

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия-  
филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

На правах рукописи

ВАХРУШЕВА ДАРЬЯ СЕРГЕЕВНА

РАЗРАБОТКА БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ УЛУЧШЕНИЯ  
ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ СЫРОВ ПОНИЖЕННОЙ ЖИРНОСТИ

Специальность 4.3.3 – Пищевые системы

ДИССЕРТАЦИЯ  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель –  
доктор технических наук,  
Свириденко Галина  
Михайловна

Углич – 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 ОБЗОР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	11
1.1 Сыры пониженной жирности в аспекте диетического питания.....	11
1.2 Особенности формирования органолептических показателей сыров пониженной жирности .....	16
1.3 Способы улучшения органолептических показателей сыров пониженной жирности.....	22
1.3.1 Технологические приемы.....	23
1.3.2 Применение дополнительных заквасочных культур .....	30
1.3.3 Использование липолитических и протеолитических ферментов	40
1.4 Заключение по обзору литературы.....	45
ГЛАВА 2 ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	47
2.1 Организация проведения исследований.....	47
2.2 Объекты исследований.....	47
2.3. Методы исследований.....	49
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	56
3.1 Исследование влияния заквасочных культур целевого назначения на формирование органолептических показателей сыров пониженной жирности.....	56
3.1.1 Культуры протеолитической направленности: мезофильные ( <i>Lacticaseibacillus casei</i> ) и термофильные ( <i>Lactobacillus helveticus</i> ) палочки...	56
3.1.1.1 Микробиологические и физико-химические процессы во время выработки и созревания сыров с использованием культур протеолитической направленности.....	57
3.1.1.2 Органолептическая оценка сыров с использованием культур протеолитической направленности.....	66
3.1.2 Интенсификация роста и метаболизма <i>Lactobacillus helveticus</i> путем применения термокамеры.....	69

3.1.2.1 Микробиологические и физико-химические процессы во время выработки и созревания сыров с использованием термокамеры.....	70
3.1.2.2 Органолептическая оценка сыров с использованием термокамеры...	77
3.1.3 Газо– и ароматообразующие мезофильные культуры <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>diacetylactis</i> и <i>Leuconostoc</i> ssp.....	78
3.1.3.1 Микробиологические и физико-химические процессы во время выработки и созревания сыров с добавлением газо– и ароматообразующих культур .....	79
3.1.3.2 Органолептическая оценка сыров с добавлением газо– и ароматообразующих культур .....	90
3.1.4 Изучение особенностей использования пропионовокислых бактерий в технологии сыров пониженной жирности .....	93
3.1.4.1 Микробиологические и физико-химические процессы во время выработки и созревания сыров с добавлением пропионовокислых бактерий.....	94
3.1.4.2 Органолептическая оценка сыров с добавлением пропионовокислых бактерий .....	106
3.1.5 Совместное использование <i>Propionibacterium freudenreichii</i> и <i>Lactobacillus casei</i> в технологии низкожирных сыров с массовой долей жира 20 % в сухом веществе.....	110
3.1.5.1 Микробиологические и физико-химические процессы во время выработки и созревания низкожирных сыров .....	110
3.1.5.2 Органолептическая оценка низкожирных сыров.....	118
3.2 Влияние протеолитических и липолитических ферментов на микробиологические, биохимические и физико-химические процессы при выработке и созревании сыров пониженной жирности.....	120
3.2.1 Микробиологические и физико-химические процессы во время выработки и созревания сыров, выработанных с использованием ферментов.....	121

3.2.2 Органолептическая оценка сыров, выработанных с использованием ферментов .....	125
3.3 Разработка и апробация научно-обоснованных рекомендаций по улучшению органолептических показателей сыров пониженной жирности...	128
ВЫВОДЫ .....	133
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	135
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	136
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	160

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 г № 1364-р) и методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации" (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.) предусматривают меры по повышению качества жизни населения за счет питания, способствующего профилактике заболеваний и увеличению продолжительности жизни. К таким мерам относятся ограничение калорийности дневного рациона и потребление продуктов здорового питания, в том числе со сниженным содержанием жира, сахара и соли, а также специализированной, функциональной и обогащенной пищевой продукции.

В настоящее время важное место в структуре сбалансированного питания занимают продукты со сниженным содержанием насыщенных жирных кислот и повышенным содержанием белка, что ведет к возрастающему спросу сыров с редуцированной калорийностью за счет пониженного содержания жира. К этой категории относятся сыры с содержанием жира в сухом веществе в диапазоне от 10,0 % и 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 достойным продуктом диетического питания.

Однако сыры с редуцированной калорийностью, производимые по существующим традиционным технологиям, не редко имеют такие недостатки органолептических показателей, как недостаточно выраженные сырный и пустой вкус и аромат, а при отклонении от технологии – излишне кислый, горький, посторонний вкус. В целом, общий вкусовой букет данных сыров значительно уступает полножирным сырам. Помимо риска появления пороков вкуса и аромата пониженное содержание жира негативно сказывается на формировании

структуры сырной массы и является причиной формирования грубой и резинистой консистенции сыров. Исследования покупательских предпочтений убедительно показывают, что большинство потребителей отдают предпочтение полножирным сырам за счет их органолептических характеристик. Следовательно, для сыроделия важным является поиск путей достижения таких потребительских характеристик сыров пониженной жирности, которые не уступают полножирным аналогам. Наиболее актуальным является использование биотехнологических приемов, хорошо интегрируемых в технологию сыра в целом.

**Степень разработанности темы.** Большой вклад в изучение, разработку и совершенствование технологий сыров пониженной жирности внесли многие отечественные и зарубежные ученые, такие как Раманускас Р.И., Песецкас Д.Б., Балинскяйте Р.П., Жаренов Д.А., Banks J. M., Mistry V. V., Fenelon M. A, Guinee T. P., Johnson M. E., Farkye N.Y. и т.д. В советское время учеными ВНИИМС разработаны и внедрены технологии производства полутвердых сыров пониженной жирности: Клайпедского, Прибалтийского, Каунасского, Литовского и др. Наиболее системные исследования в этом направлении в СССР были выполнены Литовским филиалом ВНИИМС Раманускас Р.И., Песецкас Д.Б., Балинскяйте Р.П. и др. В трудах этих ученых отражены приемы усовершенствования технологии сыров пониженной жирности, но не рассмотрены биологические подходы с использованием дополнительных культур и ферментных препаратов. За рубежом использование дополнительных культур в технологии сыров пониженной жирности является распространенной практикой. Однако в России данный подход не получил широкого применения так же, как и применение липолитических и протеолитических ферментов.

На сегодняшний день одним из действующих документов по стандартизации, регламентирующим производство сыров пониженной жирности, является Технические условия ТУ 9225-070-04610209-2002 «Сыры полутвердые пониженной жирности». Сыры, выработанные по данным технологиям, должны иметь слабовыраженный сырный, кисловатый вкус и запах с допуском легкой

горечи и слабого кормового привкуса. Сыры с такими органолептическими показателями не соответствуют возросшим требованиям потребителя.

В основу работы положена **рабочая гипотеза**, в соответствии с которой улучшение органолептических показателей сыров пониженной жирности возможно осуществить за счет углубления ферментативных процессов во время выработки и созревания сыров и накопления вкусоароматических веществ за счет биотехнологических приемов, включающих направленный выбор состава заквасочной микрофлоры, и обеспечение условий ее развития корректировкой технологических приемов производства, а так же использование ферментных препаратов.

**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 были 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 модернизировать 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 данные 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».

**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.

Основные результаты работы доложены, обсуждены и одобрены на конференциях:

- XIV Международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов «Современные пищевые тенденции глазами молодых ученых: перспективы, инновации и прогрессивные технологии» (г. Санкт-Петербург, 2021);
- 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);
- XV Международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов «Актуальные вопросы и современные решения в области пищевых систем» (г. Москва, 2022);
- Международная научно-практическая конференция «Производство сыра, масла и другой молочной продукции в современных условиях. Проблемы и пути решения» (Углич, 2023).

Результаты работы отмечены дипломом РАН в номинации «Лучшая научно-исследовательская работа» (Москва, 2022) (Приложение А).

**Публикации.** 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 источник. Работа изложена на 164 страницах и включает 56 таблиц, 41 рисунок и 4 приложения.

## ГЛАВА 1 ОБЗОР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1 Сыры пониженной жирности в аспекте диетического питания

Особое место среди молочных продуктов занимают сыры. Сыр – это ферментированный белково-жировой концентрат, получаемый из молока в результате биотехнологических процессов производства и созревания под действием ферментов, продуцируемых заквасочными микроорганизмами. Его пищевая ценность обусловлена сбалансированностью состава пищевых веществ: белков, жиров, а также витаминов, макро – и микроэлементов, в т.ч. кальция и фосфора. Сыры благодаря своему химическому составу, особенностям технологии и высоким потребительским и пищевым характеристикам популярны во всем мире среди различных категорий населения и отличаются легкой усвояемостью наряду с высокой пищевой ценностью [1-4]. Кроме того, сыры по праву можно назвать «живыми» продуктами: популяция молочнокислых бактерий, многие из которых обладают пробиотическим потенциалом, может достигать до  $5 \cdot 10^9$  КОЕ жизнеспособных клеток в 1 г и благотворно влиять на здоровье человека [5, 6].

Во всем мире на фоне тенденции потребления продуктов с низким содержанием животных жиров наблюдается интерес к сырам пониженной жирности, как функциональному продукту питания с диетическими свойствами [7-10]. Это связано с растущей осведомленностью потребителя о принципах здорового питания и его желанием употреблять в своем рационе специализированные, функциональные и обогащенные продукты здорового питания, в т. ч. со сниженным содержанием жира [11,12]. Кроме того, многие рекомендации национальных организаций по питанию направлены на ограничение потребления животных жиров с целью снижения энергоемкости рациона, а также профилактики развития ряда заболеваний различной этиологии. Во многих странах потребление молочных продуктов с низким содержанием жира, в том числе сыров пониженной жирности, рекомендуется как часть рациона здорового питания [13-17].

Согласно ГОСТ Р 52686-2006 «Сыры. Общие технические условия» массовая доля жира в зависимости от вида сыра может колебаться от 10 % до 60 % в сухом веществе:

- высокожирные (массовая доля жира не менее 60,0 %);
- жирные (массовая доля жира от 45,0 до 59,9 %);
- полужирные (массовая доля жира от 25,0 до 44,9 %);
- низкожирные (массовая доля жира от 10,0 до 24,9 %);
- нежирные (массовая доля жира не более 10,0 %).

Базовый ассортимент большинства сыродельных предприятий составляют классические полутвердые сыры (Российский, Костромской, Пошехонский и др.), которые имеют массовую долю жира 45,0 % и 50,0 % в пересчете в сухом веществе и относятся к жирным сырам. Сыры с пониженной жирностью охватывают группы полужирных и низкожирных сыров с содержанием жира в сухом веществе менее 45,0 % и более 10,0 % [18].

В зарубежной практике сыроделия сырами с пониженным содержанием жира (Reduced-fat) считаются сыры, содержащие как минимум на 25 % меньше жира по сравнению с традиционным жирным аналогом. Термин «с пониженным содержанием жира» используется в качестве общего термина для описания соответствующих видов сыров пониженной жирности с указанием конкретного уровня жира в сыре [19].

Ассортимент отечественных сыров пониженной жирности в соответствии с действующей технической документацией на сыры полутвердые пониженной жирности включает следующие наименования: Литовский, Каунасский, Вырусский (массовая доля жира в сухом веществе 30,0 %) и сыр Прибалтийский (массовая доля жира в сухом веществе 20,0 %) [20]. Кроме этих сыров в СССР в различное время были разработаны технологии сыров: Рамбинас, Шетский, Минский, Тартуский, Пярнуский, Даугава, Салдусский и др. [21-23].

В странах Западной Европы группа сыров пониженной жирности охватывает широкий ассортимент сыров, в том числе мягких, полутвердых и твердых (Cottage, Minash fresh, Gouda, Kasar, Cream, Cheddar, Keshire, Mozzarella, Feta) [24-26].

Вышеперечисленные разработки не имеют широкого распространения и на сегодняшний день редко можно встретить данные сыры на полках магазинов, главным образом, по причине низкого спроса и несоответствия желаемым потребительским свойствам.

Сыры пониженной жирности следует рассматривать как высокобелковые продукты. Молочные белки, которые в сыре представлены преимущественно казеинами, являются полноценными по своему аминокислотному составу и содержат большое количество таких аминокислот, как валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, триптофан, фенилаланин и др. [27, 28]. Общее содержание белка в сырах пониженной жирности в зависимости от вида варьируется от 20 % до 40 % [1,29]. Молочные белки, являясь белками животного происхождения, более сбалансированы в сравнении с растительными и наиболее близки к идеальному белку по содержанию незаменимых аминокислот в количестве, достаточном для биосинтеза белка в организме человека. Еще одним преимуществом животных белков является их лучшее усвоение организмом. Белки животного происхождения усваиваются на 93-96 %, в то время как белок из продукции растительного происхождения – лишь на 62-80 % [17].

Во время производства и созревания сыра часть белка трансформируется в более простые белковые соединения в результате протеолиза под действием молокосвертывающих ферментов, остаточных протеаз молока и ферментов заквасочных микроорганизмов. Постепенное расщепление белков в сырной массе до водорастворимых пептидов и свободных аминокислот приводит не только к формированию более мягкой текстуры и выраженного сырного вкуса, но и способствует лучшему усвоению продукта организмом человека. Поскольку существенное расщепление казеина происходит еще до его употребления в пищу и начала действия на него ферментов желудочно-кишечного тракта, белок сыра усваивается организмом человека практически на 100 % [30-34].

Существует обратно пропорциональная зависимость доли белка от содержания молочного жира в сыре [35, 36]. Структура сырного теста представляет собой белковую трёхмерную сеть, внутри которой диспергирована вода и

включения жира в виде жировых глобул и свободного жира. Снижение количества молочного жира в сырах пониженной жирности компенсируется влагой и белком: чем меньше жирность, тем больше пространства для белковой матрицы и влаги. Так, в жирном сыре Чеддер массовая доля белка в среднем составляет 25,5 г/100 г, в низкожирном аналоге – 31,5 г/100 г. Данная особенность сыров пониженной жирности увеличивает их достоинство как продукта с диетическими свойствами с повышенным содержанием полноценного белка и увеличивает биологическую ценность при значительном снижении энергетической [37].

Широкая вариабельность массовой доли белка в сыре объясняется, в том числе, заданными особенностями технологии и физико-химическими показателями того или иного сыра. Меньшее содержание белка (<25,0 %) присуще группе мягких сыров, характеризующейся повышенным содержанием влаги. Так, массовая доля белка в сыре Моцарелла в среднем составляет 25 %, в сыре Камамбер – до 21 %, а в сыре Фета – до 16 %. В свою очередь, сыры твердые и сверхтвердые имеют бóльшую массовую долю сухих веществ и, соответственно, белка. Так, например, в сыре Пармезан содержание белка может достигать до 40 % [1, 29].

Бесспорно, что молочный жир играет одну из ключевых ролей в формировании потребительских характеристик сыра, влияя непосредственно на консистенцию, делая ее более пластичной, и вкус – более выраженным за счет образующихся в результате различных биохимических реакций вкусоароматических соединений. В процессе липолиза под действием ферментов, выделяемых микроорганизмами, образуются такие продукты гидролиза, как ди- и моноглицериды и свободные жирные кислоты, от концентрации и соотношения которых во многом зависит вкусовой фон сыра [38-41]. Сложный химический состав молочного жира представлен триацилглицеринами, включающими до 400-500 видов насыщенных и ненасыщенных монокарбоновых (жирных) кислот. Процентное содержание молочного жира в сыре может варьировать в широких пределах, обуславливая не только органолептические характеристики продукта, но и его пищевую и энергетическую ценности [27, 42].

Вместе с тем, исследования, проведенные за последние несколько десятилетий, показывают неоднозначность влияния животных жиров, к которым относятся липиды молока, на ряд важных функций человеческого организма. С точки зрения нутрициологии продукты с высоким содержанием насыщенных жирных кислот, количество которых в молочном жире по разным источникам колеблется от 46,9 % до 70,1 % [1, 42], часто воспринимаются как негативно влияющие на здоровье и связываются с повышенным уровнем липопротеинов низкой плотности в крови, являющихся маркером риска сердечно-сосудистых заболеваний. Сыр и другие молочные продукты с высоким содержанием жира, в частности, сливочное масло, также имеют репутацию «вредного» пищевого продукта из-за предполагаемой связи между содержанием насыщенных жирных кислот, холестерина и риском развития сердечно-сосудистых заболеваний, ожирения, диабета и т.д. Ряд научных работ подтверждает ассоциацию между потреблением жирных молочных продуктов и потенциальным риском развития различных заболеваний сердечно-сосудистой системы (16, 43-46).

Содержание полиненасыщенных жирных кислот в молочном жире невелико и составляет до 3,0 % от общего содержания жирных кислот, что является существенным недостатком с точки зрения физиологии питания, а основными представителями являются линоленовая (~0,5 г/100г) и линолевая (~2,5 г/100г) кислоты [47-49]. Однако состав молочного жира уникален и характеризуется наличием жирорастворимых витаминов А, Е и D и таких важных нутриентов, как короткоцепочечные жирные кислоты (муравьиная C<sub>1</sub>, уксусная C<sub>2</sub>, пропионовая C<sub>3</sub>, масляная/изомасляная C<sub>4</sub>, валериановая / изовалериановая C<sub>5</sub> и капроновая/изокапроновая C<sub>6</sub>), фосфолипиды, каротиноиды и другие микронутриенты, что повышает его пищевую ценность [42, 50-52].

Следует признать, что в сырах пониженной жирности вклад молочного жира в пищевую и энергетическую ценность продукта существенно уменьшается. Но это компенсируется увеличением белковой составляющей. Являясь источником незаменимых аминокислот, белки, подвергаясь протеолизу в процессе созревания, обогащают продукт незаменимыми аминокислотами, тем

самым увеличивают биологическую ценность продукта. Таким образом, сыры пониженной жирности можно рассматривать как продукты диетического питания.

## **1.2. Особенности формирования органолептических показателей сыров пониженной жирности**

Производство сыров пониженной жирности требует существенной корректировки традиционных для жирных сыров технологических параметров с целью получения продукта с приемлемой текстурой. Одним из важных условий является увеличение влагоудерживающей способности сырного зерна и получение повышенного содержания влаги в сыре. Сыр с пониженным содержанием жира в значительной степени отличается от своего полножирного аналога по таким показателям, как массовая доля влаги, скорость сбраживания лактозы, соотношение влаги к казеину, рН, содержание соли и др. Как было показано в 1.1, особенностью сыров пониженной жирности, главным образом, считается диспропорция белково-жировых компонентов в сторону увеличения содержания белка, что и отличает их от сыров традиционной жирности.

В свою очередь, эти характеристики влияют на интенсивность протекающих в сыре микробиологических и биохимических процессов, обуславливающих дальнейшее развитие вкусовых, структурно-механических и в целом видовых особенностей продукта. В связи с этим очевидно, что значительное снижение молочного жира и колебания в химическом составе сырной массы неизменно отражаются на потребительских свойствах готового продукта. По мнению ряда авторов, наиболее существенные недостатки сыров с низким содержанием жира связаны с уменьшением содержания жира на 50 % и более [7, 36, 53].

Исследованиями Балинскийте Р.П. [23] выявлено, что снижение массовой доли жира до 30 % в сухом веществе позволяет получить приемлемые органолептические показатели сыра. Но при дальнейшем снижении жирности выраженность вкусовых свойств и аромата сыра заметно уменьшаются, а по консистенции сыры значительно уступают жирным сырам. Стоит также отметить,



что сравнение сыров 20- и 10 %-ной жирности с обезжиренным сыром показало убедительное преимущество первых.

Связь между содержанием жира и органолептическими характеристиками сыра носит сложный характер. Во-первых, доля молочного жира в сыре и его структура, представленная жировыми глобулами в трехмерной белковой сети сыра, влияют на реологические свойства продукта и диспергирование в ротовой полости, что обуславливает ощущение маслянистости и сливочности во рту [54]. Во-вторых, молочный жир, в частности триглицериды, являясь предшественником множества образующихся в результате липолиза вкусоароматических соединений (жирные кислоты, сложные эфиры, метилкетоны, спирты, лактоны), необходим для развития правильного вкусового букета сыра во время его созревания. Снижение массовой доли молочного жира в сыре становится причиной образования меньшего количества вкусовых и ароматических веществ в результате липолиза: чем ниже содержание жира в сыре, тем интенсивнее проявляются недостатки, связанные с вкусовыми характеристиками сыра [55, 56]. Кроме того, жир является растворителем широкого спектра вкусоароматических соединений и меняет пороги их восприятия [57, 58].

Известен факт, что сыры, изготовленные из обезжиренного молока, не приобретают нужного вкуса и аромата и значительно уступают по органолептическим характеристикам жирных сырам [7, 38, 59].

Fenelon M. A., Guinee T. P. и др. [60] показали, что сыр Чеддер пониженной жирности характеризовался менее выраженным вкусом и ароматом. По мере снижения содержания жира в сыре Чеддер ослаблялись такие вкусоароматические ноты, как «масляная», «сливочная» и «карамельная». Авторы связали «бедный» вкус и аромат сыров с низким содержанием молочного жира, но не со степенью протеолиза, поскольку значимых различий в пептидных профилях не было обнаружено.

Учеными из Финляндии Ritvanen T., Lampolahti S. и др. [61] проведены исследования по оценке зависимости органолептических показателей,

химического состава и потребительских предпочтений в выборе сыров полножирных и пониженной жирности. Подтверждено, что у сыров Эдам различной жирности сливочность и насыщенность вкуса коррелируют с содержанием жира. Аналогичные результаты получены исследователями из Франции Martin C., Schoumacker R. и др. [62]: восприятие сливочного вкуса и аромата, ощущение сливочности и жирности во рту усиливались с увеличением содержания жира в сырах, а горечь и терпкость – уменьшались.

Исследователями из США Drake M.A, Miracle R.E. и McMahon D.J. [63] показано, что жирные сыры, имеющие более насыщенный вкус и аромат, по сравнению с сырами пониженной жирности характеризовались повышенной концентрацией метантиола. Метантиол и другие летучие ароматические сернистые соединения (диметилсульфид, сероводород), являющиеся производными таких серосодержащих аминокислот, как цистеин и метионин, обладают низким вкусовым порогом; они растворимы в жире, но не в воде, что частично объясняет отсутствие сырного вкуса в сырах из обезжиренного молока. Интересно, что метантиол и  $H_2S$  в чистом виде обладают крайне неприятными запахами [64-66], однако в небольших концентрациях и в комплексе с другими соединениями наличие данных соединений связывают с сырным вкусом и ароматом [67].

Учеными Drake M.A., Miracle R.E. и др. [63, 68] отмечено, что вкус сыров с пониженным содержанием жира часто характеризуется как посторонний с привкусами «мясной», «бульонный» и «пригорелый». В целом, отмечены различия в концентрациях таких вкусоароматических соединений, как фураны, фенилэтаналь, лактоны, масляная, уксусная кислоты и др., указывающие на различия в биохимии сыров различной жирности. Показано, что присутствие жира может изменить сенсорное восприятие горьких гидрофобных пептидов и снижать их скорость выделения из сырной массы при пережевывании. Таким образом, разница в массовой доле жира в сырах влияет на пороги обнаружения ключевых ароматических соединений при органолептической оценке.

Во время производства и созревания сыра часть белка трансформируется на более простые белковые соединения в результате процессов протеолиза под

синергетическим действием молокосвертывающих ферментов, остаточных протеаз молока и ферментов заквасочных микроорганизмов. Постепенное расщепление белков в сырной массе до низкомолекулярных пептидов, и, в конечном итоге, образование аминокислот, приводит к формированию характерного вкуса и аромата сыра, в том числе образования посторонних привкусов по причине высвобождения мелких пептидов с разнообразным аминокислотным составом [69-71]. Подавляющее большинство аминокислот обладают специфическим уникальным вкусом и вносят характерный вклад в образование вкусоароматического профиля зрелого сыра. Изучению роли свободных аминокислот в формировании вкуса сыра посвящено много исследований [72-75]. Известно, что аминокислоты могут быть сладкими, горькими, кислыми, солеными т.д. и в сочетании с другими соединениями и в различных соотношениях сообщать продукту разнообразные оттенки вкуса [21].

Результаты научных работ по влиянию содержания жира, в частности его редуцирования, на интенсивность протеолиза в сырах пониженной жирности, как правило, противоречивы. Некоторые авторы считают, что протеолиз в сырах данной группы протекает более интенсивно, чем в традиционных, что связано с бóльшим содержанием влаги в них [21]. Другие, наоборот, свидетельствуют о том, что снижение доли жира в сыре не отражается либо тормозит интенсивность гидролиза казеинов. К числу последних, в частности, относятся Banks J.M., Brechany E.Y. и др. [7, 100], утверждающие, что редуцирование жира сопровождается существенным увеличением кислотности сырной массы, содержания влаги и белка. Каждый из этих факторов, в свою очередь, вызывает медленное протекание протеолиза, что приводит к снижению содержания свободных аминокислот, обуславливающих вкусовую фон продукта [76,60]. Аналогичные результаты получены Балинской Р.П. [23] в результате сравнительных исследований аминокислотного состава и свойств сыров различной жирности. Показано, что с понижением жирности уменьшается содержание общего растворимого азота и свободных аминокислот.

В научных работах Fenelon M. A., O'Connor P. и Guinee T. P. [36] показано, что снижение жирности сыра приводит к пониженным значениям первичного протеолиза и отсутствию значимых различий в уровнях вторичного протеолиза, о чем свидетельствуют данные по степени протеолиза и содержанию аминокислот соответственно. Авторы ассоциируют данную тенденцию с увеличением массовой доли белка в сырах по мере снижения его жирности.

Исследованиями, проведенными в США, показано, что сыры полножирные характеризуются более насыщенным вкусом умами, чем сыры с пониженным содержанием жира. Доказано, что аминокислота глутаминовая кислота и ее соли, которые являются источником вкуса умами, оказывают комплексное воздействие на формирование приятного сырного вкуса и аромата и, как правило, обнаруживаются в бóльших концентрациях в жирных сырах [77, 78].

У низкожирных сыров, изготовленных по традиционной технологии, довольно часто встречается порок – горький вкус [7, 8]. Горечь различной интенсивности появляется в низкожирном сыре из-за образования низкомолекулярных гидрофобных пептидов, источником которых является  $\beta$ -казеин [63, 79-82]. Причиной данного порока могут быть отклонения технологических параметров производства и физико-химических показателей сыров пониженной жирности (бóльшее содержание влаги и белка, повышенная кислотность сырной массы и т.д.) [68].

Сопряженные параметры редуцирования жира и увеличения массовой доли белка в сырах негативно отражаются не только на формировании вкусовых характеристик сыра, но и на консистенции.

К наиболее распространенным порокам консистенции сыров пониженной жирности, выработанных по традиционной технологии сыров с низкой температурой второго нагревания, относятся рыхлость, резинистость, жесткость, мучнистость [68]. Одной из причин проявления характерных дефектов консистенции является увеличение объемной доли параказеиновой сетки при снижении содержания жира. Следовательно, микроструктура сыра становится сплошной, трудно поддающейся деформации, способствуя проявлению характерных для сыров пониженной жирности

пороков консистенции [79]. В свою очередь, традиционные жирные сыры характеризуются более мягкой и гладкой текстурой, поскольку молочный жир играет немаловажную роль для обеспечения однородности текстуры сыра путем равномерного распределения его по казеиновой сетке. Жировая фаза, играя роль пластификатора, придает сыру пластичные свойства. Многочисленными исследованиями установлено, что чем меньше содержание жира в сыре, тем менее выражены его пластичные свойства и усилены упругие [83-89].

Аналогичные результаты получены испанскими исследователями Sánchez-Macías D, Fresno M. и др. [90] в научных работах о влиянии содержания жира в сыре на его реологические свойства. Доказано, что в сырах с редуцированной жирностью преобладают упругие свойства и консистенция их значительно более твердая. Эти данные подтверждаются другими источниками, свидетельствующими, что снижение содержания молочного жира неизбежно сказывается на консистенции сыра и, как результат, вызывает развитие пороков готового продукта вследствие увеличения объемной доли сетки параказеина и нарушения соотношения белка и жира [91-93].

Учеными из Турции и США (Küküköner E., Naque Z. U. и др.) [94] были исследованы реологические показатели вариантов сыра Эдам, отличающиеся содержанием жира. Результаты исследований показали, что сыры пониженной жирности имели более низкие значения деформации, чем жирные сыры, что указывает на твердость и эластичность текстуры первых.

Таким образом, анализ доступной отечественной и зарубежной литературы показал, что процесс формирования органолептических характеристик сыров пониженной жирности имеет ряд трудностей. Решающую роль в этом играет смещение соотношения основных компонентов сыра: жира, белка и воды в сторону увеличения содержания двух последних. Общеизвестно, что молочный жир в сыре играет роль пластификатора для снижения механической прочности и смягчения текстуры и одновременно является предшественником для образования вкусоароматических компонентов. Следовательно, жир – это важнейший компонент сыра, снижение количества которого неизбежно сказывается на

потребительской привлекательности продукта. Однако возможность усиления вкуса и аромата низкожирных сыров за счет липолиза ограничена из-за пониженного содержания молочного жира в них. Поэтому улучшение органолептических показателей в низкожирных сырах представляется возможным, главным образом, не за счет усиления липолиза, а благодаря углублению протеолиза, изменению направленности процесса разложения молочного сахара и усиления газо- и ароматообразования при сбраживании цитратов.

### **1.3 Способы улучшения органолептических показателей сыров пониженной жирности**

Значительный прогресс в понимании биохимических, физико-химических и технологических аспектов технологии сыров с низким содержанием жира в последние десятилетия привел к новым подходам к улучшению их вкуса, аромата, текстуры и функциональности. В мировой практике исследователями для решения проблем, связанных с органолептическими показателями низкожирных сыров, применяются различные способы. К ним относятся как технологические приемы, так и применение биологических приемов, в том числе внесение ферментов и использование дополнительных заквасочных культур целевого назначения.

К технологическим приемам, как указывалось выше, относятся изменение параметров технологического процесса (или введение дополнительных операций, например, гомогенизации молока), а также применение пищевых добавок, благоприятно влияющих на формирование органолептических показателей. Технологические приемы, как правило, сами по себе просты и экономически доступны.

Существуют также биологические способы улучшения органолептических свойств низкожирных сыров и ускорения их созревания, подразумевающих применение дополнительных заквасочных культур и ферментов. Эти способы направлены на усиление биохимических реакций и имеют цель улучшения органолептических свойств продукта путем изменения направленности и интенсивности процессов созревания.

### 1.3.1 Технологические приемы

Характерной особенностью сыров пониженной жирности является более высокая влажность сырной массы после прессования и зрелого продукта, чем в жирном сыре с массовой долей жира 45-50 %. Это позволяет достичь необходимой текстуры и уменьшить риск появления пороков. Получение продукта с высокой влажностью достигается изменением традиционных технологических схем производства сыра, коррекцией отдельных параметров или применением дополнительных технологических этапов [21, 91]. В первую очередь необходимо регулировать обработку сырного зерна таким образом, чтобы сыр после пресса имел повышенную влажность, а именно 50-54 %, в то время как классические полутвердые сыры голландской группы характеризуются массовой долей влаги перед посолкой в пределах 43-45 %. Для повышения влагоудерживающей способности сырной массы целесообразно применять следующие технологические приемы: сырное зерно ставят сравнительно крупным, понижают температуру свертывания, обработку зерна проводят при умеренной температуре, близкой к температуре свертывания, может использоваться частичная посолка в зерне и др. [7, 23, 93]. Соответствующее регулирование технологического процесса направлено на увеличение содержания как связанной влаги в сыре, хоть и незначительно, так и свободной. Известно, что связанная влага не может быть растворителем веществ, находящихся в сыре, и не способна играть роль среды, в которой протекают микробиологические процессы, но имеет большое значение для формирования консистенции и вкуса сыра.

С повышением влажности сырной массы возрастает и количество свободной влаги, доступной для протекания биохимических реакций, благодаря чему значительно интенсифицируется протеолиз во время созревания сыра. Однако, как было описано в главе 1.2, чрезмерное количество свободной влаги может способствовать появлению кислого и нередко горького привкуса и не всегда способствует формированию приемлемой консистенции сыра. В исследованиях по изучению свойств полутвердых сыров различной жирности,

проводимых еще Литовским филиалом ВНИИМС [23,95], доказана корреляционная зависимость между органолептическими характеристиками сыра и содержанием влаги. При любом отклонении от оптимального значения массовой доли влаги возникает высокая вероятность ухудшения текстуры. Таким образом, регулирование уровня влажности в сыре в значительной мере предопределяет многие биохимические реакции и микробиологические процессы и формирование видовых особенностей сыра, в т.ч. консистенцию, реологические свойства и вкус. При этом ее повышение возможно до определенного предела, поскольку отклонения могут стать причиной появления дефектов консистенции и вкуса.

Исследованиями Балинскяйте Р.П. [23] установлено, что понижение жирности смеси молока с 3,05 % до 0,05 %, при одинаковых прочих условиях, не оказало существенного влияния на продолжительность свертывания сычужным ферментом, но синергетические свойства сырного зерна улучшило, что требует корректировки времени обработки зерна. Автором сделан вывод о том, что с понижением жирности смеси скорость обсушки зерна увеличивается, тем интенсивнее, чем выше температура. Эти особенности необходимо учитывать при выработке сыров пониженной жирности.

С целью регулирования интенсивности синерезиса и обеспечения высокого влагосодержания в сырной массе применяется более щадящая обработка зерна (в сравнении с технологией сыров полутвердых с низкой температурой второго нагревания), которая подразумевает снижение длительности обработки и постановку крупного размера зерна [11]. Согласно действующей технической документации, регламентирующей требования к производству сыров пониженной жирности, сырное зерно после постановки должно иметь размеры от 10 до 15 мм [20], в то время для сыров типа Голландского – от 6 до 8 мм [96].

Турецкими и иранскими учеными [97, 98] с целью улучшения потребительских свойств сыров пониженной жирности были предприняты попытки использовать прием гомогенизации молока. По мнению авторов, этап гомогенизации молока для сыра может способствовать повышению влагоемкости сырной массы сыра путем увеличения степени эмульгирования жира, а также



доступности жира для липолиза, что в целом должно положительно отразиться на вкусе и консистенции сыров пониженной жирности.

Это подтверждается работой ученых из Финляндии и Ирландии Deegan K. C., Holopainen U., P. L. H. McSweeney и др. [99], которые заявили о разработке новой технологии сыра Эмменталь с пониженным содержанием жира из гомогенизированного под низким давлением (10 МПа) молока. Сыры, изготовленные из такого молока, были оценены выше, чем их негомогенизированные аналоги по следующим критериям: интенсивность вкуса, маслянистый и ореховый запах, пластичность и однородность цвета. Авторы утверждают, что гомогенизация позволила улучшить консистенцию сыров и активировать липолиз в процессе созревания сыра, что привело к более высоким результатам органолептической оценки.

С понижением жирности сыров снижается жирность смеси и, соответственно, меняются технологические параметры обработки зерна. Температура второго нагревания играет роль как регулятора степени обезвоживания сырного зерна, так и количественного и качественного состава молочнокислой микрофлоры в производстве сыров пониженной жирности и, в зависимости от массовой доли жира в сыре, колеблется от 33 °С до 37 °С, в то время как температурные режимы второго нагревания у традиционных полутвердых жирных сыров варьируются в пределах 38-42 °С. С понижением массовой доли молочного жира рекомендуется уменьшать температуру второго нагревания, исходя из скорости обсушки зерна и нарастания кислотности с таким расчетом, чтобы получить сыр с заданным содержанием массовой доли влаги и уровнем активной кислотности [20].

В Литовском филиале ВНИИМС были установлены следующие режимы второго нагревания для сыров с редуцированной калорийностью, вырабатываемых по технологии сыров с низкой температурой второго нагревания: 40 % – 39 °С, 30 % – 37 °С, 20 % – 33 °С, 10 % – менее 32 °С [23].

