

На правах рукописи

ВАХРУШЕВА ДАРЬЯ СЕРГЕЕВНА

**РАЗРАБОТКА БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ УЛУЧШЕНИЯ
ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ СЫРОВ Пониженной
Жирности**

Специальность 4.3.3 – Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 2024

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте маслоделия и сыроделия – филиале Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Научный руководитель: доктор технических наук
Свириденко Галина Михайловна

Официальные оппоненты: **Ганина Вера Ивановна**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)»,
Проблемная научно-исследовательская лаборатория «Конструирование и внедрение продуктов и рационов персонализированного питания», ведущий научный сотрудник

Симоненко Елена Сергеевна
кандидат технических наук,
НИИ детского питания – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», отдел прогнозирования технологических исследований и инновационного развития, начальник отдела

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности»

Защита диссертации состоится «16» мая 2024 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета 24.1.257.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук по адресу: 109316, Москва, ул. Талалихина, д.26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте www.vniimp.ru ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им В.М. Горбатова» РАН.

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

А. Н. Захаров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время важное место в структуре сбалансированного питания занимают продукты со сниженным содержанием насыщенных жирных кислот и повышенным содержанием белка, что закономерно ведет к возрастающему спросу на сыры с редуцированной калорийностью за счет пониженного содержания жира. К этой категории относятся сыры с содержанием жира в СВ в диапазоне от 10,0 % до 44,9 %, относящиеся к группам полужирных и низкожирных сыров. Повышенное содержание полноценного белка и низкая энергетическая ценность за счет снижения содержания жира делает их продуктом диетического питания.

Однако сыры с редуцированной калорийностью, производимые по существующим традиционным технологиям, обычно имеют такие значимые недостатки органолептических показателей, как излишне кислый, горький, посторонний вкус и недостаточно выраженные сырный и сливочный вкус и аромат. По общему вкусовому букету данные сыры значительно уступают полножирным сырам. Помимо риска появления пороков вкуса пониженное содержание жира негативно сказывается на формировании структуры сырной массы и является причиной грубой и резиновой консистенции сыров. Исследования потребительских предпочтений убедительно показывают, что большинство покупателей отдадут предпочтение полножирным сырам за счет их органолептических характеристик. Следовательно, поиск способов достижения потребительских характеристик сыров пониженной жирности, не уступающих полножирным аналогам, является актуальным. Наиболее перспективным направлением исследований можно считать использование биотехнологических приемов, хорошо интегрируемых в технологию сыров.

Степень разработанности темы. Большой вклад в изучение, разработку и совершенствование технологии сыров пониженной жирности внесли отечественные и зарубежные ученые, такие как Раманаускас Р.И., Песецкас Д.Б., Балинскяйте Р.П., Жаренов Д.А., Banks J. M., Mistry V. V., Fenelon M. A, и др. В советское время учеными Литовского филиала ВНИИМС разработаны и внедрены технологии производства полутвердых сыров пониженной жирности: Клайпедский, Прибалтийский, Каунасский, Литовский и др.

Целью работы является разработка технологии сыров пониженной жирности с улучшенными органолептическими характеристиками за счет использования биотехнологических приемов, включающих подбор комбинаций заквасочных культур целевого назначения.

Для реализации поставленной цели сформулированы следующие **задачи**:

1. Разработать комбинации заквасочных микроорганизмов целевого назначения с учетом технологических режимов производства для улучшения органолептических показателей сыра путем углубления ферментативных процессов на этапе созревания и получения линейки сыров пониженной жирности с различным органолептическим профилем.

2. Провести серии экспериментальных выработок сыров с использованием разработанных комбинаций заквасочной микрофлоры и модернизиро-

вать технологические режимы производства для направленного регулирования ферментативных процессов.

3. Установить закономерности развития заквасочных микроорганизмов в процессе выработки и созревания сыров пониженной жирности в зависимости от используемых технологических приемов производства.

4. Исследовать возможность использования протеолитических и липолитических ферментов с целью улучшения органолептических показателей сыров пониженной жирности.

5. Разработать технологию сыров с массовой долей жира в сухом веществе 30 % и 20 % с улучшенным органолептическим профилем.

Научная новизна. Получены зависимости динамики ферментативных процессов гликолиза, протеолиза и накопления вкусоароматических веществ, а также реологических показателей в сырах пониженной жирности от видового состава заквасочной микрофлоры. Теоретически и экспериментально обоснована возможность достижения улучшенных органолептических характеристик сыров пониженной жирности, за счет комплексного применения биотехнологических приемов.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость работы заключается в обосновании возможности улучшения органолептического профиля сыров пониженной жирности за счет усовершенствования биотехнологических приемов, включающих подбор заквасочных культур целевого назначения.

Практическая значимость работы заключается в разработке комплекта технической документации, включающего СТО и Технологическую инструкцию по производству полутвердых сыров пониженной жирности с улучшенными потребительскими характеристиками. Осуществлена опытно-промышленная апробация разработанной технологии на АО «Маслозавод «Починковский».

Методология и методы исследования. Использованы общепринятые и специальные микробиологические, физико-химические и органолептические методы исследований, а также статистические методы обработки результатов.

Положения, выносимые на защиту:

– теоретическое обоснование подбора заквасочных культур целевого назначения, обладающих специфическим метаболизмом, с учетом их физиолого-биохимических свойств для улучшения органолептического профиля сыров пониженной жирности;

– результаты экспериментальных исследований влияния видового состава заквасочной микрофлоры и ферментных препаратов на характер протекания ферментативных процессов во время выработки и созревания, а также формирование органолептических показателей сыров пониженной жирности;

– подбор технологических параметров, обеспечивающих направленность микробиологических и биохимических процессов для получения сыров с улучшенными органолептическими характеристиками.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных данных подтверждается проведением экспериментов не менее, чем в 3-х кратной повторности с применением стандартных и специальных методов анализа, а также статистической обработкой результатов исследований с использованием пакета программ Microsoft Excel. Данные представлены в форме «среднее значение \pm стандартное отклонение».

Основные результаты работы доложены и обсуждены на конференциях: XIV и XV Международные научно-практические конференции молодых учёных и специалистов (Санкт-Петербург, 2021; Москва, 2022); Международная научно-практическая конференция «Молоко и молочная продукция: актуальные вопросы производства» (Углич, 2021); Международная научно-практическая конференция «Передовые достижения науки в молочной отрасли» секция «Инновационные технологии в переработке молока» (Вологда, 2021). Результаты работы отмечены дипломом РАН в номинации «Лучшая научно-исследовательская работа» (Москва, 2022).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликована 21 печатная работа, в том числе: 9 статей – в периодических изданиях, рецензируемых ВАК Министерства науки и высшего образования, и 3 – в международных изданиях, входящих в наукометрические базы Scopus и WoS.

По материалам диссертационной работы опубликована 21 печатная работа, в том числе: 7 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в RSCI, 3 – в периодических изданиях, рецензируемых журналах из списка ВАК Министерства науки и высшего образования, и 3 – в международных изданиях, входящих в наукометрические базы Scopus и WoS.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, методической части, экспериментальной части, основных результатов и выводов, списка использованной литературы, содержащего 193 источника. Работа изложена на 164 страницах и включает 56 таблиц, 41 рисунок и 4 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Обоснована актуальность работы, поставлены цели и задачи исследования, аргументирована научная новизна, практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту.

Глава 1. Приведен анализ научной литературы и нормативно-технической документации по производству сыров пониженной жирности, показаны отличительные особенности технологии, химического состава и органолептических характеристик. Рассмотрены особенности формирования вкуса, аромата и консистенции сыров пониженной жирности и причины возникновения органолептических пороков. Обоснована целесообразность использования биотехнологических подходов улучшения органолептического профиля сыров данной категории, в том числе обозначена роль дополнительной микрофлоры и ферментных препаратов.

Глава 2. Описан порядок организации работы, объекты, методы и схема проведения исследований (рисунок 1). На различных этапах работы объ-

ектами исследований являлись: молоко коровье – сырье, молочная смесь после пастеризации и после внесения закваски, производственные штаммы МКМ и пропионовокислых бактерий, производственные закваски, сыры после прессования и в процессе созревания, сыры кондиционной зрелости с массовой долей жира 20 %, 30 %, 50 % в СВ, микробная протеаза Flavorzyme и телячья прегастральная липаза.



Рисунок 1 – Общая схема проведения исследований

При выполнении экспериментальной части работы применялись стандартные методы исследований физико-химических и микробиологических показателей, а также – специальные: реологические – определение комплексного модуля сдвига осуществляли с использованием реогониометра Вайссенберга модели R-19 и пенетрационного напряжения – на пенетрометре AP 4/1; молекулярно-массовое распределение растворимых азотистых соединений методом гель-фильтрации; определение летучих ВАВ в паровой фазе сыра

использовали аттестованную методику с использованием газового хроматографа «Цвет-800»; оценка степени протеолиза осуществляли расчетным способом по отношению водорастворимых фракций белка в сыре к общему количеству белка; кислотное число и кислотность жировой фазы сыров определяли титриметрическим методом по методикам, разработанным во ВНИИМС; органолептическая оценка сыров проводилась экспертной комиссией с использованием специально разработанной балловой шкалы и дескрипторно-профильного метода.

Глава 3. Экспериментальная часть

Глава 3.1 Исследование влияния заквасочных культур целевого назначения на формирование органолептических показателей сыров пониженной жирности

3.1.1 Культуры протеолитической направленности: мезофильные (*L. casei*) и термофильные (*L. helveticus*) палочки

Исследовано влияние мезофильных и термофильных лактобацилл на формирование органолептических показателей сыров пониженной жирности с м.д.ж. 30 %. Выбор данных МО связан с их способностью влиять на интенсивность ферментативных процессов, в том числе протеолиз. В качестве контрольного варианта рассматривали сыры, выработанные с использованием лактококковой закваски, при производстве опытных сыров часть основной кислотообразующей микрофлоры заменена моновидами БЗ *L. casei* и *L. helveticus* (таблица 1).

