезжиренных кисломолочных продуктов реализуемых в Казани? *

Отметьте только один овал.

- Да
 Нет

9. Удовлетворяет ли Вас **"внешний вид"** обезжиренных кисломолочных продуктов реализуемых в Казани? *

Отметьте только один овал.

- Да
 Нет

10. Укажите наиболее часто встречающиеся дефекты / недостатки приобретаемой кисломолочной продукции *

11. Важно ли вам наличие наполнителей (ягод, фруктов, плодов и их производных) в йогуртах? *

Отметьте только один овал.

- Да
 Нет

3. Какой вид (жирность) йогурта Вы предпочитаете? *

Отметьте только один овал.

- Обезжиренный - 0,1-0,5%
 Маложирный - 0,5-1,5 %
 Полужирный - 1,5-2,5 %
 Классические - 2,5-4,5 %
 Жирные - более 4,5 %

4. Какой вид йогурта Вы предпочитаете? *

Отметьте только один овал.

- Питьевой (жидкий, в бутылках)
 Термостатный (густой, в стаканчиках)

5. Как часто Вы употребляете кисломолочные продукты (и йогурт в том числе)? *

Отметьте только один овал.

- Раз в месяц
 Раз в две недели
 Раз в одну неделю
 Раз в три-четыре дня
 Раз в один-два дня
 Ежедневно

6. Что для Вас наиболее важно при выборе йогурта? *

Отметьте все подходящие варианты.

- Натуральность (отсутствие химических добавок, консервантов, обозначающихся буквой Е)
 Текстура и густота (вязкость, сопротивление во рту при разжевывании)
 Жирность (как и самого йогурта, так и масложировые ощущения во рту)
 Вкус (и в том числе запах)
 Стоимость и вес (масса нетто)

12. Какой йогурт Вы предпочитаете? *

Отметьте только один овал.

- С сахаром
 С подсластителем (заменители сахаров, например, изомальт, аспартам, стевия, эритритол и другие)
 Без сахара / без подсластителя

13. Какой тип йогурта Вы предпочтете? *

Отметьте только один овал.

- Йогурт термостатный (в стаканчиках) натуральный без наполнителей
 Йогурт термостатный (в стаканчиках) с фруктовыми/ ягодными / плодовыми добавками
 Йогурт питьевой (в бутылках) натуральный без наполнителей
 Йогурт питьевой (в бутылках) с фруктовыми/ ягодными / плодовыми добавками

14. Приобрели бы Вы йогурт с загустителями, стабилизаторами (добавки с Е-кодами)? *

Отметьте только один овал.

- Да
 Нет

15. Читаете ли Вы состав йогурта? *

Отметьте только один овал.

- Да
 Нет

16. Покупаете ли Вы йогурты или другие кисломолочные продукты богатые белком, с отсутствием жира? *
- Отметьте только один овал.
- Да
 Нет
17. Верно ли утверждение, что йогурты могут употреблять люди с непереносимостью лактозы? *
- Отметьте только один овал.
- Да
 Нет
 Не знаю
18. Верно ли утверждение, что йогурты положительно влияют на пищеварительную и сердечно-сосудистую систему, избавляют организм от патогенных микроорганизмов, способствуют развитию полезных микроорганизмов в желудочно-кишечном тракте человека? *
- Отметьте только один овал.
- Да
 Нет
 Не знаю
19. Верно ли утверждение, что йогурты усиливают работу иммунной системы, помогают организму противостоять простудным заболеваниям и рекомендованы к употреблению после лечения антибиотиками? *
- Отметьте только один овал.
- Да
 Нет
 Не знаю
20. Верно ли утверждение, что йогурты богаты белком, витаминами (В12, В5, В3, А, С) и минеральными компонентами (Са (кальций), К (калий), I (йод), Р (фосфор), Mg (магний), F (фтор), Fe (железо), Zn (цинк)? *
- Отметьте только один овал.
- Да
 Нет
 Не знаю
21. Верно ли утверждение, что йогурты положительно влияют на нервную систему, способствуют снижению выраженности депрессии и прочих психических расстройств? *
- Отметьте только один овал.
- Да
 Нет
 Не знаю
22. Верно ли, что химические загустители Е1442 (дикрахмалфосфат оксипропилированный) и Е1422 (дикрахмаладипат ацетилованный), используемые в современных йогуртах, вредны? *
- Отметьте только один овал.
- Да
 Нет
 Не знаю
23. А вы знали, что добавки Е1442 и Е1422 условно безопасны? (тесты на мышах показали побочные эффекты: уменьшение роста и веса, увеличение печени, диарею, минерализацию почек, уменьшение адсорбции цинка и железа (анемия и задержка в развитии). *
- Отметьте только один овал.
- Да, знал ранее
 Нет, узнал сейчас
 Нет, не интересуюсь этой темой
24. Встречался ли вам термостатный обезжиренный йогурт (0,1%) без наполнителей и подсластителей, без химически модифицированных крахмалов, желатина, в качестве загустителей, на полках магазина? *
- Отметьте только один овал.
- Да
 Не обращал внимания
 Нет
25. Купили бы Вы йогурт функционального назначения (повышающим сопротивление организма, восстанавливающим его и пригодным в лечебном, диетическом и спортивном питании) с низким содержанием жира (0,1-1,5 %) и наличием лишь био- загустителей, безвредных для организма? *
- Отметьте только один овал.
- Да
 Нет
 Не знаю