Шотландские ученые Banks J.M. и Brechany E.Y. [100] для производства сыра Чеддер с понижением содержания жира на 25 % и 50 % от контрольного (с массовой

долей жира 53 % в сухом веществе) рекомендовали снижать температуру второго нагревания до 37 °С и 35 °С соответственно с целью увеличения содержания влаги в сырах после прессования. Аналогично в исследованиях Kosikowski и Mistry [101] указывается рекомендуемая температура второго нагревания сырного зерна в пределах 34–36 °С для низкожирного сыра Чеддер.

Применение пониженной температуры второго нагревания способствует не только удержанию влаги в сыре, предотвращая в дальнейшем развитие пороков консистенции, но также исключает отрицательное воздействие повышенной температуры на мезофильную микрофлору. Известно, что предельные температуры роста у лактококков имеют отличия, что определяет их отношение к режиму второго нагревания (максимальная температура роста *Lactococcus cremoris* – 40 °С, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* – 42 °С) [102].

При тех температурных режимах, которые приняты в традиционной технологии сыров с низкой температурой второго нагревания, клетки испытывают тепловой шок и получают сублетальные повреждения, что приводит к торможению развития и снижению скорости кислотообразования лактококков. У лактококков подвида *Lactococcus cremoris* тяжесть повреждений при такой температуре выше, чем у лактококков подвида *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, и требуется более длительное время для их восстановления. Напротив, в технологии сыров пониженной жирности щадящая температура обработки зерна способствует интенсификации молочнокислого процесса и предотвращает изменение исходного соотношения между представителями подвидов лактококков и сохранению популяции лактококков подвида *Lactococcus cremoris*, которые вносят свой положительный вклад в формирование органолептических характеристик сыров [95].

Проведенные во ВНИИМС комплексные исследования по изучению динамики формирования органолептических показателей ферментированных молочных продуктов, в т.ч. сыров, показали, что штаммы сливочного лактококка *Lactococcus cremoris* в значительно меньшей степени, чем штаммы молочного лактококка *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, создают риск образования горечи и

поэтому являются более предпочтительными в составе бактериальных заквасок для сыров [103, 104]. Для сыров с редуцированной калорийностью снижение рисков появления горечи особенно актуально, поскольку на фоне повышенной влажности сыра изменяется скорость и направленность процесса протеолиза и данный порок является значимым.

Одним из технологических решений в производстве сыров пониженной жирности является снижение содержания кальция, связанного со структурой сыра, за счет предварительного подкисления молока или снижения кислотности сырной массы во время выработки. Предварительное подкисление молока или снижение уровня pH сырной массы достигается с помощью таких подходов, как использование органических кислот (например, молочной), повышение дозы производственной закваски, увеличение времени выдержки сгустка в сыродельной ванне и т.д. Снижение доли коллоидного кальция способствует смягчению плотной казеиновой сетки текстуры сыра, увеличению уровня первичного протеолиза и влагоудерживающей способности сырной массы, компенсируя тем самым недостатки, вызванные снижением содержания молочного жира [19, 105].

При выработке некоторых видов полутвердых жирных сыров (Ламбер, Качотта) одним из технологических приёмов является выдержка (термостатирование) сыра после формования в климатических тоннелях или термокамерах при повышенной температуре (32-38 °С) по сравнению с температурой воздуха в цехе. В ремесленной сыроделии эта операция имеет название – «стуфатура» (*stufatura*), что в переводе с итальянского означает «тушение» или «пропаривание». Стуфатура – один из этапов технологического процесса выработки сыра Качотта, который создает оптимальные температурные условия для развития кислотообразующей микрофлоры, накопления молочной кислоты и снижения активной кислотности в сырной массе, отщепления кальция от параказеинфосфатного комплекса, что приводит к изменению текстуры сыра. Выдерживают сыр в среднем 1,5-2,0 часа. За это время сыр переворачивают несколько раз [106, 107]. Более длительная выдержка может привести к излишне

высокой кислотности сырной массы и возникновению пороков вкуса и консистенции. Использование климатической термокамеры, как приема для ускорения процесса сбраживания лактозы, применяется в ряде технологий производства полножирных сыров, но не найдено литературных источников об использовании данного технологического приема для сыров пониженной жирности. Отсутствие данных по использованию приема выдержки и «прогрева» формованных сырных головок в климатических термокамерах в технологии сыров пониженной жирности можно объяснить повышением рисков ухудшения консистенции сыров в процессе созревания.

Проблемы сыров с редуцированной калорийностью, связанные с консистенцией, могут быть частично решены с помощью использования наполнителей различной природы. Целью их использования является улучшение консистенции низкожирных сыров, которая, как известно более упруга и ломка по сравнению с консистенцией жирных сыров [19].

В последние годы для улучшения консистенции сыров пониженной жирности зарубежные исследователи прибегают к использованию гидроколлоидов, главными функциями которых являются текстурная и влагоудерживающая способность, позволяющие им имитировать физические свойства жира в молочных продуктах. К применяемым гидроколлоидам для заменителей жира обычно относятся различные полисахариды и белки, которые можно использовать отдельно или в виде смеси в рецептурах обезжиренных молочных продуктов [108-110]. Использование водосвязывающих агентов при производстве сыров пониженной жирности является эффективным для улучшения их консистенции за счет восполнения дефицита молочного жира в сырной матрице, являющегося натуральным пластификатором, дополнительным количеством воды, удерживаемой в структуре продукта такими гидроколлоидами, как камеди, каррагинаны и альгинаты, инулин и т.д [24, 111-113].

Например, Khanal B. K. S., Bhandari B. И. и др. [108] при выработке низкожирного сыра Чеддер использовали альгинат натрия в качестве добавки с влагоудерживающим эффектом. По результатам исследований выявлено, что

данная добавка улучшила текстурные и микроструктурные свойства опытного сыра и показала потенциал в качестве многообещающего модификатора текстуры.

Практическое применение в производстве низкожирных молочных продуктов, в т.ч. сыров с редуцированной калорийностью, получили микропартикуляты и/или концентраты сывороточных белков. К промышленно выпускаемым микропартикулятам сывороточных белков относятся препараты Simplese и Dairy Lo с частицами сывороточных белков разного размера (обычно 0,5-5,0 мкм). Благодаря белковой природе оболочки жировых шариков, характерной форме и размерам частиц микропартикулята, продукт, обогащенный микропартикулятом, воспринимается рецепторами ротовой полости как жирный продукт. Это свойство микропартикулята дает возможность снизить массовую долю жира в продукте, сохранив при этом ощущение «сливочности», характерное полножирным молочным продуктам [114-118]. Как показали исследования, использование МПСБ целесообразно при производстве именно низкожирных сыров, в жирных сырах вкус ухудшается, становясь водянистым, а консистенция – излишне мягкой [114]. Однако использование микропартикулятов сопряжено с риском ухудшения вкуса продукта. Так, например, сообщается, что данный способ кроме корректировки недостатков текстуры сыра с пониженной жирностью, может привести к изменению вкусоароматического профиля сыра, а именно увеличению концентрации сернистых соединений за счет высокого содержания в сывороточных белках таких серосодержащих аминокислот, как лизин, триптофан, а также этилбутаноата и этилгексаноата [119]. Нередко добавление микропартикулятов и/или концентратов сывороточных белков сопровождается развитием постороннего и горького вкусов в продукте [120, 121].

Анализ приведенных литературных сведений, отражающих накопленный научно-практический опыт отечественных и зарубежных ученых в области исследования проблем, связанных с улучшением органолептических показателей сыров пониженной жирности, показывает, что способы решения этих проблем за счет регулирования технологических процессов недостаточно эффективны. Большинство исследователей отмечали, что технологический подход в

определенной степени может улучшить консистенцию, однако не решает проблемы, связанные с вкусом и ароматом низкожирного сыра, при этом часто их усугубляет. Как правило, моделирование потребительских свойств данной группы сыров требует комплексного решения, которое должно включать и биологический подход, направленный на изменение интенсивности ключевых биохимических процессов таких, как метаболизм лактозы и цитратов, липолиз молочного жира, протеолиз казеина и катаболизм аминокислот и т.д. В этой связи большое значение могут иметь биотехнологические приемы, в том числе моделирование состава заквасочной микрофлоры за счет внесения специально подобранных композиций дополнительных культур целевого назначения в сочетании с коррекцией параметров технологии.

### **1.3.2 Применение дополнительных заквасочных культур**

В качестве одного из способов корректировки органолептических свойств сыров пониженной жирности, можно рассматривать использование дополнительных заквасочных культур. Данный способ направлен на усиление биохимических реакций, протекающих во время созревания сырной массы, и имеет цель улучшения органолептических свойств продукта путем изменения направленности и интенсивности биохимических процессов за счет ферментативных систем дополнительной микрофлоры. В сыроделии под дополнительными или вспомогательными культурами подразумевают «подобранные» штаммы микроорганизмов, которые являются представителями более широкого круга микробных таксонов семейств, родов и видов, чем микроорганизмы основной заквасочной микрофлоры. Дополнительная заквасочная микрофлора более разнообразна не только с точки зрения таксономического состава, но и функциональности, обусловленной сенсорными и биохимическими изменениями в сыре, благодаря особенностям метаболизма [122]. Поскольку данные микроорганизмы не оказывают значимого влияния на уровень молочнокислого брожения в сырной ванне, дозы их внесения, как

правило, не столь высоки (менее  $10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>) по сравнению с основными культурами. К дополнительной микрофлоре относятся пропионовокислые и бифидобактерии, плесневые грибы, дрожжи и бактерии сырной слизи, а также мезофильные и термофильные молочнокислые палочки.

Как в России, так и за рубежом в результате многочисленных исследований получены положительные результаты использования дополнительных микроорганизмов целевого назначения для корректировки органолептического профиля группы сыров пониженной жирности. С помощью дополнительных культур можно разнообразить органолептические характеристики, создавать новые виды сыров и расширить существующий ассортимент. Для ускорения созревания сыров с редуцированной калорийностью и улучшения их органолептических свойств разрабатывались методы, предусматривающие дополнительное применение совместно с кислотообразующими лактококками некоторых штаммов мезофильных и термофильных молочнокислых палочек, обладающих более разнообразным метаболизмом [123, 124].

В качестве дополнительной заквасочной микрофлоры для улучшения органолептических показателей группы сыров пониженной жирности довольно часто применяют молочнокислые палочки. Так, мезофильные лактобациллы вида *Lacticaseibacillus casei* за рубежом используются наряду с лактококковой бактериальной закваской для различных групп сыров пониженной жирности в качестве дополнительной культуры благодаря их протеолитической системе, характеризующейся высокой пептидазной и аминопептидазной активностью. Ряд научных работ отражает положительный опыт использования мезофильных палочек *L. casei* для ускорения созревания сыров пониженной жирности, формирования их желаемых органолептических свойств, а также в качестве пробиотической культуры [125-127].

В исследованиях Fenelon M. A., Beresford T. P. и др. [124] показали, что использование лактобацилл, в т.ч. *L. casei*, способствовало развитию насыщенного сырного вкуса в низкожирном сыре Чеддер. Опытные образцы

сыров имели значительно более высокие концентрации пептидов с низкой молекулярной массой и свободных аминокислот, чем контрольный сыр.

Влияние *L. casei* на органолептические показатели нежирного сыра из овечьего молока (типа Kefalograviera) изучали Katsiari M. C., Voutsinas L. P. и др. [128]. Авторы работы обосновывают выбор этой культуры ее уникальной сбалансированной аминопептидазной системой и способностью усиливать общую интенсивность аромата сыра, подчеркивая все важные вкусовые ноты, а также свойством подавления нежелательных ароматов и привкусов, таких как кислый, горький и посторонний. В результате опытные сыры с низким содержанием жира, приготовленные с использованием дополнительных культур, получили значительно более высокие оценки за вкус и консистенцию, чем контрольный нежирный сыр в конце срока созревания. Кроме того, сыры с добавлением культуры *L. casei* получили оценки вкуса, аналогичные оценкам полножирного сыра на основе стандартной лактококковой закваски, но ощутимо уступали ему по консистенции. Авторы в последующей научной работе сообщают, что опытные сыры с низким содержанием жира, выработанные с добавлением культур *L. casei*, имели более высокие уровни ацетона, диацетила и ацетоина и других летучих соединений и в целом получили достойную оценку за органолептические свойства, чем контрольный сыр с низким содержанием жира без внесения дополнительных культур [129].

Норвежские исследователи Skeie S., Alseth G. M. и соавторы [130] описывают технологию низкожирного сыра Norvegia (с м.д.ж. 20 %) с применением двухэтапного подхода, в котором его текстура была улучшена за счет добавления 15 % пахты и 3 % микропартикулята сывороточных белков и добавочных культур мезофильных палочек *L. casei* и *L. plantarum* в молоко для сыра. По мнению авторов, добавки уменьшили плотность и резинистость текстуры сыра, а используемые лактобациллы положительно повлияли на текстуру, в то время как их влияние на вкус было противоречивым.

Ramzan M., Nuzhat H. и др. [131] было предложено использовать *Lactobacillus rhamnosus* в качестве вспомогательной культуры для сыра Чеддер.



Результаты эксперимента по опытным вариантам сыров показали, что *L. rhamnosus* улучшает вкус, уменьшает горечь и ускоряет протеолиз сыра.

Австралийскими учеными [132] получены результаты по улучшению органолептического профиля сливочного сыра с пониженным содержанием жира, обогащенного  $\beta$ -глюканом, фитостеролами и культурой *L. rhamnosus*. Выявлены значительные различия вкусовых характеристик между контрольными и опытными вариантами сливочного сыра с дополнительной культурой, который отличался более сливочным маслянистым вкусом, свидетельствующим об эффективности добавок и культуры *L. rhamnosus* в улучшении вкуса сливочного сыра с пониженным содержанием жира.

В США исследователями Tungjaroenchai W., Drake M.A. [123] изучено влияние на физико-химические и органолептические свойства низкожирного сыра Эдам лактобацилл *Lactobacillus reuteri*. Экспертами комиссии отмечено, что опытные сыры с пониженным содержанием жира с *L. reuteri* имели лучшие результаты консистенции даже по сравнению с сырами со стандартной массовой долей молочного жира. Однако существенных улучшений вкуса и аромата не получено. Этими же авторами несколькими годами позже было сообщено, что в низкожирном сыре Эдам с добавлением *L. reuteri* обнаружено наиболее высокие концентрации летучих свободных жирных кислот, чем в сырах с добавлением других дополнительных культур [133].

Исследователями Milesi M. M, Wolf I. V. и др. [134] оценен вклад в формирование аромата и протекание вторичного протеолиза мезофильных лактобацилл, в т.ч. *Lactiplantibacillus plantarum*. Сыры, выработанные с добавлением лактобацилл, показали повышенное количество свободных аминокислот и характеризовались значительно более богатым вкусовым букетом, нежели контрольный вариант сыра.

Ученые из Китая Zhang X., Hao, X. [135] оценивали влияние мезофильных палочек *L. plantarum* и инулина на физико-химические и органолептические свойства сыра Чеддер пониженной жирности. Добавление культуры *L. plantarum* и инулина не вызывало изменений физико-химических характеристик сыра,

однако способствовало интенсификации вторичного протеолиза и образованию свободных аминокислот. Авторами отмечено благоприятное влияние данной дополнительной культуры в сочетании с инулином на органолептические характеристики низкожирного сыра Эдам.

Положительные результаты (в частности интенсивность вкуса и аромата и более пластичная консистенция, чем в контрольном сыре) по использованию дополнительных культур *L. plantarum* и *L. rhamnosus* в производстве низкожирного сыра типа Качотта отмечены учеными из Италии и Франции Di Cagno R., De Pasquale и др. [136].

В научной практике в области сыроделия довольно часто в качестве дополнительных заквасочных микроорганизмов добавляются термофильные палочки *L. helveticus*. В производстве сыров с высокой температурой второго нагревания *L. helveticus* представляет собой важный кислотообразующий компонент бактериальной закваски, а для других групп сыров представляет интерес как вспомогательная культура, усиливающая вкус и аромат. Важным и полезным свойством *L. helveticus* в сыроделии, в частности сыров пониженной жирности, является способность уменьшать горечь и обогащать вкус сыра благодаря разнообразной ферментативной активности, включающей протеиназы, связанные с клеточной оболочкой, и внутриклеточные пептидазы, которые после лизиса клеток выделяются в матрицу сыра и усиливают протеолиз [137, 138]. В источниках [139, 140] описывается механизм действия протеолитической системы *L. helveticus* и ее роль в предупреждении развития нежелательного вкуса в сырах, в первую очередь, горького. Сообщается о способности большинства штаммов вида *L. helveticus* расщеплять гидрофобные пептиды, в частности, горький пептид  $\beta$ -CN (193–209) и значительно уменьшать горький вкус в сыре.

Направления работ в технологии сыров пониженной жирности с использованием *L. helveticus* как дополнительных культур целевого назначения, проводимых в России и за рубежом, отражают следующие работы.

Так, Алтайским филиалом ВНИИМС был предложен способ производства низкожирного сыра, подразумевающий использование в составе бактериальной

закваски наряду с мезофильными культурами термофильных молочнокислых палочек, включающих штаммы *L. helveticus* и/или *L. lactis* в соотношении 5:1. Данный подход обеспечивает получение стабильно высоких органолептических показателей низкожирного сыра. По мнению авторов патента термофильные молочнокислые палочки обладают сильными энзиматическими свойствами, обеспечивающими интенсивную трансформацию белка и, как следствие, формирование более выраженного вкуса и аромата и пластичной консистенции сыра. Однако в случае использования термофильной микрофлоры целесообразно установить температуру второго нагревания на уровне 39-41 °С для активизации термофильной микрофлоры [141].

Европейскими исследователями Zaravela A., Kontakos S. [142] изучен белый рассольный сыр из козьего молока с пониженным содержанием жира. В данном исследовании в качестве дополнительной микрофлоры с целью усиления вкуса и аромата добавлена культура термофильной палочки *L. helveticus* наряду с основной заквасочной микрофлорой. Как сообщают авторы, использование комбинации основной и дополнительной культур способствовало более высоким значениям протеолиза, что привело к улучшению не только вкуса и аромата, но и структурно-механических свойств сыра.

Интересен пример использования в практике сыроделия дополнительных культур, ослабленных влиянием сублетальных факторов, благодаря их возможности ускорять созревание и улучшать вкус сыров, особенно группы сыров с низким содержанием жира. Воздействие на бактериальную клетку таких агрессивных факторов, как шоковая заморозка, термошоковая обработка или распылительная сушка, вызывает снижение кислотообразующей активности, но сохраняет протеолитическую способность, что приводит к высвобождению бактериальных внутриклеточных ферментов в сырную матрицу и, как следствие, к значительному развитию вкуса и ускорению созревания сыра [143, 144].

В связи с этим следует отметить научную работу польских ученых Garbowska M. и Pluta A. др. [145] по изучению влияния дополнительной закваски, термически обработанной при двух разных режимах (при 65 °С в течение 10 и 30

мин), на изменение органолептических характеристик нежирных сыров голландского типа. В состав вспомогательной закваски ХТ-312 входила смесь культур *Lc. cremoris*, *L. mesenteroides subsp. cremoris*, *Lc. lactis subsp. lactis biovar diacetylactis*, *Lc. lactis subsp. lactis*, *L. pseudomesenteroides*. Данная закваска характеризовалась выраженными ароматообразующей и протеолитической способностями и возможностью продуцирования экзополисахаридов. Как и предполагалось, дополнительные заквасочные культуры, подвергнутые разным режимам термизации, способствовали усилению вкуса и аромата анализируемых сыров и улучшению их консистенции.

При выработке низкожирного Литовского сыра в опытном варианте в молоко вносили 3 % лактококковой закваски, подвергнутой тепловому шоку (нагрев при 56-60 °С без выдержки), и 0,85 % этой же закваски в активной форме, в контрольном варианте – только 1 % активной закваски. При одинаковой скорости увеличения кислотности сыворотки в контроле и опыте степень зрелости опытных сыров по Шиловичу была выше на 10° в 30-суточном возрасте, на 5° – в 45-суточном возрасте; опытные сыры имели более выраженный сырный вкус и аромат [1].

Дополнительно примерами использования таких способов ослабления дополнительных культур как заморозка, сублимационная и распылительная сушки, выступают исследования влияния на характер созревания сыров пониженной жирности Чеддер и Кашар. Исследуемые сыры с дополнительными культурами *L. helveticus* и *L. casei*, подвергнутыми стрессовой обработке, характеризовались выраженным сырным вкусом и ароматом. Авторы научных работ отметили важность ослабления дополнительных культур для обеспечения более высокой скорости клеточного автолиза, приводящее к значительному уровню протеолитической активности во время созревания сыров [146, 147].

За рубежом имеется положительный опыт использования в производстве сыров пониженной жирности микроорганизмов, продуцирующих экзополисахариды, представляющие собой высокомолекулярные полисахариды. Особенно актуально данное свойство в производстве сыров с пониженным

содержанием жира с целью улучшения их консистенции вследствие связывания дополнительного количества влаги. Многочисленными исследованиями подтверждено, что бактериальные культуры, продуцирующие экзополисахариды, обеспечивают более высокое содержание влаги в сыре, а микроструктура сыра с пониженным содержанием жира, полученного с применением такой закваски, соответствует микроструктуре полножирного сыра, о чем свидетельствует электронная микроскопия. По мнению ряда авторов, включение экзополисахаридпродуцирующих культур является перспективным в совершенствовании потребительских качеств группы сыров пониженной жирности [136, 148-152].

Китайские ученые Wang J., Wu T. и др. [153] предложили использовать в технологии низкожирного сыра Чеддер в качестве дополнительной культуры *L. plantarum*, продуцирующей экзополисахариды. Результаты данного исследования показали, что использование *L. plantarum* способствовало повышению доли влаги в сыре, интенсификации протеолиза и микробиологических процессов, а также улучшению текстурных и органолептических свойств опытных сыров.

Турецкие ученые Şanlı, T., Gursel, A. и др. [154] исследовали влияние экзополисахаридпродуцирующих штаммов *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* на органолептический профиль сыров пониженной жирности Kasar. Все опытные сыры с добавлением дополнительных культур получили более высокую оценку за консистенцию по сравнению с контрольным вариантом сыра, благодаря способности выбранных культур положительно воздействовать на реологические и текстурные свойства продукта.

Бревибактерии *Brevibacterium linens*, которые применяются в технологии сыров, созревающих с участием сырной слизи, были успешно использованы в качестве вспомогательной культуры для сокращения срока созревания и улучшения аромата Чеддера с пониженным содержанием жира, благодаря их уникальной ферментативной системе, представленной протеиназами (внеклеточными, связанными с клеточной стенкой и внутриклеточным) и

липолитическими ферментами. Разнообразный метаболизм *Brevibacterium linens* способствуют выделению летучего серосодержащего соединения метантиола, который отвечает за формирование специфического сырного вкуса [155].

Пропионовокислые бактерии *Propionibacterium* являются необходимой микрофлорой для производства большинства сыров с высокой температурой 2-ого нагревания, поскольку ответственны за формирование в них специфического слегка сладковато-пряного и орехового привкусов и крупного рисунка. Продуцирование углекислого газа играет ключевую роль в формировании типичных круглых глазков в сырах швейцарской группы, являющихся основополагающим критерием качества данных сыров [1].

В последние десятилетия пропионовокислые бактерии в дополнение к широко известному применению в производстве сыров швейцарского типа все больше привлекают внимание в качестве дополнительной культуры в производстве сыров, в которых традиционно данные микроорганизмы не добавляются [156, 157]. Научный и практический интерес к ним вызван благодаря особенностям их метаболизма.

Известно, что основным энергетическим субстратом для пропионовокислых бактерий в сыре являются лактаты - продукты метаболизма молочнокислых бактерий. Пропионовокислые бактерии сбраживают углеводы, лактаты, пируваты с образованием пропионовой и уксусной кислот, небольших количеств изовалериановой, муравьиной, янтарной или молочной кислот, углекислого газа, а также цитраты в присутствии лактатов. Образуемые кислоты обеспечивают специфический острый вкус и аромат сыров [158].

Пропионовокислые бактерии не обладают казеинолитической активностью, но характеризуются пептидазной активностью с образованием большого количества свободного пролина, придающего сырам специфический сладковатый ореховый привкус. Пропионовокислые бактерии обладают разнообразными внутриклеточными пептидазами, которые могут влиять на аминокислотный профиль сыра. Кроме того, *Propionibacterium freudenreichii* катаболизируют аминокислоты с разветвленной структурой алифатической боковой цепи (лейцин,

изолейцин) до таких летучих ароматических соединений, как 2-метилбутановая (валериановая) и 3-метилбутановая кислоты (изовалериановая кислота). Полученные кислоты являются важными ароматическими соединениями в сырах, в частности Швейцарского, и характеризуют их вкус и аромат как «выраженный сырный» [159].

Для сыроделия особый интерес представляют минимальные температуры роста пропионовокислых бактерий. Данные о возможности развития пропионовокислых бактерий при температурах созревания сыров противоречивы.

В исследованиях Остроумова Л.А., Отт Е.Ф. и Шлегель А.Н. [160] большинство штаммов пропионовокислых бактерий, выделенных из Советского сыра, не росли при температурных условиях созревания сыров 8-10 °С.

По некоторым более ранним исследованиям ученых Park, Reinbold и др. [161] рост пропионовокислых бактерий возможен при низких температурах. Из 33 исследованных штаммов 16 штаммов пропионовокислых бактерий росли при температуре 7,2°С и 31 штамм из 33 штаммов – при температуре 12,8°С.

Некоторые результаты исследований подтверждают возможность роста пропионовокислых бактерий в условиях созревания сыра с температурным режимом 10-12 °С без стимуляции их роста в бродильной камере и рассматриваются как потенциальные дополнительные культуры для усиления вкуса и аромата таких сыров, как Чеддер, Раклет и др. [162-164]. Но в научной среде и в практике сыроделия мало изучался данный вопрос, поскольку считается нецелесообразным созревание сыра с пропионовокислыми бактериями при низких температурах с исключением ступенчатого температурного режима.

В доступной научно-технической литературе не найдено достаточно сведений о применении пропионовокислых бактерий в технологии сыров пониженной жирности с целью регулирования их потребительских свойств. Однако в качестве дополнительной культуры в производстве различных групп сыров пропионовокислые бактерии нашли широкое применение, о чем свидетельствуют результаты следующих научных работ.

Французскими учеными Thierry A., Maillard M.-В. и др. [163] предложено применение пропионовокислых бактерий в технологии сыра Раклет с целью

обогащения его вкусового букета без образования глазков. Для этого сыры с добавлением дополнительных культур созревали в течение 12 недель при температуре 11 °С. По мнению авторов, нетрадиционный для сыров с пропионовокислым брожением способ созревания позволил регулировать газообразующую активность бактерий. Таким образом, данный способ может быть полезен в производстве сыров без рисунка с целью моделирования их вкусоароматического профиля.

Турецкие ученые Özer E. и Kesenkaş H. [165] изучали влияние *P. freudenreichii* на органолептические показатели традиционного турецкого сыра Mihalic. По результатам исследований в сырах с добавлением *P. freudenreichii* уровень протеолиза и липолиза был увеличен благодаря высокой ферментативной активности исследуемых бактерий. Согласно органолептической оценке все образцы сыра с дополнительной культурой, были более предпочтительными, чем контрольный образец.

Анализ зарубежной и отечественной литературы по рассматриваемой проблеме показал, что интерес и потенциал применения дополнительной микрофлоры целевого назначения не исчезает на протяжении многих лет как у нас в стране, так и за рубежом, поскольку не вызывает сомнений ее способность оказывать положительное влияние на формирование потребительских характеристик сыров пониженной жирности. Однако целесообразность использования пропионовокислых бактерий при производстве сыров пониженной жирности при разных условиях созревания, пока неубедительна, т.к. до настоящего времени исследования, подтверждающие их положительное влияние на органолептические показатели сыров данной группы, не проводились.

### **1.3.3 Использование липолитических и протеолитических ферментов**

Одним из перспективных как с точки зрения теоретических исследований, так и практической значимости было и остается в настоящее время направление по разработке биотехнологий производства сыров с применением ферментов.



Использование энзимов при изготовлении сыров может обеспечить желаемую направленность и интенсивность биохимических процессов, способствует сокращению сроков созревания и расширению ассортиментной линейки за счет возможности обогащения вкусоароматического профиля. Ферменты, используемые в сыроделии, представлены, в основном, протеазами и липазами. Данные ферменты позволяют активизировать основные процессы, протекающие во время созревания сыра и отвечающие за формирование характерных органолептических показателей [166-168].

Наиболее широкий ассортимент среди протеолитических препаратов представлен ферментами микробного происхождения, которые не вызывают коагуляцию белка, но играют определенную роль в созревании сыра (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Ассортимент протеолитических ферментов, используемых в сыроделии [169]

Название препарата	Источник	Применение
Corolase LAP	<i>Aspergillus sojae</i>	Устранение горького вкуса
Thermoase PC10F	<i>Bacillus thermoproteolyticus</i>	Гидролиз белков
Peptidase R	<i>Rhizopus oryzae</i>	Устранение горького вкуса
Flavorpro 192	<i>Aspergillus oryzae</i>	Устранение горького вкуса
Flavorpro Umami	<i>Aspergillus sp.</i>	Ускорение созревания сыра
Promod™	<i>Aspergillus sp.</i>	Ускорение созревания сыра и придание различных оттенков вкуса
Accelase, Savorase, Debitrase	<i>Lactococcus lactis</i>	Ускорение созревания сыра, устранение горечи
Accelerzyme CPG	<i>Aspergillus niger</i>	Ускорение созревания сыра
Accelerzyme NP	<i>Bacillus.amyloliquefaciens</i>	Ускорение созревания сыра
Enzobact	<i>Lactobacillus helveticus</i>	Улучшение вкуса
Flavourzyme MG/A	<i>Aspergillus oryzae</i>	Устранение горечи, развитие богатого вкусоароматического профиля
Neutrase 0,8L	<i>Bacillus.amyloliquefaciens</i>	Усиление сырного вкуса

Наиболее типичными примерами использования протеолитических ферментных препаратов в технологии сыров были следующие.

Аргентинские ученые [170] исследовали влияние ферментного препарата Accelerzyme (очищенной карбоксипептидазы, полученной из *Aspergillus niger*) на протеолиз при созревании сыра Reggianito и его органолептический профиль. Accelerzyme высвобождает С-концевые аминокислоты белков и пептидов, не

влияя на процесс коагуляции. Образующиеся свободные аминокислоты служат для развития устойчивого, хорошо сбалансированного вкуса и насыщенного аромата сыра. Увеличение концентрации аминокислот четко наблюдалось в сырах, изготовленных с использованием экзогенного фермента по сравнению с контрольными сырами, при этом отмечена положительная роль в формировании потребительских характеристик исследуемых сыров.

Ирландскими учеными [171] изучено влияние трех ферментных препаратов, используемых для ускорения созревания сыров: Accelase (Danisco), Accelase (DSM), Accelerzyme (Danisco). Добавление ферментных препаратов обеспечило усиление выраженности сырного вкуса и аромата исследуемых сыров, о чем также свидетельствуют профили летучих вкусоароматических веществ. Однако выявлено ухудшение консистенции сыров, произведенных с использованием обоих препаратов Accelase, связанное с чрезмерным первичным протеолизом.

Исследованиями китайских ученых [168] показано, что использование ферментного препарата Flavorzyme (микробальной аминопептидазы, полученного от *Aspergillus Oryzae*) увеличивает степень протеолиза и вкусоароматический профиль сыра, и рекомендуется авторами как перспективный ферментный препарат для ускорения созревания сыров.

Наряду с прочно вошедшими в практику микробными, растительными и животными протеазами большую роль в сыроделии играют ферменты липолитического действия. Интенсификация липолиза в сырах, сопровождающаяся накоплением продуктов гидролиза молочного жира, вызывает ускорение процессов созревания и улучшает их органолептические показатели. Использование в сыроделии липолитических энзимов с определенной жирнокислотной специфичностью позволило управлять процессом липолиза и, как следствие, регулировать степень выраженности вкуса и аромата сыров.

В СССР поиском микроорганизмов-продуцентов липаз, способных отщеплять из триацилглицеринов молочного жира различные композиции жирных кислот, и оценкой пригодности ферментов для сыроделия занимались ученые ВНИИМС и Института микробиологии АН СССР Рубан Е.Л., Уманский

М.С., Свириденко Ю.Я., Лобырева Л.Б. [172]. Из различных источников (сырое и пастеризованное молоко, сыр, масло, бытовые и промышленные сточные воды) было выделено 654 культур микроорганизмов и проверена их липолитическая активность. В результате впервые в нашей стране были выделены микроорганизмы – продуценты липаз с целью их использования в сыроделии. Из всех испытанных культур наиболее активными продуцентами липаз оказались *Geotrichum candidum* 599, *Penicillium roqueforti* 141 и *Rhizopus nigricans* 650. В процессе селекции отбирались штаммы, отличавшиеся различной субстратной специфичностью экзолипаз на оливковом масле и молочном жире. Полученные препараты липаз, представляющие собой кислые или слабокислые ферменты, стабильные в широком диапазоне рН, оказались перспективными для сыроделия. Исследование влияния ферментных препаратов липаз *G. candidum* и *P. roqueforti* на органолептические показатели сыра Костромского подтвердили положительную роль препаратов в регулировании липолитических процессов в сырах, проявляющуюся в способности оказывать влияние как на выраженность вкуса и аромата сыров, так и на продолжительность их созревания. Однако, несмотря на доказанную перспективность использования липаз для ускорения процессов созревания сыров и улучшения их органолептических показателей, в 1990-е годы после распада Главмикробиопрома и закрытия производств ферментных препаратов в России и странах СНГ данное направление осталось лишь успешно проведенной научной разработкой без последующей реализации в промышленности [172].

В настоящее время на мировом рынке ферментов имеется спектр различных препаратов липаз животного и микробного происхождения, которые дают возможность влиять на формирование органолептических показателей сыров [173, 174].

В исследованиях китайских ученых Zhao J., Ma M. [175] была показана возможность использования микробальной рекомбинантной липазы *Bacillus licheniformis* в производстве низкожирных сыров. Данный ферментный препарат показал усиление липолиза, высокую специфичность в отношении триглицеридов жирных кислот с короткой и средней цепью, увеличил концентрацию в опытном сыре

таких жирных кислот, как масляная, гексановая, каприловая и декановая кислоты. На основании полученных результатов, авторы делают вывод об эффективности и перспективности рекомбинантной липазы, выделяемой *Bacillus licheniformis*, в решении проблемы потребительских характеристик низкожирных сыров.

Турецкими учеными [176] исследовано влияние на органолептические показатели белого свежего сыра четырех разных коммерческих микробных липаз: Palatase (выделенный из *Rhizomucor miehei*), Piccantase (выделенный из *Rhizomucor miehei*), Lipomod (выделенный из *Candida rugose*), Lipomod (смешанная грибковая липаза). Результаты показали, что добавление липолитических ферментов изменяет профиль свободных жирных кислот и органолептические показатели сыров в положительную сторону.

Липазы, выделенные из желез различных видов жвачных животных, придают продуктам свой характерный вкус и запах вследствие специфических механизмов воздействия на молочный жир [177]. Учеными из «Сибирского научно-исследовательского института сыроделия» (г. Барнаул) [178, 179] проведены исследования влияния прегастральной липазы телят на интенсификацию липолитических процессов и формирование органолептических показателей сыра. Добавление липазы способствовало увеличению в опытных сырах содержания летучих жирных кислот, что оказало положительное влияние на формирование их органолептических показателей.

Таким образом, путем добавления в смесь при выработке сыра липолитических и протеолитических ферментов можно изменять его органолептические показатели. Вместе с тем, применение ферментов может сопровождаться развитием пороков вкуса и консистенции сыров в процессе их созревания и/или хранения [180 – 183].