Таблица 1 – Видовой состав заквасочной микрофлоры сыров

| Варианты | Основная микрофлора | | Дополнительная микрофлора | |
|------------|---|---------|---------------------------|---------|
| | видовой состав | доза, % | видовой состав | доза, % |
| 1 контроль | <i>Lc. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> , <i>Lc. cremoris</i> | 1,0 | – | – |
| 2 | | 0,6 | <i>L. casei</i> | 0,4 |
| 3 | | 0,9 | <i>L. helveticus</i> | 0,1 |

Графики, отражающие динамику роста общего количества жизнеспособных клеток МКМ (А) и палочек *L. casei* и *L. helveticus* (в сырах 2 и 3 соответственно) (Б) в процессе созревания, приведены на рисунке 2.

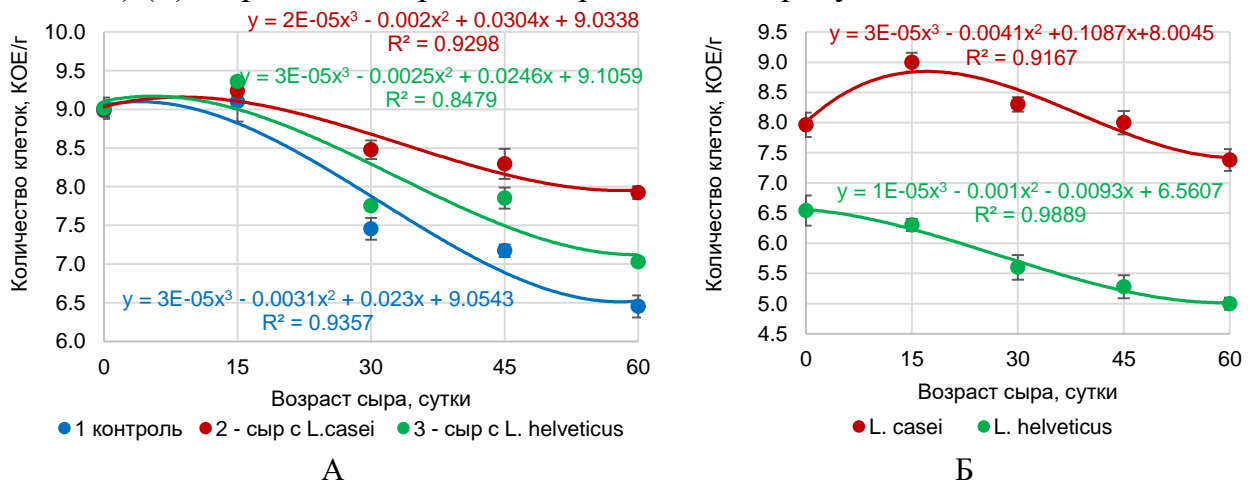


Рисунок 2 – Динамика изменения общего количества жизнеспособных клеток МКМ (А) и *L. casei* и *L. helveticus* в опытных сырах в процессе созревания (Б)

Установлено, что во всех вариантах сыров развитие мезофильной микрофлоры (рисунок 2А) продолжается до 15 суток. В опытных вариантах сыров вымирание клеток происходит значительно медленнее, чем в контроле ($p < 0,05$). Рост мезофильных палочек *L. casei* (рисунок 2Б) продолжался до 15 суток, а количество клеток *L. helveticus* в процессе созревания, напротив, постоянно уменьшалось.

Оценку влияния дополнительных культур на интенсивность гидролиза белка проводили путем сравнения значений степени протеолиза (рисунок 3А) и хроматограмм молекулярно-массового распределения (рисунок 3Б).

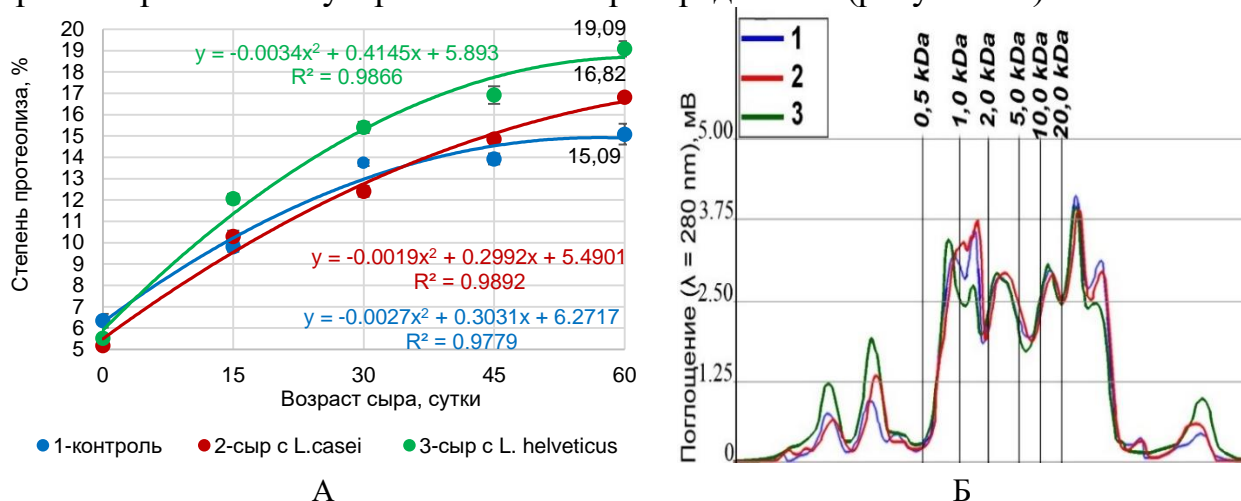


Рисунок 3 – Изменение степени протеолиза в процессе созревания (А) и молекулярно-массовое распределение продуктов протеолиза в зрелых сырах (Б)

В сравнении с контрольными сырами количество свободных аминокислот и низкомолекулярных пептидов в опытных сырах увеличивается при использовании как *L. casei*, так и *L. helveticus*, но наиболее глубокий протеолиз наблюдается при добавлении термофильных палочек.

На рисунке 4 представлены данные по изменению пенетрационного напряжения в сырах в процессе созревания, являющегося объективной оценкой структурно-механических показателей сыра.

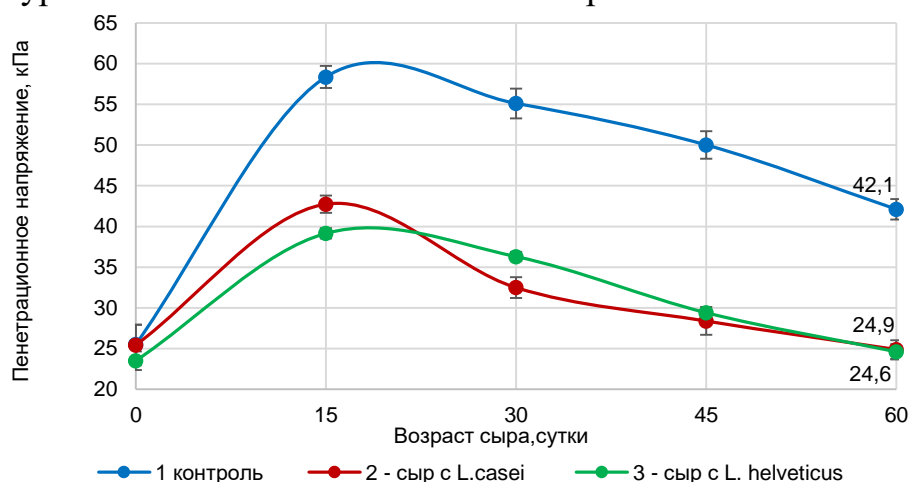
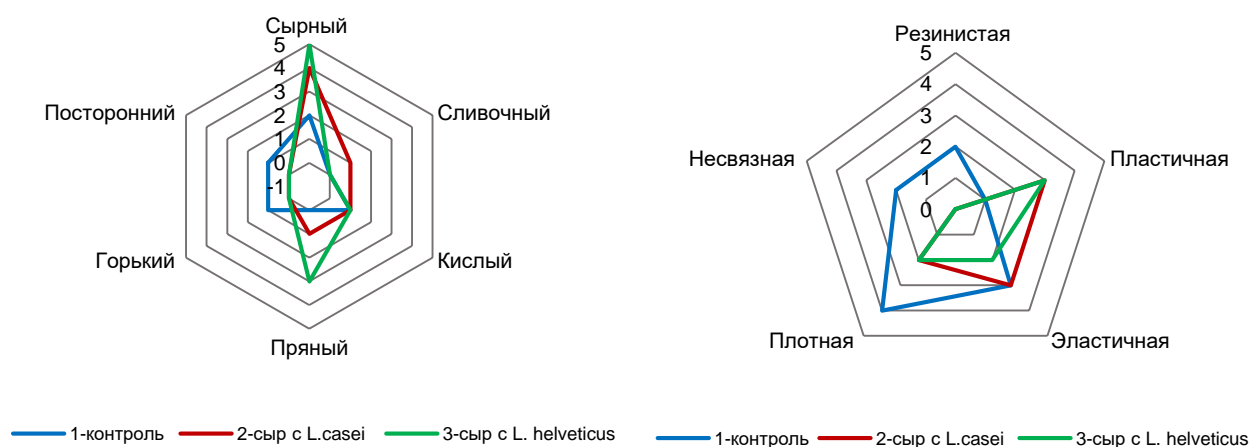


Рисунок 4 – Изменение пенетрационного напряжения в сырах в процессе созревания

В процессе созревания выявлены статистически значимые различия ($p < 0,05$): в контрольных сырах наблюдается более высокие значения пене-

традиционного напряжения в сравнении с опытными сырами, что говорит о более плотной консистенции.

Органолептическая оценка вкуса и консистенции исследуемых сыров кондиционной зрелости показана на профилограммах (рисунок 5).



Вкус и аромат

Консистенция

Рисунок 5 – Профилограмма органолептической оценки сыров

Использование закваски, состоящей только из кислотообразующих лактококков, обеспечило формирование в контрольных сырах слабо выраженного сырного вкуса в 60 суток (39 баллов). Опытные сыры с добавлением культур *L. casei* и *L. helveticus* имели гармоничный вкусовой букет (43 балла). Вместе с тем, внесение *L. helveticus* привело к развитию оригинального пряного привкуса.

Консистенция контрольных сыров характеризовалась как «плотная» и «слегка резинистая» (23 балла). Консистенция сыров с добавлением палочек *L. casei* и *L. helveticus* характеризовалась как эластично-пластичная (25 баллов).