Приложение В

(обязательное)

Значения отклика для двухфакторного эксперимента

Таблица В.1 – Значения отклика для двухфакторного эксперимента

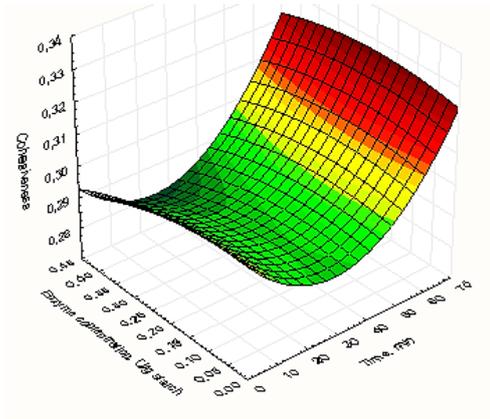
Показатель	№ варианта опыта															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Время, мин – Активность, У/г крахмала	0–0	0–0,1	15–0,1	30–0,1	45–0,1	60–0,1	0–0,2	15–0,2	30–0,2	45–0,2	60–0,2	0–0,4	15–0,4	30–0,4	45–0,4	60–0,4
Твердость, г	35,55	34,85	36,10	35,55	35,95	35,70	35,65	36,30	35,50	36,30	36,45	33,65	35,50	35,00	35,35	35,25
Когезия	0,31	0,31	0,31	0,29	0,28	0,29	0,28	0,28	0,28	0,33	0,34	0,31	0,29	0,28	0,28	0,30
Скорректиро- ванная когезия	0,24	0,26	0,28	0,22	0,23	0,24	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,22	0,22	0,25
Сила адгезии, г	–6,20	–6,05	–6,40	–6,35	–6,40	–6,55	–6,50	–6,50	–6,65	–6,55	–6,75	–5,70	–6,30	–6,55	–6,55	–6,10
Адгезия, г·с	20,18	20,83	22,69	22,44	23,46	24,85	25,68	23,57	25,40	24,23	24,78	19,23	22,93	24,07	25,87	23,44
Эластичность	0,54	0,49	0,45	0,41	0,43	0,44	0,39	0,40	0,42	0,39	0,40	0,54	0,44	0,43	0,41	0,49
Клейкость, г	11,04	10,80	11,25	10,11	10,18	10,30	9,81	10,33	9,76	12,04	12,32	10,35	10,37	9,78	9,88	10,64
Упругость, мм	13,42	12,78	12,54	12,07	12,40	12,20	13,29	13,41	13,38	13,59	13,59	14,02	12,97	13,08	12,69	13,71
Тягучесть, мм	6,44	6,42	6,79	6,94	6,79	7,13	7,29	6,80	7,13	6,95	7,17	6,28	6,84	7,02	7,28	6,90
Разжевывае- мость, г·мм	148,30	138,04	141,44	122,36	126,40	125,78	130,35	138,56	130,69	163,30	166,90	145,26	134,51	127,82	125,37	145,92
Вязкость, мПа/с	2 076,0	2 413,6	2 855,4	2 952,6	2 915,3	2 700,1	2 820,5	2 798,9	2 924,7	3 221,5	3 032,1	2 931,4	2 813,3	2 794,5	2 746,1	2 579,1
Синерезис, %	17,70	16,00	9,74	8,62	8,97	10,75	10,07	8,23	7,07	7,52	7,28	8,69	7,09	6,35	6,38	6,44
ВУС, %	44,11	29,01	31,29	32,32	32,26	31,70	30,40	30,48	30,82	32,11	32,00	30,13	30,69	31,53	31,78	33,13