В источнике [180] описывается исследование по использованию различных коммерческих протеолитических ферментов, направленных на ускорение созревания и улучшение вкуса и аромата сыра Чеддер. Как показало исследование, сыры, выработанные с использованием протеолитического фермента FlavourAge-FR, представляющего собой комбинированный препарат пептидазы и протеазы, имели

горький вкус. Как оказалось, данный фермент обладает чрезмерным неспецифическим действием на  $\alpha_{s1}$ - и  $\beta$ -казеины и способствует накоплению горьких пептидов. Кроме того, добавление фермента привело к излишнему размягчению консистенции сыров и формированию пороков.

Испанскими учеными [181] было изучено влияние двух грибковых липаз (Palatase 200, выделенная из *Mucor miehei* и Palatase 750L, выделенная из *Aspergillus niger*) отдельно и в сочетании с грибковыми протеазами, выделенными из *Aspergillus oryzae* и *Bacillus subtilis*, на созревание сыра типа Манчего. Добавление исследуемых ферментов, способствовало усилению липолиза и протеолиза во время созревания сыров. Отрицательной стороной использования липазы, выделенной из *M. miehei*, являлось появление мыльного привкуса сыров из-за чрезмерного высвобождения длинноцепочечных жирных кислот. Сыры с добавлением протеазы, выделенной из *B. subtilis*, характеризовались горьким вкусом и вязкой несвязной консистенцией из-за интенсивного расщепления  $\beta$ -казеина.

#### 1.4 Заключение по обзору литературы

На основании анализа законодательной, нормативно-технической и специализированной научно-технической литературы показано, что сыры пониженной жирности занимают важное место в структуре сбалансированного питания и являются богатым источником нутриентов, в частности, повышенного содержания полноценного белка, что ведет к возрастающему спросу данной категории сыров. В результате растущей тенденции потребления продуктов с редуцированной калорийностью формируется научный интерес к разработке технологий сыров пониженной жирности. Однако значительное снижение молочного жира и увеличение объемной доли параказеина в результате изменения соотношения жира и белка приводит к развитию недостатков и/или органолептических пороков и снижению потребительской привлекательности сыров. Наиболее перспективным способом решения этой проблемы является использование биотехнологических приемов, а именно – управление

микробиологическими и ферментативными процессами во время выработки и созревания сыра за счет применения заквасочных культур целевого назначения совместно с корректировкой технологических приёмов производства и использования протеолитических и липолитических энзимов. Данные биотехнологические приемы могут быть перспективны в управлении биохимическими процессами во время выработки и созревания, что даст возможность моделировать органолептические показатели сыров с целью получения продуктов с более выраженным вкусом и ароматом, с разнообразными вкусовыми оттенками и/или развитым рисунком и/или желаемой консистенцией.

## ГЛАВА 2 ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Организация проведения исследований

Работа проводилась на базе Всероссийского научно-исследовательского института маслоделия и сыроделия (ВНИИМС) – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН в рамках государственного задания FNEN-2019-0011. Экспериментальные выработки сыров проведены в условиях экспериментального цеха отдела сыроделия ВНИИМС. Схема проведения исследований приведена на рисунке 2.1.

Структура диссертационной работы включала теоретические и экспериментальные этапы: формулирование проблемы и темы исследований; постановку цели и задач; разработка рабочей гипотезы, поиск и анализ научно-технической информации по теме исследований, выбор методов исследований; проведение экспериментальных выработок, анализ и математическую обработку полученных экспериментальных данных, практическую реализацию результатов.

### 2.2 Объекты исследований

На разных этапах выполнения работы объектами исследований являлись:

- молоко коровье – сырье;
- молочная смесь после пастеризации и после внесения закваски;
- производственные штаммы МКМ (*Lactobacillus helveticus*, *Lacticaseibacillus casei*, *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis*, *Leuconostoc*) и пропионовокислых бактерий *Propionibacterium freudenreichii*;
- производственные закваски;
- сыры после прессования и в процессе созревания 20 %, 30 %, 50 %;
- сыры кондиционной зрелости 20 %, 30 %, 50 %;
- протеаза Flavorzyme («Novozymes A/S», Дания);
- телячья прегастральная липаза (Caglificio Clerici S.P.A., Италия).

Выработки проведены с использованием культур МКМ и пропионовокислых бактерий из коллекции Экспериментальной биофабрики ВНИИМС.



Рисунок 2.1– Общая схема проведения исследований



## 2.3 Методы исследований

В работе применялись стандартные и общепринятые микробиологические, химические, физико-химические и биохимические методы исследований. Используемые методы исследований приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Стандартные методы испытаний

Контролируемый показатель	Метод контроля
КМАФАнМ	ГОСТ 32901 – 2014
КТАФАнМ	ГОСТ 32901 – 2014
КМАрФАнМ	ГОСТ 32901 – 2014
БГКП	ГОСТ 32901 – 2014
Патогенные МО, в том числе сальмонеллы	ГОСТ 31659 – 2012
Количество дрожжей	ГОСТ 33566 – 2015
Количество плесневых грибов	ГОСТ 33566 – 2015
Количество энтерококков	ГОСТ 28566 – 90
Количество спор аэробных МО рода <i>Bacillus</i>	ГОСТ 32901 – 2014
Количество спор анаэробных МО рода <i>Clostridium</i>	ГОСТ 32901 – 2014
Количество спор мезофильных анаэробных лактатсбраживающих бактерий	ГОСТ 32012 – 2012
Количество <i>Propionibacterium freudenreichii</i>	ГОСТ 34372 – 2017
Количество молочнокислых палочек <i>L. casei</i> <i>L. helveticus</i>	ГОСТ 33951 – 2016
Газообразующая активность производственной закваски	ГОСТ 32901 – 2014
Ароматообразующая активность производственной закваски	ГОСТ 32901 – 2014
Ингибирующие вещества	ГОСТ 23454 – 2016
Антибиотики	Иммунологический метод ГОСТ 32219 – 2013
Сычужная проба	ГОСТ 32901 – 2014
Количество соматических клеток	ГОСТ 23453 – 2014
Массовая доля влаги и сухого вещества в сыре	ГОСТ Р 55063 – 2012
Массовая доля жира и массовая доля жира в сухом веществе в сыре	ГОСТ 5867 – 90, ГОСТ Р 55063 – 2012
Титруемая кислотность	Титриметрический метод ГОСТ Р 54669 – 2011
Активная кислотность	ГОСТ 32892-2014
Массовая доля общего белка	Метод Кьельдаля ГОСТ Р 54662 – 2011
Массовая доля общего водорастворимого белкового азота	Метод Кьельдаля, МВИ ВНИИМС, свидетельство об аттестации № 1-01-16-90
Энергетическая ценность сыра	Расчетный метод (ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки»)

При проведении работы использованы следующие специальные методы исследований.

### Оценка степени протеолиза

Для оценки степени протеолиза применялся расчетный способ, основанный на анализе количественного соотношения водорастворимых фракций белка в сыре к общему количеству белка. Измерение массовой доли общего белка и водорастворимого белка осуществляется по стандартизованной методике на основе метода Кьельдаля.

### Молекулярно-массовое распределение растворимых азотистых соединений

Молекулярно-массовое распределение растворимых азотистых соединений в водном экстракте определяли методом гель-фильтрации высокого разрешения. Метод основан на разделении молекул анализируемой смеси по размеру за счёт разной способности проникать в поры хроматографической (гель-фильтрационной) матрицы. Оборудование для реализации анализа включало в себя колонку Superose 12 10/300 GL, прецизионный плунжерный насос P-500 (Amersham Pharmacia, Швеция), УФ-детектор LKB Uvicord-III с блоком измерения и блоком управления, самописец LKB 2066 (LKB приборы, Швеция) и ручной инжектор для ввода пробы собственной конструкции. Подготовка образца для гель-фильтрации включает обезжиривание пробы, взятие навески обезжиренной пробы, растворение ее в буферном растворе, отделение нерастворимых в воде фракций фильтрованием или центрифугированием. Элюент – водный раствор 0,05 М  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  + 0,15 М  $\text{NaCl}$ , скорость подачи элюента – 0,5 мл/мин; длина волны детектора – 280 нм.

### Массовая доля лактозы

Определение массовой доли лактозы проводили методом капиллярного электрофореза с помощью системы «Капель – 105М»

### Определение летучих вкусоароматических веществ

Для определения летучих вкусоароматических веществ в паровой фазе сыра использовали аттестованную методику с использованием газового хроматографа «Цвет-800» с пламенно-ионизационным детектором и набивной стеклянной колонкой: длина 2 м, внутренний диаметр 2 мм, насадка OV-201 на хроматоне N-AW-HMD (0,16-0,20 мм).

Метод основан на термостатировании пробы в замкнутом сосуде с последующим газохроматографическим определением в паровой фазе пробы продукта индивидуальных компонентов летучих вкусоароматических веществ и их идентификации с использованием пламенно-ионизационного детектора.

Массовую долю каждого компонента  $X_i$ , (%) вычисляли методом нормализации площадей газохроматографических пиков по формуле:

$$X_i = \frac{A_{xi} \cdot 100}{A_s}, \quad (1)$$

где  $A_{xi}$  – площадь пика, соответствующая  $i$ -ому компоненту,  $nA \cdot c$ ;

$A_s$  – сумма площадей всех пиков,  $nA \cdot c$ .

Для идентификации веществ на полученной хроматограмме проводили измерение времени удерживания гексанола-1 и вычисляли относительное время удерживания каждого пика на хроматограмме.

За результат измерений каждого компонента принимали среднее арифметическое двух параллельных измерений, выполненных в условиях повторяемости:  $|X_1 - X_2| < 0,2 \%$ , где  $X_1$  и  $X_2$  – результаты параллельных определений массовой доли  $i$ -того компонента, %.

#### Реологические исследования

Исследование реологических свойств сыров проводили на реогониометре Вайссенберга модели R-19 фирмы Sangamo Weston Controls Limited (Великобритания). В основе действия прибора заложен метод крутильных колебаний с низкими амплитудами деформации. Режим испытаний – периодическое сдвиговое деформирование с заданной частотой 3,16 Гц и амплитудой угловых перемещений рабочего узла  $1,1 \cdot 10^{-3}$  рад. Рабочий узел представлял собой сочетание «конус-плоскость» диаметром 25 мм. Угол при вершине конуса 0,034 рад. Температура измерений  $21 \pm 1$  °С. Измеряли значения комплексного модуля сдвига ( $G^*$ ), характеризующего вязко-упругие свойства продукта. При выполнении испытаний измерительная информация от рабочих органов реогониометра через аналого-цифровой преобразователь подавалась на

вход компьютера, где осуществлялись накопление и обработка этой информации по специальной программе.

### Пенетрационное напряжение

Для сравнительной оценки консистенции сыров использовали реологический показатель «пенетрационное напряжение», которое определяли с помощью пенетрометра AP 4/1 методом погружения конуса при вершине угла  $30^\circ$ , массой 150 г в течение 5 с при температуре сыра  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ .

Пенетрационное напряжение (Па) представляет собой отношение силы сопротивления вдоль боковой поверхности конуса к площади этой поверхности

$$T = k \cdot \frac{F}{h^2} = k \cdot \frac{m \cdot g}{h^2}, \quad (2)$$

где  $k$  – константа конуса, зависящая от угла его раскрытия (при  $30^\circ$   $k = 0,958$ );

$F$  – величина вертикально внедряющей силы при массе конуса 150 г,  $F = 0,15$ ;

$h$  – глубина погружения конуса в продукт, м.

### Кислотное число и кислотность жировой фазы

Кислотное число (мг/КОН/г) – физическая величина, равная массе гидроокиси калия, мг, необходимой для нейтрализации свободных жирных кислот и других, титруемых щелочью сопутствующих триглицеридам веществ, содержащихся в 1 г жира.

Кислотность (ммоль/100 г) – физическая величина, равная массе гидроокиси калия, ммоль, необходимой для нейтрализации свободных жирных кислот и других, титруемых щелочью сопутствующих триглицеридам веществ, содержащихся в 100 г жира.

Сущность метода определения кислотного числа и кислотности жировой фазы заключается в эстрагировании жировой фазы, растворении ее в смешанном растворителе и последующем титровании свободных жирных кислот раствором гидроокиси калия.

В коническую колбу вместимостью  $100\text{ см}^3$  помещают 5,00 г эстрагированного молочного жира, нагревают на водяной бане с температурой  $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$  до расплавления. Вносят  $20\text{ см}^3$  предварительно нейтрализованной спирто-эфирной смеси, 5 капель фенолфталеина, перемешивают и затем титруют раствором гидроокиси калия

при постоянном перемешивании до получения слабо-розовой окраски, устойчивой в течение 30 сек.

Кислотное число,  $X$ , мгКОН/г, вычисляют по формуле:

$$X = \frac{5,611 \cdot K \cdot V}{m_1}, \quad (3)$$

где 5,611 – коэффициент, равный значению расчетной массы КОН в 1 см<sup>3</sup> стандартного раствора КОН молярной концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>;

$K$  – поправочный коэффициент к номинальной концентрации КОН;

$V$  – объем раствора КОН, израсходованного на титрование, см<sup>3</sup>;

$m_1$  – навеска жира, г.

Вычисления проводят до третьего десятичного знака с последующим округлением результатов до второго десятичного знака.

Кислотность,  $Y$ , ммоль/100 г, вычисляют по формуле:

$$Y = \frac{V \cdot C \cdot K}{m_1} \cdot 100, \quad (4)$$

где  $V$  – объем стандартного раствора КОН, израсходованного на титрование пробы, отобранной на испытания, см<sup>3</sup>;

$C$  – концентрация стандартного раствора КОН, равная 0,1 моль/дм<sup>3</sup>;

$K$  – поправочный коэффициент к номинальной концентрации КОН;

$m_1$  – навеска жира, г.

#### Органолептическая оценка

В настоящее время для органолептической оценки сыров пониженной жирности пользуются шкалой в соответствии с ГОСТ 33630-2015 применительно к полутвердым сырам. Однако приведенные в шкале дескрипторы и соответствующая балловая оценка не адаптированы к характеристикам сыров пониженной жирности, и с их помощью невозможно объективно оценить сыры данной группы. В процессе выполнения работы проводился анализ наиболее часто встречающихся пороков и недостатков вкуса, консистенции и рисунка. На основании исследований была разработана для оценки выраженности оттенков вкуса и аромата, плотности консистенции, характерных для низкожирного сыра, специализированная балловая шкала органолептических показателей (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Шкала органолептической оценки сыров пониженной жирности

Показатель	Характеристика показателя	Балл
Вкус и запах	Выраженный сырный, кисловатый с наличием слабой остроты и/или пряности	45-43
	Умеренно выраженный сырный	43-40
	Слабо выраженный сырный	40-39
	Слабый посторонний	39-37
	Слабый горький	38-37
	Горький	36-34
	Слабый кислый (кисловатый)	38-37
	Кислый	36-35
	Посторонний вкус и аромат	36-34
Консистенция	Отличная (эластично-пластичная)	25
	Хорошая (слегка плотная, слегка резинистая, слегка пластичная)	24
	Удовлетворительная (резинистая, слегка мажущаяся)	23
	Плотная	23-21
	Мажущаяся	22-21
	Резинистая	22-20
	Крошливая	20-19
	Вязкая	20-19
Рисунок	Глазки правильной круглой или овальной формы, равномерно расположенные по всей массе сыра	10
	Мелкие глазки правильной формы, равномерно расположенные по всей массе сыра	9
	Мелкие глазки неправильной формы, расположенные у верхнего (нижнего) полотна головки сыра (дефект формования)	8
	Отсутствует	7
	Нехарактерный	5-6

Органолептическая оценка сыров проводилась экспертной комиссией также с использованием дескрипторно-профильного метода, принимая во внимание выраженность основных характеристик вкуса и запаха (сырный, кислый, посторонний, сливочный и т.д.), а также консистенции (плотный, пластичный и т.д.), оцениваемых по шкале от 0 до 5 баллов

#### Экспериментальные выработки сыров

В экспериментальных выработках сыров были использованы технологические приемы, позволяющие регулировать влагоемкость сыров и отличающиеся от общепринятых технологий производства полутвердых сыров, в частности пониженная температура второго нагревания ( $37,0 \pm 1,0$ ) °С, резка крупного сырного зерна (12-15 мм) и непродолжительное время его обработки. Общий технологический регламент производства сыров данной и последующих серий исследований представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технологический регламент выработки опытных сыров

Технологический этап	Параметры
Приемка, контроль качества молока-сырья, нормализация по массовой доле жира	согласно требованиям СТО ВНИИМС 019-2019, ТР ТС 033/2013
Пастеризация молочной смеси: – температура, °С – выдержка, сек	73±1 20-25 сек
Охлаждение смеси до температуры, °С	34±1
Внесение функционально необходимых компонентов и их расход:	
– хлористый кальций, г/100 кг молочной смеси	25±15
– БЗ основной и дополнительной микрофлоры	в соответствии с условиями эксперимента
– сычужный фермент	в соответствии с показаниями кружки ВНИИМС
Свертывание молочной смеси: – температура, °С – продолжительность, мин	34±1 35±5
Разрезка и постановка сырного зерна: – продолжительность, мин – размер сырного зерна, мм	25±5 12±2
Второе нагревание: – температура, °С – продолжительность, мин	37,0±1,0 15-20
Обработка сырного зерна, мин	50±5
Раскисление сыворотки пастеризованной водой	при необходимости
Размер сырного зерна в конце обработки, мм	7±1
Формование	из пласта или насыпью
Самопрессование, мин	35±5
Прессование, ч	2,0±0,5
Массовая доля влаги сыра после прессования, %	52,5±1,5
Посолка в рассоле: – температура, °С – концентрация хлористого натрия в рассоле, % – продолжительность, ч	9±1 20±2 20±1
Созревание: – температура, °С – продолжительность, сут	11±1 60

### Математическая обработка данных

Исследования проводили в 3-х кратной повторности. Экспериментальные данные были проанализированы при помощи однофакторного дисперсионного анализа с использованием процедуры парного сравнения Tukey и двухфакторного дисперсионного анализа. Результаты математической обработки выполнены с доверительной вероятностью  $P=0,95$ . Статистическую обработку полученных данных и построение графиков проводили с использованием программы «Microsoft Excel».

## ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

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

Исследования, представленные в настоящей главе, направлены на улучшение органолептических показателей сыров пониженной жирности за счет углубления ферментативных процессов во время выработки и созревания за счет биотехнологических приемов, включающих направленный подбор состава микрофлоры, и обеспечение условий ее развития путем корректировки технологических приемов производства. На разных этапах работы использованы:

- культуры протеолитической направленности *Lactobacillus helveticus* и *Lacticaseibacillus casei*;
- газо-ароматообразующие МО *Leuconostoc* ssp. и *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis*;
- пропионовокислые бактерии *Propionibacterium freudenreichii* (отдельно и в сочетании *Lacticaseibacillus casei*).

#### 3.1.1 Культуры протеолитической направленности: мезофильные (*Lacticaseibacillus casei*) и термофильные (*Lactobacillus helveticus*) лактобациллы

Целью первой серии исследований являлось установление влияния термофильных и мезофильных лактобацилл на интенсификацию процесса созревания, формирования характерного вкусового букета и консистенции сыров пониженной жирности с массовой долей жира 30 %. Для достижения поставленной цели в качестве заквасочных культур целевого назначения использовались термофильные палочки *Lactobacillus helveticus* и мезофильные палочки *Lacticaseibacillus casei*. Выбор данных микроорганизмов связан с их способностью повлиять на интенсивность ферментативных процессов при



созревании сыров, в том числе протеолиз, усиливать общую интенсивность вкуса и аромата сыра, подчеркивая сырны ноты. Не менее важным является их способность подавлять нежелательные ароматы и привкусы, такие как горький и посторонний за счет углубления процесса протеолиза [184, 185].

### 3.1.1.1 Микробиологические и физико-химические процессы во время выработки и созревания сыров с использованием культур протеолитической направленности

Качество и безопасность сыров, во многом, определяются сыропригодными свойствами молока-сырья. Молоко, используемое для производства экспериментальных сыров, проверяли на соответствие общим критериям безопасности, заложенным в ТР ТС 033/2013 и специфическим показателям сыропригодности в соответствии с требованиями СТО ВНИИМС 019-2019 «Молоко коровье сырье. Технические условия» (таблица 3.1).

Результаты исследований, представленные в таблице 3.1, свидетельствуют о том, что молоко-сырье, используемое для экспериментальных выработок сыров, соответствует как общим критериям качества, так и критериям сыропригодности.

Таблица 3.1 – Показатели безопасности и сыропригодности молока-сырья, используемого для экспериментальных выработок сыров пониженной жирности

Показатель	Экспериментальные данные	Требования СТО ВНИИМС 019 – 2019	Требования ТР ТС 033/2013
Массовая доля, %:			
– Жира	4,05±0,15	Не менее 3,2	Не менее 2,8
– Белка	3,24±0,11	Не менее 3,0	Не менее 2,8
– СОМО	8,85±0,14	Не менее 8,2	Не менее 8,2
– Лактозы	4,70±0,08	Не нормируется	Не нормируется
– Минеральных солей	0,73±0,03	Не нормируется	Не нормируется
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1029,5±0,15	Не менее 1027,0	Не менее 1027,0
Титруемая кислотность, °Т	17,0±0,5	От 16,0 до 18,0	От 16,0 до 21,0
Точка замерзания, °С	Минус 0,555±0,050	Не выше минус 0,520	Не выше минус 0,505
Количество соматических клеток, тыс. клет./см <sup>3</sup>	264±25	Не более 400	Не более 750
Ингибирующие вещества	Отсутствуют	Не допускаются	Не допускаются
Антибиотики	Отсутствуют	Не допускаются	Не допускаются
Сычужная проба, класс	I	I-II	

Продолжение таблицы 3.1.

Показатель	Экспериментальные данные	Требования СТО ВНИИМС 019 – 2019	Требования ТР ТС 033/2013
КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	$(5,6 \pm 0,3) \cdot 10^4$	Не более $3 \cdot 10^5$	Не более $5 \cdot 10^5$
Количество спор ЛСМБ, НВЧ спор/см <sup>3</sup>	$1,2 \pm 0,6$	Не более 13	Не нормируется
Количество спор аэробных микроорганизмов, спор/см <sup>3</sup>	$(8 \pm 1) \cdot 10^0$	Не более $10^2$	Не нормируется
Дрожжи, КОЕ/см <sup>3</sup>	$(4 \pm 0,1) \cdot 10^1$	Не более $10^2$	Не нормируется
Патогенные МО, в том числе сальмонеллы, в 25 г	Отсутствуют	Не допускаются	Не допускаются
Данные представлены в форме «среднее значение $\pm$ стандартное отклонение» (n=18) (средние данные для всех серий исследований)			

Во всех сырах в качестве основной кислотообразующей микрофлоры применялась производственная закваска на основе комбинации подвидов мезофильных гомоферментативных лактококков *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* и *Lactococcus cremoris* в дозах от 0,6 % до 1,0 % производственной закваски, что обеспечивает  $10^6$ - $10^7$  КОЕ/см<sup>3</sup> жизнеспособных клеток в исходной молочной смеси и необходимый уровень и направленность молочнокислого процесса как на этапе выработки, так и в процессе созревания сыров. В качестве контрольного варианта рассматривали сыры, выработанные с использованием традиционной лактококковой закваски, в то время как при производстве опытных сыров часть основной кислотообразующей микрофлоры была представлена бактериальными культурами *L. casei* и *L. helveticus*. Выбранные дозы дополнительных культур (для *L. casei* – 0,4 % и *L. helveticus* – 0,1%) обоснованы результатами предварительных исследований. Общая доза производственной закваски как для контрольных, так и опытных сыров составила 1,0 % от объема молока (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Видовой состав заквасочной микрофлоры сыров

Варианты	Основная кислотообразующая микрофлора БЗ		Дополнительная микрофлора БЗ	
	видовой состав		видовой состав	доза, %
1	<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> <i>Lactococcus cremoris</i>		–	–
2			<i>Lacticaseibacillus casei</i>	0,4
3			<i>Lactobacillus helveticus</i>	0,1

Микробиологические показатели и титруемая кислотность производственных заквасок, используемых в эксперименте, представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Показатели производственных заквасок

Производственная закваска	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	КМАрФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	КТАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	Титруемая кислотность, °Т
<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> , <i>Lactococcus cremoris</i>	$(5,8 \pm 0,2) \cdot 10^8$	–	–	91,2 $\pm$ 2,5
<i>Lacticaseibacillus casei</i>	$(1,3 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(1,0 \pm 0,2) \cdot 10^8$	–	28,0 $\pm$ 1,2
<i>Lactobacillus helveticus</i>	–	–	$(8,7 \pm 0,1) \cdot 10^8$	213,5 $\pm$ 2,8

Анализируя показатели производственных заквасок, представленные в таблице 3.3, следует отметить, что как количество жизнеспособных клеток, так и титруемая кислотность соответствовали их видовому составу. Наибольшие показатели кислотообразующей активности, фиксируемые по значениям титруемой кислотности, выявлены в моновидовой закваске на основе *L. helveticus*. Производственная закваска *L. casei* проявила слабую кислотообразующую активность.

Показатели микробиологических исследований пастеризованной молочной смеси до и после внесения производственной БЗ представлены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 – Микробиологические показатели молока для выработки сыра до внесения БЗ

КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	КТАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	БГКП наличие/ отсутствие в 10 см <sup>3</sup>	Дрожжи, КОЕ/см <sup>3</sup>	Плесневые грибы, КОЕ/см <sup>3</sup>	Споры аэробных МО рода <i>Bacillus</i> , спор/см <sup>3</sup>	Споры анаэробных МО рода <i>Clostridium</i> , спор/см <sup>3</sup>
$(1,2 \pm 0,3) \cdot 10^2$	$(5,3 \pm 0,2) \cdot 10^1$	отс.	не обн.	не обн.	$(2,8 \pm 0,3) \cdot 10^1$	6,0 $\pm$ 0,5

Результаты представлены в форме «среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение» (n=51)  
(средние данные для всех серий исследований)

Таблица 3.5 – Микробиологические показатели молока для выработки сыра после внесения БЗ

Вариант	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	КТАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	БГКП, наличие/ отсутствие в 1 см <sup>3</sup>	Дрож- жи, КОЕ/см <sup>3</sup>	Плесне- вые грибы, КОЕ/см <sup>3</sup>	Споры аэробных МО рода <i>Bacillus</i> , спор/см <sup>3</sup>	Споры анаэробных МО рода <i>Clostridium</i> , спор/см <sup>3</sup>
1	$(5,9 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(6,0 \pm 0,2) \cdot 10^1$	отс.	не обн.	не обн.	$(3,4 \pm 0,1) \cdot 10^1$	6,0 $\pm$ 0,5
2	$(2,5 \pm 0,2) \cdot 10^6$	$(4,1 \pm 0,2) \cdot 10^1$	отс.	не обн.	не обн.	$(3,5 \pm 0,1) \cdot 10^1$	6,0 $\pm$ 0,5
3	$(4,0 \pm 0,2) \cdot 10^6$	$(5,0 \pm 0,2) \cdot 10^6$	отс.	не обн.	не обн.	$(4,1 \pm 0,1) \cdot 10^1$	6,0 $\pm$ 0,5

Результаты микробиологических анализов молочной смеси до и после внесения производственной закваски, представленные в таблицах 3.4 и 3.5, свидетельствуют о том, что показатели молочной смеси для выработки сыров

полностью соответствовали показателям безопасности. Споровые микроорганизмы, способные оказать влияние на качество сыров, выявлены в допустимом количестве. Показатели КМАФАнМ и КТАФАнМ отвечают требованиям безопасности, а исходное количество заквасочных микроорганизмов в молочной смеси соответствует требуемому уровню.

В таблицах 3.6 и 3.7 приведены микробиологические и физико-химические показатели сыров после прессования.

Таблица 3.6 – Микробиологические показатели сыров после прессования

Вариант	КМАФАнМ, КОЕ/г	КТАФАнМ, КОЕ/г	БГКП, наличие/ отс. в 1 г	Дрож- жи, КОЕ/г	Плесне- вые грибы, КОЕ/г	Споры аэробных МО рода <i>Bacillus</i> , спор/г	Споры анаэробных МО рода <i>Clostridium</i> , спор/г	Энтеро- кокки, КОЕ/г
1 – контроль	$(9,2 \pm 0,1) \cdot 10^8$ <sup>a</sup>	$(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^2$ <sup>a</sup>	не обн.	не обн.	не обн.	$(3,7 \pm 0,1) \cdot 10^1$	не обн.	не обн.
2 – сыр с <i>L. casei</i>	$(1,0 \pm 0,2) \cdot 10^9$ <sup>a</sup>	$(2,3 \pm 0,1) \cdot 10^2$ <sup>a</sup>	не обн.	не обн.	не обн.	$(2,9 \pm 0,1) \cdot 10^1$	не обн.	не обн.
3 – сыр с <i>L. helveticus</i>	$(1,0 \pm 0,2) \cdot 10^9$ <sup>a</sup>	$(2,7 \pm 0,1) \cdot 10^6$ <sup>б</sup>	не обн.	не обн.	не обн.	$(4,0 \pm 0,1) \cdot 10^1$	не обн.	не обн.
Данные, отмеченные одинаковым индексом внутри одного столбца, не имеют статистически значимых отличий								

Результаты, приведенные в таблице 3.6, показывают, что общее количество клеток молочнокислой микрофлоры во всех вариантах сыров находится на достаточно высоком уровне, а посторонняя микрофлора – отсутствует.

Таблица 3.7 – Физико-химические показатели сыров после прессования

Вариант	Массовая доля влаги, %	Активная кислотность, ед. рН	Массовая доля жира в СВ, %	Массовая доля лактозы, %	Массовая доля белка, %
1 – контроль	$53,6 \pm 0,6$ <sup>a</sup>	$5,35 \pm 0,06$ <sup>a</sup>	$30,0 \pm 0,3$ <sup>a</sup>	$1,89 \pm 0,10$ <sup>ab</sup>	$32,5 \pm 0,42$ <sup>a</sup>
2 – сыр с <i>L. casei</i>	$52,0 \pm 1,0$ <sup>a</sup>	$5,34 \pm 0,03$ <sup>a</sup>	$29,8 \pm 0,2$ <sup>a</sup>	$2,07 \pm 0,10$ <sup>a</sup>	$31,9 \pm 0,28$ <sup>a</sup>
3 – сыр с <i>L. helveticus</i>	$51,8 \pm 0,4$ <sup>a</sup>	$5,24 \pm 0,02$ <sup>a</sup>	$29,5 \pm 0,1$ <sup>a</sup>	$1,50 \pm 0,11$ <sup>b</sup>	$31,7 \pm 0,35$ <sup>a</sup>
Данные, отмеченные одинаковым индексом внутри одного столбца, не имеют статистически значимых отличий					

Между вариантами сыров после прессования по приведенным показателям не имеются статистически значимых отличий ( $p > 0,05$ ), кроме показателей лактозы ( $p < 0,05$ ), где наименьшее значение зафиксировано в сырах с добавлением *L. helveticus*. Сыры, в которых часть кислотообразующей микрофлоры заменена

культурой *L. casei*, характеризующейся слабой кислотообразующей активностью, имели наибольшую концентрацию остаточной лактозы после прессования. Учитывая отсутствие других отличий между сырами, с определенной степенью вероятности можно предположить, что любые отличия, как в физико-химическом составе, так и в органолептических показателях сыров, будут определяться видовым составом заквасочной микрофлоры.

Как упоминалось выше, повышенная массовая доля влаги (более 50 %) в контрольных и опытных сырах после прессования является необходимым условием при производстве сыров пониженной жирности.

На рисунке 3.1. приведены графики, отражающие динамику роста общего количества жизнеспособных клеток мезофильных МКМ (рисунок 3.1 А) и *L. casei*, *L. helveticus* (рисунок 3.1 Б) в процессе созревания сыров.

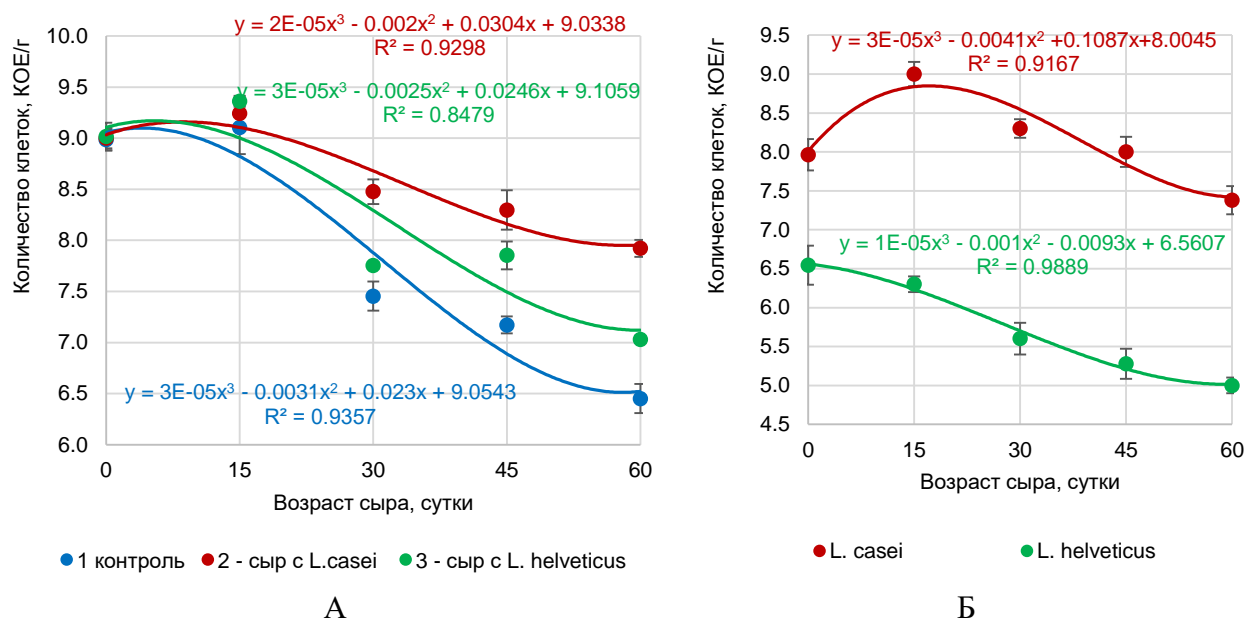


Рисунок 3.1 – Динамика изменения общего количества жизнеспособных клеток МКМ (А) и *L. casei* и *L. helveticus* в опытных сырах (Б) в процессе созревания

Установлено, что во всех сырах развитие мезофильной молочнокислой микрофлоры продолжается до 15 суток и достигает практически одинаковых значений порядка  $(2,3 \pm 0,2) \cdot 10^9$  КОЕ/г. В данном возрасте отсутствуют статистически значимые отличия ( $p > 0,05$ ) по показателю КМАФАнМ между

контрольными и опытными сырами. Затем клетки мезофильных МКМ начинают вымирать.

В возрасте 30 суток и до конца периода созревания в контрольных сырах наблюдается более интенсивное вымирание заквасочных лактококков. В опытных сырах с добавлением дополнительной микрофлоры вымирание клеток происходит значительно медленнее, чем в контрольных ( $p < 0,05$ ).

Рост мезофильных палочек *L. casei* (рисунок 3.1Б), характеризовался максимумом в возрасте 15 суток и был идентичен росту основной кислотообразующей микрофлоры. Количество жизнеспособных клеток термофильной палочки *L. helveticus* в процессе созревания, напротив, постоянно уменьшалось. Такая закономерность роста используемых дополнительных культур во время созревания объясняется следующим. Диапазон роста и развития мезофильных палочек *L. casei* лежит в интервале от 10 °С до 45 °С и вписывается в температурные условия созревания, принятые в сыроделии и используемые в данном эксперименте ( $11 \pm 1$ ) °С. Интервал роста для термофильной палочки *L. helveticus* начинается от 15 °С и не соответствует условиям созревания.

Показатели массовой доли остаточной лактозы (таблица 3.8) и активной кислотности (рисунок 3.2) во всех сырах меняются в соответствии с фазами роста заквасочной микрофлоры.