3.1.2 Интенсификация роста и метаболизма *L. helveticus* при применении термокамеры

Представлены результаты исследований влияния выдержки сыров (30 %) в термокамере на их органолептические показатели. Выдержка формованного сыра, выработанного с *L. helveticus*, в термокамере может способствовать улучшению консистенции за счет размягчения сырной массы в результате отщепления коллоидного кальция от параказеинкальцийфосфатного комплекса.

Контрольные сыры выработаны без термокамеры (вариант 1), опытные сыры (вариант 2) – с включением этапа выдержки в термокамере при температуре $(35 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 90 ± 10 минут после формования. В обоих вариантах использовалась производственная закваска на основе мезофильных лактококков *Lc. lactis*, *Lc. cremoris* и *Lc. diacetylactis* – 0,9 % и *L. helveticus* (0,1 %).

Изменение количества жизнеспособных клеток заквасочных МО в исследуемых сырах во время созревания представлено на рисунке 6 (А, Б). В опытных сырах общее количество заквасочной микрофлоры, представленной мезофильными лактококками, характеризуется максимальным значением уже на этапе выработки, в то время как в контрольных сырах продолжает расти до 15 суток созревания. В сырах обоих вариантов максимальное количество клеток *L. helveticus* достигается уже на этапе прессования, при этом в опытных

сырах их количество выше на порядок. Различия в интенсивности молочно-кислого процесса в сырах подтверждаются данными по содержанию остаточной лактозы и активной кислотности в сырах после прессования (таблица 2).

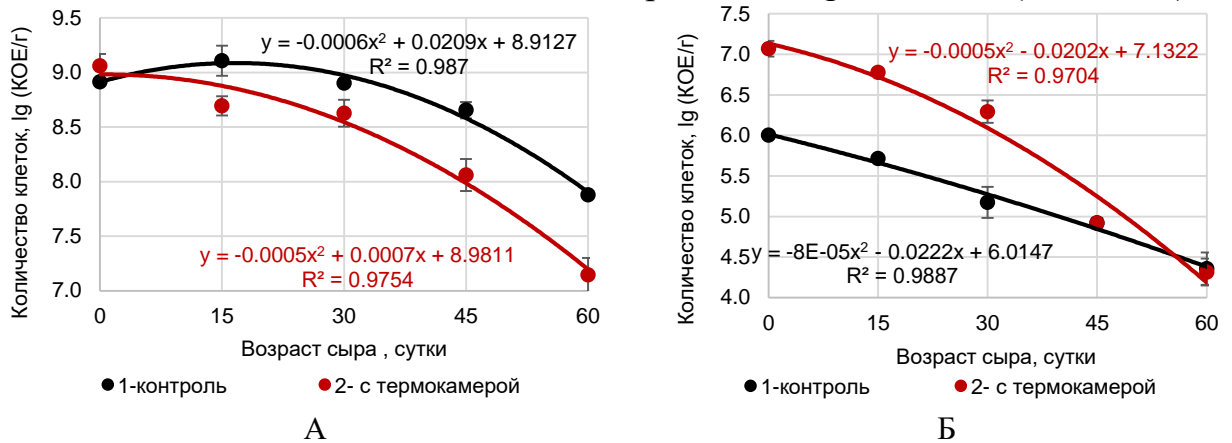


Рисунок 6 – Динамика развития жизнеспособных клеток: А – общего количества МКМ; Б – *L. helveticus*

Таблица 2 – Содержание остаточной лактозы и активная кислотность в сырах после прессования

| Вариант | pH | Массовая доля лактозы, % |
|--------------------|-----------|--------------------------|
| 1 – контроль | 5,36±0,06 | 1,45±0,08 |
| 2 – с термокамерой | 5,20±0,03 | не обн. |

На рисунке 7 (А, Б) представлены результаты динамики изменения степени протеолиза в процессе созревания и молекулярно-массовое распределение водорастворимых белковых фракций сыров кондиционной зрелости. Установлено, что в опытных сырах в сравнении с контрольными наблюдается углубление протеолиза за счет накопления аминокислот и низкомолекулярных пептидов.

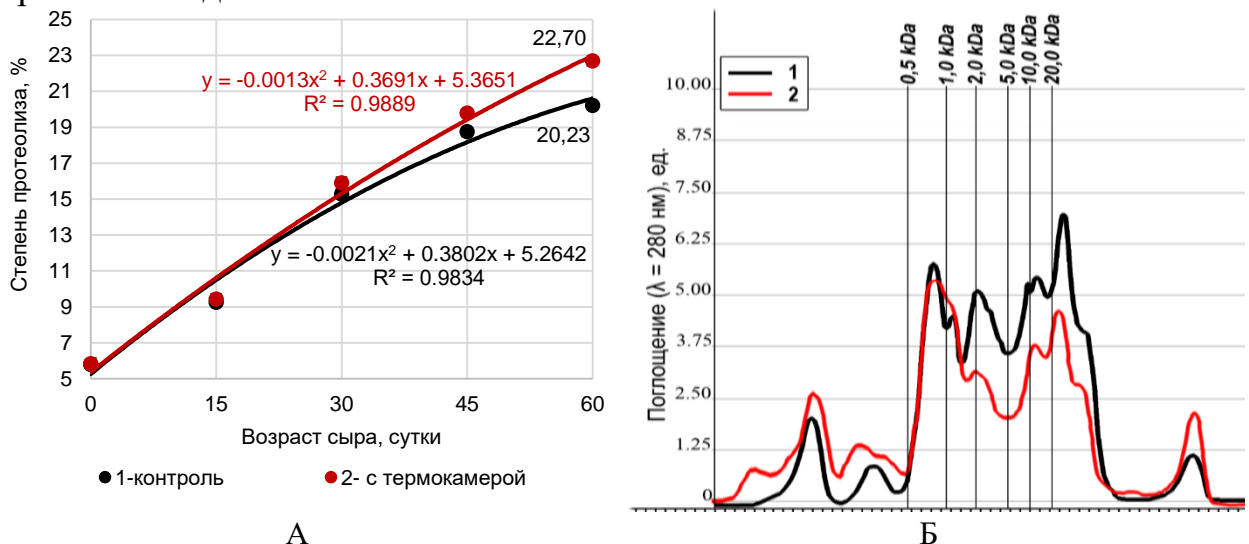


Рисунок 7 – Степень протеолиза в процессе созревания (А) и молекулярно – массовое распределение продуктов протеолиза в зрелых сырах (Б)

Для установления значимого влияния процесса выдержки сыра в термокамере на микробиологические, физико-химические и реологические показатели сыров проведен дисперсионный анализ (таблица 3). Результаты полученных экспериментальных данных и статистического анализа показали, что

выдержка в термокамере оказывает статистически значимое влияние на исследуемые физико-химические и микробиологические показатели сыров.

Таблица 3 – Статистическая значимость влияния выдержки в термокамере на показатели сыров

| Фактор | p | MS | F _{эмп} | F _{кр} |
|---------------------------------|--------|------|------------------|-----------------|
| Общее количество МКМ | <0,001 | 0,6 | 62,1 | 4,4 |
| Количество <i>L. helveticus</i> | <0,001 | 3,1 | 215,0 | 4,3 |
| Активная кислотность | <0,05 | 0,03 | 4,8 | 4,4 |
| Массовая доля лактозы | <0,001 | 0,6 | 969,9 | 4,3 |
| Степень протеолиза | <0,001 | 3,0 | 45,7 | 4,4 |

Сыры кондиционной зрелости обоих вариантов характеризовались выраженным сырным вкусом и ароматом. Контрольные сыры отличались слабым кислым и пряным вкусом и получили 43 балла. Опытные сыры имели слегка острый вкус в гармоничном букете и оценены на 44 балла. Консистенция контрольных сыров – эластично-пластичная (25 баллов). Опытные сыры имели несколько более мягкую, слегка пластичную консистенцию (24 балла). Установлено, что использование *L. helveticus* дает возможность получить сыры с высокими органолептическими показателями как с термокамерой, так и без нее.

3.1.3 Газо- и ароматообразующие мезофильные культуры *Leuconostoc ssp.* и *Lc. diacetylactis*

Представлены результаты экспериментальных выработок сыров пониженной жирности (30 %) с использованием комбинации газо- и ароматообразующих МО (*Lc. diacetylactis* и *Leuconostoc ssp.*) и протеолитически активных культур (*L. casei*) (таблица 4).

Таблица 4 – Видовой состав заквасочной микрофлоры сыров

| Вар. | Кислотообразующий компонент | | Протеолитический компонент | | Газо- и ароматообразующий компонент | |
|------|--|---------|----------------------------|---------|-------------------------------------|---------|
| | видовой состав | доза, % | видовой состав | доза, % | видовой состав | доза, % |
| 1 | <i>Lc. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> , | 0,6 | <i>L. casei</i> | 0,4 | <i>Leuconostoc ssp</i> | 0,4 |
| 2 | <i>Lc. cremoris</i> | | | | <i>Lc. diacetylactis</i> | |

На рисунке 8 представлены данные динамики развития общего количества заквасочной микрофлоры в сырах.

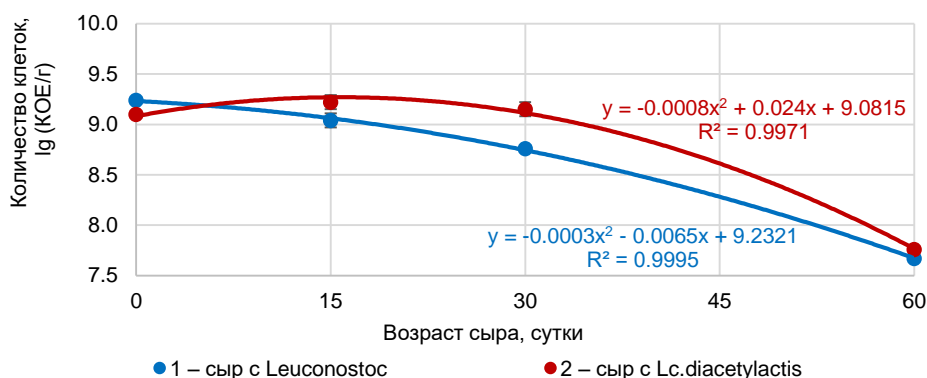


Рисунок 8 – Динамика развития жизнеспособных клеток заквасочной микрофлоры во время созревания сыров

Во всех сырах молочнокислый процесс шел достаточно интенсивно и к концу выработки количество лактозы немногим превышает 1,0 % (таблица 5).