Таблица В.2 – Взаимозависимость и корреляция параметров

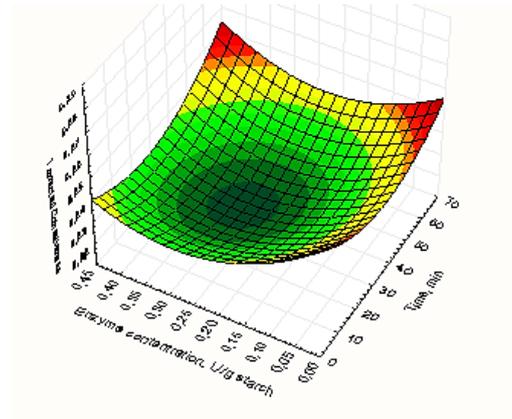
Параметр	Твердость	Когезия	Скорректи- рованная когезия	Сила адгезии	Адгезия	Эластичность	Клейкость	Упругость	Тягучесть	Разжевы- ваемость	Вязкость,	Синерезис	ВУС
Твердость	1,000	0,179	-0,095	-0,770	0,547	-0,674	0,440	-0,220	0,501	0,241	0,253	-0,113	0,122
Когезия	0,179	1,000	0,346	0,150	-0,354	0,236	0,962	0,382	-0,346	0,912	0,067	0,217	0,204
Скорректированная когезия	-0,095	0,346	1,000	0,420	-0,426	0,506	0,272	-0,197	-0,435	0,114	-0,388	0,375	-0,007
Сила адгезии	-0,770	0,150	0,420	1,000	-0,856	0,834	-0,087	0,246	-0,835	0,043	-0,379	0,364	0,075
Адгезия	0,547	-0,354	-0,426	-0,856	1,000	-0,823	-0,158	-0,171	0,968	-0,198	0,426	-0,571	-0,307
Эластичность	-0,674	0,236	0,506	0,834	-0,823	1,000	0,019	0,262	-0,799	0,130	-0,664	0,549	0,435
Клейкость	0,440	0,962	0,272	-0,087	-0,158	0,019	1,000	0,298	-0,163	0,904	0,139	0,156	0,216
Упругость	-0,220	0,382	-0,197	0,246	-0,171	0,262	0,298	1,000	-0,221	0,677	0,031	-0,124	0,112
Тягучесть	0,501	-0,346	-0,435	-0,835	0,968	-0,799	-0,163	-0,221	1,000	-0,223	0,416	-0,571	-0,246
Разжевываемость	0,241	0,912	0,114	0,043	-0,198	0,130	0,904	0,677	-0,223	1,000	0,124	0,060	0,222
Вязкость	0,253	0,067	-0,388	-0,379	0,426	-0,664	0,139	0,031	0,416	0,124	1,000	-0,750	-0,615
Синерезис	-0,113	0,217	0,375	0,364	-0,571	0,549	0,156	-0,124	-0,571	0,060	-0,750	1,000	0,522
ВУС	0,122	0,204	-0,007	0,075	-0,307	0,435	0,216	0,112	-0,246	0,222	-0,615	0,522	1,000

Приложение Г
(обязательное)

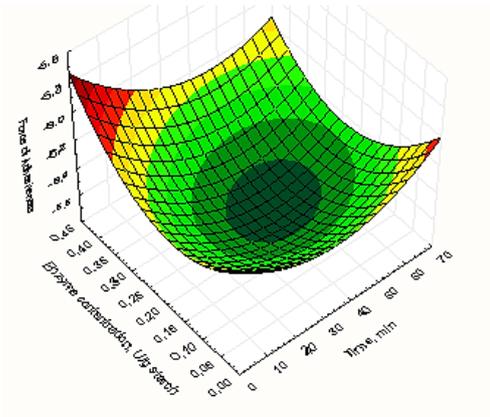
Дополнительные графики значений отклика системы АПТ продукта
по математической модели



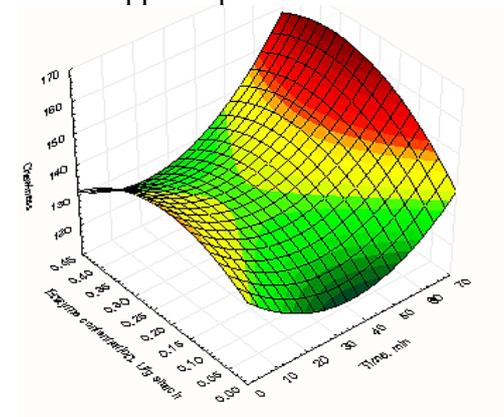
Когезия



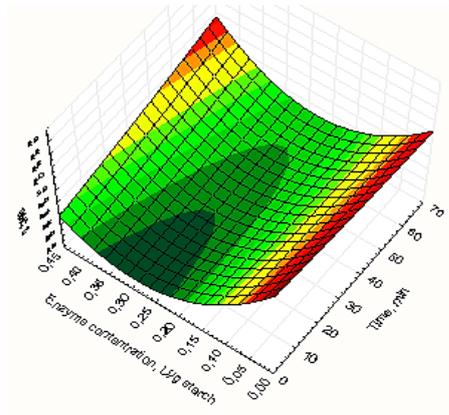
Скорректированная когезия



Сила адгезии



Разжевываемость



ВУС