Таблица 3.8 – Динамика гидролиза лактозы в процессе созревания

Вариант	Массовая доля лактозы, %		
	после прессования	15 суток	30 суток
1 – контроль	1,89±0,10	0,29±0,10	не обн.
2 – сыр с <i>L. casei</i>	2,07±0,10	0,27±0,10	не обн.
3 – сыр с <i>L. helveticus</i>	1,5±0,11	0,21±0,04	не обн.

Анализ гликолиза по остаточному количеству лактозы в сырах показал, что интенсивность сбраживания лактозы в процессе выработки и на первых этапах созревания сыров была на достаточно высоком уровне.

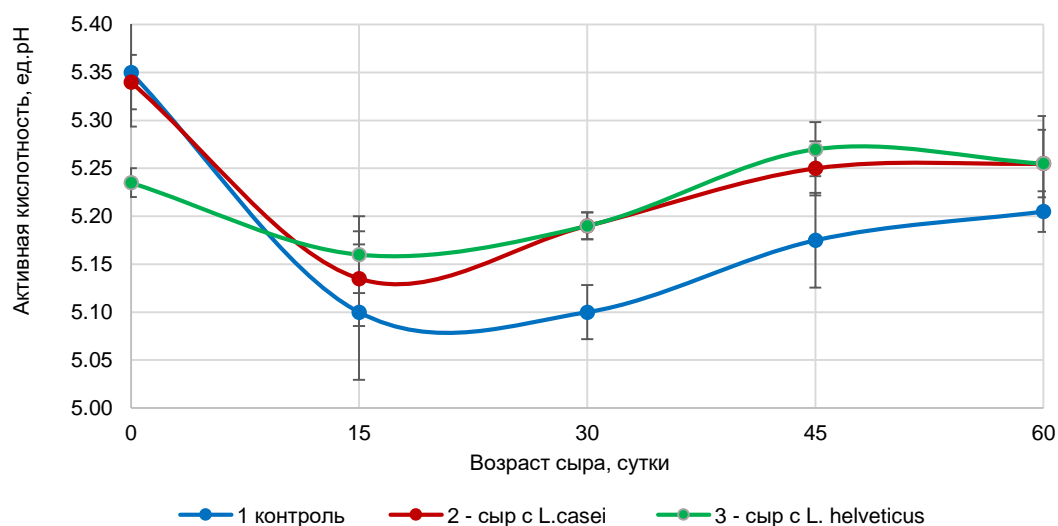


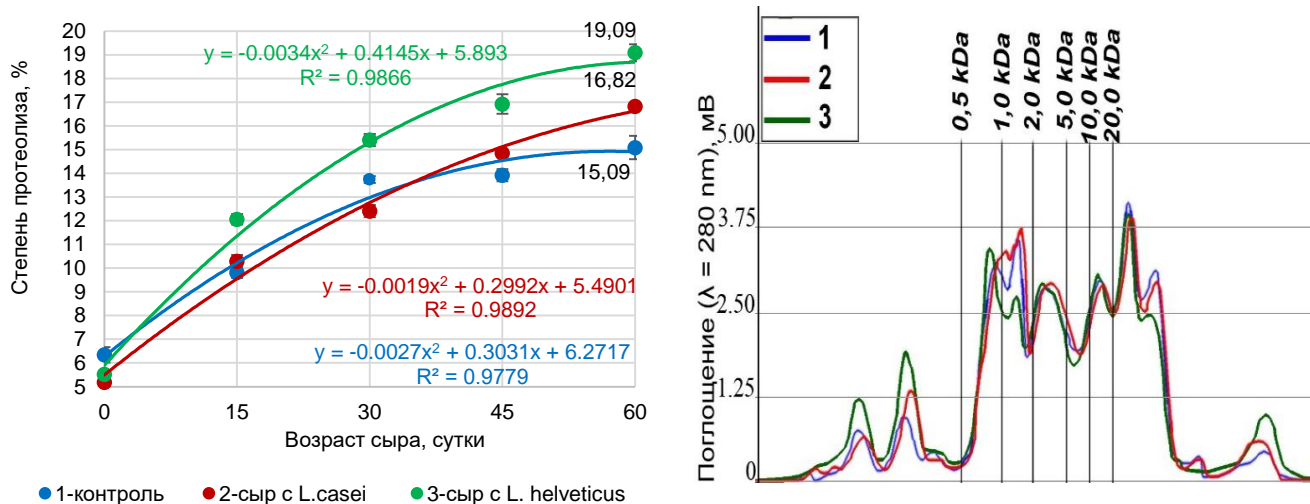
Рисунок 3.2 – Динамика активной кислотности в сырах в процессе созревания

Все сыры характеризовались снижением активной кислотности до 15 суток созревания, при этом наиболее активное снижение величины рН зафиксировано в контрольных сырах. Затем рН сыров плавно повышался до среднего значения ( $5,23 \pm 0,03$ ) ед. рН. Постепенное увеличение значений рН связано с накоплением щелочных продуктов расщепления белковых соединений.

Из всех метаболических процессов, ответственных за развитие вкуса и аромата сыра, протеолиз считается наиболее важным и сложным. Он ощутимо влияет не только на общий вкусовой фон, но и на консистенцию продукта. Оценку влияния дополнительных культур на динамику гидролиза казеина проводили путем сравнения значений степени протеолиза (рисунок 3.3А) и молекулярно-массового распределения продуктов протеолиза (рисунок 3.3Б) в контрольных и опытных сырах.

Как видно из рисунка 3.3А в опытных сырах с добавлением *L. casei* степень протеолиза в 2-х месячном в значительно ( $p < 0,05$ ) выше, чем в контроле и отличается от него на 1,73 %. Добавление термофильных палочек *L. helveticus* обеспечивает усиление протеолиза в сырах уже на начальной стадии созревания (в первые 15 суток). При дальнейшем созревании статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ) по степени протеолиза между сырами с добавлением *L. helveticus* и контрольными сохраняются и составляют 4,0 % к концу срока

созревания. Характерно, что в опытных сырах, изготовленных с дополнительными культурами наблюдается постоянное увеличение количества водорастворимых продуктов белка, в то время как в контрольных сырах после 15 суток созревания происходит торможение этого процесса.



А

Б

Рисунок 3.3 – Динамика степени протеолиза в процессе созревания (А) и молекулярно-массовое распределение продуктов протеолиза в зрелых сырах (Б)

Анализ хроматограмм пептидного профиля сыров возрасте 60 суток (рисунок 3.3Б) показал, что 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.

Поскольку одна из основных проблем сыров с редуцированной калорийностью связана с неудовлетворительной консистенцией, для оценки консистенции сыров проведены реологические исследования. На рисунке 3.4 представлены данные по изменению пенетрационного напряжения в исследуемых сырах в процессе созревания. Полученные результаты подтверждают общеизвестную тенденцию изменения структурно-механических свойств сыра во время созревания: после прессования сырная масса имеет невысокую твердость, обусловленную наличием свободной влаги, количество которой значительно уменьшается в результате массообменных процессов во время посолки. В начале созревания сыр уплотняется, а при дальнейшем созревании его плотность и



твердость снижаются в результате ферментативного изменения составных компонентов, в том числе ферментативного распада белка.

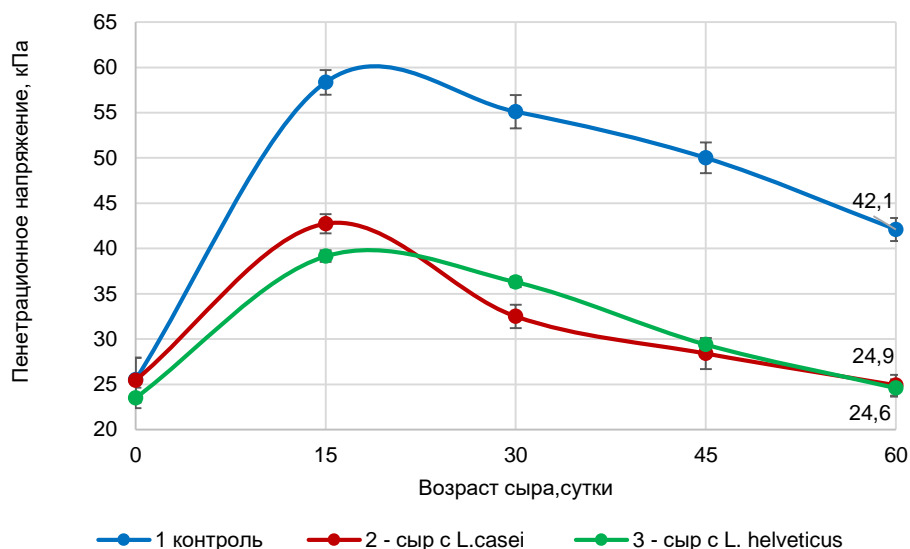


Рисунок 3.4 – Изменение пенетрационного напряжения в сырах в процессе созревания

Как видно из рисунка 3.4, после прессования разница в значении пенетрационного напряжения между вариантами сыров незначительна. Однако в процессе созревания выявлены статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ): в контрольных сырах наблюдается более высокие значения данного показателя в сравнении с опытными сырами с внесением дополнительных культур.

Для установления влияния видового состава заквасочной микрофлоры и процесса созревания на микробиологические, физико-химические и реологические показатели исследуемых сыров был проведен дисперсионный анализ, результаты которого представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Статистическая значимость влияния видового состава закваски и продолжительности созревания и их совокупное влияние на показатели сыров

Фактор	P	MS	F <sub>эмп</sub>	F <sub>кр</sub>
Количество жизнеспособных клеток МКМ				
Видовой состав БЗ	< 0,001	1,2	466,4	3,7
Продолжительность созревания	< 0,001	4,1	1566,5	3,1
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	< 0,001	0,2	81,7	2,6
Активная кислотность (pH)				
Видовой состав БЗ	< 0,05	0,006	4,1	3,7
Продолжительность созревания	< 0,001	0,03	19,0	3,1
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	> 0,05	0,004	2,5	2,6

Продолжение таблицы 3.9

Фактор	P	MS	F <sub>эмп</sub>	F <sub>кр</sub>
Массовая доля лактозы				
Видовой состав БЗ	< 0,001	0,04	12,0	3,7
Продолжительность созревания	< 0,001	3,7	1052,1	3,1
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	< 0,001	0,03	9,1	2,6
Степень протеолиза				
Видовой состав БЗ	< 0,001	12,8	174,0	3,7
Продолжительность созревания	< 0,001	118,7	1618,0	3,1
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	< 0,001	2,0	27,3	2,6
Пенетрационное напряжение				
Видовой состав БЗ	< 0,001	802,5	1094,3	3,7
Продолжительность созревания	< 0,001	447,8	610,6	3,1
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	< 0,001	49,8	68,0	2,6

Полученные экспериментальные данные и результаты дисперсионного анализа показывают, что видовой состав заквасочной микрофлоры и продолжительность созревания оказали статистически значимое влияние на показатели общего количества жизнеспособных клеток заквасочной микрофлоры, активную кислотность, массовую долю остаточной лактозы, степень протеолиза и пенетрационное напряжение.

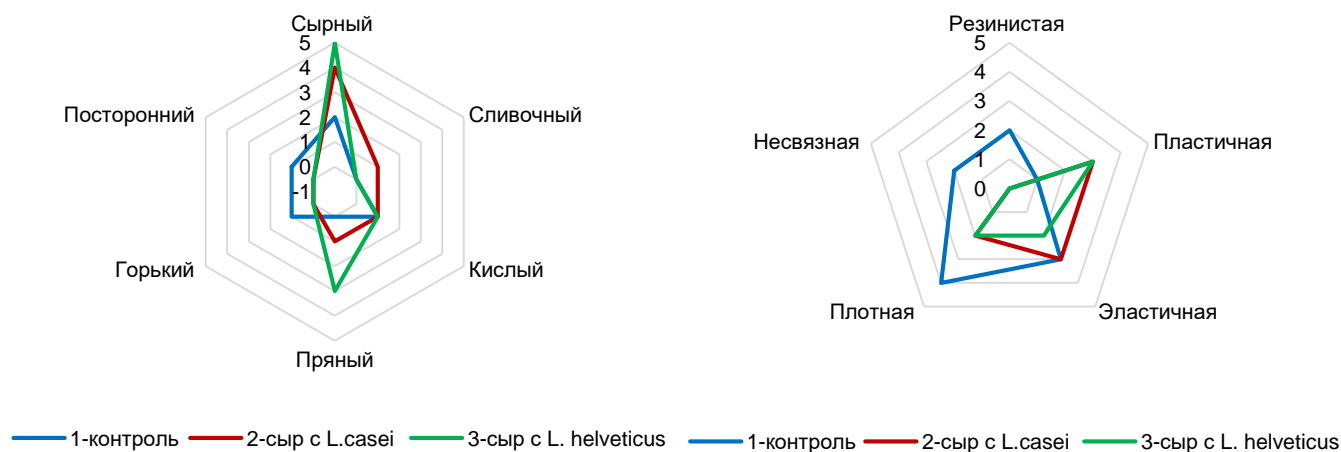
### **3.1.1.2 Органолептическая оценка сыров с использованием культур протеолитической направленности**

Органолептическая оценка вкуса и аромата исследуемых сыров в возрасте 30, 45 и 60 суток приведена в таблице 3.10 и на рисунке 3.5.

Использование закваски, состоящей только из кислотообразующих лактококков, обеспечило формирование в контрольных сырах слабо выраженного сырного вкуса и слабой горечи в возрасте 45 суток. В возрасте 60 суток сыры имели умеренно выраженный сырный вкус без горького привкуса, однако желаемых характеристик не приобрели.

Таблица 3.10 – Средняя органолептическая оценка зрелых сыров (n=3)

Вариант	30 суток		45 суток		60 суток	
	характеристика	балл	характеристика	балл	характеристика	балл
1 – контроль	слабовыраженный сырный, пресноватый	39	слабовыраженный сырный, слабый горький	37	слабо выраженный сырный	39
2 – сыр с <i>L. casei</i>	умеренно выраженный сырный, гармоничный букет	40	умеренно выраженный сырный, гармоничный букет	40	выраженный сырный, чистый гармоничный букет	43
3 – сыр с <i>L. helveticus</i>	умеренно выраженный сырный, гармоничный вкусовой букет	40	выраженный сырный, слабый пряный привкус	43	выраженный сырный, слабый пряный привкус	43



А Б  
Рисунок 3.5 – Профилограмма органолептической оценки вкуса (А) и консистенции (Б) зрелых сыров

Интенсивность сырного вкуса и аромата в опытных сырах увеличивается с возрастом. В возрасте кондиционной зрелости (60 суток) сыры с использованием мезофильных палочек *L. casei* и термофильных палочек *L. helveticus* имели выраженный сырный вкус различной интенсивности, что свидетельствует о несомненно значимой роли данных микроорганизмов в формировании вкуса и аромата сыров.

Опытные сыры с добавлением *L. casei* уже в возрасте 30 суток имели гармоничный вкусовой букет, а выраженный сырный вкус приобрели в возрасте 60 суток. Обогащение видового состава закваски дополнительной культурой *L. helveticus* в исследуемой дозе (0,1 % производственной закваски) способствовало

формированию выраженного сырного вкуса уже в возрасте 45 суток, который усилился к 60 суткам. Однако в данном варианте сыра отмечен оригинальный пряный привкус.

Органолептическая оценка консистенции сыров в процессе созревания и в возрасте кондиционной зрелости представлена в таблице 3.11 и на рисунке 3.5.

Таблица 3.11 – Средняя органолептическая оценка зрелых сыров (n=3)

Вариант	Характеристика консистенции					
	30 суток		45 суток		60 суток	
	характеристика	балл	характеристика	балл	характеристика	балл
1 – контроль	плотная, слегка резинистая	21	плотная, слегка резинистая	21	плотная, слегка резинистая	23
2 – сыр с <i>L. casei</i>	эластично-пластичная	25	эластично-пластичная	25	эластично-пластичная	25
3 – сыр с <i>L. helveticus</i>	эластичная	24	эластично-пластичная	25	эластично-пластичная	25

Анализируя представленные данные, необходимо отметить, что консистенция контрольных сыров, выработанных с использованием мезофильных лактококков, характеризовалась на всех временных точках контроля как «плотная» и «слегка резинистая». Таким образом, в данном варианте сыра не удалось добиться необходимой консистенции. В сырах с добавлением к основной кислотообразующей микрофлоре палочек *L. casei* и *L. helveticus* консистенция характеризовалась, как эластично-пластичная (с добавлением *L. casei*) и эластичная (с добавлением *L. helveticus*) уже в месячном возрасте. В 45 суток консистенция опытных сыров была эластично-пластичной и осталась без изменений до окончания процесса созревания.

На рисунке 3.6 показан рисунок сыров кондиционной зрелости.



Контроль

Сыр с *L. casei*

Сыр с *L. helveticus*

Рисунок 3.6 – Рисунок зрелых сыров

В контрольных сырах глазки, формирующие рисунок, отсутствовали (7 баллов). Добавление к основной заквасочной микрофлоре палочек *L. casei* и *L. helveticus* привело к появлению гнездовидного рисунка (9 баллов). Лактобациллы, обладающие специфическим метаболизмом, формируют текстуру и рисунок сырной массы, отличающиеся от сыра, полученного с использованием мезофильных лактококков.

В результате проведенных исследований показано, что добавление к основной кислотообразующей микрофлоре дополнительных культур мезофильных и термофильных молочнокислых палочек способствовало активизации протеолитических процессов, что положительно повлияло на формирование органолептических показателей сыров. Добавление мезофильных палочек *L. casei* обеспечило формирование гармоничного вкусового букета с выраженным сырным вкусом в сырах кондиционной зрелости и желаемую эластично-пластичную консистенцию уже в месячном возрасте. Замена части мезофильных лактококков заквасочной культурой *L. helveticus* аналогично способствовала формированию выраженного сырного вкуса и аромата и ускорению формирования эластично-пластичной консистенции сыров пониженной жирности. Вместе с тем, внесение *L. helveticus* привело к развитию оригинального пряного привкуса, нехарактерного для традиционного вкуса полутвердых сыров с низкой температурой второго нагревания.

### **3.1.2 Интенсификация роста и метаболизма *Lactobacillus helveticus* путем применения термокамеры**

В данной серии исследований проведены выработки сыров пониженной жирности (30 % в сухом веществе) с дополнительным этапом термостатирования сыра после формования в термокамере при температуре  $(35 \pm 1)^\circ\text{C}$  в течение  $(90 \pm 10)$  минут. В качестве биологического фактора, наравне с основной лактококковой заквасочной микрофлорой, испытывали дополнительную культуру термофильных палочек *L. helveticus*, использование которых в предыдущей серии выработок

показало положительный, но не достаточный эффект. Применение термокамеры создает условия для интенсивного роста и развития заквасочной микрофлоры, активизации молочнокислого процесса и продуцирования экзоферментов, что в дальнейшем должно привести к интенсификации процессов созревания. Выдержка формованного сыра, выработанного с термофильными палочками *L. helveticus*, в термокамере может способствовать интенсификации ферментативных процессов, как во время выработки, так и созревания, и, как следствие, улучшению консистенции за счет размягчения сырной массы в результате отщепления коллоидного кальция от параказеинкальцийфосфатного комплекса.

### 3.1.2.1 Микробиологические и физико-химические процессы во время выработки и созревания сыров с применением термокамеры

Контрольные сыры выработаны без дополнительных технологических операций, опытные сыры – с включением после формования этапа выдержки в термокамере при температуре  $(35\pm 1)$  °С в течение  $(90\pm 10)$  минут. Контрольные и опытные сыры выработаны с идентичной микрофлорой, состоящей из мезофильных лактококков *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus cremoris* и *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis* в количестве 0,9 % от объема молочной смеси, обеспечивающие гарантированный уровень молочнокислого процесса и количество жизнеспособных клеток в пределах  $1\cdot 10^6$ - $1\cdot 10^7$  КОЕ/см<sup>3</sup> в молоке после внесения закваски. В смесь для выработки обоих вариантов сыра дополнительно вносили культуру *L. helveticus* в дозе 0,1 %.

Микробиологические показатели и титруемая кислотность производственных заквасок представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Показатели производственных заквасок

Производственная закваска	Микробиологические показатели			Титруемая кислотность, °Т
	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	КМАрФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	КТАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	
<i>Lc. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> , <i>Lc. cremoris</i> , <i>Lc. lactis</i> subsp. <i>diacetylactis</i>	$(6,4\pm 0,1)\cdot 10^8$	$(3,3\pm 0,1)\cdot 10^8$	-	96,1±2,0
<i>L. helveticus</i>	-	-	$(8,5\pm 0,2)\cdot 10^8$	223,0±1,5

Показатели микробиологических исследований пастеризованной молочной смеси после внесения производственной закваски представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Молочная смесь для выработки сыра после внесения производственной закваски

Вариант	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	КТАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	БГКП наличие/ отсутствие в 1 см <sup>3</sup>	Дрожжи, КОЕ/см <sup>3</sup>	Плесневые грибы, КОЕ/см <sup>3</sup>	Споры аэробных МО рода <i>Bacillus</i> , спор/см <sup>3</sup>	Споры анаэробных МО рода <i>Clostridium</i> , спор/см <sup>3</sup>
1 – контроль	$(7,1 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(5,1 \pm 0,2) \cdot 10^5$	отс.	не обн.	не обн.	$(2,4 \pm 0,1) \cdot 10^1$	$6,0 \pm 0,5$
2 – с термокамерой	$(6,5 \pm 0,2) \cdot 10^6$	$(5,4 \pm 0,2) \cdot 10^5$	отс.	не обн.	не обн.	$(3,0 \pm 0,1) \cdot 10^1$	$6,0 \pm 0,5$

Результаты микробиологических анализов молочной смеси для выработки сыров после внесения производственной закваски, представленные в таблице 3.13, показывают, что показатели полностью соответствовали показателям безопасности. Не выявлены такие группы микроорганизмов, как БГКП, дрожжи и плесневые грибы. В молочной смеси обнаружена споровая микрофлора, которая не превышает допустимых норм. Исходное количество заквасочных микроорганизмов соответствует требуемому уровню.

Микробиологические и физико-химические показатели сыров после прессования представлены в таблицах 3.14 и 3.15.

Таблица 3.14 – Микробиологические показатели сыров после прессования

Вариант	КМАФАнМ КОЕ/г	КТАФАнМ, КОЕ/г	БГКП, наличие/ отсутс. в 1 г	Дрожжи, КОЕ/г	Плес- невые грибы, КОЕ/г	Споры аэробных МО рода <i>Bacillus</i> , спор/г	Споры анаэробных МО рода <i>Clostridium</i> , спор/г	Энтеро- кокки, КОЕ/г
1 – контроль	$(8,2 \pm 0,1) \cdot 10^{8a}$	$(1,0 \pm 0,3) \cdot 10^{6a}$	не обн.	не обн.	не обн.	$(1,7 \pm 0,1) \cdot 10^1$	не обн.	не обн.
2 – с термокамерой	$(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^{9b}$	$(1,1 \pm 0,1) \cdot 10^{7b}$	не обн.	не обн.	не обн.	$(2,0 \pm 0,1) \cdot 10^1$	не обн.	не обн.

Данные, отмеченные одинаковым индексом внутри одного столбца, не имеют статистически значимых отличий ( $p > 0,05$ )

Результаты исследований, приведенные в таблице 3.25, показывают, что общее количество клеток мезофильной молочнокислой микрофлоры в сырах находится на достаточно высоком уровне, однако в опытных сырах данный показатель выше, а количество термофильной микрофлоры между вариантами различается на порядок, что связано с созданием благоприятной среды для

развития *L. helveticus* при выработке опытных сыров за счет использования термокамеры.

Таблица 3.15 – Физико-химические показатели сыров после прессования

Вариант	Массовая доля влаги, %	Активная кислотность, ед. рН	Массовая доля лактозы, %	Массовая доля жира в СВ, %	Массовая доля белка, %
1 – контроль	53,3±0,6 <sup>a</sup>	5,36±0,06 <sup>a</sup>	1,45±0,08 <sup>a</sup>	29,7±0,3 <sup>a</sup>	31,9±0,30 <sup>a</sup>
2 – с термокамерой	52,9±0,6 <sup>a</sup>	5,20±0,03 <sup>b</sup>	не обн <sup>b</sup>	30,2±0,2 <sup>a</sup>	32,2±0,26 <sup>a</sup>
Данные, отмеченные одинаковым индексом внутри одного столбца, не имеют статистически значимых отличий					

Анализируя данные, приведенные в таблице 3.15, можно отметить, что сыры после прессования имеют по некоторым показателям статистически значимые отличия ( $p < 0,05$ ). В опытных сырах массовая доля лактозы после прессования отсутствует, что связано с активным протеканием гликолиза во время выработки. В контрольных сырах содержание остаточной лактозы составило в среднем 1,45±0,08 %.

Дополнительный технологический прием повлиял на интенсивность протекающих в сыре биохимических и микробиологических процессов, обуславливающих формирование вкусового букета и характерной консистенции. Косвенным показателем интенсивности молочнокислого процесса является количество остаточной лактозы в сырах после прессования и в начальный период созревания (таблица 3.16).

Таблица 3.16 – Динамика изменения остаточных количеств лактозы в сырах

Вариант	Массовая доля лактозы, %	
	после прессования	15 сутки созревания
1 – контроль	1,45±0,08	0,13±0,04
2 – с термокамерой	–	–

Согласно данным, представленным в таблице 3.16, в контрольных сырах лактоза сбрасывалась более медленно, и незначительное ее количество обнаружено в сырах даже после двухнедельного созревания. В опытных сырах лактоза полностью утилизирована, что является следствием активного течения гликолиза в сырах данного варианта за счет выдержки в термокамере, о чем также свидетельствует динамика изменения активной кислотности (рисунок 3.7).



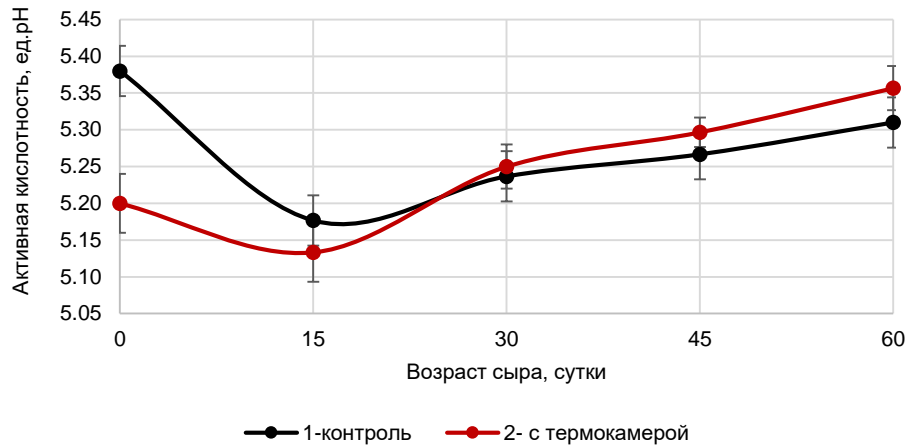


Рисунок 3.7 – Динамика активной кислотности в сырах в процессе созревания

Снижение активной кислотности закономерно происходит в течение 15 суток созревания в обоих вариантах и наименьшее значение рН в данный период отмечено у опытных сыров, затем различие сглаживается. К концу срока созревания сыры не имели статистически значимых отличий по данному показателю ( $p > 0,05$ ).

Изменение общего количества жизнеспособных клеток заквасочной микрофлоры и термофильных палочек в исследуемых сырах во время созревания представлено на рисунке 3.8.

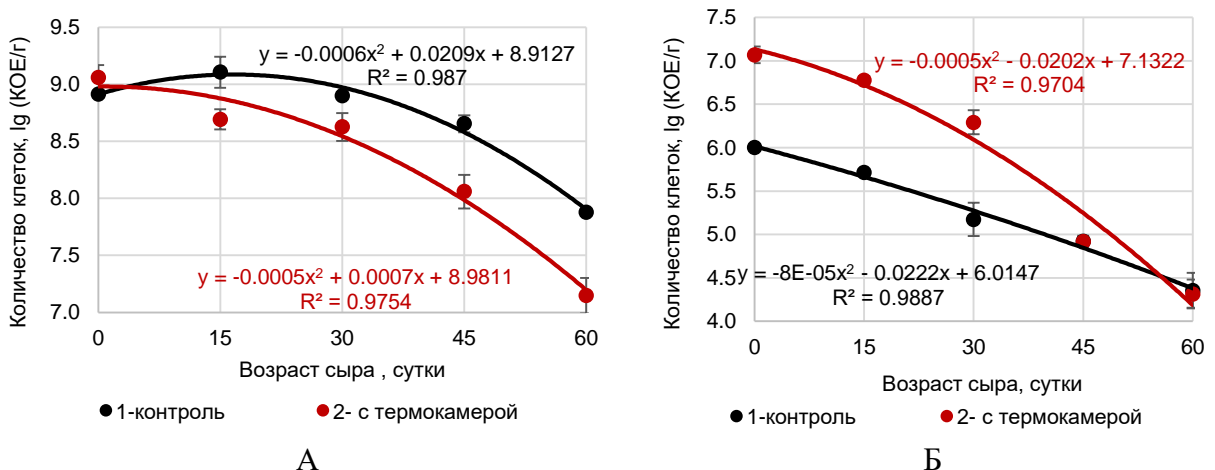


Рисунок 3.8 – Динамика развития жизнеспособных клеток: А – общего количества МКМ; Б – термофильных палочек *L. helveticus*

В соответствии с полученными результатами (рисунок 3.8А) общее количество заквасочной микрофлоры, представленной мезофильными лактококками, в опытных сырах характеризуется максимальным значением уже

на этапе выработки, в то время как в контрольных сырах основная заквасочная микрофлора продолжает расти до 15 суток созревания. При этом вымирание клеток более интенсивно происходит в опытных сырах. Логично предположить, что такое явление связано с активным развитием молочнокислых микроорганизмов во время выработки и отсутствием остаточной лактозы в сырах после прессования.

В сырах обоих вариантов максимальное количество жизнеспособных клеток термофильной молочнокислой микрофлоры, представленной *L. helveticus*, достигается уже на этапе прессования (рисунок 3.8Б), при этом в опытных сырах их количество выше на порядок. Важно также отметить, что в данном варианте сыра вымирание клеточной популяции *L. helveticus*, происходит интенсивнее, чем в контрольном.

Активизация ферментативных процессов в сырах, выдержанных в термокамере, повлияла на ход протеолитических процессов. На рисунке 3.9 представлены результаты динамики изменения степени протеолиза в сырах в процессе созревания (А) и молекулярно-массовое распределение водорастворимых белковых фракций в возрасте кондиционной зрелости (Б).

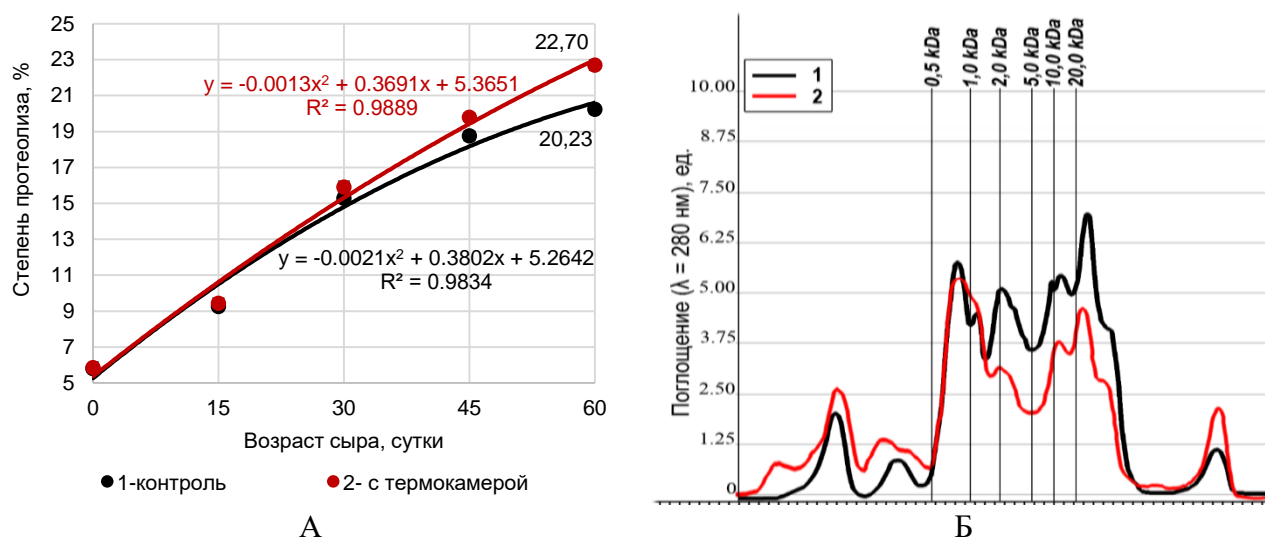


Рисунок 3.9 – Степень протеолиза в процессе созревания (А) и молекулярно – массовое распределение продуктов протеолиза в зрелых сырах (Б)

В опытных сырах в сравнении с контрольными зафиксирован более глубокий протеолиз, о чем свидетельствует накопление большего количества аминокислот и низкомолекулярных пептидов.

Характер изменения структурно механических показателей в процессе созревания исследуемых сыров показан на рисунке 3.10.

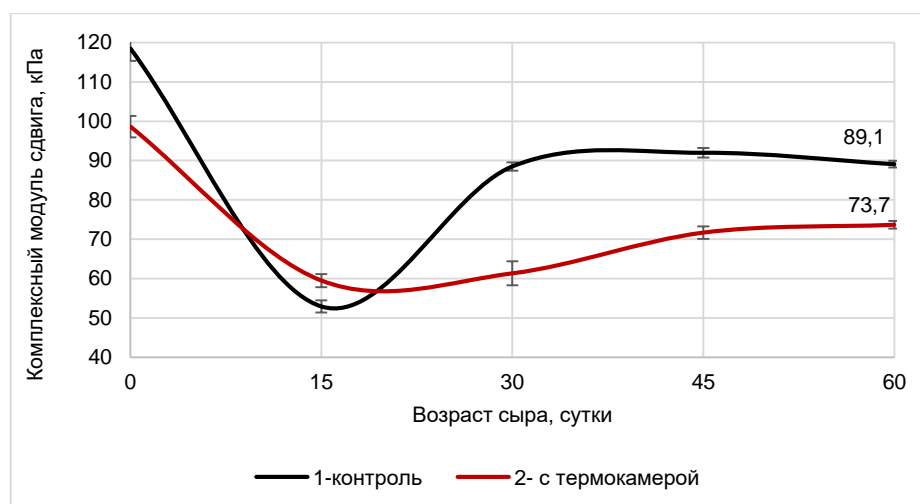


Рисунок 3.10 – Динамика комплексного модуля сдвига в сырах в процессе созревания

Установлено, что консистенция сыров имела отличия: значение комплексного модуля сдвига в сырах, выдержанных в термокамере, уже после прессования было ниже. Это говорит о размягчении консистенции, что, очевидно, связано с накоплением молочной кислоты в сырной массе. В начальный период созревания величина комплексного модуля сдвига снижается в обоих вариантах и к 15 суткам созревания имеет наименьшие показатели, причем наиболее резкий спад отмечен в контрольном сыре без выдержки в термокамере. Дальнейшее уплотнение консистенции наиболее сильно происходило в данном варианте.

Качественный состав ВАВ сыров представлен в таблице 3.17.

В опытных сырах обнаружен более широкий спектр идентифицированных соединений и незначительное увеличение общего содержания ВАВ. Отмечено, что в данном варианте происходит более интенсивная утилизация уксусной кислоты и значительное накопление таких соединений, как пропанол, ацетон и ряд альдегидов.