Таблица 5 – Содержание остаточной лактозы и активная кислотность в сырах после прессования

| Вариант | Массовая доля лактозы, % | pH |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|
| 1 – сыр с <i>Leuconostoc</i> | 1,25±0,04 | 5,36±0,04 |
| 2 – сыр с <i>Lc. diacetylactis</i> | 1,16±0,05 | 5,34±0,03 |

С целью оценки процесса гидролиза белка при созревании определяли степень протеолиза и молекулярно-массовое распределение продуктов протеолиза в сырах (рисунок 9).

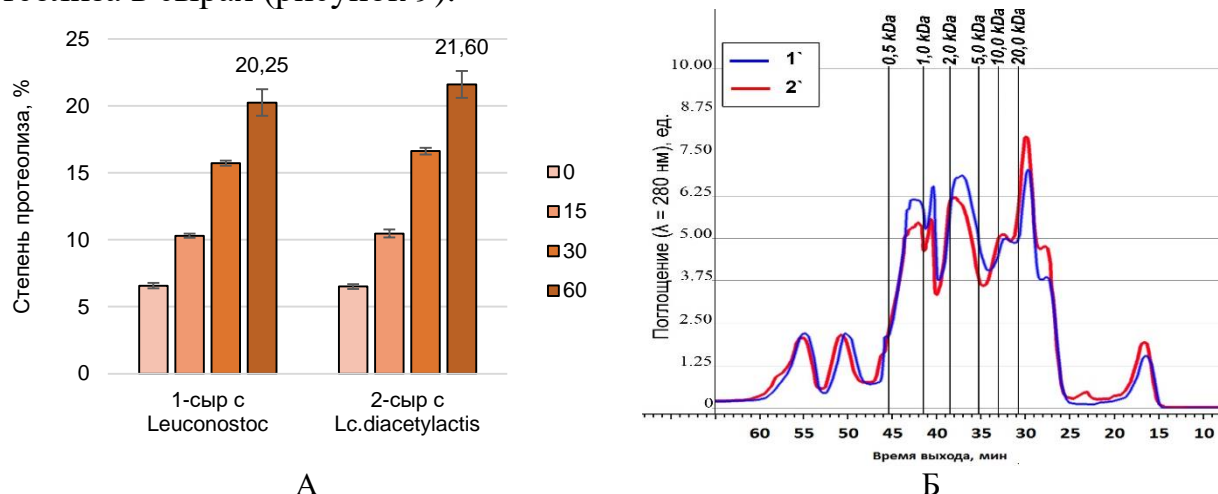


Рисунок 9 – Динамика степени протеолиза в процессе созревания сыров (А) и молекулярно-массовое распределение продуктов протеолиза в зрелых сырах (Б)

По степени протеолиза между вариантами сыров в зависимости от состава заквасочной микрофлоры имеются статистически значимые различия ($p < 0,05$). В сырах с добавлением диацетильного лактококка степень протеолиза была выше.

Сыры с добавлением *Lc. diacetylactis* характеризовались более низкими значениями комплексного модуля сдвига ($52,9 \pm 2,0$ кПа), чем сыры с *Leuconostoc* ($62,5 \pm 1,4$ кПа), а значит должны иметь более мягкую и пластичную консистенцию.

В таблице 6 представлен качественный и количественный состав ВАВ в паровой фазе сыров кондиционной зрелости.

Таблица 6 – Содержание летучих ВАВ в паровой фазе зрелых сыров

| Наименование ВАВ | 1 – сыр с <i>Leuconostoc</i> | 2 – сыр с <i>Lc. diacetylactis</i> |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| Альдегиды, %: | | |
| Этаналь | 85,42±0,22 | 87,87±0,31 |
| Изобутаналь | - | 0,01±0,0 |
| Гексаналь | 1,15±0,11 | 1,02±0,08 |
| Кетоны, %: | | |
| Бутанон-2 | 2,41±0,11 | 2,34±0,25 |
| Спирты, %: | | |
| Гексанол -1 | 0,89±0,10 | - |
| Гексанол-2 | - | 1,10±0,14 |
| Гектанол-1 | - | 0,78±0,14 |
| Пентанол-1 | 3,71±0,23 | 2,21±0,20 |
| Пентанол-2 | 0,57±0,17 | - |
| Метанол | 0,13±0,02 | 0,01±0,00 |
| Общее содержание ВАВ, нА·с | 1,65±0,20 | 1,88±0,24 |

Сыры с добавлением *Lc. diacetylactis* отличались большим количеством и разнообразием идентифицированных ВАВ, чем сыры с *Leuconostoc*.

Для установления влияния состава БЗ на микробиологические, физико-химические и реологические показатели сыров был проведен дисперсионный анализ (таблица 7).

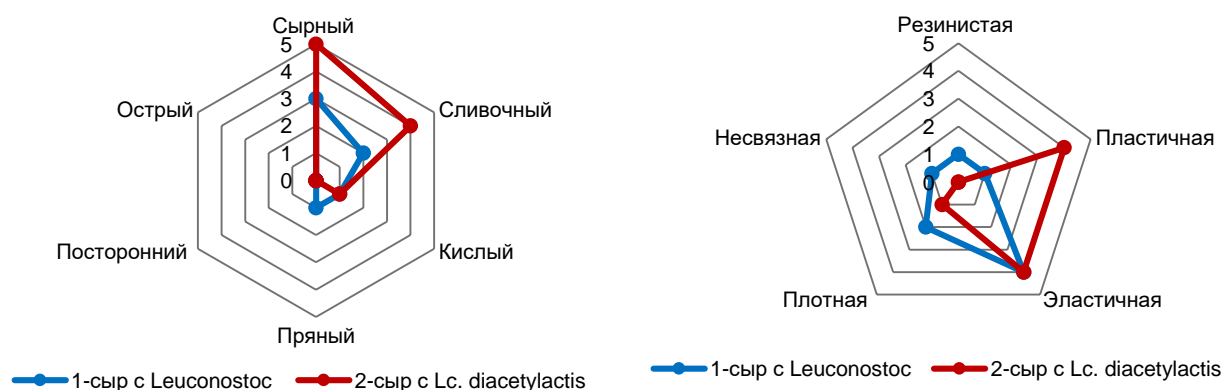
Таблица 7 – Статистическая значимость влияния состава БЗ на показатели сыров

| Показатель | p | MS | F _{эмп} | F _{кр} |
|---------------------------|--------|-------|------------------|-----------------|
| Количество МКМ | <0,001 | 18,3 | 7590,8 | 4,5 |
| Массовая доля лактозы | >0,05 | 0,003 | 5,8 | 4,5 |
| Активная кислотность | >0,05 | 0,001 | 0,45 | 4,5 |
| Степень протеолиза | <0,001 | 2,1 | 39,5 | 4,5 |
| Комплексный модуль сдвига | <0,001 | 36,3 | 16,6 | 4,5 |

Установлено, что видовой состав микрофлоры БЗ оказывает статистически значимое влияние ($p < 0,001$) на общее количество заквасочных МО, степень протеолиза и комплексный модуль сдвига. Не выявлено статистически значимого влияния ($p > 0,05$) состава применяемой заквасочной микрофлоры на изменение массовой доли лактозы и активной кислотности.

Органолептическая оценка зрелых сыров представлена на рисунке 10.

Сыры обоих вариантов в возрасте кондиционной зрелости имели выраженный сырный вкус в гармоничном букете и сливочный аромат различной интенсивности. Сыры с добавлением *Leuconostoc* оценены на 42 балла, а сыры с добавлением *Lc. diacetylactis* на 44 балла



Сыры с добавлением *Leuconostoc* имели эластичную, слегка плотную консистенцию (24 балла). Сыры с добавлением *Lc. diacetylactis* характеризовались как эластично–пластичная (25 баллов).

Сыры с добавлением *Leuconostoc* имели переразвитый гнездовидный рисунок с глазками правильной и неправильной формы (9 баллов). Добавление *Lc. diacetylactis* обеспечило формирование рисунка с глазками правильной округлой формы (10 баллов).

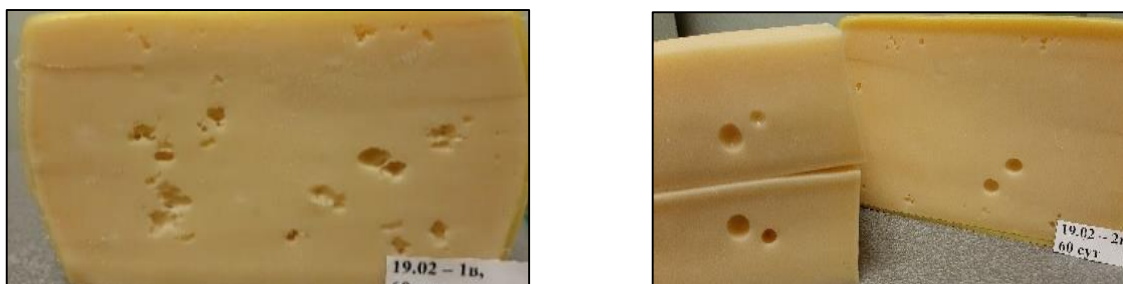
1 – сыры с *Leuconostoc*2 – сыры с *Lc. diacetylactis*

Рисунок 11 – Рисунок сыров

Таким образом, наилучшие результаты по оценке потребительских характеристик получены в сырах с добавлением комбинации культур *L. casei* и *Lc. diacetylactis*, которые характеризовались выраженным сырным вкусом и ароматом, желаемой эластично–пластичной консистенцией и правильным рисунком. Обогащение основной кислотообразующей закваски культурой *Leuconostoc* и *L. casei* способствовало формированию умеренно выраженного сырного вкуса и легкого сливочного аромата и эластичной, слегка плотной консистенции и формированию желаемого рисунка не способствовало.