Таблица 3.17 – Содержание летучих ВАВ в паровой фазе зрелых сыров

Наименование ВАВ	1 – контроль	2 – с термокамерой
<b>Альдегиды, %:</b>		
уксусный альдегид	76,6±0,3	74,1±0,2
бутаналь	2,41±0,3	6,70±0,05
бутеналь-2		2,70±0,3
пентаналь	-	0,20±0,02
<b>Спирты, %:</b>		
метанол	12,0±0,6	10,73±0,2
гептанол-1	0,04±0,01	-
пропанол-1	-	2,62±0,03
<b>Кислоты, %:</b>		
уксусная кислота	6,25±0,05	2,06±0,06
<b>Кетоны и его производные, %:</b>		
бутанон-2	5,40±0,09	-
пентанон-2	0,81±0,11	0,35±0,05
ацетон	-	0,26±0,07
Общее содержание летучих ВАВ, нА·с	0,87±0,04	0,98±0,03

Для установления влияния этапа выдержки в термокамере и продолжительности созревания на микробиологические, физико-химические и реологические показатели исследуемых сыров был проведен дисперсионный анализ, результаты которого представлены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Статистическая значимость влияния выдержки в термокамере и продолжительности созревания и их совокупное влияние на показатели сыров

Фактор	P	MS	F <sub>эмп</sub>	F <sub>кр</sub>
<b>Общее количество жизнеспособных клеток МКБ</b>				
Термокамера	< 0,001	0,6	62,1	4,4
Продолжительность созревания	< 0,001	2,2	203,7	2,9
Термокамера × Продолжительность созревания	< 0,001	0,2	14,9	2,9
<b>Количество жизнеспособных клеток <i>L. helveticus</i></b>				
Термокамера	< 0,001	3,1	215,0	4,3
Продолжительность созревания	< 0,001	5,0	352,9	2,9
Термокамера × Продолжительность созревания	< 0,001	0,5	38,4	2,9
<b>Активная кислотность (pH)</b>				
Термокамера	< 0,05	0,03	4,8	4,4
Продолжительность созревания	< 0,001	0,03	18,9	2,9
Термокамера × Продолжительность созревания	< 0,001	0,01	8,3	2,9
<b>Массовая доля лактозы</b>				
Термокамера	< 0,001	0,6	969,9	4,3
Продолжительность созревания	< 0,001	0,6	969,9	2,9
Термокамера × Продолжительность созревания	< 0,001	0,6	969,9	2,9
<b>Степень протеолиза</b>				
Термокамера	< 0,001	3,0	45,7	4,4
Продолжительность созревания	< 0,001	301,5	4662,3	2,9
Термокамера × Продолжительность созревания	< 0,01	0,4	6,3	2,9

Продолжение таблицы 3.18

Фактор	p	MS	F <sub>эмп</sub>	F <sub>кр</sub>
Комплексный модуль сдвига				
Термокамера	< 0,001	1585,6	251,5	4,4
Продолжительность созревания	< 0,001	2115	335,4	2,9
Термокамера × Продолжительность созревания	< 0,001	239,9	38,1	2,9

Из результатов дисперсионного анализа, представленных в таблице 3.18, следует, что выдержка в термокамере и продолжительность созревания, а также взаимодействие данных факторов влияет на все физико-химические, микробиологические, реологические показатели: общее количество заквасочной микрофлоры, количество жизнеспособных клеток *L. helveticus*, активная кислотность, степень протеолиза, массовая доля лактозы и комплексный модуль сдвига.

### 3.1.2.2 Органолептическая оценка сыров с использованием термокамеры

Применение этапа термостатирования формованного сыра в термокамере привело к появлению отличий в результатах органолептической оценки контрольных и опытных сыров, которые показаны в таблице 3.19 и на рисунке 3.11.

Таблица 3.19 – Средняя органолептическая оценка зрелых сыров (n=3)

Вариант	Вкус и аромат		Консистенция	
	характеристика	балл	характеристика	балл
1 – контроль	выраженный сырный, кисловатый, слегка пряный	43	эластично-пластичная	25
2 – с термокамерой	выраженный сырный, слегка острый, гармоничный вкусовой букет	44	слегка пластичная	24

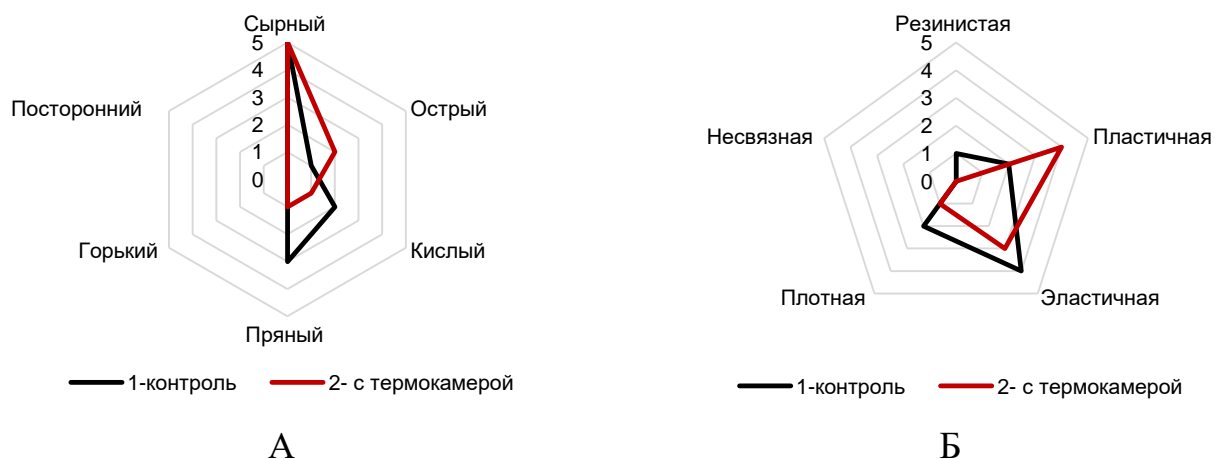


Рисунок 3.11 – Профилограммы вкуса (А) и консистенции (Б) зрелых сыров

Сыры в возрасте кондиционной зрелости обоих вариантов характеризовались выраженным сырным вкусом и ароматом. Контрольные сыры отличались слабым кислым и пряным вкусом. Сыры опытного варианта имели слегка острый вкус в гармоничном букете.

Консистенция контрольных сыров характеризовалась как эластично-пластичная (25 баллов). Опытные сыры имели несколько мягкую, слегка пластичную консистенцию (24 балла).

В результате проведенных исследований установлено, что использование *L. helveticus* дает возможность получить сыры с высокими органолептическими показателями и без дополнительного этапа выдержки сыра в термокамере. Однако совместное использование термокамеры и термофильных культур *L. helveticus* может незначительно улучшить вкус сыров.

### 3.1.3 Газо– и ароматообразующие мезофильные культуры *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis* и *Leuconostoc* ssp.

Лейконостоки (*Leuconostoc* ssp.) и диацетильный лактококк (*Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis*) представляют интерес для сыроделия в качестве газо- и ароматообразующих культур. Их полезные технологические свойства связаны с продуцированием широкого спектра ароматических соединений, выраженной газообразующей способностью, результатом чего

является образование рисунка в сыре [1, 186, 187]. Диацетильный лактококк, который применяется как газо-ароматообразующий компонент в составе бактериальных заквасок, утилизирует только цитраты, количество которых в сыром молоке непостоянно и меняется в зависимости от условий кормления и времени года. Напротив, лейконостоки при развитии в молоке кроме накопления продуктов метаболизма цитратов, образуют в результате гетероферментативного сбраживания лактозы ароматообразующие вещества и углекислый газ, что усиливает возможность формирования необходимого рисунка и вкуса при дефиците в молоке солей лимонной кислоты [188-190].

В рамках данной серии исследований проведены экспериментальные выработки сыров пониженной жирности (30 % в СВ) с целью изучения возможности моделирования потребительских свойств сыров различными биотехнологическими приемами, включающими использование дополнительных видов МКМ, обладающих протеолитической и газо-ароматообразующей активностью и разных способов формования (насыпью и из пласта). Способ формования определяет различия в характере рисунка. При формовании насыпью рисунок сыра состоит из глазков неправильной угловатой формы, размеры которых зависят от применяемого технологического оборудования. При формовании из пласта, когда сырная масса формируется под слоем сыворотки, сыр имеет сплошную структуру и рисунок с глазками округлой формы, образуемые благодаря метаболизму газообразующей микрофлоры.

### **3.1.3.1 Микробиологические и физико-химические процессы во время созревания сыров, выработанных с добавлением газо- и ароматообразующих культур**

Выработки сыров проведены согласно технологическому регламенту, представленному в главе 3.1.1.1.

В таблице 3.20 представлен видовой состав заквасочной микрофлоры исследуемых сыров и способы их формования.

Таблица 3.20 – Видовой состав заквасочной микрофлоры сыров

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

В качестве основной кислотообразующей заквасочной микрофлоры во всех сырах использована производственная закваска, включающая смесь лактококков подвидов *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* и *Lactococcus cremoris* в дозе 0,6 % от объема молочной смеси. По результатам, представленным главе 3.1.1, установлено значимое положительное влияние мезофильных палочек *L. casei* на органолептические показатели сыров по нижней жирности, поэтому данная культура была включена в состав закваски всех вариантов в дозе 0,4 % от объема молочной смеси. Для усиления ароматообразования, формирования сливочного аромата и рисунка с правильными глазками в качестве дополнительной микрофлоры в варианты сыров 1/1\* вносили *Leuconostoc* ssp. (0,4 %), в варианты 2/2\* – *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis* (0,4 %). Дозы производственных заквасок выбраны на основе предыдущих исследований.

Микробиологические и технологические показатели производственных заквасок, используемых в эксперименте приведены в таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Микробиологические и технологические показатели производственных заквасок

Состав заквасочной микрофлоры	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	КТАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	КМАрАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	ГА, см	АА, у.е.	Титруемая кислотность, °Т
<i>Lc. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> , <i>Lc. cremoris</i>	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^9$	–	–	–	–	95,5 ± 3,5
<i>Leuconostoc</i> ssp	$(2,3 \pm 0,1) \cdot 10^9$	–	$(5,1 \pm 0,2) \cdot 10^8$	1	0	96,0 ± 1,0
<i>Lc. lactis</i> subsp. <i>diacetylactis</i>	$(2,1 \pm 0,2) \cdot 10^9$	–	$(2,1 \pm 0,1) \cdot 10^9$	2	3	102,5 ± 2,4
<i>L. casei</i>	$(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^8$	–	$(1,0 \pm 0,1) \cdot 10^8$	–	–	29,0 ± 1,0



Анализируя показатели производственных заквасок, представленные в таблице 3.21, следует отметить, что в заквасках с *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis*, *Leuconostoc* и *L. casei* все жизнеспособные клетки способны сбраживать цитраты, однако, газообразующая активность выявлена в заквасках с *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis* и *Leuconostoc*, а ароматообразующая активность, определяемая по наличию диацетила и ацетоина, только в заквасках с *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis*. В закваске на основе *L. casei* процесс кислотообразования практически не значим.

Микробиологические показатели молочной смеси после заквашивания представлены в таблице 3.22.

Таблица 3.22 – Микробиологические показатели молока после внесения БЗ

Вариант	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	КТАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	БГКП наличие/ отсутствие в 1 см <sup>3</sup>	Дрожжи, КОЕ/см <sup>3</sup>	Плесневые грибы, КОЕ/см <sup>3</sup>	Споры МО рода <i>Bacillus</i> , спор/см <sup>3</sup>	Споры МО рода <i>Clostridium</i> , спор/см <sup>3</sup>
1, 1*	$(4,5 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(5,4 \pm 0,2) \cdot 10^1$	отс.	не обн.	не обн.	$(1,4 \pm 0,2) \cdot 10^1$	$6,0 \pm 0,5$
2, 2*	$(3,9 \pm 0,2) \cdot 10^6$	$(4,7 \pm 0,3) \cdot 10^1$	отс.	не обн.	не обн.	$(4,0 \pm 0,1) \cdot 10^1$	$6,0 \pm 0,5$

1/1\* – сыры с *Leuconostoc*, 2/2\* – сыры с *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis*

Результаты микробиологических анализов молочной смеси после внесения производственной закваски, представленные в таблице 3.22, показывают, что в исследуемом объекте не обнаружено БГКП, дрожжей и плесневых грибов, а другие группы микроорганизмов выявлены в допустимых пределах. Исходное количество заквасочных микроорганизмов соответствует требуемому уровню.

Микробиологические показатели сыров после прессования приведены в таблице 3.23.

Таблица 3.23 – Характеристика микрофлоры сыров после прессования

Вар.	КМАФАнМ, КОЕ/г	КТАФАнМ, КОЕ/г	БГКП, наличие/ отсутствие в 1 г	Дрож- жи, КОЕ/г	Плесне- вые грибы, КОЕ/г	Споры МО рода <i>Bacillus</i> , спор/г	Споры МО рода <i>Clostridium</i> , спор/г	Энтеро- кокки, КОЕ/г
1	$(1,60 \pm 0,3) \cdot 10^9$	$(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^2$	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
1*	$(1,73 \pm 0,4) \cdot 10^9$	$(3,2 \pm 0,4) \cdot 10^2$	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
2	$(1,47 \pm 0,5) \cdot 10^9$	$(1,4 \pm 0,1) \cdot 10^2$	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
2*	$(1,27 \pm 0,1) \cdot 10^9$	$(2,7 \pm 0,6) \cdot 10^2$	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.

1/1\* – сыры с *Leuconostoc*, 2/2\* – сыры с *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis*  
Сыры, помеченные маркировкой \*, выработаны с применение способа формования из пласта

Анализ результатов по микробиологическим показателям сыров после прессования, представленных в таблице 3.23, показывает, что во всех сырах количество МКМ достигает максимального значения (более  $1 \cdot 10^9$  КОЕ/г) уже на этапе выработки. Обнаружено незначительное количество термофильных МО, относящиеся к остаточной микрофлоре после пастеризации. При этом другая технически вредная микрофлора не выявлена.

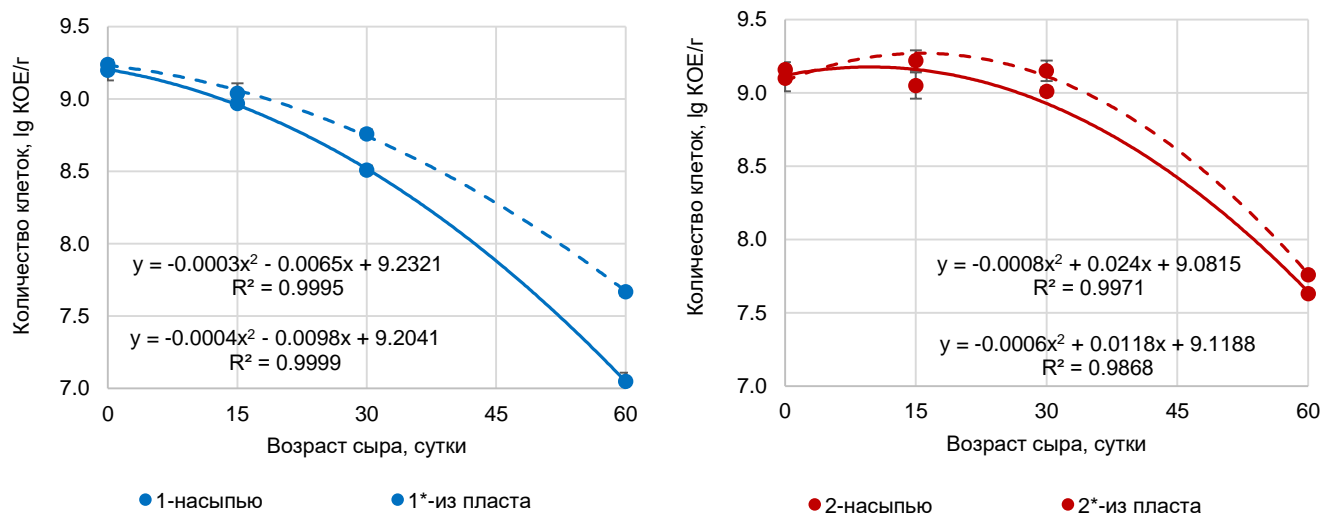
Физико-химический состав сыров после прессования представлен в таблице 3.24.

Таблица 3.24 – Физико-химические показатели сыров после прессования

Вариант	Массовая доля влаги, %	Активная кислотность, ед. рН	Массовая доля лактозы, %	Массовая доля жира в СВ, %	Массовая доля белка, %
1	51,0±0,2 <sup>a</sup>	5,30±0,03 <sup>a</sup>	1,12±0,08 <sup>a</sup>	30,0±0,2 <sup>a</sup>	29,0±0,5 <sup>a</sup>
1*	52,9±0,2 <sup>b</sup>	5,36±0,04 <sup>a</sup>	1,25±0,04 <sup>a</sup>	29,5±0,2 <sup>a</sup>	28,3±0,0 <sup>a</sup>
2	51,6±0,4 <sup>a</sup>	5,28±0,03 <sup>a</sup>	1,14±0,06 <sup>a</sup>	30,4±0,3 <sup>a</sup>	28,2±0,4 <sup>a</sup>
2*	52,6±0,4 <sup>b</sup>	5,34±0,03 <sup>a</sup>	1,16±0,05 <sup>a</sup>	29,7±0,3 <sup>a</sup>	28,4±0,2 <sup>a</sup>
1/1* – сыры с <i>Leuconostoc</i> , 2/2* – сыры с <i>Lc. lactis</i> subsp. <i>diacetylactis</i> Сыры, помеченные маркировкой *, выработаны с применением способа формования из пласта Данные, отмеченные одинаковым индексом внутри одного столбца, не имеют статистически значимых отличий					

Сыры после прессования, формуемые из пласта, имели статистически значимые отличия ( $p < 0,05$ ) от сыров, формуемых насыпью по массовой доле влаги в сторону увеличения на 1,0 %-1,9 %, что объясняется более замкнутой поверхностью головки сыра. Во всех сырах молочнокислый процесс шел достаточно интенсивно и к концу выработки количество остаточной лактозы немногим превышает 1,0 %.

На рисунках 3.12 и 3.13 представлены данные динамики развития заквасочной микрофлоры и изменения массовой доли влаги соответственно в сырах, формуемых из пласта и насыпью, в процессе созревания.



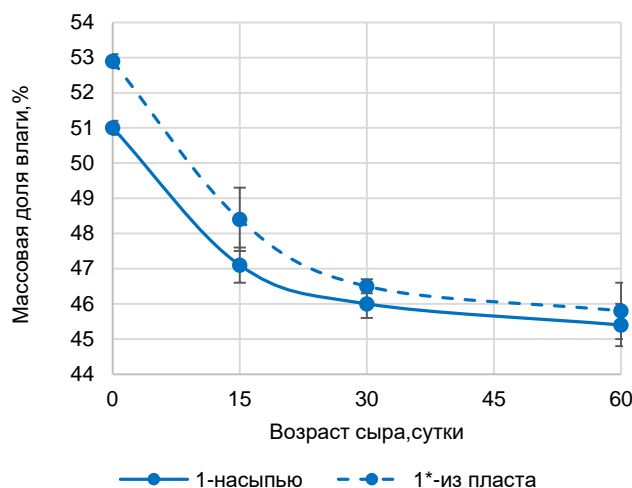
сыры с *Leuconostoc*

сыры с *Lc. lactis subsp. diacetylactis*

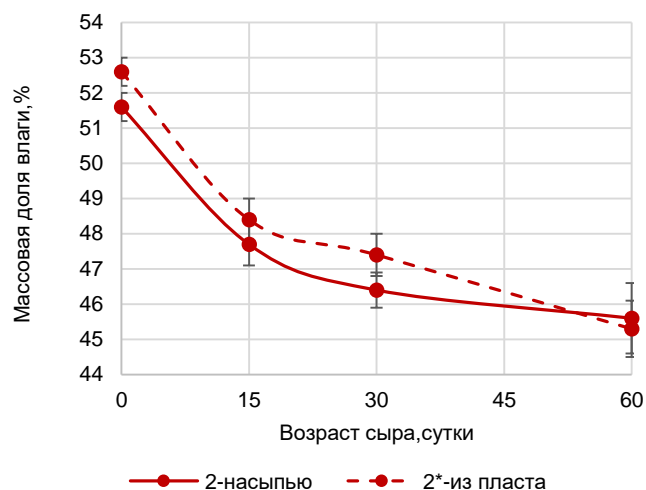
Рисунок 3.12 – Динамика роста жизнеспособных клеток заквасочной микрофлоры во время созревания сыров, формируемых разными способами

Режим щадящей обработки зерна в технологии сыров пониженной жирности не превышает верхних температурных границ роста лактококковой микрофлоры сыров, а в совокупности с высокой дозой производственной закваски в данной серии экспериментов (>1,0 %) обеспечил достаточную активность молочнокислого процесса уже на этапе прессования сырной массы. В сырах с использованием в качестве дополнительной микрофлоры *Lc. lactis subsp. diacetylactis* максимальный уровень развития микрофлоры остается неизменным до 30 суток созревания. Установлено, что во всех вариантах сыров, формируемых насыпью, особенно в варианте с использованием *Leuconostoc*, МКМ вымирают более интенсивно. Очевидно, воздух, захватываемый сырной массой при формировании насыпью, и несколько меньшая влажность сырной массы оказывают влияние на скорость вымирания клеточной популяции.

Высокое содержание влаги в сырах, формируемых из пласта (рисунок 3.13), способствовало интенсификации молочнокислого процесса. Однако на завершающем этапе созревания влажность сыров с разными способами формирования выравнилась.



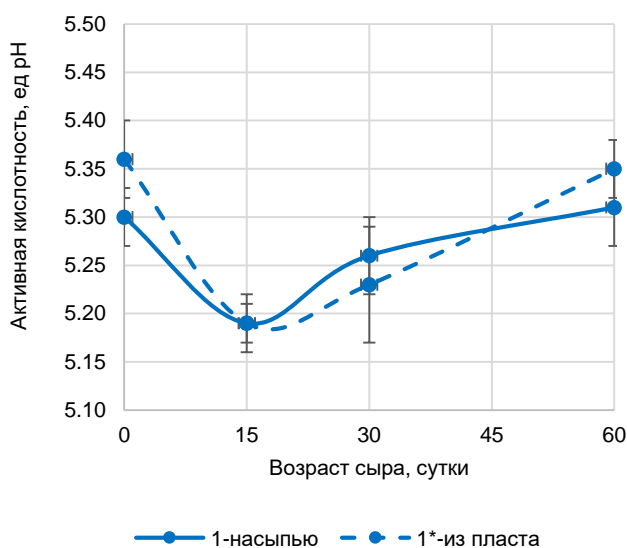
сыры с *Leuconostoc*



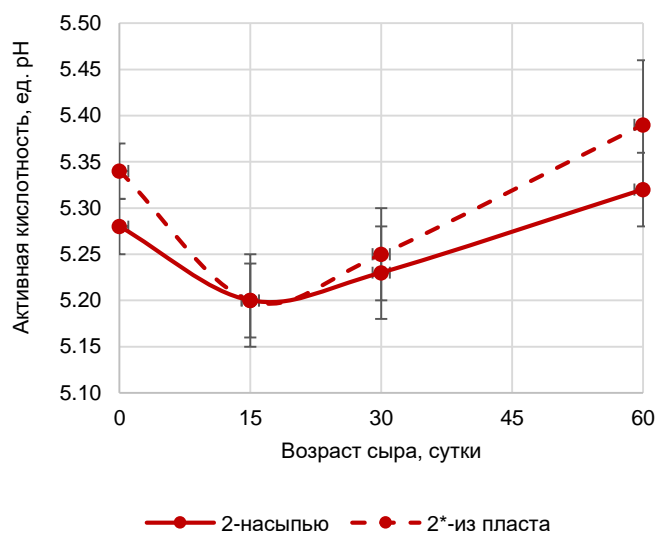
сыры с *Lc. lactis subsp. diacetylactis*

Рисунок 3.13 – Динамика массовой доли влаги в сырах, формируемых разными способами, во время созревания

Динамика активной кислотности в сырах в процессе созревания показана на рисунке 3.14.



Сыры с *Leuconostoc*



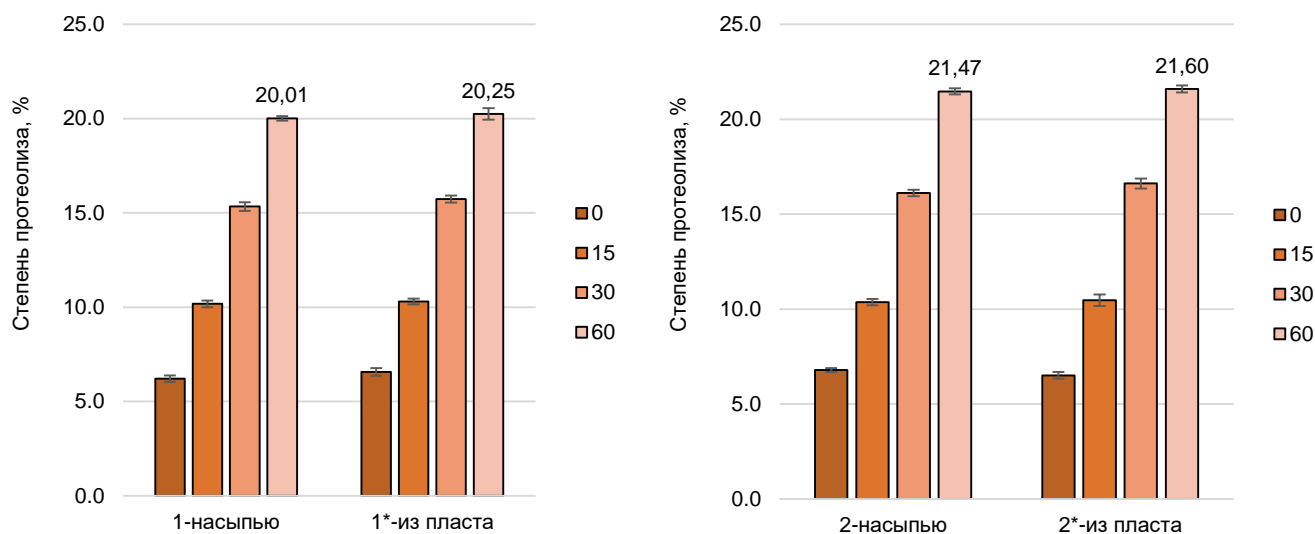
Сыры с *Lc. lactis subsp. diacetylactis*

Рисунок 3.14 – Динамика активной кислотности в сырах в процессе созревания

Величина активной кислотности в сырах, формируемых разными способами, не имела статистически значимых различий во всех временных точках контроля.

С целью объективной оценки интенсивности протеолиза в процессе созревания определяли количество общего и общего водорастворимого белка,

рассчитывая степень протеолиза как отношение водорастворимого белка к общему, выраженное в процентах. Результаты представлены на рисунке 3.15.



Сыры с *Leuconostoc*

Сыры с *Lc. lactis subsp. diacetylactis*

Рисунок 3.15 – Динамика степени протеолиза в процессе созревания сыров

По степени протеолиза между вариантами сыров в зависимости от вида заквасочной микрофлоры имеются статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ). В сырах с добавлением диацетильного лактококка степень протеолиза была выше. При этом данный показатель не зависел от способа формирования ( $p > 0,05$ ).

При сравнении хроматограмм молекулярно-массового распределения пептидов (рисунок 3.16) между сырами не обнаружено различий по содержанию свободных аминокислот и низкомолекулярных пептидов.

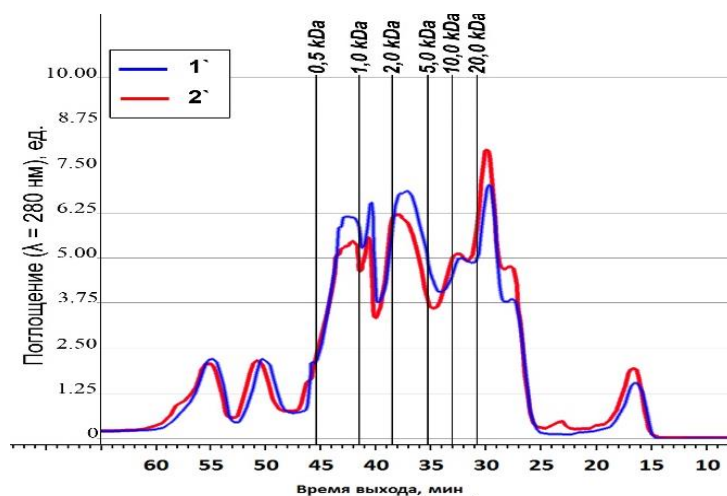
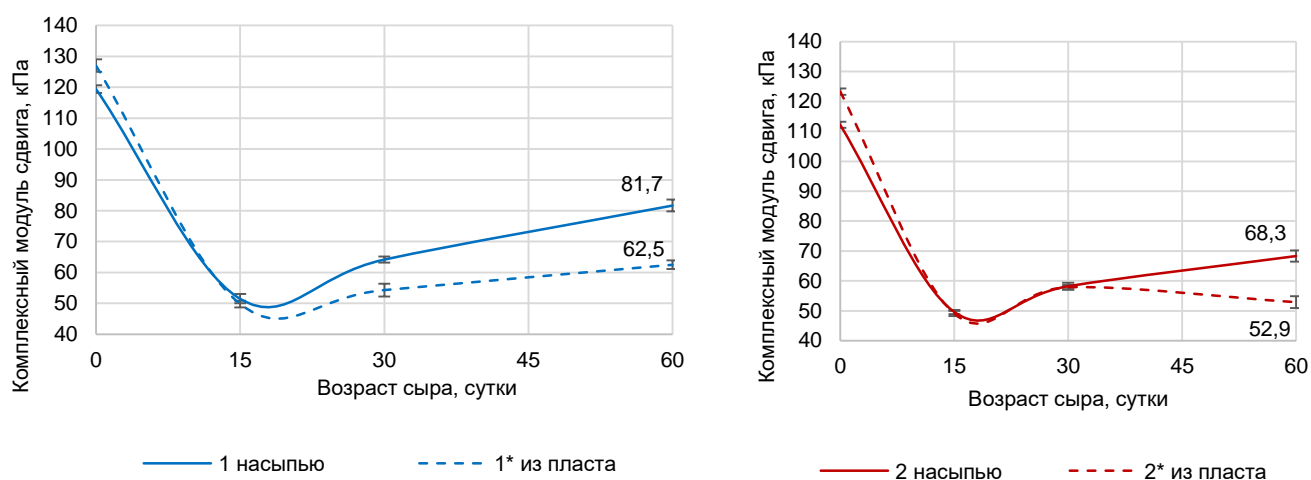


Рисунок 3.16 – Молекулярно-массовое распределение продуктов протеолиза в зрелых сырах, формуемых из пласта

Биотрансформация компонентов во время созревания сыра на уровне микроструктуры отражается на органолептических и реологических характеристиках сыра. Как известно, процесс протеолиза связан с формированием консистенции, которую можно оценить, используя реологические характеристики сыров. Результаты исследований по изменению величины комплексного модуля сдвига в сырах в процессе созревания представлены на рисунке 3.17. Сравнивали образцы сыров с идентичной микрофлорой, но выработанных с применением разных способов формования.



сыры с *Leuconostoc*

сыры с *Lc. lactis subsp. diacetylactis*

Рисунок 3.17 – Динамика комплексного модуля сдвига в процессе созревания сыров

Как следует из результатов, представленных на рисунке 3.17, во всех исследуемых образцах сыров изменение комплексного модуля сдвига характеризуется наличием минимума в возрасте 15 суток. О корреляции реологических свойств сыра и уровнем молочнокислого процесса свидетельствуют научные работы отечественных и зарубежных ученых [33, 111, 191].

По мнению Лепилкиной О.В. [111], минимальное значение комплексного модуля сдвига совпадает с наименьшим значением величины рН и соответствует финальной стадии процесса молочнокислого брожения. Снижение показателя комплексного модуля сдвига сопровождается размягчением консистенции сыра и преобладанием в нем вязко-пластичных свойств над упругими. Таким образом, приоритетное влияние в этом оказывает процесс накопления молочной кислоты и

усиливающаяся деминерализация казеинаткальцийфосфатного комплекса. При дальнейшем созревании (начиная с возраста 15 суток), предположительно, приоритетным процессом является протеолиз и консистенция несколько уплотняется во всех образцах сыров, что связано с бóльшей подвижностью низкомолекулярных продуктов гидролиза казеина по сравнению с макромолекулами белка. В целом, динамика изменения комплексного модуля сдвига в исследуемых сырах идет в соответствии с установленными ранее тенденциями. Однако между вариантами имеются статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ), обусловленные, очевидно, способом формирования и различной интенсивностью процесса протеолиза казеинов, определяемого составом БЗ.

Сыры, формируемые из пласта, в возрасте кондиционной зрелости, характеризовались более низкими величинами  $G^*$ , чем сыры, формируемые насыпью, а значит должны иметь более мягкую и пластичную консистенцию. Соответственно наиболее сильное уплотнение структуры наблюдалось в сырах, формируемых насыпью. Сыры с добавлением *Leuconostoc* (1 и 1\*) имели наибольшее значение  $G^*$ , и наоборот сыры с применением в качестве дополнительных культур *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis* (2 и 2\*) характеризовались меньшими значениями комплексного модуля сдвига.

Процесс гидролиза казеина и накопление продуктов протеолиза, непосредственно оказывает влияние на формирование консистенции, делая ее более мягкой и пластичной. Однако необходимо учитывать, что реологические показатели зависят не только от степени протеолиза, но и от содержания влаги, жира и pH сырной массы и т.д.

Во время созревания под действием ферментов МКМ образуется широкий спектр различных летучих ВАВ, представленных органическими кислотами, альдегидами, кетонами, спиртами и т.д. В таблице 3.25 представлен качественный и количественный состав вкусоароматического профиля паровой фазы сыров кондиционной зрелости.

Таблица 3.25 – Содержание летучих ВАВ в паровой фазе зрелых сыров

Наименование ВАВ	сыры с <i>Leuconostoc</i>		сыры с <i>Lc. lactis</i> subsp. <i>diacetylactis</i>	
	1	1*	2	2*
<b>Альдегиды, %:</b>				
Этаналь	83,62±0,32	85,42±0,22	48,35±0,20	87,87±0,31
Бутаналь-2	2,97±0,02	-	-	-
Изобутаналь	-	-	-	0,01±0,0
Гексаналь	1,73±0,20	1,15±0,11	-	1,02±0,08
<b>Кетоны и производные, %:</b>				
Бутанон-2	0,22±0,02	2,41±0,11	0,17±0,13	2,34±0,25
Ацетон	-	-	25,16±0,35	-
<b>Спирты, %:</b>				
Гексанол -1	-	0,89±0,10	-	-
Гексанол-2	-	-	0,94±0,21	1,10±0,14
Гектанол-1	-	-	-	0,78±0,14
Гептанол-2	-	-	5,12±0,24	-
Пентанол-1	5,47±0,43	3,71±0,23	10,98±0,034	2,21±0,20
Пентанол-2	1,40±0,10	0,57±0,17	-	-
Метанол	0,11	0,13±0,02	0,03±0,01	0,01±0,0
<b>Кислоты, %:</b>				
Масляная кислота	3,2±0,14	-	4,25±0,43	-
Общее содержание ВАВ, нА·с	1,52±0,10	1,65±0,20	1,80±0,20	1,88±0,24
Сыры, помеченные маркировкой *, выработаны с применением способа формирования из пласта				

Сыры с добавлением *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis* отличались бóльшим количеством и разнообразием идентифицированных ВАВ, чем сыры с *Leuconostoc*. Спирт пентанол-2 обнаружен только в образцах сыров с *Leuconostoc* (1 и 1\*), гексанол-1 – в варианте 1\*. Метанол и гексаналь, характеризующийся фруктовым и травянистым ароматом, обнаружены в наиболее высокой концентрации также в сырах с *Leuconostoc*.

Исключительно в сырах, в состав закваски которых был добавлен *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis*, обнаружен спирт гексанол-2. В сырах, формованных насыпью (2), идентифицировали ацетон, имеющий характерный резкий запах, но в низких концентрациях и в сочетании с другими группами ВАВ способный придавать приятный аромат и вкус сыру.

Отмечено наличие масляной кислоты, которая характеризует вкус сыра, как «острый» и «сырный», исключительно в вариантах сыров, формируемых насыпью, независимо от вида дополнительной заквасочной микрофлоры. Это объясняется,



тем, что в сырах, формируемых насыпью, свободный жир подвергается окислению под воздействием кислорода воздуха, захваченного во время формирования. В результате образуются вторичные продукты окисления, в том числе короткоцепочечные жирные кислоты, к которым относится и масляная кислота.

Для установления влияния видового состава БЗ и продолжительности созревания и их совокупное влияние на микробиологические, физико-химические и реологические показатели исследуемых сыров был проведен дисперсионный анализ данных. Результаты дисперсионного анализа и сравнительная оценка результатов образцов сыров, формируемых разными способами, приведены в таблице 3.26.

Таблица 3.26 – Статистическая значимость влияния видового состава закваски, времени созревания и их совокупного влияния на показатели сыров, формируемых разными способами

Фактор	Сыры, формируемые насыпью				Сыры, формируемые из пласта			
	p	MS	F <sub>эмп</sub>	F <sub>кр</sub>	p	MS	F <sub>эмп</sub>	F <sub>кр</sub>
Количество МКМ								
Видовой состав БЗ	<0,01	0,5	184,9	4,5	<0,001	18,3	7590,8	4,5
Продолжительность созревания	<0,01	4,2	1673,3	3,2	<0,001	18,3	7559,0	3,2
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	<0,01	0,1	54,1	3,2	<0,001	20,9	8663,6	3,2
Массовая доля лактозы								
Видовой состав БЗ	>0,05	0,0002	0,2	4,5	>0,05	0,003	5,8	4,5
Продолжительность созревания	<0,01	1,9	1562,9	3,2	<0,001	2,2	4205,0	3,2
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	>0,05	0,0002	0,2	3,2	<0,01	0,003	5,8	3,2
Активная кислотность								
Видовой состав БЗ	>0,05	0,0003	0,2	4,5	>0,05	0,001	0,45	4,5
Продолжительность созревания	<0,01	0,02	11,9	3,2	<0,001	0,04	20,1	3,3
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	>0,05	0,0008	0,6	3,2	>0,05	0,001	0,42	3,2
Степень протеолиза								
Видовой состав БЗ	<0,01	3,4	121,9	4,5	<0,001	2,1	39,5	4,5
Продолжительность созревания	<0,01	233,3	8429,6	3,2	<0,001	240,9	4585,2	3,2
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	<0,01	0,4	15,5	3,2	<0,001	0,6	12,1	3,2

Продолжение таблицы 3.26

Фактор	Сыры, формуемые насыпью				Сыры, формуемые из пласта			
	p	MS	F <sub>эмп</sub>	F <sub>кр</sub>	p	MS	F <sub>эмп</sub>	F <sub>кр</sub>
Комплексный модуль сдвига (G*)								
Видовой состав БЗ	<0,01	316,8	171,9	4,5	<0,001	36,3	16,6	4,5
Продолжительность созревания	<0,01	4848,7	2631,0	3,2	<0,001	7554,2	3453,4	3,2
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	<0,01	36,8	20,0	3,2	<0,001	46,7	21,4	3,2

По результатам статистической обработки данных выявлено, что видовой состав микрофлоры закваски и продолжительность созревания оказали статистически значимое влияние ( $p < 0,001$ ) на общее количество заквасочной микрофлоры, степень протеолиза и комплексный модуль сдвига. Не выявлено статистически значимого влияния ( $p > 0,05$ ) видového состава применяемой заквасочной микрофлоры на изменение массовой доли лактозы и активной кислотности.

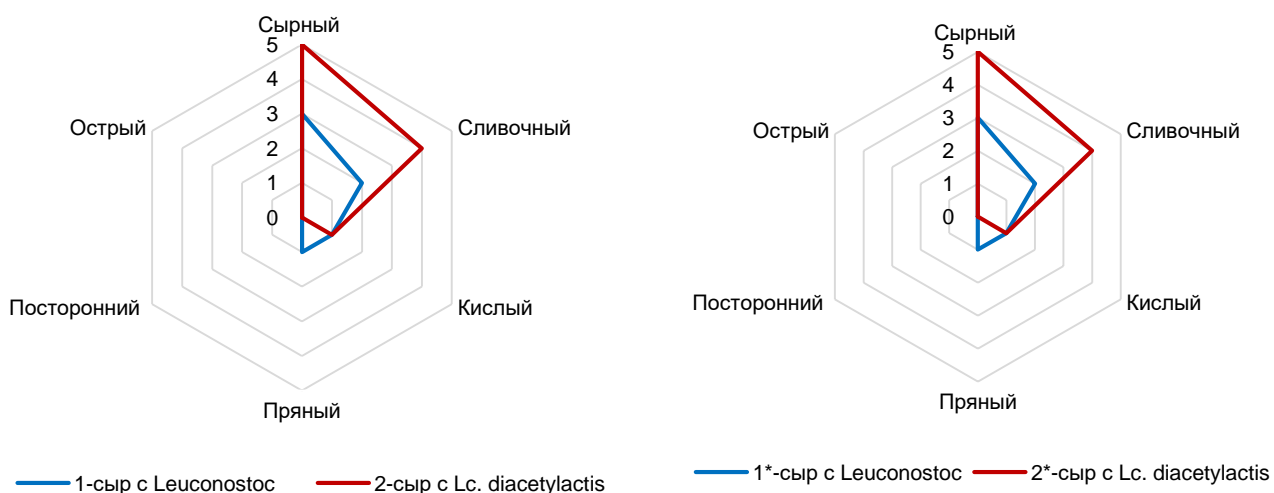
### 3.1.3.2 Органолептическая оценка сыров, выработанных с добавлением газо– и ароматообразующих культур

Сравнительная оценка органолептических показателей сыров проводилась в возрасте 30 и 60 суток и приведена в таблице 3.27 и на рисунке 3.18.

Таблица 3.27 – Средняя органолептическая оценка вкуса и аромата сыров (n=3)

Вар.	Характеристика вкуса сыра в возрасте, сутки			
	30		60	
	характеристика	балл	характеристика	балл
1	слабовыраженный сырный, чистый, слабый кислый	38	умеренно выраженный сырный, чистый, легкий сливочный	40
1*	слабовыраженный сырный, чистый, слабый кислый	38	умеренно выраженный сырный, чистый, легкий сливочный	42
2	умеренно выраженный сырный, чистый	40	выраженный сырный, сливочный, гармоничный букет	43
2*	умеренно выраженный сырный, чистый	40	выраженный сырный, сливочный, гармоничный букет	44

1/1\* – сыры с *Leuconostoc*, 2/2\* – сыры с *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis*



Сыры, формируемые насыпью  
 Сыры, формируемые из пласта  
 Рисунок 3.18 – Профилограмма органолептической оценки вкуса и аромата зрелых сыров

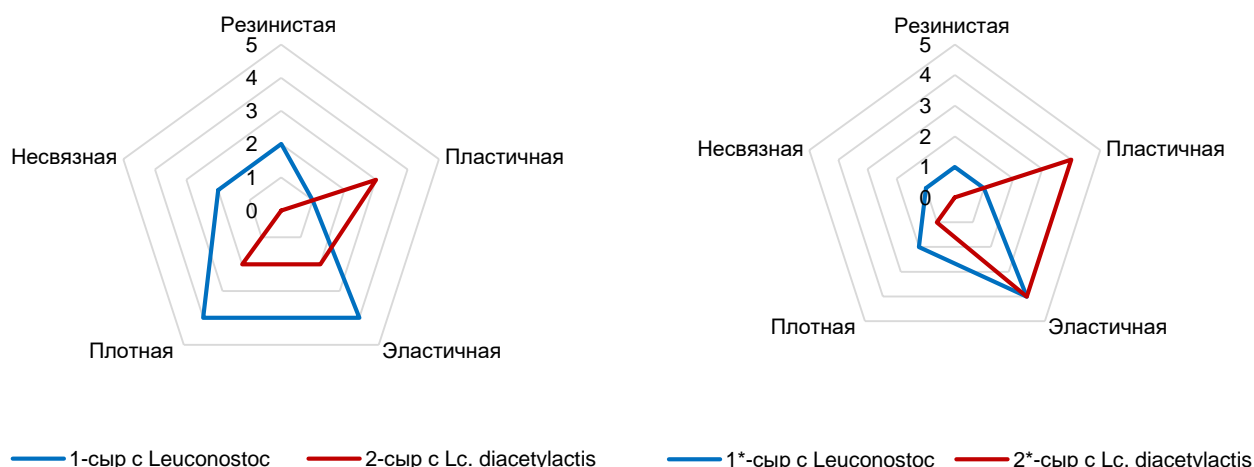
Сыры с добавлением *Leuconostoc* в 30 суток характеризовались слабо выраженным сырным, чистым, слабым кислым вкусом. А в возрасте кондиционной зрелости сыры имели сливочный, умеренно выраженный сырный вкус и легкий сливочный аромат. Добавление *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis* обеспечило формирование умеренно выраженного сырного вкуса и аромата уже в возрасте 30 суток. Дальнейшее созревание в данных сырах способствовало развитию сливочного аромата и выраженного сырного вкуса в гармоничном букете.

Органолептическая оценка консистенции сыров в процессе созревания представлена в таблице 3.28 и на рисунке 3.19.

Таблица 3.28 – Средняя органолептическая оценка консистенции сыров (n=3)

Вар.	Возраст сыра, сутки			
	30 суток		60 суток	
	характеристика	балл	характеристика	балл
1	плотная, резинистая	22	плотная, слегка резинистая	23
1*	эластичная, слегка плотная	24	эластичная, слегка плотная	24
2	плотная	23	слегка плотная	24
2*	слегка плотная	24	эластично-пластичная	25

1/1\* – сыры с *Leuconostoc*, 2/2\* – сыры с *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis*



Сыры, формуемые насыпью
Сыры, формуемые из пласта  
 Рисунок 3.19 – Профилограмма органолептической оценки консистенции зрелых сыров

Сыры с добавлением *Leuconostoc* имели наиболее плотную консистенцию, даже с легкой резинистостью (1), что согласуется с результатами исследований структурно-механических свойств сыров. Наиболее высокую оценку получили сыры с добавлением *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis*, формуемые из пласта (2\*), которые характеризовались эластично–пластичной консистенцией.

Обобщение и анализ результатов органолептической оценки позволяют сделать вывод, что консистенция сыров, формуемых из пласта, выгодно отличается и данный способ наиболее предпочтителен для сыров пониженной жирности.

Важным идентификационным показателем качества сыра является рисунок. Он определяется, с одной стороны, способом формования, а с другой - характером протекания биохимических и микробиологических процессов. Сыры, формуемые насыпью, как правило, имеют рисунок из глазков неправильной, угловатой формы, обусловленный особенностями способа формования (рисунок 3.20).

сыры с *Leuconostoc*

сыры с *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis*

Сыры, формуемые насыпью



### Сыры, формуемые из пласта

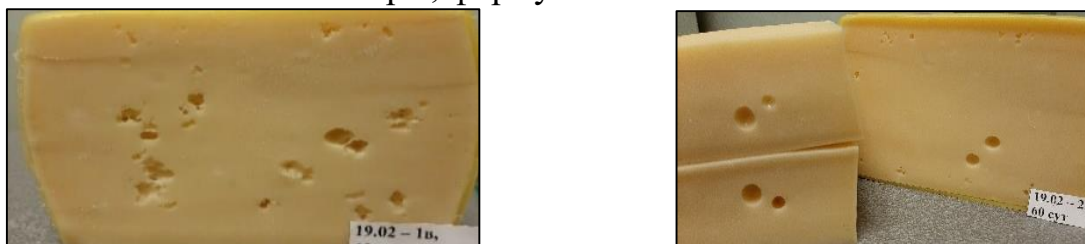


Рисунок 3.20 – Рисунок сыров

Как видно из представленных данных, все сыры, формуемые насыпью, имеют характерный для данного способа рисунок. «Пластовые» сыры с добавлением *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis* имел рисунок, состоящий из глазков правильной округлой формы размером 0,5-1,0 см (10 баллов). Сыры с добавлением *Leuconostoc* имели переразвитый гнездовидный рисунок с глазками правильной и неправильной формы (9 баллов).

Различия видового состава микрофлоры и способа формирования привели и к различию в органолептической оценке сыров. Наилучшие результаты получены в сыре с добавлением *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis*, который характеризовался выраженным сырным вкусом и ароматом, сливочным ароматом, желаемой эластично-пластичной консистенцией и правильным рисунком. Обогащение сыров гетероферментативными микроорганизмами *Leuconostoc*, способствовало формированию умеренно выраженного сырного и легкого сливочного аромата, но улучшению консистенции и формированию желаемого рисунка не способствовало.

#### 3.1.4 Изучение особенностей использования пропионовокислых бактерий в технологии сыров пониженной жирности

В настоящей главе в соответствии с задачами было исследовано совокупное влияние биологических (использование в составе заквасочной микрофлоры пропионовокислых бактерий *Propionibacterium freudenreichii* в качестве дополнительных культур целевого назначения в разных дозах) и технологических (условия созревания для обеспечения интенсивности и направленности

метаболизма пропионовокислых бактерий) факторов на качественные показатели полутвердых сыров пониженной жирности (30 % в сухом веществе).

Как уже говорилось в главе 1, метаболизм пропионовокислых бактерий существенно отличается от метаболизма заквасочных молочнокислых микроорганизмов. Для них характерно продуцирование в процессе сбраживания углеводов кроме молочной, пропионовой и уксусной кислот; специфический протеолиз, в том числе образование пролина; образование значительного количества углекислого газа. Можно предположить, что в комплексе с основной кислотообразующей микрофлорой, представленной мезофильными лактококками *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* и *Lactococcus cremoris*, использование культуры *P. freudenreichii* будет способствовать обогащению вкусоароматического профиля сыров, формированию желаемой консистенции и рисунка.

#### **3.1.4.1 Микробиологические и физико-химические процессы во время выработки и созревания сыров с добавлением пропионовокислых бактерий**

В качестве контрольного варианта были выработаны сыры без добавления дополнительных культур. Опытные сыры выработаны с добавлением разных доз внесения культуры *P. freudenreichii* –  $10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup> (вариант 2) и  $10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup> (вариант 3) в молочную смесь для выработки сыра. Основная кислотообразующая микрофлора на основе мезофильных лактококков вносилась в виде производственной закваски, в то время как дополнительная культура *P. freudenreichii* – способом прямого внесения.

Сыры выработаны по единой технологической схеме, позволяющей получить повышенную влагоемкость сырного зерна (технологический регламент описан в главе 3.1.1.1). Все сыры после прессования и посолки направлены на созревание при температуре  $(11 \pm 1)$  °С. Учитывая особенности условий роста пропионовокислых бактерий в сыроделии для сыров, созревающих с их участием, применяется ступенчатый режим созревания и, как правило, включает 3 этапа: 1 этап – первые 2 недели при температуре 10-12 °С, 2 этап – выдержка в

бродильной камере при температуре 20-25 °С до 2-х недель, 3 этап – до окончания созревания при температуре 10-12 °С. Данный режим направлен на регулирование пропионовокислого брожения и включает этап созревания сыра в бродильной камере при температуре, близкой к оптимальной для данного вида микроорганизмов. Согласно условиям эксперимента, сыры 1, 2, 3 созревали при температуре (11±1) °С, а сыры 2\* и 3\* – с применением 3-х ступенчатого режима.

Видовой состав заквасочной микрофлоры и условия созревания экспериментальных сыров представлены в таблице 3.29.

Таблица 3.29 – Видовой состава заквасочной микрофлоры и условия созревания

Вариант	Основная микрофлоры	Дополнительная микрофлора
1 контроль	<i>Lc. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> и <i>Lc. cremoris</i> (доза – 0,8 %)	–
2, 2*		<i>P. freudenreichii</i> (доза – 10 <sup>5</sup> КОЕ/см <sup>3</sup> )
3, 3*		<i>P. freudenreichii</i> (доза – 10 <sup>6</sup> КОЕ/см <sup>3</sup> )
Режим созревания сыров 1, 2, 3 – t = (11±1) °С; Режим созревания сыров 2* и 3* – (3-х ступенчатый): до 15 суток t = (11±1) °С; с 15 суток до 30 суток t = (22±1) °С; с 30 суток t = (11±1) °С.		

В таблице 3.30 представлены результаты микробиологических исследований молочной смеси после заквашивания.

Таблица 3.30 – Микробиологические показатели молока после внесения БЗ

Вариант	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	<i>P. freudenreichii</i> , КОЕ/см <sup>3</sup>	БГКП, наличие/отс
1 контроль	(5,5±0,2)·10 <sup>6</sup>	не обн. <sup>a</sup>	не обн.
2; 2* (доза <i>P. freudenreichii</i> – 10 <sup>5</sup> КОЕ/см <sup>3</sup> )	(6,5±0,1)·10 <sup>6</sup>	(1,1±0,2)·10 <sup>5</sup>	не обн.
3; 3*(доза <i>P. freudenreichii</i> – 10 <sup>6</sup> КОЕ/см <sup>3</sup> )	(6,6±0,1)·10 <sup>6</sup>	(1,0±0,2)·10 <sup>6</sup>	не обн.
Режим созревания сыров 2* и 3* – 3-х ступенчатый			

Из представленных в таблице 3.30 данных следует, что общее количество МКМ в исследуемых сырах незначительно колеблется в интервале от (5,5±0,2)·10<sup>6</sup> КОЕ/см<sup>3</sup> до (6,6±0,1)·10<sup>6</sup> КОЕ/см<sup>3</sup> и находится на уровне, обеспечивающем достаточную интенсивность молочнокислого процесса. Количество пропионовокислых бактерий между сырами 2/2\* и 3/3\* различалось на порядок, как и предполагалось по плану эксперимента.

В таблице 3.31 представлены результаты исследования количественного и качественного состава микрофлоры сыров после прессования.

Таблица 3.31 – Микробиологические показатели сыров после прессования

Вар	КМАФАнМ, КОЕ/г	<i>Propioni- bacterium</i> , КОЕ/г	БГКП, НВЧ/г	Дрожжи, КОЕ/г	Плесне- вые грибы, КОЕ/г	Споры аэробных МО рода <i>Bacillus</i> , спор/г	Споры анаэробных МО рода <i>Clostridium</i> , спор/г	Энтеро- кокки, КОЕ/г
1 контроль	$(2,6 \pm 0,4) \cdot 10^8$	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
2	$(2,1 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(6,2 \pm 0,2) \cdot 10^5$	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
2*	$(2,0 \pm 0,4) \cdot 10^8$	$(6,5 \pm 0,1) \cdot 10^5$	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
3	$(2,4 \pm 0,2) \cdot 10^8$	$(7,1 \pm 0,7) \cdot 10^6$	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
3*	$(2,3 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(7,2 \pm 0,1) \cdot 10^6$	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
2/2* – сыры с добавлением <i>P. freudenreichii</i> в дозе $1,0 \cdot 10^5$ КОЕ/см <sup>3</sup> ;								
3/3* – сыры с добавлением <i>P. freudenreichii</i> в дозе $1,0 \cdot 10^6$ КОЕ/см <sup>3</sup>								

Из представленных в таблице 3.31 данных следует, что в процессе выработки сыров общее количество заквасочной микрофлоры (КМАФАнМ) выросло практически на 2 порядка по сравнению с начальной дозой в молочной смеси и находилось на одинаковом уровне для всех сыров. Количество пропионовокислых бактерий тоже увеличилось, но менее значительно (приблизительно на полпорядка), что, предположительно, связано не с ростом популяции жизнеспособных клеток за время выработки, а концентрированием сырной массы.

Основные физико-химические показатели сыров после прессования приведены в таблице 3.32.

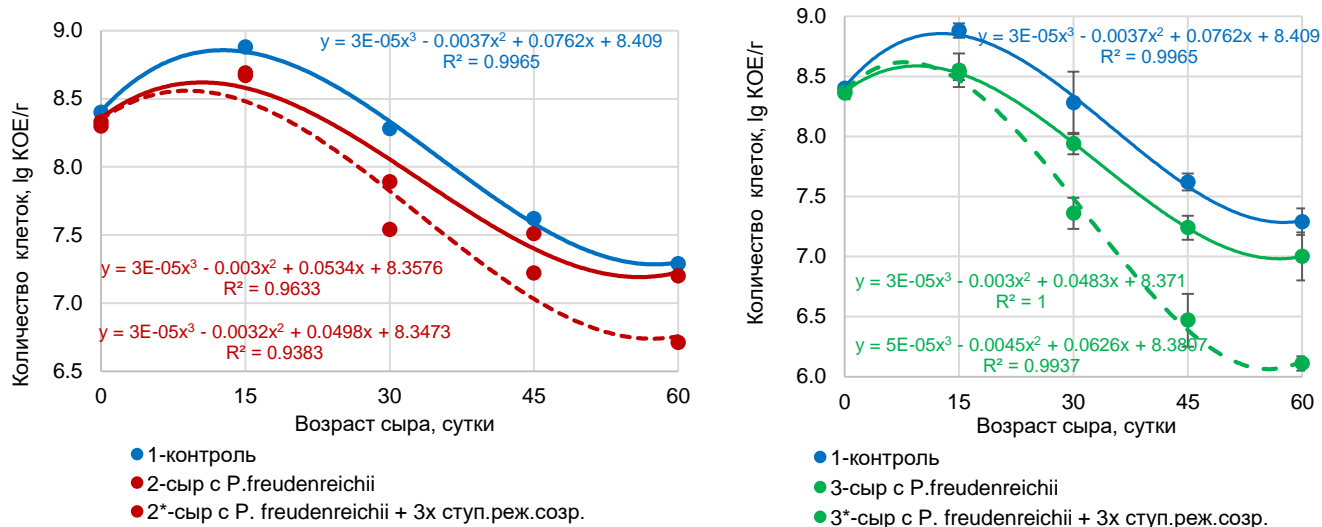
Таблица 3.32 – Физико-химические показатели сыров после прессования

Вариант	Массовая доля влаги, %	Активная кислотность, ед. рН	Массовая доля лактозы, %	Массовая доля жира в СВ, %	Массовая доля белка, %
1 контроль	$52,4 \pm 0,5^a$	$5,31 \pm 0,01^a$	$1,01 \pm 0,09^a$	$30,1 \pm 0,2^a$	$31,3 \pm 0,5^a$
2	$52,4 \pm 0,8^a$	$5,28 \pm 0,04^a$	$1,04 \pm 0,05^a$	$31,0 \pm 0,3^a$	$30,8 \pm 0,1^a$
2*	$52,2 \pm 0,7^a$	$5,30 \pm 0,04^a$	$1,03 \pm 0,16^a$	$29,8 \pm 0,2^a$	$30,6,4 \pm 0,2^a$
3	$51,6 \pm 0,2^a$	$5,27 \pm 0,05^a$	$1,12 \pm 0,16^a$	$30,3 \pm 0,2^a$	$30,5 \pm 0,2^a$
3*	$51,6 \pm 0,3^a$	$5,31 \pm 0,05^a$	$1,11 \pm 0,13^a$	$30,0 \pm 0,2^a$	$30,4 \pm 0,3^a$
2/2* – сыры с добавлением <i>P. freudenreichii</i> в дозе $1,0 \cdot 10^5$ КОЕ/см <sup>3</sup> ;					
3/3* – сыры с добавлением <i>P. freudenreichii</i> в дозе $1,0 \cdot 10^6$ КОЕ/см <sup>3</sup> ;					
Данные, отмеченные одинаковым индексом внутри одного столбца, не имеют статистически значимых отличий					

Исходя из данных, представленных в таблицах 3.31 и 3.32, статистически значимых различий в физико-химическом составе ( $p > 0,05$ ) и основных микробиологических показателях сыров после прессования не обнаружено.



На рисунке 3.21 визуализированы результаты исследований по динамике роста общего количества МКМ в сырах в процессе созревания.



Сыры с добавлением *P. freudenreichii*  
в дозе  $1,0 \cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup>

Сыры с добавлением *P. freudenreichii*  
в дозе  $1,0 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>

Рисунок 3.21 – Динамика роста жизнеспособных клеток заквасочной микрофлоры во время созревания

Анализ полученных данных показывает идентичность процессов роста и развития популяции МКМ во всех сырах. Рост заквасочной микрофлоры продолжается до 15 суток. Важно отметить, что в сырах с созреванием в бродильной камере вымирание клеток происходит интенсивнее, чем в сырах, созревающих при температуре  $(11 \pm 1)^\circ\text{C}$ . В частности, наиболее резкий спад количества жизнеспособных клеток зафиксирован в сырах 3\* с бóльшей дозой пропионовокислых бактерий, что связано с температурными режимами созревания, влияющими, как на скорость развития, так и на скорость вымирания клеточной популяции.

Косвенным показателем интенсивности гликолиза является количество остаточной лактозы в сырах (таблица 3.33).

Таблица 3.33 – Массовая доля лактозы в сырах в процессе созревания

Вариант	Количество лактозы в сыре в возрасте, %		
	0 суток	7 суток	15 суток
1 контроль	1,01±0,09	0,25±0,03	0,09±0,06
2	1,04±0,05	0,24±0,05	0,12±0,04
2*	1,03±0,16	0,21±0,02	0,11±0,01
3	1,12±0,16	0,27±0,05	0,14±0,03
3*	1,11±0,13	0,25±0,05	0,16±0,03

2/2\* – сыры с добавлением *P. freudenreichii* в дозе  $1,0 \cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup>;  
3/3\* – сыры с добавлением *P. freudenreichii* в дозе  $1,0 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>

Анализ динамики процесса гликолиза по остаточному количеству лактозы в сырах показал, что внесение пропионовокислых бактерий в состав заквасочной микрофлоры не оказывает значимого влияния на скорость и интенсивность сбраживания лактозы в процессе выработки и на первых этапах созревания сыров, т.к. гликолиз проходит под действием основной кислотообразующей микрофлоры, что подтверждается также результатами измерений активной кислотности сыров в процессе созревания (рисунок 3.22).

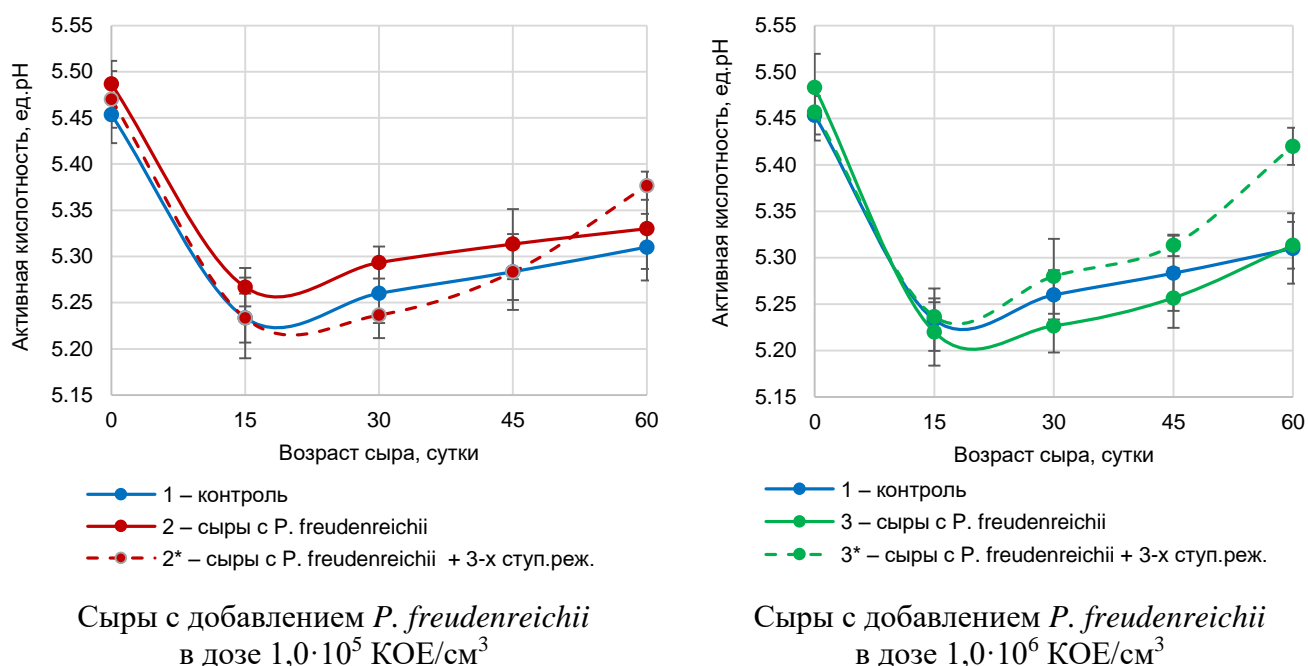


Рисунок 3.22 – Динамика активной кислотности сыров в процессе созревания

Согласно данным, представленным на рисунке 3.22, не отмечено различий в динамике изменения активной кислотности в зависимости от наличия дополнительной культуры или ее дозы, однако прослеживается тенденция незначительного увеличения значения рН в сырах, созревающих в условиях 3-х ступенчатого режима, что связано с активизацией метаболизма заквасочной микрофлоры.

Развитие *P. freudenreichii* в зависимости от условий созревания представлено на рисунке 3.23.

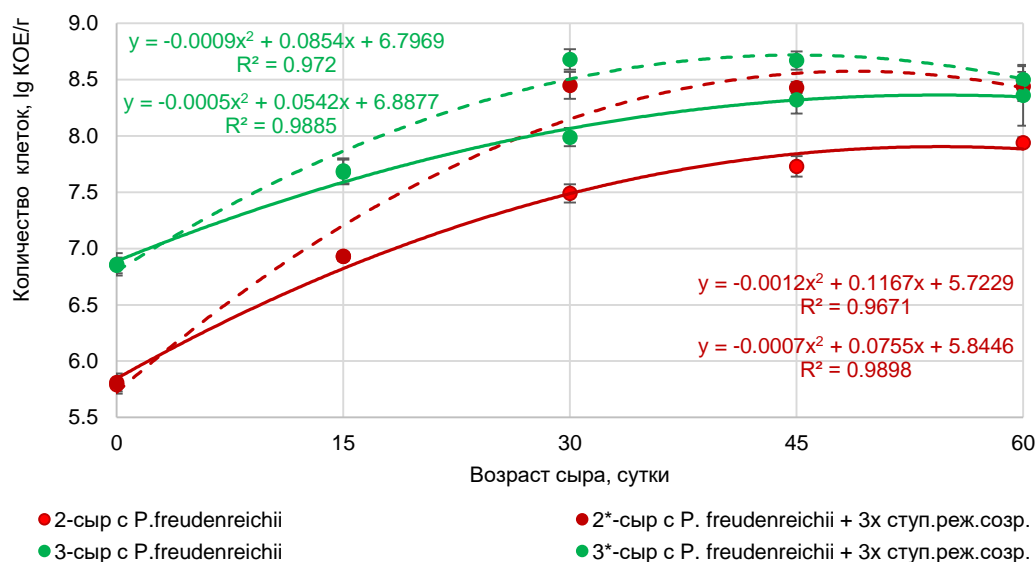


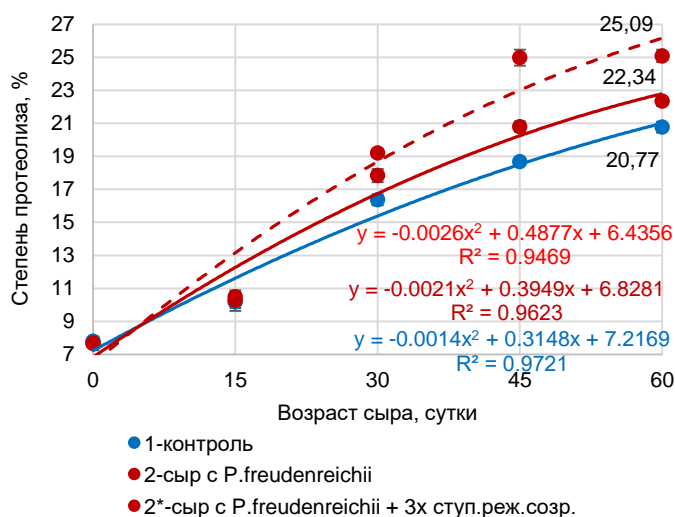
Рисунок 3.23 – Динамика роста жизнеспособных клеток *P. freudenreichii* в процессе созревания

Как видно из рисунка 3.23, рост *P. freudenreichii* наблюдается в первые 15 суток во всех сырах и продолжается далее с разной степенью интенсивности. 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 «теплой» камере с 15 до 30 суток созревания отмечен более интенсивный рост пропионовокислых бактерий, причем максимальное количество их клеток зафиксировано во время созревания в теплой камере ( $4,8 \cdot 10^8$  КОЕ/г) к 30 суткам созревания. Таким образом, анализ полученных результатов фиксирует рост и развитие пропионовокислых бактерий, как в условиях 3-х ступенчатого режима созревания, так и при температуре  $(11 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Полученные данные не согласуются с таксономическими характеристикам рода *Propionibacterium* и часто эксплуатируемым мнением о нецелесообразности созревания сыра с пропионовокислыми бактериями при низких температурах с исключением ступенчатого режима.

Протеолиз, представляющий собой многостадийный процесс распада белков сырной массы на растворимые азотистые соединения – от высокомолекулярных полипептидов до аминокислот, является одним из

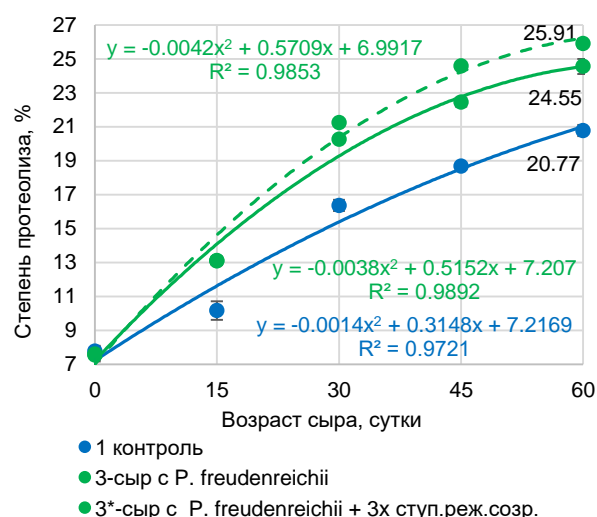
важнейших процессов, значимо влияющих на формирование органолептических и реологических свойств. Учитывая специфический метаболизм пропионовокислых бактерий *P. freudenreichii*, необходимо оценить интенсивность и направленность протеолиза во время созревания и его влияние на свойства исследуемых сыров.

На рисунке 3.24 представлены данные по динамике изменения степени протеолиза в сырах во время созревания.