3.1.4 Изучение особенностей использования пропионовокислых бактерий в технологии сыров пониженной жирности

Проведены исследования совокупного влияния биологических (ПКБ *Propionibacterium freudenreichii*) и технологических (условия созревания) факторов на качественные показатели полутвердых сыров пониженной жирности (30 %). В качестве контроля выработан сыр без дополнительных культур. Опытные сыры выработаны с добавлением разных доз *P. freudenreichii*. Основная лактококковая микрофлора вносилась в виде производственной закваски, в то время как *P. freudenreichii* – путем прямого внесения (таблица 8).

Таблица 8 – Видовой состава микрофлоры сыров и условия созревания

| Вариант | Основная микрофлоры | Дополнительная микрофлора |
|---|---|---|
| 1 контроль | <i>Lc. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> , <i>Lc. cremoris</i> (доза – 0,8 %) | – |
| 2, 2* | | <i>P. freudenreichii</i> (доза – 10^5 КОЕ/см ³) |
| 3, 3* | | <i>P. freudenreichii</i> (доза – 10^6 КОЕ/см ³) |
| Режим созревания сыров 1, 2, 3 – $t = (11 \pm 1) ^\circ\text{C}$; | | |
| Режим созревания сыров 2* и 3* – (3-х ступенчатый): | | |
| до 15 суток $t = (11 \pm 1) ^\circ\text{C}$; с 15 суток до 30 суток $t = (22 \pm 1) ^\circ\text{C}$; с 30 суток $t = (11 \pm 1) ^\circ\text{C}$. | | |

На рисунке 12 показаны результаты исследований динамики роста МКМ (А) и *P. freudenreichii* (Б) в сырах в процессе созревания.

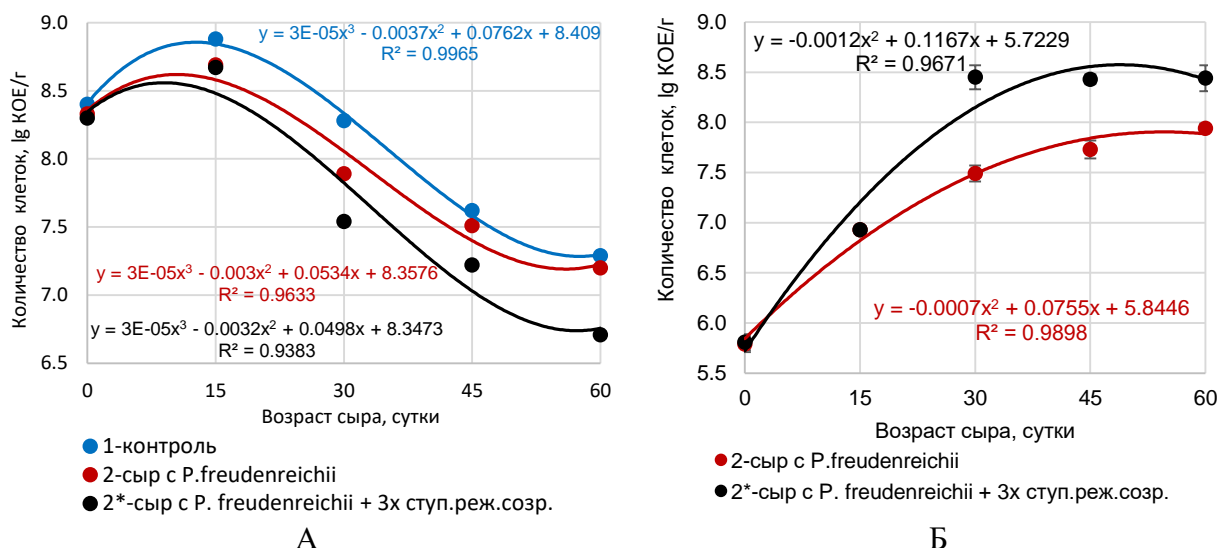


Рисунок 12 – Динамика роста жизнеспособных клеток мезофильных МКМ (А) и ПКБ (Б) во время созревания

Рост заквасочной микрофлоры во всех сырах продолжается до 15 суток (рисунок 15А). Важно отметить, что в сырах с созреванием в бродильной камере вымирание клеток происходит интенсивнее, чем в сырах, созревающих при температуре $(11 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Рост *P. freudenreichii* наблюдается в первые 15 суток во всех образцах сыров и продолжается далее с разной степенью интенсивности (рисунок 15Б). Сыры, созревающие при температуре $(11 \pm 1)^\circ\text{C}$, характеризовались медленным плавным ростом и достижением максимального количества жизнеспособных клеток к 60 суткам созревания. В сырах, созревающих в условиях 3-х ступенчатого режима, в период нахождения в бродильной камере (с 15 до 30 суток) отмечен более интенсивный рост ПКБ.

Косвенным показателем интенсивности гликолиза является количество остаточной лактозы и активная кислотность в сырах после прессования (таблица 9). По показателям остаточной лактозы и активной кислотности в сырах после прессования не обнаружено статистически значимых отличий ($p > 0,05$).

Таблица 9 – Содержание остаточной лактозы и активная кислотность в сырах после прессования

| Вариант | Массовая доля лактозы, % | pH |
|------------|--------------------------|-----------|
| 1 контроль | 1,01±0,09 | 5,31±0,01 |
| 2 | 1,04±0,05 | 5,28±0,04 |
| 2* | 1,03±0,16 | 5,30±0,04 |
| 3 | 1,12±0,16 | 5,27±0,05 |
| 3* | 1,11±0,13 | 5,31±0,05 |

На рисунке 13 представлены данные по динамике изменения степени протеолиза в сырах во время созревания. Степень гидролиза казеина в контрольных сырах закономерно уступает соответствующим значениям опытных вариантов сыров, при этом наибольшие значения отмечены в сырах, созревающих в условиях 3-х ступенчатого режима.

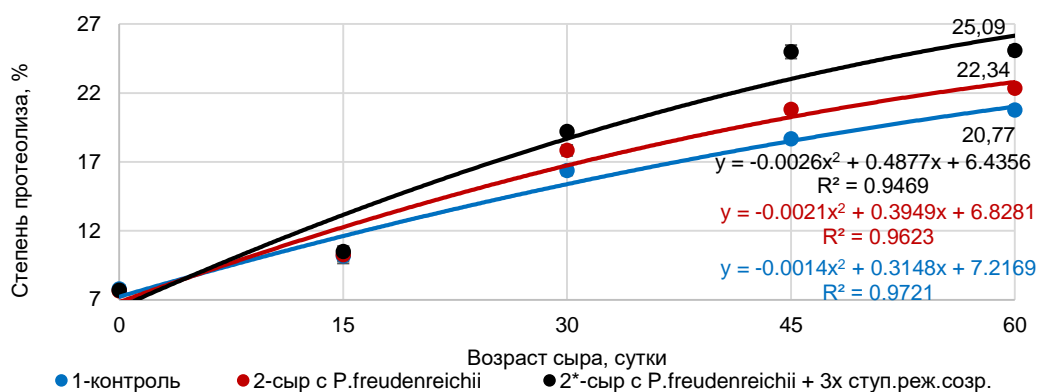


Рисунок 13 – Динамика степени протеолиза в процессе созревания

В сырах всех вариантов независимо от наличия культуры *P. freudenreichii*, ее дозы и условий созревания обнаружен этаналь (уксусный альдегид). Более высокие концентрации уксусной и пропионовой кислот зафиксированы в опытных вариантах сыров. Концентрация масляной кислоты во всех образцах сыров, включая контрольные, была приблизительно одинаковой. Кетоны, представленные преимущественно ацетоном, обнаружены в опытных вариантах сыров с повышенной дозой ПКБ.

Для установления влияния состава заквасочной микрофлоры на показатели сыров проведен дисперсионный анализ данных (таблица 10).

Таблица 10 – Статистическая значимость влияния видового состава БЗ и условий созревания на показатели сыров

| Видовой состав БЗ | | | | Условия созревания | | | |
|-----------------------|-------|------------------|-----------------|--------------------|---------|------------------|-----------------|
| p | MS | F _{эмп} | F _{кр} | p | MS | F _{эмп} | F _{кр} |
| Количество клеток МКМ | | | | | | | |
| <0,001 | 3,38 | 28,5 | 3,3 | < 0,001 | 0,4 | 28,4 | 4,4 |
| Количество клеток ПКБ | | | | | | | |
| <0,001 | 3,19 | 236,5 | 4,4 | < 0,001 | 1,4 | 211,5 | 4,4 |
| Массовая доля лактозы | | | | | | | |
| > 0,05 | 0,004 | 1,6 | 3,3 | > 0,05 | 0,0002 | 0,07 | 4,4 |
| Активная кислотность | | | | | | | |
| <0,05 | 0,05 | 4,9 | 3,3 | < 0,05 | 0,00003 | 9,3 | 4,4 |
| Степень протеолиза | | | | | | | |
| <0,001 | 30,71 | 271,4 | 3,3 | < 0,001 | 21,4 | 161,1 | 4,4 |

Полученные экспериментальные данные и результаты дисперсионного анализа показывают, что видовой состав микрофлоры и условия созревания оказывают статистически значимое влияние ($p < 0,001$) на динамику изменения количества клеток, степень протеолиза и активную кислотность ($p < 0,05$). Динамика лактозы в процессе созревания не зависела от состава микрофлоры и условий созревания ($p > 0,05$).

Органолептическая оценка сыров представлена в таблице 11.

Контрольные сыры характеризовались отсутствием глазков. Опытные сыры, созревающие при $(11 \pm 1)^\circ\text{C}$ имели рисунок с мелкими единичными глазками правильной округлой формы. Сыр с повышенной дозой, созревающий в условиях 3-х ступенчатого режима, имел излишне развитый щелевидный рисунок.

Таблица 11 – Органолептическая оценка сыров

| Вариант | Вкус и аромат | | Консистенция | |
|---------|--|------|---|------|
| | характеристика | балл | характеристика | балл |
| 1 | умеренно выраженный сырный, слабый кислый, сливочный | 38 | эластичная, слегка резинистая, слегка плотная | 24 |
| 2 | выраженный сырный, гармоничный, слегка пряный, слегка сладкий, слегка острый | 43 | эластично-пластичная | 25 |
| 2* | умеренно выраженный сырный, слабая горечь, слабый пряный, слегка сладкий, слегка острый | 38 | пластичная | 24 |
| 3 | умеренно выраженный сырный, кислый, слабый пряный, слегка сладкий, слегка острый | 36 | слегка пластичная | 24 |
| 3* | умеренно выраженный сырный, пряный, запах и привкус уксусной кислоты, слегка сладкий, слабая горечь, слегка острый | 35 | излишне пластичная, слегка мажущаяся | 23 |

Рисунок сыров кондиционной зрелости представлен на рисунке 14.

Созревание при температуре $(11 \pm 1)^\circ\text{C}$

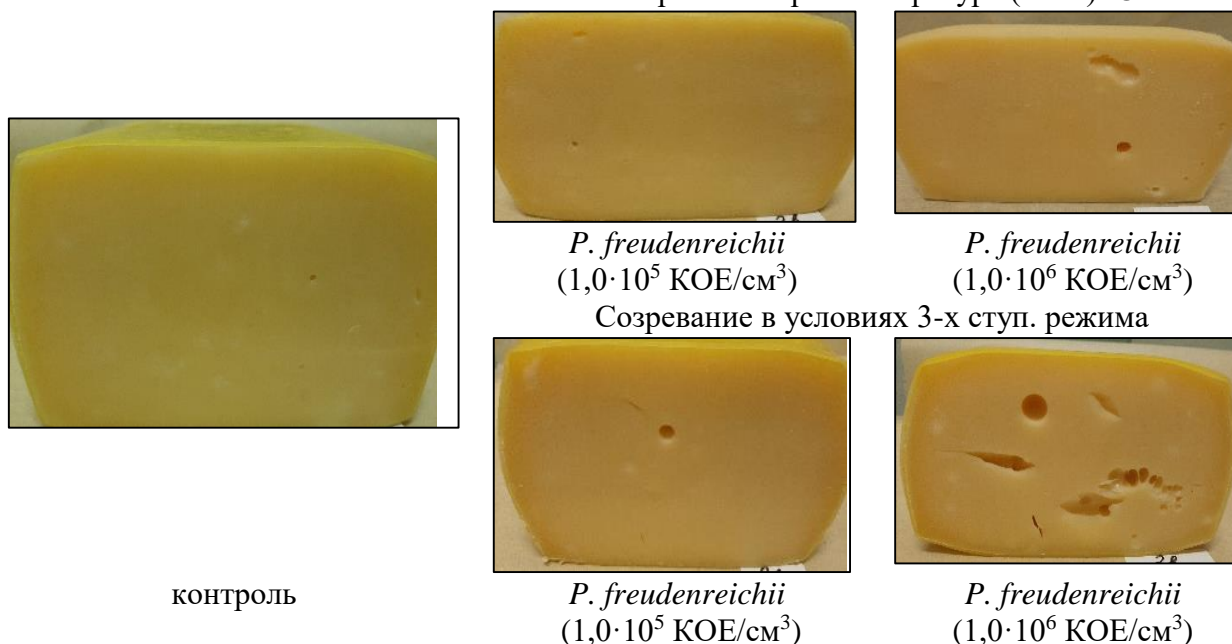


Рисунок 14 – Рисунок сыров кондиционной зрелости

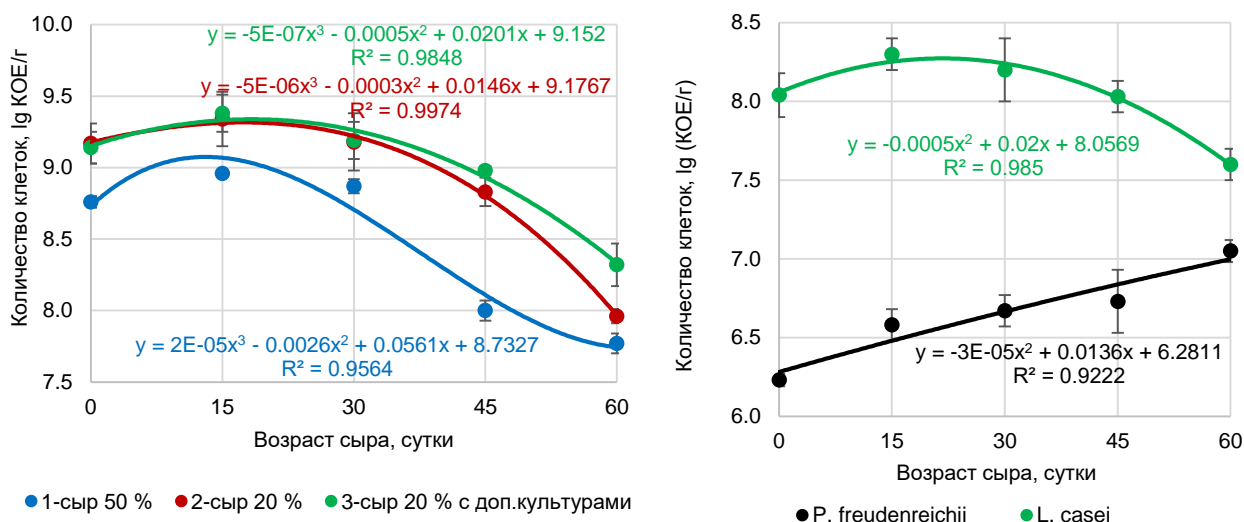
Таким образом, пропионовокислые бактерии, добавленные к основной, кислотообразующей заквасочной микрофлоре способствуют активизации процессов созревания и формированию сырного вкуса. Увеличение дозы ПКБ до $1 \cdot 10^6$ КОЕ/см³ не приводит к улучшению вкусовых показателей сыров. Использование «бродильной камеры» во время созревания усиливает пропионовокислое брожение и обостряет риски формирования пороков вкуса и консистенции, поэтому не является эффективным технологическим приемом, повышающим качество сыров пониженной жирности.

3.1.5 Совместное использование *Propionibacterium freudenreichii* и *L. casei* в технологии низкожирных сыров (м.д.ж 20 % в СВ)

Опираясь на результаты предыдущих экспериментов исследовали возможность использования комбинации *P. freudenreichii* и *L. casei* для производства низкожирных сыров с целью получения их высоких органолептиче-

ских показателей. В качестве контрольного варианта выработаны сыры с м.д.ж. 50 % с использованием 1,0 % лактококковой закваски; вариант 2 – низкожирный сыр с 1,0 % лактококковой закваски и вариант 3 – низкожирный сыр с 0,6 % лактококковой закваски с добавлением 0,4 % *L. casei* и *P. freudenreichii* в дозе $1 \cdot 10^5$ КОЕ/см³.

Изменение количества жизнеспособных клеток основной молочнокислой микрофлоры и дополнительных культур (в сыре варианта 3) во время созревания представлено на рисунке 15 (А, Б).



А

Б

Рисунок 15 – Динамика развития мезофильной молочнокислой микрофлоры в сырах (А) и *L. casei* и *P. freudenreichii* в опытных низкожирных сырах в процессе созревания (Б)

В низкожирных сырах наблюдалось более медленное вымирание клеток МКМ (рисунок 14А), количество жизнеспособных клеток ПКБ в процессе созревания медленно растет (рисунок 14Б), а количество мезофильных лактобацилл увеличивается до 15 суток созревания.

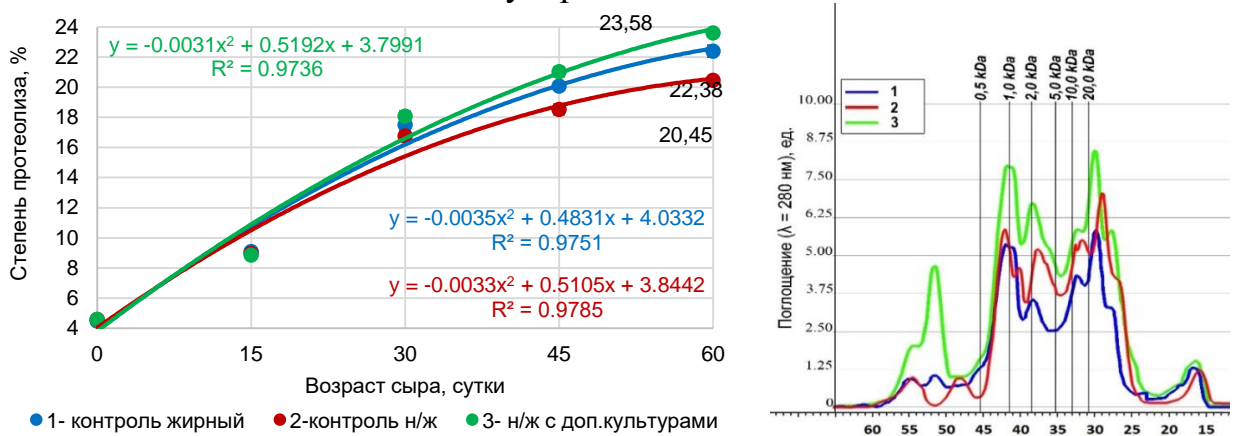
Сыры после прессования имели статистически значимые отличия ($p < 0,05$) по массовой доле лактозы и активной кислотности. Технологические приемы, используемые при выработке низкожирных сыров, способствовали интенсификации молочнокислого процесса, что объясняет более низкие значения активной кислотности и остаточной лактозы в данных сырах (таблица 12).

Таблица 12 – Динамика остаточной лактозы и активной кислотности в сырах после прессования и на 15 суток созревания

| Вариант | Массовая доля лактозы, % | | рН | |
|---------|--------------------------|-----------|--------------|-----------|
| | после пресса | 15 сут | после пресса | 15 сут |
| 1 | 2,09±0,07 | 0,15±0,05 | 5,48±0,06 | 5,06±0,04 |
| 2 | 1,64±0,04 | 0,09±0,04 | 5,30±0,04 | 5,10±0,04 |
| 3 | 1,76±0,04 | 0,11±0,03 | 5,30±0,04 | 5,02±0,03 |

На рисунке 16 (А, Б) представлены результаты степени протеолиза во время созревания и молекулярно-массового распределения продуктов протеолиза в сырах кондиционной зрелости. Полученные результаты свидетельствуют о том, сыры 1 и 3 вариантов незначительно отличались по степени протеолиза, а сыры варианта 2 имели наименьшие значения соответствующе-

го показателя. Согласно данным молекулярно-массового распределения водорастворимых белков в варианте 3, отличаются более разнообразным пептидным профилем с высоким содержанием практически всех белковых фракций, включая высокомолекулярные пептиды, а также свободные аминокислоты и пептиды с низкой молекулярной массой.