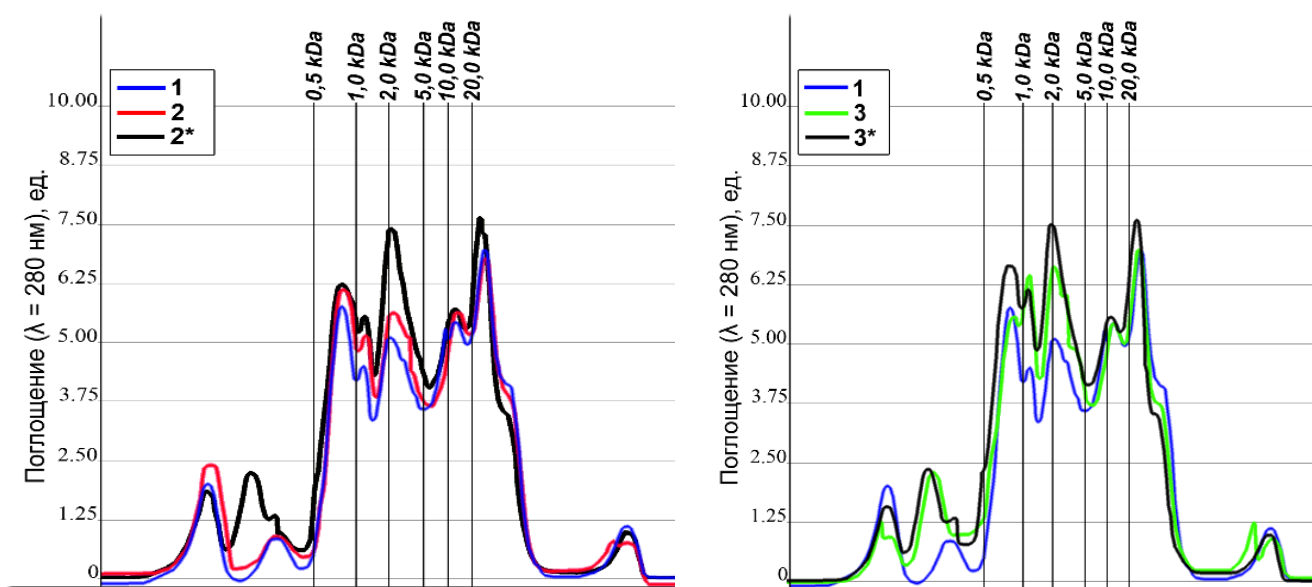
Сыры с добавлением *P. freudenreichii*  
в дозе  $1,0 \cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup>

Рисунок 3.24 – Динамика степени протеолиза в процессе созревания сыров



Сыры с добавлением *P. freudenreichii*  
в дозе  $1,0 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>

Степень гидролиза казеина в контрольных сырах закономерно уступает соответствующим значениям опытных сыров, выработанных с добавлением *P. freudenreichii*. Созревание в условиях ступенчатого температурного режима и увеличение дозы дополнительных культур способствовали углублению протеолиза. Наиболее высокие показатели степени протеолиза отмечены в сырах с бóльшей дозой внесения *P. freudenreichii* (3 и 3\*). Результаты исследований степени протеолиза согласуются с данными хроматографического анализа молекулярно-массового распределения пептидов в водорастворимой фракции сыров, представленными на рисунке 3.25.



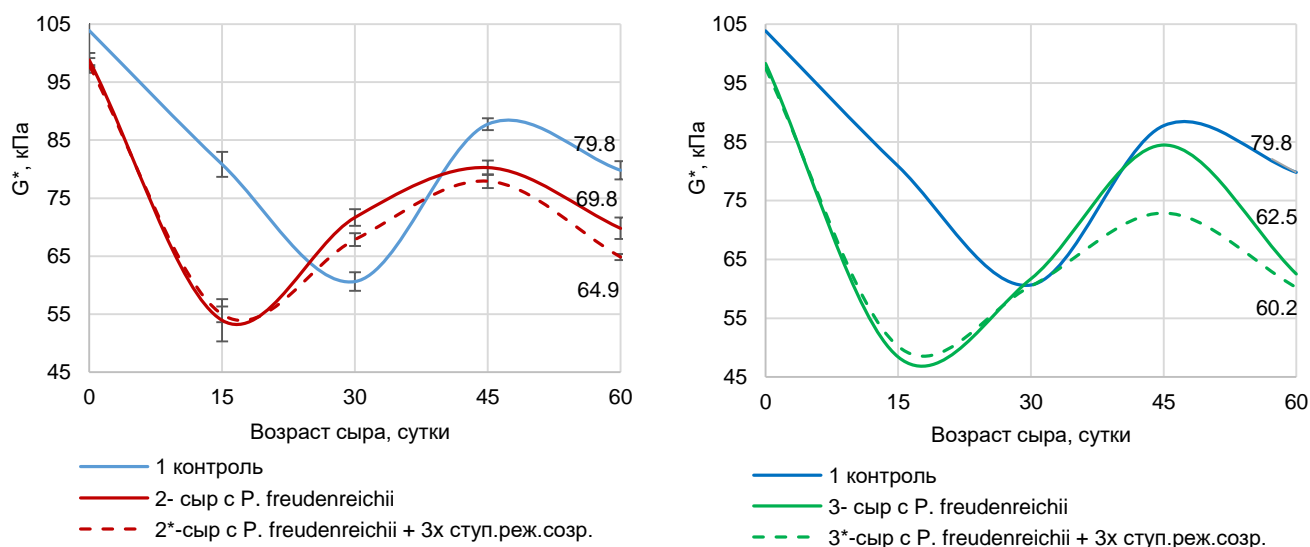
Сыры с добавлением *P. freudenreichii*  
в дозе  $1,0 \cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup>

Сыры с добавлением *P. freudenreichii*  
в дозе  $1,0 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>

Рисунок 3.25 – Молекулярно-массовое распределение продуктов протеолиза в сырах кондиционной зрелости

Согласно полученным результатам, контрольные сыры отличались наименее глубоким протеолизом: в данных сырах обнаружено наибольшее содержание белковых веществ с молекулярной массой свыше 20 кДа (белки и крупные пептиды) и меньшее, в сравнении с другими вариантами, содержание белковых веществ с массой менее 10 кДа и азотистых веществ с массой менее 0,5 кДа (свободные аминокислоты и низкомолекулярные пептиды). Выявлена разница пептидных профилей сыров, выработанных с пропионовокислыми бактериями, и созревающих при разных температурных режимах. Использование пропионовокислых бактерий углубляет процесс протеолиза, при этом использование бродильной камеры приводит к накоплению бóльшего количества низкомолекулярных пептидов. Доза внесения пропионовокислых бактерий не оказала значимого влияния на степень углубления протеолиза.

Характер изменения консистенции сыров в процессе созревания оценивали с помощью реологических измерений комплексного модуля сдвига (рисунок 3.26).



Сыры с добавлением *P. freudenreichii*  
в дозе  $1,0 \cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup>

Сыры с добавлением *P. freudenreichii*  
в дозе  $1,0 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>

Рисунок 3.26 – Динамика комплексного модуля сдвига в сырах в процессе созревания

Полученные результаты свидетельствуют о том, что структура всех сыров в процессе созревания постоянно изменяется. Структурные изменения, которые происходят в сыре на микроуровне, являются отражением влияния одновременно протекающих биохимических, физико-химических и микробиологических процессов.

Наиболее интенсивное уплотнение структуры произошло в контрольных сырах без добавления дополнительной культуры пропионовокислых бактерий. В данных сырах снижение комплексного модуля, а, следовательно, размягчение консистенции, зафиксировано лишь в возрасте 30 суток, тогда как у опытных – в возрасте 15 суток. Несколько более низкие значения комплексного модуля в сырах с дополнительными культурами (2 и 3) и, кроме этого, созревающих в условиях 3-х ступенчатого режима (2\* и 3\*), связаны с высоким уровнем степени протеолиза в данных вариантах.

Основные летучие вкусоароматические соединения в паровой фазе сыров представлены в таблице 3.34.

Таблица 3.34 – Содержание летучих ВАВ в паровой фазе зрелых сыров

Наименование ВАВ	Варианты				
	контроль	сыры с <i>P. freudenreichii</i> ( $1,0 \cdot 10^5$ КОЕ/см <sup>3</sup> )		сыры с <i>P. freudenreichii</i> ( $1,0 \cdot 10^6$ КОЕ/см <sup>3</sup> )	
		t созр (11±1) °С	3-х ступ.реж.созр	t созр (11±1) °С	3-х ступ.реж.созр
1	2	2*	3	3*	
<b>Альдегиды,%:</b>					
Этаналь	92,81±0,41	92,50±0,35	90,84±0,87	68,91±0,66	70,22±0,23
Изо-гексаналь	0,07±0,02	-	-	-	-
Изо-бутаналь	-	0,42±0,13	0,55±0,08	-	-
<b>Кетоны,%:</b>					
Ацетон	-	-	-	23,24±1,22	20,36±1,05
<b>Кислоты,%:</b>					
Уксусная	1,10±0,05	2,15±0,10	2,40±0,12	2,30±0,09	2,52±0,07
Пропионовая	-	0,56±0,21	0,82±0,08	0,73±0,12	0,84±0,13
Масляная	0,04±0,01	0,05±0,01	0,04±0,01	0,06±0,01	0,04±0,01
<b>Спирты,%:</b>					
Пропанол-1	-	3,11±0,07	4,04±0,15	3,40±0,10	4,00±0,13
Общее содержание летучих ВАВ, нА·с	1,66±0,33	1,79±0,20	1,67±0,14	2,05±0,31	1,71±0,20

Согласно представленным данным исследований количественного и качественного состава летучих вкусоароматических веществ, во всех сырах независимо от наличия культуры *P. freudenreichii*, ее дозы и условий созревания обнаружен этаналь (уксусный альдегид), обладающий ароматом «зеленых яблок», но в разных концентрациях (более низкие значения в сырах с высокой дозой внесения пропионовокислых бактерий 3 и 3\*). Изо-бутаналь выявлен в сырах с дозой внесения *P. freudenreichii*  $1,0 \cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup> (2 и 2\*). Более высокие концентрации уксусной кислоты зафиксированы в опытных сырах, что вероятно вызвано активным развитием пропионовокислого брожения. Содержание пропионовой кислоты выше в сырах с бóльшей начальной дозой *P. freudenreichii* и с выдержкой в камере брожения (3\*). Концентрация масляной кислоты во всех сырах, включая контрольные, была приблизительно одинаковой. Ацетон обнаружен в опытных сырах 3 и 3\*, что отразилось на оценке органолептических показателей данных сыров в виде острого привкусов.

Для установления влияния вида подобранной заквасочной микрофлоры, условий и продолжительности созревания на микробиологические, физико-

химические и реологические показатели исследуемых сыров был проведен дисперсионный анализ данных. Результаты дисперсионного анализа приведены в таблицах 3.35 и 3.36.

Таблица 3.35 – Статистическая значимость влияния видового состава закваски, продолжительности созревания и их совокупное влияние на показатели сыров

Фактор	p	MS	F <sub>эмп</sub>	F <sub>кр</sub>
Количество клеток МКМ				
Видовой состав БЗ	< 0,001	3,38	28,5	3,3
Продолжительность созревания	< 0,001	0,47	203,0	2,7
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	< 0,001	0,08	5,1	2,3
Количество клеток пропионовокислых бактерий				
Видовой состав БЗ	< 0,001	3,19	236,5	4,4
Продолжительность созревания	< 0,001	3,23	238,9	2,9
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	< 0,001	0,11	7,9	2,9
Массовая доля лактозы				
Видовой состав БЗ	> 0,05	0,004	1,6	3,3
Продолжительность созревания	< 0,001	1,92	691,7	2,7
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	> 0,05	0,002	0,74	2,3
Активная кислотность				
Видовой состав БЗ	< 0,05	0,005	4,9	3,3
Продолжительность созревания	< 0,001	0,08	82,7	2,7
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	> 0,05	0,0006	0,6	2,3
Степень протеолиза				
Видовой состав БЗ	< 0,001	30,71	271,4	3,3
Продолжительность созревания	< 0,001	364,5	3221,9	2,7
Видовой состав БЗ × Время созревания	< 0,001	2,69	23,8	2,3
Комплексный модуль сдвига				
Видовой состав БЗ	< 0,001	515,97	100,2	3,3
Продолжительность созревания	< 0,001	2335,65	453,7	2,7
Видовой состав БЗ × Продолжительность созревания	< 0,001	38,64	38,6	2,3



Таблица 3.36 – Статистическая значимость влияния условий созревания, продолжительности созревания и их совокупное влияние на показатели сыров

Фактор	p	MS	F <sub>эмп</sub>	F <sub>кр</sub>
Количество клеток МКМ				
Условия созревания	< 0,001	0,4	28,4	4,4
Продолжительность созревания	< 0,001	2,7	176,4	2,9
Условия созревания × Продолжительность созревания	< 0,05	0,06	4,2	2,9
Количество клеток пропионовокислых бактерий				
Условия созревания	< 0,001	1,4	211,5	4,4
Продолжительность созревания	< 0,001	6,3	934,9	2,9
Условия созревания × Продолжительность созревания	< 0,001	0,3	39,4	2,9
Массовая доля лактозы				
Условия созревания	> 0,05	0,0002	0,07	4,4
Продолжительность созревания	< 0,001	1,2	403,9	2,9
Условия созревания × Продолжительность созревания	> 0,05	0,00008	0,03	2,9
Активная кислотность				
Условия созревания	< 0,05	0,00003	9,3	4,4
Продолжительность созревания	< 0,001	0,06	61,6	2,9
Условия созревания × Продолжительность созревания	> 0,05	0,002	2,4	2,9
Степень протеолиза				
Условия созревания	< 0,001	21,4	161,1	4,4
Продолжительность созревания	< 0,001	317,5	2385,6	2,9
Условия созревания × Продолжительность созревания	< 0,001	4,6	34,2	2,9
Комплексный модуль сдвига				
Условия созревания	< 0,01	36,1	12,9	4,4
Продолжительность созревания	< 0,001	1591,8	569,9	2,9
Условия созревания × Продолжительность созревания	< 0,05	8,3	3,0	2,9

Результаты дисперсионного анализа, представленных в таблице 3.35, показывают, что видовой состав микрофлоры, продолжительность созревания и их сочетание влияют на динамику количества основной и дополнительной микрофлоры, степень протеолиза, комплексный модуль сдвига ( $p < 0,001$ ). Динамика массовой доли лактозы в процессе созревания не зависела от состава микрофлоры ( $p > 0,05$ ), но менялась в процессе созревания ( $p < 0,001$ ). Активная кислотность сыров зависела от состава микрофлоры и времени созревания ( $p < 0,05$ ).

Условия созревания сыров (таблице 3.36) оказали статистически значимое влияние на микробиологические показатели, активную кислотность, степень протеолиза и комплексный модуль сдвига, но не имели статистически значимого влияния на ( $p>0,05$ ) на динамику изменения лактозы.

### 3.1.4.2 Органолептическая оценка сыров с добавлением пропионовокислых бактерий

Органолептическая оценка вкуса и аромата сыров представлена в таблице 3.37 и на рисунке 3.27.

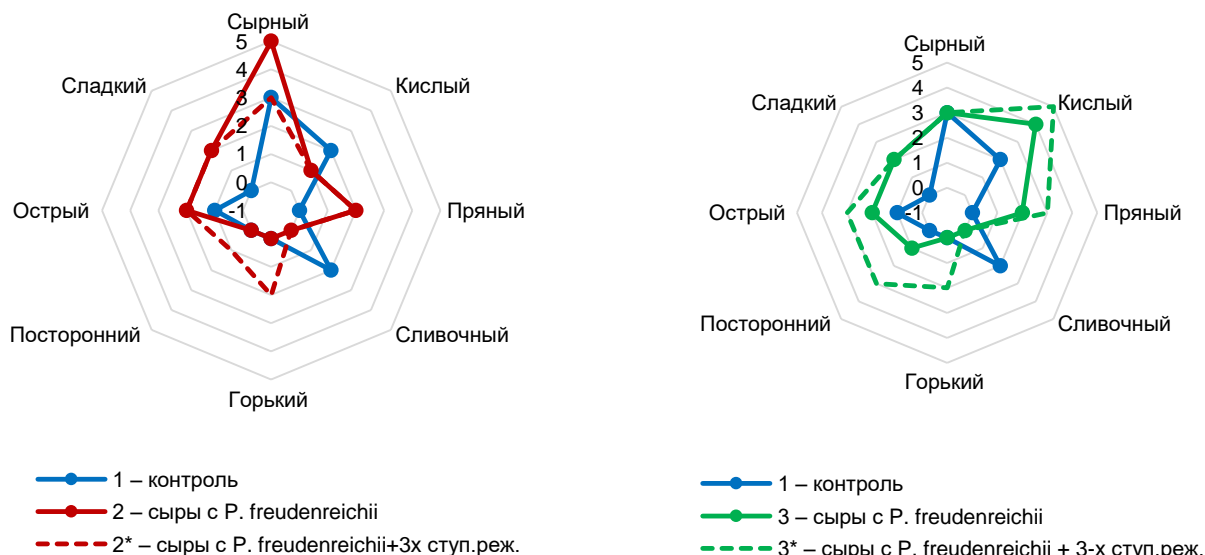
Таблица 3.37 – Средняя органолептическая оценка вкуса и аромата сыров ( $n=3$ )

Вариант	Возраст сыра, сутки			
	45		60	
	характеристика	балл	характеристика	балл
1	слабо выраженный сырный, слегка кислый	38	умеренно выраженный сырный, слабый кислый, сливочный	38
2	выраженный сырный, гармоничный, слегка пряный	43	выраженный сырный, гармоничный, слегка пряный, слегка сладкий, слегка острый	43
2*	умеренно выраженный сырный, слабая горечь, посторонний, нехарактерный	36	умеренно выраженный сырный, слабая горечь, слабый пряный, слегка сладкий, слегка острый	38
3	умеренно выраженный сырный, слегка кислый	38	умеренно выраженный сырный, кислый, слабый пряный, слегка сладкий, слегка острый	36
3*	умеренно выраженный сырный, слабая горечь, посторонний, нехарактерный	35	умеренно выраженный сырный, пряный, запах и привкус уксусной кислоты, слегка сладкий, слабая горечь, слегка острый	35

2/2\* – сыры с добавлением *P. freudenreichii* в дозе  $1,0 \cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup>;  
3/3\* – сыры с добавлением *P. freudenreichii* в дозе  $1,0 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>;  
Режим созревания сыров 2\* и 3\* – (3-х ступенчатый)

Органолептическая оценка сыров показала, что контрольные сыры характеризовались умеренно выраженным сырным, слабым кислым вкусом. Наиболее яркий вкусовой букет и выраженный сырный вкус и аромат уже в возрасте 45 суток имели сыры с дозой внесения пропионовокислых бактерий  $1 \cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup> с созреванием при температуре  $11 \pm 1$  °С, причем в данном варианте отмечено появление легкой остроты, гармонично сочетающейся с сырным вкусом

(43 балла). Другие опытные сыры характеризовались умеренно выраженным сырным вкусом с наличием слабых пороков и отсутствием гармоничного вкусового букета. Сыры, созревающие в «бродильной камере», имели умеренно выраженный сырный вкус, негармоничный вкусовой букет со слабой горечью, запахом уксусной кислоты. Данные сыры в возрасте кондиционной зрелости получили оценку за вкус 38 и 35 баллов соответственно.



Сыры с добавлением *P. freudenreichii*  
в дозе  $1,0 \cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup>

Сыры с добавлением *P. freudenreichii*  
в дозе  $1,0 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>

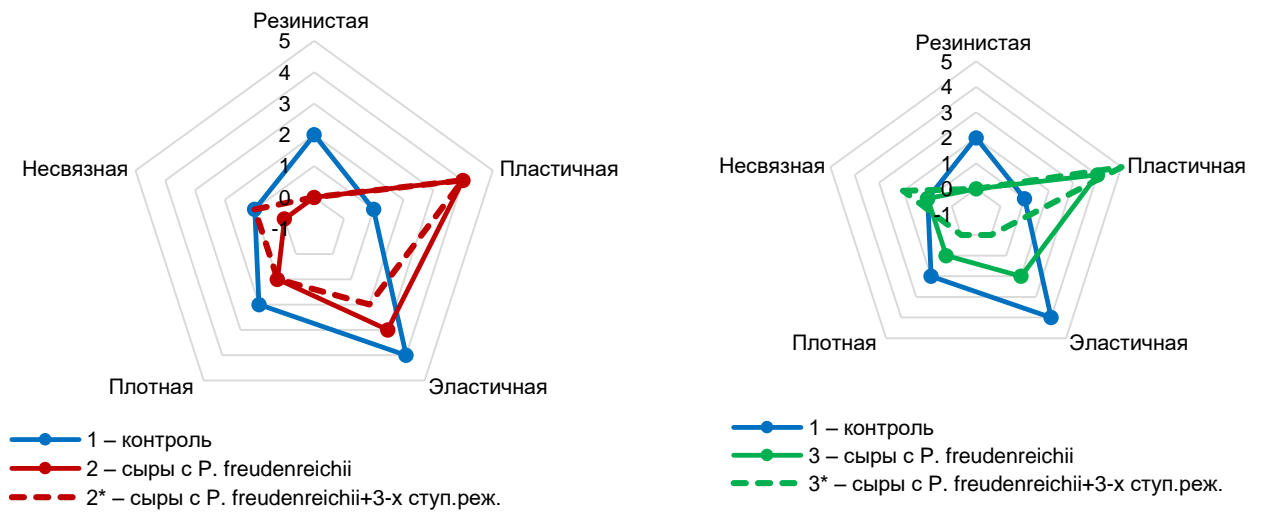
Рисунок 3.27 – Профилограмма органолептической оценки вкуса и аромата сыров

Оценку консистенции сыров проводили в возрасте 45 и 60 суток (таблица 3.38 и рисунок 3.28).

Таблица 3.38 – Средняя органолептическая оценка консистенции сыров (n=3)

Вариант	Характеристика консистенции сыра в возрасте, сутки			
	45		60	
	характеристика	балльная оценка	характеристика	балльная оценка
1	эластичная, слегка резинистая, слегка плотная	24	эластичная, слегка резинистая, слегка плотная	24
2	эластично-пластичная	25	эластично-пластичная	25
2*	пластичная	24	пластичная	24
3	эластично-пластичная	25	слегка пластичная	24
3*	пластичная	24	излишне пластичная, слегка мажущаяся	23

Контрольные сыры характеризовались эластичной, слегка резинистой консистенцией как в возрасте 45 суток, так и в возрасте кондиционной зрелости. Опытные сыры, созревающие при температуре  $(11\pm 1)^\circ\text{C}$ , в возрасте 45 суток имели эластично-пластичную консистенцию, а в 60 суток сыры с добавлением пропионовокислых бактерий в дозе  $10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup> – слегка пластичную. Созревание в «бродильной» камере обусловило формирование в опытных сырах пластичной консистенции, а в 60 суток – излишне пластичной и мажущей.

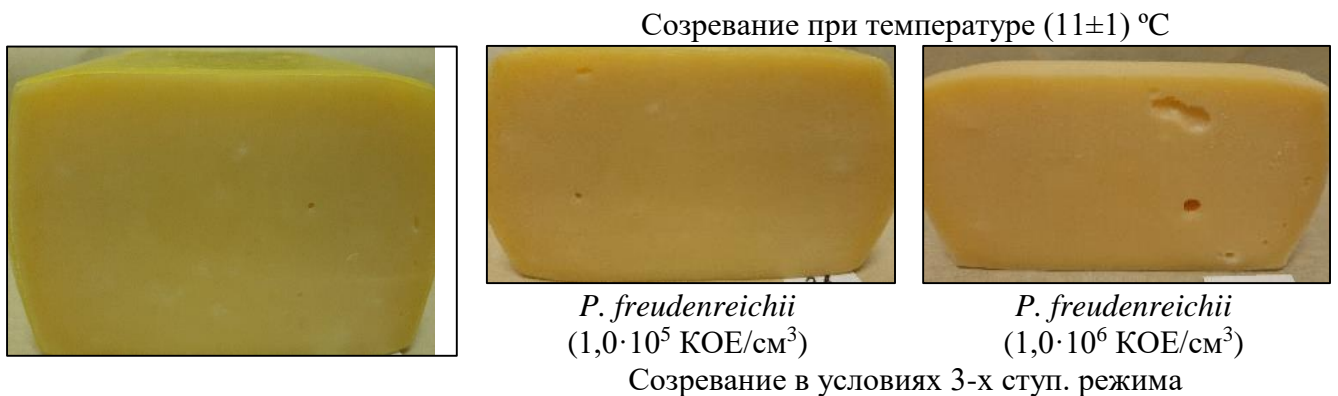


Сыры с добавлением *P. freudenreichii*  
в дозе  $1,0 \cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup>

Сыры с добавлением *P. freudenreichii*  
в дозе  $1,0 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>

Рисунок 3.28 – Профилограммы органолептической оценки консистенции сыров

Рисунок контрольных и опытных сыров в возрасте кондиционной зрелости представлены на рисунке 3.29.



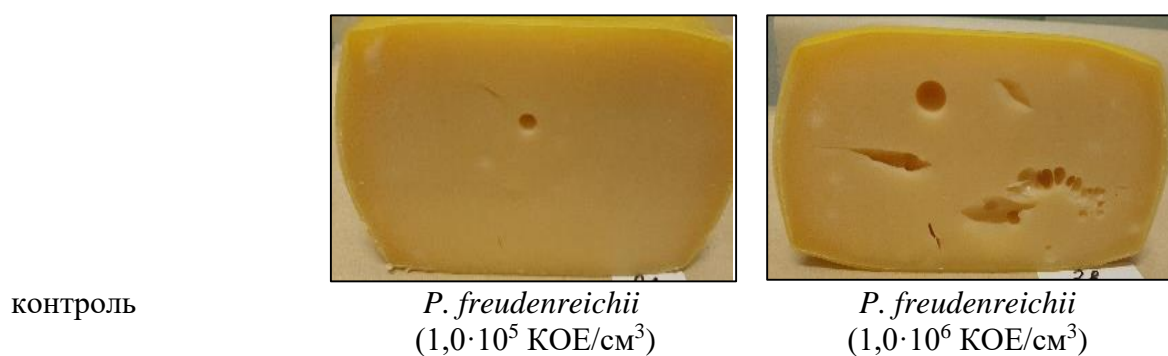


Рисунок 3.29 – Рисунок сыров кондиционной зрелости

Наблюдается определенная закономерность в формировании рисунков сыров. Контрольные сыры характеризовались отсутствием глазков. Опытные сыры с добавлением пропионовокислых бактерий имели рисунок с мелкими единичными глазками правильной округлой формы. Сыры с повышенной дозой, созревающие в условиях 3-х ступенчатого режима, имели излишне развитый щелевидный рисунок.

Таким образом, пропионовокислые бактерии, добавленные к основной, кислотообразующей заквасочной микрофлоре в дозе  $10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup> способствуют активизации процессов созревания и формированию сырного вкуса. Увеличение дозы внесения пропионовокислых бактерий до  $10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup> не приводит к улучшению вкусовых показателей сыров. Использование «бродильной камеры» во время созревания активизирует пропионовокислое брожение, но не способствует формированию более выраженного вкуса, поэтому не является эффективным технологическим приемом для повышения качества сыров пониженной жирности, в составе закваски для которых использовались пропионовокислые бактерии.

Установлено, что добавление к основной кислотообразующей микрофлоре пропионовокислых бактерий в дозе  $10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup> активизирует ферментативные процессы и формирование сырного и пряного вкуса при традиционных режимах созревания. Использование «бродильной камеры» во время созревания усиливает пропионовокислое брожение и обостряет риски формирования пороков вкуса, поэтому не является эффективным технологическим приемом, повышающим качество сыров пониженной жирности.

### **3.1.5 Совместное использование *Propionibacterium freudenreichii* и *Lacticaseibacillus casei* в технологии низкожирных сыров с массовой долей жира 20 % в сухом веществе**

Исходя из результатов предыдущих экспериментов, в данной серии экспериментов исследовали возможность совместного использования *P. freudenreichii* и *L. casei* в качестве дополнительной микрофлоры наряду с основными кислотообразующими лактококками в технологии производства низкожирных сыров (м.д.ж. 20 %) с целью получения органолептических показателей, характерных для жирных полутвердых сыров.

#### **3.1.5.1 Микробиологические и физико-химические процессы во время выработки и созревания низкожирных сыров**

Экспериментальные выработки проведены из молока-сырья, соответствующего показателям безопасности и сыропригодности (показатели приведены в главе 3.1.1.1). В качестве контроля (1) выработаны сыры с массовой долей жира 50 % по технологии полутвердых сыров Голландской группы. Выработки низкожирных сыров (вариант 2 – без дополнительных культур и вариант 3 – с добавлением культур целевого назначения) с массовой долей жира 20 % в сухом веществе проводили по единой технологической схеме, обеспечивающей получение сыра после прессования с повышенной массовой долей влаги 53-54 % (технологический регламент выработок показан в главе 3.1.1.1). Отличительные особенности основных технологических этапов производства жирного и низкожирных сыров представлены в таблице 3.39.

При выработке низкожирных сыров технологические приемы регулирования влагоемкости сырной массы в процессе обработки сырного зерна, такие как низкая температура второго нагревания ( $38,0 \pm 0,5$ )° С, более крупный размер сырного зерна после постановки и после обработки ( $12 \pm 2$  мм и  $7 \pm 1$  мм соответственно), и, в целом, меньшая длительность его обработки, привели к повышенным значениям массовой

доли влаги в сырах после прессования. Жирные сыры после прессования имели массовую долю влаги  $49,7 \pm 0,2$  %.

В качестве основной кислотообразующей заквасочной микрофлоры во всех сырах использована производственная закваска, включающая смесь мезофильных лактококков. В опытных низкожирных сырах (3) для искомого улучшения органолептических показателей, в том числе выраженности сырного вкуса и консистенции добавлены мезофильные палочки *L. casei* в дозе  $5,0 \cdot 10^5 - 1,0 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup> (0,4 % производственной закваски) и сухая бактериальная закваска пропионовокислых бактерии *P. freudenreichii* в дозе  $1 \cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup> в молочной смеси. Выбор в пользу данных культур обоснован результатами предыдущих исследований.

Таблица 3.39 – Основные технологические параметры выработки опытных сыров

Технологический регламент	Варианты сыров		
	1 – сыр 50 %	2 – сыр 20 %	3 – сыр 20 % с доп.культурами
Видовой состав и дозы внесения производственной закваски основной кислотообразующей микрофлоры	<i>Lc. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> <i>Lc. cremoris</i> <i>Lc. lactis</i> subsp. <i>diacetylactis</i>		
	1,0 %	1,0 %	0,6 %
Видовой состав и дозы внесения дополнительной микрофлоры	-	-	<i>L. casei</i> - 0,4 % <i>P. freudenreichii</i> - $1 \cdot 10^5$ КОЕ/см <sup>3</sup> в смеси
Массовая доля жира в нормализованной молочной смеси, %	$2,8 \pm 0,1$	$1,0 \pm 0,1$	
Доза сычужного фермента, г/100 л	2,1	1,9	
Размер сырного зерна после постановки, мм	$8 \pm 1$	$12 \pm 2$	
Температура второго нагревания, °С	$41,0 \pm 1,0$	$37,0 \pm 0,5$	
Продолжительность обработки зерна после второго нагревания, мин	$55 \pm 5$	$40 \pm 5$	
Размер сырного зерна в конце обработки, мм	$5 \pm 1$	$7 \pm 1$	
Массовая доля влаги после прессования, %	$49,7 \pm 0,2$	$54,0 \pm 0,2$	$54,1 \pm 0,1$
Продолжительность посолки в рассоле с температурой 8-10 °С и концентрации поваренной соли 18-22 %, ч	$24 \pm 1$	$22 \pm 1$	

Микробиологические и показатели производственных заквасок и молочных смесей после заквашивания представлены в таблицах 3.40 и 3.41.

Таблица 3.40 – Микробиологические показатели производственных заквасок

Вид закваски	КМАФАнМ, КОЕ/ см <sup>3</sup>	КМАрФАнМ, КОЕ/ см <sup>3</sup>	Титруемая кислотность, °Т	АА, у.е.	ГА, см
Поливидовая культура <i>Lc. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> <i>Lc. cremoris</i> <i>Lc. lactis</i> subsp. <i>diacetylactis</i>	$(2,1 \pm 0,3) \cdot 10^9$	$(9,4 \pm 0,4) \cdot 10^8$	96,3±2,0	3	2
Моновидовая культура <i>L. casei</i>	$(2,1 \pm 0,4) \cdot 10^8$	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^8$	34,2±1,0	–	–

Показатели производственных заквасок, представленные в таблице 3.40, соответствовала их видовому составу.

Таблица 3.41 – Микробиологические показатели молочной смеси после внесения бактериальной закваски

Вар.	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	<i>Propionibacterium</i> , КОЕ/см <sup>3</sup>	БГКП, наличие/ отсутствие в 1 см <sup>3</sup>	Дрожжи, КОЕ/ см <sup>3</sup>	Плесневые грибы, КОЕ/см <sup>3</sup>	Споры аэробных МО рода <i>Bacillus</i> , спор/см <sup>3</sup>	Споры анаэробных МО рода <i>Clostridium</i> , спор/см <sup>3</sup>	Энтерококки, КОЕ/см <sup>3</sup>
1	$(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^7$	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
2	$(1,0 \pm 0,1) \cdot 10^7$	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
3	$(9,6 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^5$	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.

1 – сыр 50 %; 2 – сыр 20 %; 3 – сыр 20 % с доп. культурами

Из данных, представленных в таблице 3.41, следует, что общее количество молочнокислых микроорганизмов в сырах незначительно колеблется и находится на уровне, обеспечивающем достаточную интенсивность молочнокислого процесса. Доза внесения пропионовокислых бактерий в молочной смеси для низкожирного сыра (вариант 3) составила  $(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup>.

В таблице 3.42 представлены результаты микробиологических исследований сыров после прессования.

Таблица 3.42 – Микробиологические показатели сыров после прессования

Вар.	КМАФАнМ, КОЕ/г	<i>Propioni-</i> <i>bacterium</i> , КОЕ/г	БГКП, наличие/ отсутствие в 1 г	Дрожжи, КОЕ/г	Плесневые грибы, КОЕ/г	Споры аэробных МО рода <i>Bacillus</i> , спор/г	Споры анаэробных МО рода <i>Clostridium</i> , спор/г	Энтеро- кокки, КОЕ/г
1	$(5,8 \pm 0,2) \cdot 10^8$	–	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
2	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^9$	–	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
3	$(1,4 \pm 0,1) \cdot 10^9$	$(1,7 \pm 0,2) \cdot 10^6$	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.

1 – сыр 50 %; 2 – сыр 20 %; 3 – сыр 20 % с доп. культурами



Из представленных в таблице 3.42 данных следует, что в процессе выработки сыров общее количество заквасочной микрофлоры выросло в среднем на 1,5-2 порядка по сравнению с начальной дозой в молочной смеси. В жирных сырах количество жизнеспособных клеток было на полпорядка меньше  $((5,80 \pm 0,14) \cdot 10^8$  КОЕ/г), чем в низкожирных сырах. Количество пропионовокислых бактерий увеличилось более, чем на порядок в сравнении с дозой внесения в молочную смесь. Микрофлоры порчи во всех вариантах сыров не обнаружено.

В таблице 3.43 представлены физико-химические показатели сыров после прессования и в начальный период созревания.

Таблица 3.43 – Динамика изменения физико-химических показателей в сырах после прессования и на 15 сутки созревания

Вар	Массовая доля жира		Массовая доля белка		Массовая доля лактозы, %		Массовая доля влаги, %		рН	
	после пресса	15 сут	после пресса	15 сут	после пресса	15 сут	после пресса	15 сут	после пресса	15 сут
1	45,1±0,5 <sup>a</sup>	45,0±0,4 <sup>a</sup>	24,6±0,1 <sup>a</sup>	25,6±0,2	2,09±0,07 <sup>a</sup>	0,15±0,05 <sup>a</sup>	49,7±0,1 <sup>a</sup>	42,0±0,4 <sup>a</sup>	5,48±0,06 <sup>a</sup>	5,06±0,04 <sup>a</sup>
2	20,5±0,5 <sup>b</sup>	20,0±0,7 <sup>b</sup>	30,6±0,2 <sup>b</sup>	31,6±0,1	1,64±0,04 <sup>b</sup>	0,09±0,04 <sup>a</sup>	54,0±0,2 <sup>b</sup>	50,8±0,2 <sup>b</sup>	5,30±0,04 <sup>b</sup>	5,10±0,04 <sup>a</sup>
3	20,7±0,5 <sup>b</sup>	20,4±0,5 <sup>b</sup>	30,1±0,1 <sup>b</sup>	31,0±0,1	1,76±0,04 <sup>b</sup>	0,11±0,03 <sup>a</sup>	54,1±0,1 <sup>b</sup>	51,4±0,2 <sup>b</sup>	5,30±0,04 <sup>b</sup>	5,02±0,03 <sup>a</sup>

1 – сыр 50 %; 2 – сыр 20 %; 3 – сыр 20 % с доп. культурами  
 Данные, отмеченные одинаковым индексом внутри одного столбца, не имеют статистически значимых отличий

Контрольные жирные сыры (вариант 1) после прессования имели статистически значимые отличия ( $p < 0,05$ ) по физико-химическим показателям (массовой доле жира, белка, лактозы, влаги и активной кислотности). Технологические приемы, используемые при выработке низкожирных сыров (варианта 2 и 3), способствовали увеличению массовой доли влаги и интенсификации молочнокислого процесса, что объясняет более низкие значения активной кислотности и остаточной лактозы в данных сырах после прессования.