А

Б

Рисунок 16 – Динамика степени протеолиза в процессе созревания (А) и молекулярно-массовое распределение продуктов протеолиза в зрелых сырах (Б)

Состав ВАВ паровой фазы сыров представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Содержание летучих ВАВ в паровой фазе зрелых сыров

| ВАВ | 1-сыр 50 % | 2-сыр 20 % | 3-сыр 20 % доп. культурами |
|------------------------------------|------------|------------|----------------------------|
| Альдегиды, % | 97,95±1,21 | 92,90±1,93 | 92,20±1,16 |
| Кетоны, % | 0,46±0,05 | – | 5,20±0,09 |
| Спирты, % | 4,15±0,12 | 5,12±0,15 | 6,00±0,24 |
| Кислоты, % | 0,85±0,05 | 1,20±0,20 | 2,63±0,15 |
| Общее содержание летучих ВАВ, нА·с | 2,08±0,22 | 1,75±0,30 | 3,71±0,25 |

В сырах, выработанных с дополнительными культурами *L. casei* и *P. freudenreichii* общее содержание ВАВ превосходит жирный сыр в 1,8 раза, что является следствием активного метаболизма заквасочной микрофлоры.

Результаты реологических исследований представлены на рисунке 17.

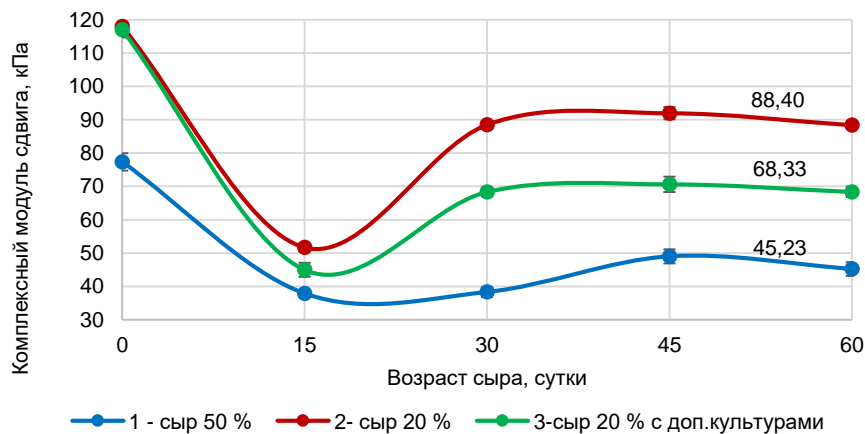
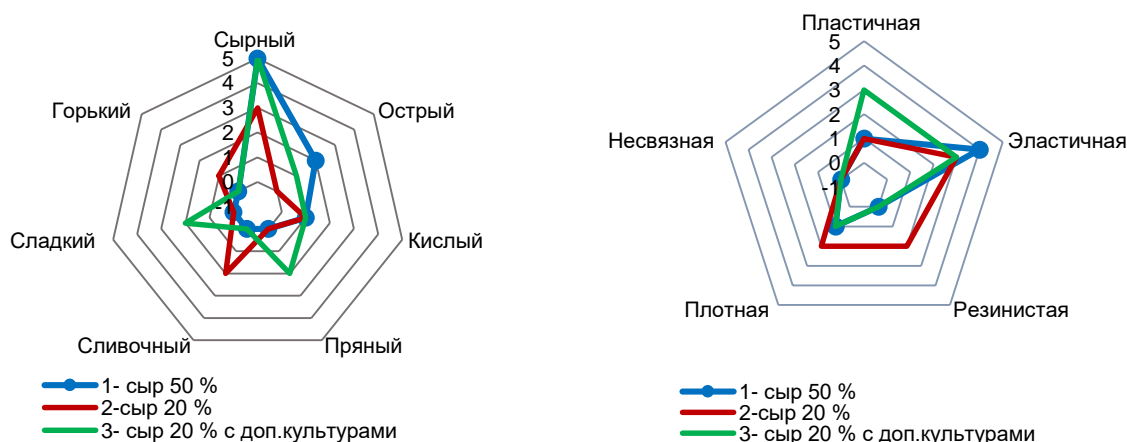


Рисунок 17 – Динамика комплексного модуля сдвига в сырах в процессе созревания

К окончанию процесса созревания отмечена следующая тенденция: наиболее низкие показатели комплексного модуля сдвига имели жирные сыры, а самые высокие – низкожирные сыры варианта 2, что говорит о рисках формирования излишне плотной консистенции.

Зрелые жирные сыры имели выраженный сырный вкус с наличием легкой остроты (44 балла). Вкус низкожирных сыров без дополнительных культур характеризовался как «умеренно выраженный сырный», «кисловатый», «чистый» (39 баллов). Низкожирные сыры дополнительными культурами имели выраженный сырный вкус и аромат, легкую сладковатую и пряную ноты в гармоничном букете (44 балла) (рисунок 18).



Вкус и аромат

Консистенция

Рисунок 18 – Профилограмма органолептической оценки

Консистенция жирных сыров была эластично-пластичной (25 баллов), у низкожирных сыров без дополнительных культур – эластичной, слегка резинистой (22 балла). Опытные сыры с внесением *L. casei* и *P. freudenreichii* имели эластично-пластичную консистенцию (25 баллов).

Таким образом, использование в составе заквасочной микрофлоры пропионовокислых бактерий *P. freudenreichii* и мезофильных палочек *L. casei* дает возможность получить сыры с м.д.ж. 20 %, не уступающие полножирным сырам по органолептическим характеристикам.

Глава 3.2 «Исследование влияния протеолитических и липолитических ферментов на микробиологические, биохимические и физико-химические процессы при выработке и созревании сыров пониженной жирности». Результаты исследований влияния протеазы Flavorzyme и телячьей прегастральной липазы в рекомендуемых производителем дозах не привело к улучшению органолептических показателей сыров пониженной жирности, а создало риски появления характерных пороков, связанных с чрезмерным протеолизом и липолизом, а также снижением хранимостпособности.

Таблица 14 – Разработанные комбинации заквасочных МО и рекомендуемые технологические приемы для сыров пониженной жирности

| № | Состав кислотообразующей микрофлоры | Состав дополнительной микрофлоры | | Технологический прием | Органолептические показатели | | |
|---|--|--|--|---|--|---------------------------------------|---|
| | | Газо – и ароматообразующие МО | Протеолитические МО | | Вкус и аромат | Консистенция | Рисунок |
| 1 | <i>Lc. lactis</i> , <i>Lc. cremoris</i> 0,6 %* | <i>Lc. diacetylactis</i> – 0,4 %* | <i>L. casei</i> – 0,4 %* | Без дополнительных технологических приемов | Выраженный сырный вкус, сливочный аромат | От эластичной до эластично-пластичной | Глазки правильной формы |
| 2 | <i>Lc. lactis</i> , <i>Lc. cremoris</i> 0,6 %* | <i>Lc. diacetylactis</i> – 0,4 %* | <i>L. helveticus</i> – 0,1 %* | Без доп.тех.приемов или использование термокамеры при температуре (35±1) °С в течение (90±10) мин | Выраженный сырный вкус и аромат, наличиепряного привкуса и легкий сливочный аромат | От эластично-пластичной до пластичной | Глазки правильной и неправильной формы |
| 3 | <i>Lc. lactis</i> , <i>Lc. cremoris</i> 0,8 %* | <i>Lc. diacetylactis</i> – 0,4 %* <i>P. freudenreichii</i> 1·10 ⁵ КОЕ/см ³ ** | <i>L. casei</i> – 0,4 %* или без его добавления | Созревание сыра при температуре (11±1) °С | Выраженный сырный вкус, наличие пряных и сладковатых оттенков | Эластично-пластичная | Глазки правильной формы, допускается отсутствие глазков |

* – способ использования сухих БЗ через приготовление производственной закваски;
** – способ использования сухих БЗ путем прямого внесения в смесь для выработки сыра

Глава 3.3 Разработка и апробация научно-обоснованных рекомендаций по улучшению органолептических показателей сыров пониженной жирности. В результате обобщения полученных результатов разработана технология получения сыров пониженной жирности с различными потребительскими характеристиками и комплект технической документации, включающей СТО ВНИИМС 058–2023 «Сыры пониженной жирности Диетические. Технические условия» и Технологическую инструкцию. Основу предлагаемой технологии составляет комбинирование ряда биотехнологических приемов, включающих использование наряду с основной кислотообразующей микрофлорой заквасочных культур целевого назначения и технологических приемов для регулирования интенсификации роста и метаболизма заквасочных МО. Разработанные комбинации заквасочных культур в сочетании с рядом технологических приемов, направленных на производство сыров с разными органолептическими характеристиками представлены в таблице 14.

Результаты исследований по использованию биотехнологических приемов для получения сыров пониженной жирности с высокими органолептическими показателями, были апробированы в промышленных условиях на АО «Маслосырзавод «Починковский». По результатам производственной проверки получено положительное заключение.

Результаты работы имеют народно-хозяйственное и социальное значение за счет возможности расширить ассортимент продуктов здорового питания и удовлетворить потребительский спрос населения в сырах с пониженной калорийностью и высокими органолептическими характеристиками.

Выводы

1. Установлены закономерности развития основной и дополнительной микрофлоры в процессе выработки и созревания сыров пониженной жирности в зависимости от используемых технологических приемов производства и влияние биотехнологических приемов на формирование органолептических показателей сыров.

2. Разработаны комбинации МКМ целевого назначения, состоящие из основных и дополнительных культур, с учетом их физиолого-биохимических свойств и особенностей технологических режимов производства сыров пониженной жирности для получения линейки сыров с высокими органолептическими показателями.

3. Доказано, что разработанные комбинации основных и дополнительных культур позволяют получить сыры пониженной жирности с желаемыми органолептическими показателями. Так, добавление к основной кислотообразующей микрофлоре, представленной мезофильными лактококками, *L. casei* в соотношении 1,5:1 обеспечивает формирование гармоничного вкусового букета с выраженным сырным вкусом и эластично-пластичной консистенции; добавление *L. helveticus* в соотношении 9:1 способствует формированию выраженного сырного вкуса и аромата и развитию пряного привкуса. Наряду с дополнительными культурами *L. casei* и *L. helveticus* для обеспечения правильного рисунка и выраженного сливочного аромата рекомендуется в состав ос-

новой кислотообразующей микрофлоры включать *Lc. diacetylactis* в дозе 0,4 %.

4. Установлено, что для расширения линейки сыров пониженной жирности с оригинальными пряными вкусовыми нотами, рекомендуется использовать наряду с основной кислотообразующей микрофлорой пропионовокислые бактерии в дозе 10^5 КОЕ/см³ при режиме созревания (11 ± 1) °С.

5. Установлено, что добавление протеазы Flavorzyme способствует развитию горького вкуса в сырах пониженной жирности и формированию излишне пластичной консистенции, вплоть до вязкой. В сырах с прегастральной телячьей липазой к концу срока созревания развиваются пороки вкуса, связанные с липолитическими процессами, что приводит к рискам снижения хранимостности.

6. Разработана техническая документация, включающая СТО ВНИИМС 058–2023 «Сыры пониженной жирности Диетические. Технические условия» и Технологическую инструкцию на сыры пониженной жирности с массовой долей жира 30 % и 20 % с улучшенными органолептическими показателями. Разработанная технология апробирована в промышленных условиях на АО «Маслозавод «Починковский».

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science:

1. Sviridenko, G. M. Improvement of the organoleptic profile of cheeses with reduced calorie content by biotechnological means / G. M. Sviridenko, **D. S. Vakhrusheva**, Yu. Ya. Sviridenko, I. N. Delitskaya, V. A. Mordvinova // International Journal of Dairy Technology. – 2022. – Vol. 75. – №2. – P. 393–404. DOI: 10.1111/1471-0307.12846.

2. Свириденко, Г. М. Низкожирный сыр в фокусе диетического питания / Г. М. Свириденко, **Д. С. Вахрушева**, Ю. Я. Свириденко, В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая // Вопросы питания. – 2022. – Т. 91. – №5. – С. 105–115. DOI:10.33029/0042-8833-2022-91-5-105-115.

3. **Vakhrusheva, D. S.** New solutions in the technology of low-fat cheeses / D. S. Vakhrusheva, G. M. Sviridenko, V. A. Mordvinova, I. N. Delitskaya // IOP Conference Series: Earth and environmental science. – 2022. – №1052. – С.012065. DOI: 10.1088/1755-1315/1052/1/012065.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в RSCI

4. Свириденко, Г. М. Анализ особенностей микроорганизмов вида *Lactobacillus casei* с целью их использования в составе бактериальных заквасок / Г. М. Свириденко, О. М. Шухалова, **Д. С. Вахрушева** // Молочная промышленность. – 2019. – № 9. – С.38–40.

5. Свириденко, Г. М. Исследование свойств производственных штаммов *Lactobacillus helveticus* с целью оценки возможности их использования в составе заквасок для сыроделия / Г. М. Свириденко, О. М. Шухалова, **Д. С. Вахрушева** // Молочная промышленность. – 2020. – № 9. – С. 36–38. DOI: 10.31515/1019-8946-2020-11-34-36.

6. Свириденко, Г. М. Влияние термофильных заквасочных микроорганизмов *Lactobacillus helveticus* на формирование потребительских показателей сыров с редуцированной калорийностью / Г. М. Свириденко, В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая, **Д. С. Вахрушева** // Сыроделие и маслоделие. – 2021. – № 1. – С. 29–31. DOI: 10.31515/2073-4018-2021-29-31.

7. Свириденко, Г. М. Улучшение органолептических показателей сыров пониженной жирности за счет использования в составе закваски *Lactobacillus casei* / Г. М. Свириденко, В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая, **Д. С. Вахрушева** // Сыроделие и маслоделие. – 2021. – № 1. – С. 19-21. DOI: 10.31515/2073-4018-2021-19-21.

8. Свириденко, Г. М. Технологические аспекты улучшения органолептических показателей сыров пониженной жирности / Г. М. Свириденко, В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая, **Д. С. Вахрушева** // Сыроделие и маслоделие. - 2021. – № 3. – С.51–54. DOI: 10.31515/2073-4018-2021-3-51-54.

9. Свириденко, Г. М. Перспективы применения пропионовокислых бактерий в качестве дополнительных культур в технологии сыров пониженной жирности / Г. М. Свириденко, **Д. С. Вахрушева**, Д. С. Мамыкин // Молочная промышленность. – 2022. – №10. – С.36-39. DOI: 10.31515/1019-8946-2022-10-36-39.

10. Мордвинова, В. А. Роль липолитических ферментов в улучшении органолептических показателей низкожирных сыров / В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая, Г.М. Свириденко, **Д. С. Вахрушева** // Сыроделие и маслоделие. – 2023. – №4. – С. 61–65. DOI: 10.21603/2073-4018-2023-4-14.

Статьи в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных журналов ВАК РФ (категории К1 и К2)

11. **Вахрушева, Д. С.** Влияние лактобацилл на формирование органолептического профиля сыров пониженной жирности / Д. С. Вахрушева // Пищевые системы. – 2021. – 4. – 3S. – С. 31–36. DOI: 10.21323/2618–9771- 2021-4-3S-31-36.

12. Свириденко, Г.М. Роль диацетильного лактококка как дополнительной культуры в формировании органолептических показателей сыров пониженной жирности / Г. М. Свириденко, В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая, **Д. С. Вахрушева** // Сыроделие и маслоделие. – 2020. – № 2. – С. 42–45. DOI: 10.31515/2073-4018-2020-2-42-45.

13. Свириденко, Г.М. Влияние микроорганизмов рода *Leuconostoc* на формирование потребительских свойств сыров пониженной жирности / Г. М. Свириденко, В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая, **Д. С. Вахрушева** // Сыроделие и маслоделие. – 2020. – № 5. – С. 46–48. DOI: 10.31515/2073-4018-2020-5-14-16.

Статьи в сборниках трудов и материалах конференций

14. Свириденко, Г. М. Технологические аспекты улучшения органолептических показателей сыров пониженной жирности / Г. М. Свириденко, В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая, **Д. С. Вахрушева** // Сб. материалов межд. науч.-практ. конф. «Молоко и молочная продукция: актуальные вопросы производства». – Углич. – 22–24 июня 2021 г. – С. 133–136.

15. Свириденко, Г. М. Использование диацетильного лактококка как дополнительной культуры для улучшения качества сыров пониженной жирности / Г. М. Свириденко, В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая, **Д. С. Вахрушева**, Д. С. Мамыкин // Сб. материалов межд. науч.-практ. конф. «Молоко и молочная продукция: актуальные вопросы производства». – Углич. – 22–24 июня 2021 г.– С. 137–141.

16. Свириденко, Г. М. Влияние микроорганизмов рода *Leuconostoc* на качество сыров пониженной жирности / Г. М. Свириденко, В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая, **Д. С. Вахрушева**, Д. С. Мамыкин // Сб. материалов межд. науч.-практ. конф. «Молоко и молочная продукция: актуальные вопросы производства». - Углич. – 22–24 июня 2021 г. – С. 142–146.

17. Свириденко, Г. М. Улучшение органолептических показателей сыров пониженной жирности за счет использования в составе закваски *Lactobacillus casei* / Г. М. Свириденко, В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая, **Д. С. Вахрушева** // Сб. материалов межд. науч.-практ. конф. «Молоко и молочная продукция: актуальные вопросы производства». – Углич. – 22–24 июня 2021 г. – С. 146–150.

18. Свириденко, Г. М. Влияние термофильных палочек *Lactobacillus helveticus* на формирование потребительских показателей сыров пониженной жирности / Г. М. Свириденко,

В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая, **Д. С. Вахрушева** // Сб. материалов межд. науч.-практ. конф. «Молоко и молочная продукция: актуальные вопросы производства». – Углич. – 22–24 июня 2021 г. – С. 150–154.

19. **Вахрушева, Д. С.** Оптимизация биотехнологических приемов в производстве сыров пониженной жирности / Д. С. Вахрушева // Сб. научных трудов XV Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Актуальные вопросы и современные решения в области пищевых систем». – Москва. – 20–22 сентября 2022 г. – С. 86–91.

20. Шухалова, О. М. Подбор микрофлоры бактериальных заквасок для производства сыров континентальной группы / О. М. Шухалова, Д. С. Мамыкин, **Д. С. Вахрушева** // Сб. материалов межд. науч.-практ. конф. «Производство сыра, масла и другой молочной продукции в современных условиях. Проблемы и пути решения». – Углич. – 19–23 июня 2023 г. – С. 175–182.

21. **Вахрушева, Д. С.** Использование пропионовокислых бактерий как дополнительной культуры для улучшения качества сыров пониженной жирности / Д. С. Вахрушева, О. М. Шухалова, Д. С. Мамыкин // Сб. материалов межд. науч.-практ. конф. «Производство сыра, масла и другой молочной продукции в современных условиях. Проблемы и пути решения». – Углич. – 19–23 июня 2023 г. – С. 182–189.

Перечень сокращений и условных обозначений:

м.д.ж. – массовая доля жира; БЗ – бактериальная закваска; СВ – сухие вещества; МКМ – молочнокислые микроорганизмы; *Lc. lactis* – *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*; *Lc. cremoris* – *Lactococcus cremoris*; *Lc. diacetylactis* – *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis*; *L. casei* – *Lacticaseibacillus casei*; *L. helveticus* – *Lactobacillus helveticus*; *P. freudenreichii* – *Propionibacterium freudenreichii* ПКБ - пропионовокислые бактерии; ВАВ – вкусоароматические вещества; MS – средний квадрат отклонений; $F_{\text{эмп}}$ – эмпирическое значение критерия Фишера; $F_{\text{кр}}$ – критическое значение критерия Фишера; p – уровень статистической достоверности оценки влияния фактора.