Изменение количества жизнеспособных клеток основной молочнокислой микрофлоры в исследуемых сырах и дополнительных культур лактобацилл и пропионовокислых бактерий (в сыре варианта 3) во время созревания представлено на рисунке 3.30 (А, Б).

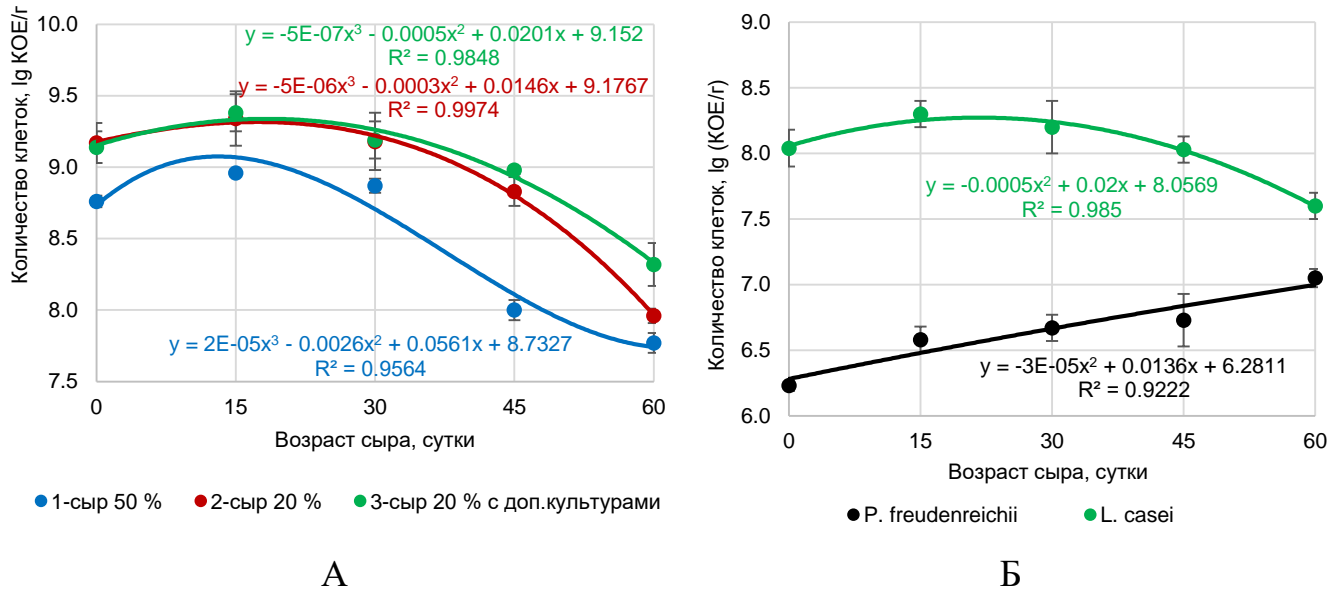


Рисунок 3.30 – Динамика развития мезофильной молочнокислой микрофлоры в сырах (А) и *L. casei* и *P. freudenreichii* в низкожирных опытных сырах (вариант 3) (Б) в процессе созревания

Как видно из рисунка 3.30А, во всех сырах рост клеток заквасочной молочнокислой микрофлоры продолжается до 15 суток, далее наблюдается медленное вымирание клеточной популяции, что связано с полным сбраживанием лактозы. В низкожирных сырах наблюдалось более медленное вымирание клеток МКМ.

В опытных низкожирных сырах (рисунок 3.30Б) количество пропионовокислых бактерий в процессе созревания при температуре  $(11 \pm 1) ^\circ\text{C}$  медленно увеличивается, а количество жизнеспособных клеток мезофильных лактобацилл *L. casei* увеличивается до 15 суток созревания.

На рисунке 3.31 показаны данные динамики активной кислотности в сырах.

Не смотря на различия в показателях активной кислотности в жирных и низкожирных сырах после прессования, динамика изменения рН в процессе созревания была идентичной и в сырах кондиционной зрелости не наблюдалось статистически значимых отличий ( $p > 0,05$ ).

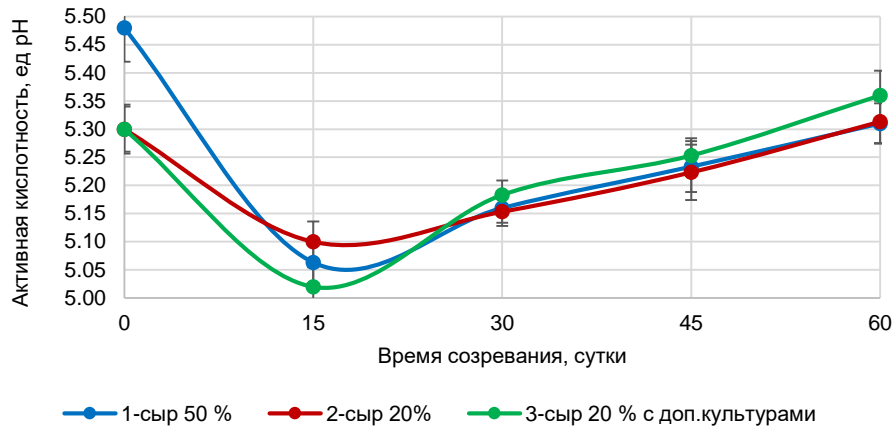


Рисунок 3.31 – Динамика активной кислотности в сырах в процессе созревания

Пропионовокислые бактерии и мезофильные палочки, играющие роль дополнительной микрофлоры в опытных низкожирных сырах, как уже отмечалось, обладают сложным метаболизмом, что может повлиять на пептидный профиль зрелого сыра. На рисунке 3.32 (А, Б) представлены результаты исследований степени протеолиза во время созревания сыров и молекулярно-массового распределения продуктов протеолиза в сырах кондиционной зрелости.

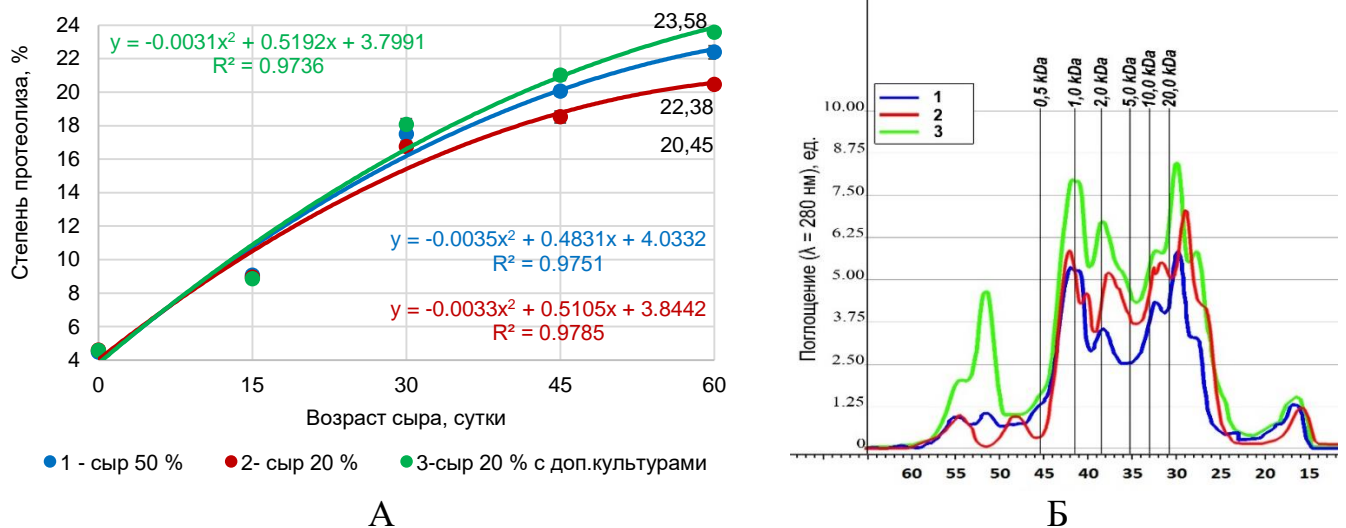


Рисунок 3.32 – Динамика степени протеолиза в процессе созревания (А) и молекулярно-массовое распределение продуктов протеолиза в зрелых сырах (Б)

Полученные результаты свидетельствуют о том, что контрольные жирные (1) и низкожирные опытные сыры (3) незначительно отличались по степени протеолиза (рисунок 3.32А), а контрольные низкожирные сыры (2) имели наименьшие значения соответствующего показателя.

Согласно данным молекулярно-массового распределения водорастворимых белковых веществ (рисунок 3.32Б), низкожирные сыры с использованием дополнительных культур целевого назначения в сравнении с сырами 1 и 2, выработанных с использованием только кислотообразующей заквасочной микрофлоры, отличаются более богатым пептидным профилем с высоким содержанием практически всех белковых фракций, включая высокомолекулярные пептиды, а также свободные аминокислоты и пептиды с низкой молекулярной массой. Таким образом, обогащение состава закваски дополнительными культурами усиливает ферментативный гидролиз казеина в процессе созревания сыра. Согласно некоторым литературным источникам, азотистые соединения с молекулярной массой менее 1,0 кДа оказывают прямое влияние на формирование специфического сырного вкуса и аромата [192, 193]. Наряду с этим, образующиеся в процессе протеолиза свободные аминокислоты подвергаются последующим трансформациям с образованием широкого спектра различных вкусоароматических соединений, в т.ч. альдегидов, кетонов, сложных эфиров, спиртов и др.

Состав вкусоароматического профиля паровой фазы исследуемых сыров представлен в таблице 3.44.

Таблица 3.44 – Содержание летучих ВАВ в паровой фазе зрелых сыров

ВАВ	Варианты сыров		
	1-сыр 50 %	2-сыр 20 %	3-сыр 20 % доп.культурами
<b>Альдегиды, %</b>			
Этаналь	97,51±1,21	92,83±1,93	92,20±1,16
Бутаналь	0,44±0,12	–	–
Изо-гексаналь	–	0,07±0,01	–
<b>Кетоны, %</b>			
Бутанон-2	0,46±0,05	–	5,20±0,09
<b>Спирты, %</b>			
Гексанол -1	–	–	0,03±0,01
Пропанол-1	4,15±0,12	5,12±0,15	6,00±0,24
<b>Кислоты, %</b>			
Уксусная кислота	0,83±0,05	1,16±0,20	1,87±0,04
Масляная кислота	0,02±0,01	0,04±0,01	0,10±0,01
Пропионовая кислота	–	–	0,66±0,15
Общее содержание летучих ВАВ, нА·с	2,08±0,22	1,75±0,30	3,71±0,25

Согласно приведенным данным парофазного хроматографического анализа, из всех летучих органических соединений этаналь преобладал во всех образцах и больше всего его обнаружено в контрольных жирных сырах. Кроме этого в данном варианте идентифицированы бутаналь и бутанон-2, пропанол-1, уксусная и масляная кислоты. В низкожирных сырах без дополнительных культур наблюдалось наименьшее количество идентифицированных летучих соединений. В низкожирных сырах, выработанных с дополнительными культурами *L. casei* и *P. freudenreichii*, содержание уксусной и масляной кислот выше, чем в контрольных. В целом, данные сыры по общему содержанию ВАВ превосходят жирные сыры в 1,8 раза, что является следствием активного метаболизма заквасочной микрофлоры.

В процессе созревания консистенция исследуемых сыров претерпела изменения. Результаты реологических исследований представлены на рисунке 3.33.

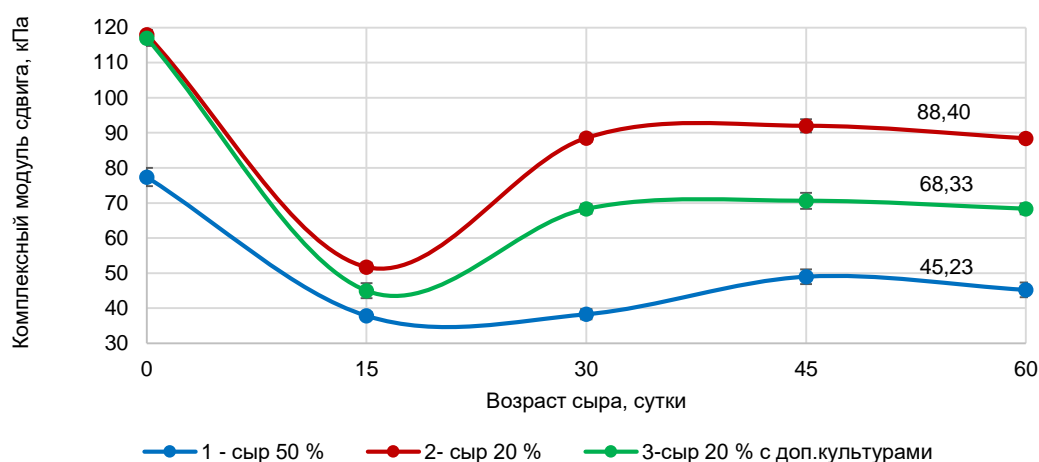


Рисунок 3.33 – Динамика комплексного модуля сдвига в сырах в процессе созревания

Как следует из результатов, представленных на рисунке 3.33, консистенция свежесыра выработанных сыров имела отличия: значение комплексного модуля сдвига в жирных сырах после прессования была ниже в 1,5 раза, чем в низкожирных, что связано с различиями в физико-химическом составе. Во всех сырах значение комплексного модуля сдвига начинает снижаться и к 15 суткам созревания имеет наименьшие показатели. К окончанию процесса созревания отмечена следующая тенденция: наиболее низкие показатели комплексного модуля сдвига имели жирные

сыры, а самые высокие – низкожирные сыры без дополнительных культур. Показатели опытных низкожирных сыров, выработанных с дополнительными культурами, приблизились к показателям жирных сыров.

### 3.1.5.2 Органолептическая оценка низкожирных сыров

Применение выбранных технологических приемов в совокупности с подбором видового состава микрофлоры закваски обеспечило улучшение органолептических свойств низкожирных сыров, что видно из данных таблиц 3.45 и 3.46 и рисунка 3.34.

Таблица 3.45– Средняя органолептическая оценка вкуса и аромата сыров (n=3)

Вар.	Характеристика вкуса сыра в возрасте, сутки			
	45		60	
	характеристика	балл	характеристика	балл
1	умеренно выраженный сырный, чистый, слабый острый	40	выраженный сырный, слабый кислый, слабый острый, гармоничный вкусовой букет	44
2	слабо выраженный сырный, чистый, слабый кислый	38	умеренно выраженный сырный, слабый кислый, чистый	39
3	выраженный сырный, чистый, слабый пряный, слегка сладковатый	38	выраженный сырный, слабый пряный, слегка сладковатый, гармоничный вкусовой букет	44

1 – сыр 50 %; 2 – сыр 20 %; 3 – сыр 20 % с доп. культурами

Таблица 3.46 – Средняя органолептическая оценка консистенции сыров (n=3)

Вариант	Характеристика консистенции сыра в возрасте, сутки			
	45		60	
	характеристика	балльная оценка	характеристика	балльная оценка
1	эластично-пластичная	25	эластично-пластичная	25
2	эластичная слегка резинистая	24	эластичная, слегка резинистая	22
3	эластично-пластичная	25	эластично-пластичная	25

1 – сыр 50 %; 2 – сыр 20 %; 3 – сыр 20 % с доп. культурами

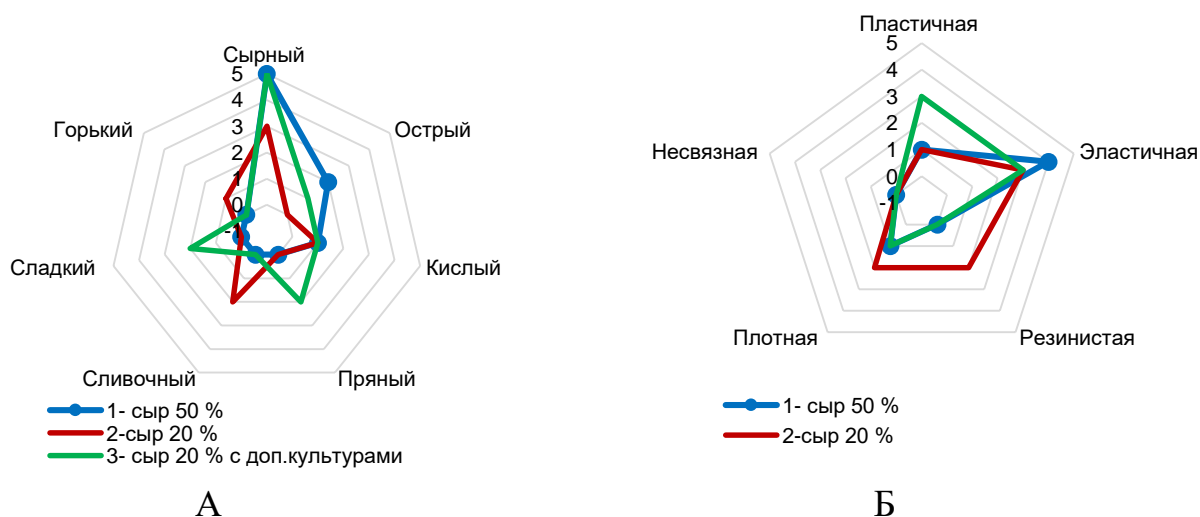


Рисунок 3.34 – Профилограммы вкуса (А) и консистенции (Б) зрелых сыров

Жирные сыры и низкожирные сыры с дополнительными культурами уже в возрасте 45 суток имели умеренно выраженный (1) и выраженный (3) сырный вкус и аромат, в то время как контрольные низкожирные характеризовались слабо выраженным сырным вкусом. Жирные сыры в возрасте 60 суток характеризовались типичным для данной категории сыров выраженным сырным, кисловатым вкусом с наличием легкой остроты. Вкус низкожирных сыров без дополнительных культур (2) характеризовался как «умеренно выраженный сырный», «кисловатый», «чистый». Низкожирные сыры с дополнительными культурами имели выраженный сырный вкус и аромат, легкую кисловатую и пряную и сладковатую ноту в гармоничном букете

Консистенция жирных и опытных сыров с дополнительными культурами была эластично-пластичной в 45 суток и оставалась без изменений до окончания этапа созревания. Низкожирные сыры без дополнительных культур даже в конце срока созревания характеризовались как эластичные, слегка резинистые.

У зрелых сыров оценивали характер рисунка (рисунок 3.35).



1-сыр 50 %

2-сыр 20 %

3-сыр 20 % доп. культурами

Рисунок 3.35 – Рисунок сыров кондиционной зрелости

Сыры имели рисунок с равномерно расположенными глазками правильной округлой формы и получили по 10 баллов.

Таким образом, использование в составе заквасочной микрофлоры для низкожирных сыров наряду с кислотообразующими лактококками пропионовокислых бактерий *P. freudenreichii* и мезофильных палочек *L. casei* в выбранных дозах дает возможность получить сыры 20 % жирности, не уступающие полножирным сырам по органолептическим характеристикам.

### **3.2 Влияние протеолитических и липолитических ферментов на микробиологические, биохимические и физико-химические процессы при выработке и созревании сыров пониженной жирности**

Данная серия исследований направлена на изучение возможности улучшения потребительских характеристик сыров пониженной жирности биотехнологическими приемами путем использования протеолитических и липолитических ферментов. Предполагается, что ферменты могут интенсифицировать процессы созревания. Так, протеаза может оказать влияние на вкус и аромат сыра двумя путями: участвуя в неспецифическом ферментативном гидролизе казеина, наряду с экзоферментами бактериальных заквасок с образованием пептидов и аминокислот. С другой стороны, протеазы способны расщеплять белковую часть оболочки жировых шариков, делая жир доступным для липолиза, в результате которого образуются свободные жирные кислоты, участвующие в формировании вкусового букета сыра. В качестве протеолитического фермента в экспериментах использовалась микробиальная протеаза Flavourzyme, состоящая из смеси эндопротеаз и экзопептидаз аминокислот- и карбоксипептидазного типа, экстрагированного из культуры *Aspergillus oryzae*.

В качестве липолитического фермента в экспериментах использовалась телячья прегастральная липаза Cagliificio Clerici, которая наиболее доступна на российском рынке и показала положительные результаты в сыроделии для производства созревающих сыров различных групп.



### 3.2.1 Микробиологические и физико-химические процессы во время созревания сыров, выработанных с использованием ферментов

Контрольные сыры (1) выработаны без добавления ферментов, опытные сыры – с использованием микробиальной протеазы Flavourzyme в дозе 5 мл /100 кг молочной смеси (2) и телячьей липазы Caglificio Clerici в дозе 5 г /100 кг (3). Протеазу и липазу вносили непосредственно перед внесением молокосвертывающего фермента. Схема проведения экспериментальных выработок представлена в таблице 3.47.

Таблица 3.47 – Технологический регламент выработки сыра

Технологический этап	Вариант		
	1 контроль	2	3
Пастеризация молока:			
– температура, °С	73±1		
– выдержка; сек	20-25		
Охлаждение смеси до температуры, °С	34±1		
На 100 кг смеси добавлено:			
– кальций хлористый, г	35		
– протеаза Flavourzyme, г	-	5,0	-
– липаза телячья Caglificio Clerici, г	-	-	5,0
– сычужный фермент, г	1,7		
Доза внесения БЗ (%) на основе: <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> , <i>Lactococcus cremoris</i> , <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>diacetylactis</i>	0,8		
Температура свертывания, °С	34,0±0,5		
Свертывание, мин	35±5		
Разрезка и постановка сырного зерна, мин	25±5		
Второе нагревание:			
– температура, °С	38,0±0,5		
– продолжительность, мин	15-20		
Продолжительность обработка зерна, мин	50±5		
Кислотность сыворотки, °Т:			
– после разрезки	13,3±0,2	13,2±0,1	13,0±0,5
– после нагревания	13,6±0,1	13,7±0,2	13,5±0,1
– в конце обработки	11,2±0,2	11,1±0,1	11,0±0,5
Формование	из пласта		
Самопрессование, мин	35±5		
Прессование, ч	2,0±0,5		
Внесено воды, %	20		
Продолжительность посолки, ч	19±0,5		
Созревание:			
– температура, °С	11±1		
– продолжительность, сутки	60		

Продолжительность свертывания во всех сырах была одинакова, однако при визуальной оценке в смеси с протеазой сгусток был немного плотнее. Сыворотка была одинаково прозрачной, что подтверждают исследования в ней массовой доли сухого вещества – во всех вариантах она была практически одинакова и находилась в пределах  $6,72 \pm 0,10$  %. Молочнокислый процесс во время выработки протекал идентично во всех сырах, о чем косвенно свидетельствуют данные по приросту титруемой кислотности сыворотки в процессе обработки сырного зерна.

Динамика изменения физико-химических показателей сыров в процессе созревания представлена в таблице 3.48.

Таблица 3.48 – Изменение физико-химических показателей сыров в процессе созревания

Вариант	Значение показателя для сыра в возрасте, сутки				
	после прессования	15	30	45	60
Активная кислотность, ед.рН					
1-контроль	$5,26 \pm 0,03$	$5,10 \pm 0,01$	$5,15 \pm 0,02$	$5,18 \pm 0,03$	$5,25 \pm 0,02$
2-сыр с протеазой	$5,13 \pm 0,02$	$5,05 \pm 0,02$	$5,13 \pm 0,04$	$5,15 \pm 0,02$	$5,10 \pm 0,01$
3-сыр с липазой	$5,28 \pm 0,04$	$5,10 \pm 0,02$	$5,20 \pm 0,03$	$5,20 \pm 0,04$	$5,20 \pm 0,04$
Массовая доля влаги, %					
1-контроль	$55,2 \pm 0,2$	$51,2 \pm 0,3$	$49,4 \pm 0,2$	$49,3 \pm 0,3$	$49,4 \pm 0,1$
2-сыр с протеазой	$56,0 \pm 0,4$	$51,6 \pm 0,1$	$50,4 \pm 0,2$	$50,4 \pm 0,4$	$49,8 \pm 0,3$
3-сыр с липазой	$54,2 \pm 0,5$	$48,2 \pm 0,2$	$46,8 \pm 0,4$	$46,2 \pm 0,1$	$46,0 \pm 0,3$
Массовая доля лактозы, %					
1-контроль	$1,61 \pm 0,12$	не обн.	–	–	–
2-сыр с протеазой	$1,22 \pm 0,15$	не обн.	–	–	–
3-сыр с липазой	$1,65 \pm 0,10$	не обн.	–	–	–

Согласно данным, представленным в таблице, активная кислотность и содержание остаточной лактозы в сырах с протеазой после прессования была ниже, что говорит о более интенсивном протекании молочнокислого процесса в данном варианте, чем в контрольных сырах и сырах, выработанных с использованием липазы. К концу двухнедельного созревания лактозы не обнаружено во всех сырах, а значение активной кислотности – сравнялось.

Динамика развития заквасочной микрофлоры представлена на рисунке 3.36.

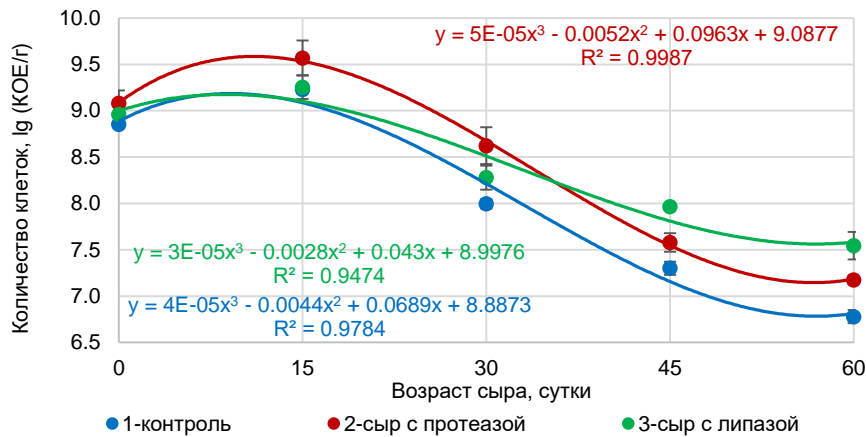


Рисунок 3.36 – Динамика жизнеспособных клеток заквасочной микрофлоры в сырах в процессе созревания

Согласно данным, представленным на рисунке 3.36, рост жизнеспособных клеток МКМ во всех сырах продолжается до 15 суток. В сырах с добавлением протеазы после прессования и в возрасте 15 суток отмечено наибольшее значение общего количества заквасочной микрофлоры, что согласуется с данными остаточной лактозы в сырах, приведенными в таблице 3.50. Далее клетки МКМ начинают вымирать с разной степенью интенсивности. Фаза отмирания клеток наиболее интенсивно выражена в контрольных сырах, и наименее – в сырах с добавлением липазы.

На рисунке 3.37 (А, Б) представлены результаты исследований, отражающих динамику степени протеолиза, и пептидные профили контрольных и опытных сыров.

Как видно из данных, представленных на рисунке 3.37А, уже в возрасте 15 суток в сырах с добавлением протеазы обнаружено увеличение степени протеолиза более, чем в 1,5 раза по сравнению с контрольными сырами, в целом, данный вариант сыра отличался к концу срока созревания наибольшими значениями степени гидролиза белков. Сыры с добавлением липазы по степени протеолиза не значительно отличались от контрольных, что позволяет сделать заключение, что внесение липазы практически не влияет на процессы протеолиза.

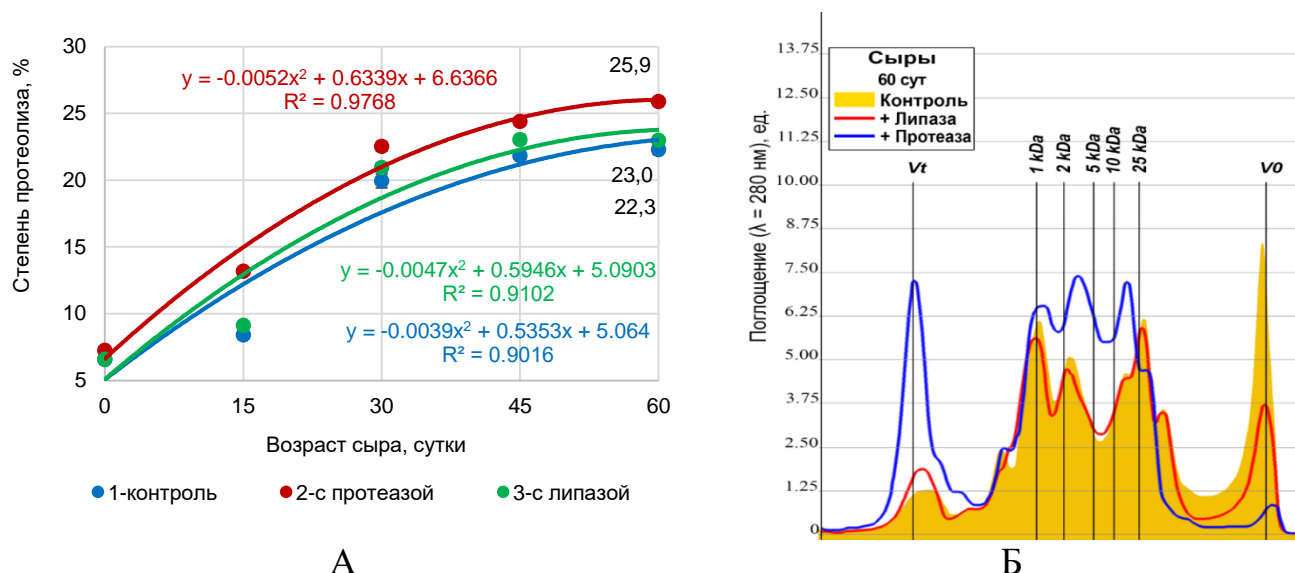


Рисунок 3.37 – Динамика степени протеолиза в процессе созревания (А) и молекулярно-массовое распределение продуктов протеолиза в зрелых сырах (Б)

Согласно данным молекулярно-массового распределения водорастворимых белковых соединений (рисунок 3.37Б) сыры варианта с протеазой отличаются высоким содержанием свободных аминокислот и низкомолекулярных пептидов.

Степень липолиза в сырах определяли, оценивая показатели кислотности жировой фазы и кислотное число, в возрасте 30 и 60 суток (таблица 3.49).

Таблица 3.49 – Характеристика степени окисленности жировой фазы сыров

Возраст сыров	вариант	Значение показателя	
		кислотность жировой фазы, моль/100 г	Кислотное число, мг КОН/г
30 суток	1-контроль	1,90±0,21	0,95±0,19
	2 – сыр с протеазой	1,94±0,20	0,97±0,17
	3-сыр с липазой	2,20±0,21	1,23±0,19
60 суток	1-контроль	2,12±0,21	1,06±0,19
	2 – сыр с протеазой	2,18±0,18	1,09±0,15
	3-сыр с липазой	2,80±0,27	1,55±0,22

Кислотность жировой фазы и кислотное число, отражающие количество свободных жирных кислот, были выше в сырах с добавлением липазы. За период с 30 суток и до конца созревания кислотность жировой фазы, увеличилась на 27 % в сырах с липазой и на 11 % в сырах без липазы. Анализируя полученные данные, можно прогнозировать значительные риски снижения хранимостепособности сыров с липазой за счет интенсивности липолитических процессов.

### 3.2.2 Органолептическая оценка сыров, выработанных с использованием ферментов

Органолептические показатели сыров оценивали в возрасте 30, 45 и 60 суток, результаты оценки представлены в таблице 3.50.

Таблица 3.50 – Средняя органолептическая оценка сыров (n=3)

Вариант	Характеристика и балльная оценка показателя для сыра в возрасте, сутки		
	30	45	60
Вкус и запах			
1 – контроль	Слабо выраженный сырный, легкий сливочный привкус, соленый, слабо острый, кисловатый – 37 б.	Умеренно выраженный сырный, соленый, слабо острый, кисловатый, слабая горечь – 38 б.	Умеренно выраженный сырный, легкий сливочный привкус соленый, слабо острый, кисловатый – 39 б.
2 – сыр с протеазой	Слабо выраженный сырный, слабо острый, слабо соленый – 37 б.	Умеренно выраженный сырный, слабо острый, слабо соленый, слабая горечь – 37 б.	Умеренно выраженный сырный, кислый, соленый, горький – 35 б.
3 – сыр с липазой	Умеренно выраженный сырный (более выраженный, чем контроль), острый, кисловатый, наличие в букете легких липолизных нот – 38 б.	Умеренно выраженный сырный, острый, кисловатый, наличие в букете липолизных нот, слабый посторонний – 37 б.	Умеренно выраженный сырный, слегка кисловатый, острый, с острыми липолизными нотами, посторонний – 35 б.
Консистенция			
1 – контроль	Хорошая, слегка плотная – 24 б.	Хорошая, слегка плотная – 24 б.	Удовлетворительная, слегка мажущая – 23 б.
2 – сыр с протеазой	Удовлетворительная, слегка вязкая – 23 б.	Пластичная, слегка вязкая – 22 б.	Пластичная, вязкая – 20 б.
3 – сыр с липазой	Хорошая, слегка пластичная – 24 б.	Хорошая, слегка пластичная – 24 б.	Хорошая, слегка пластичная – 24 б.

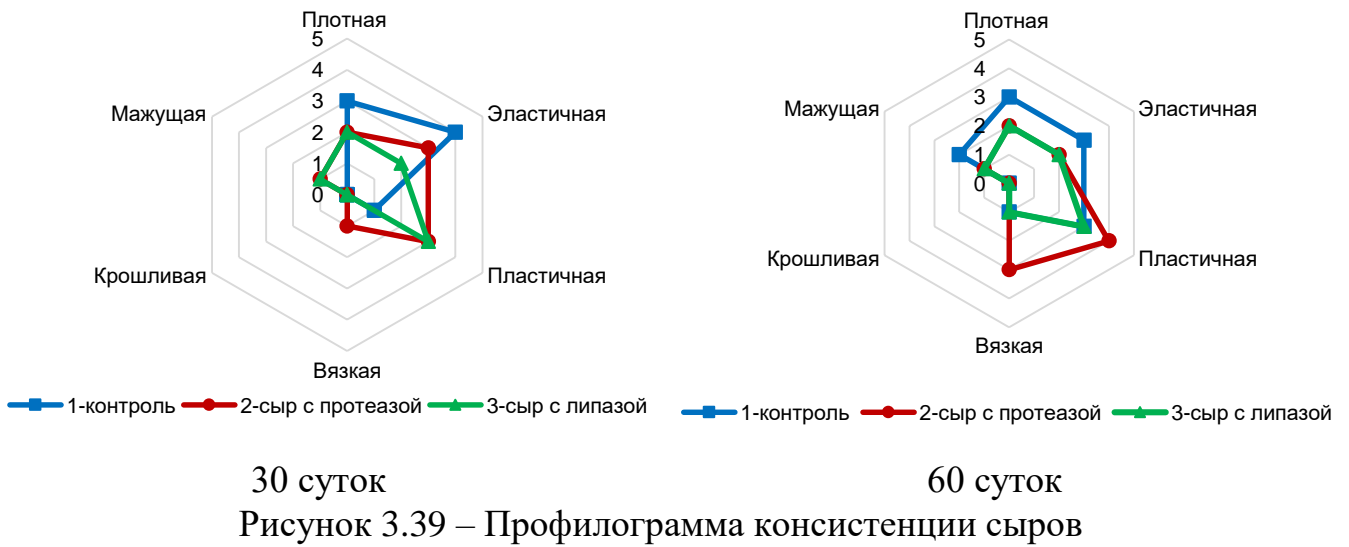
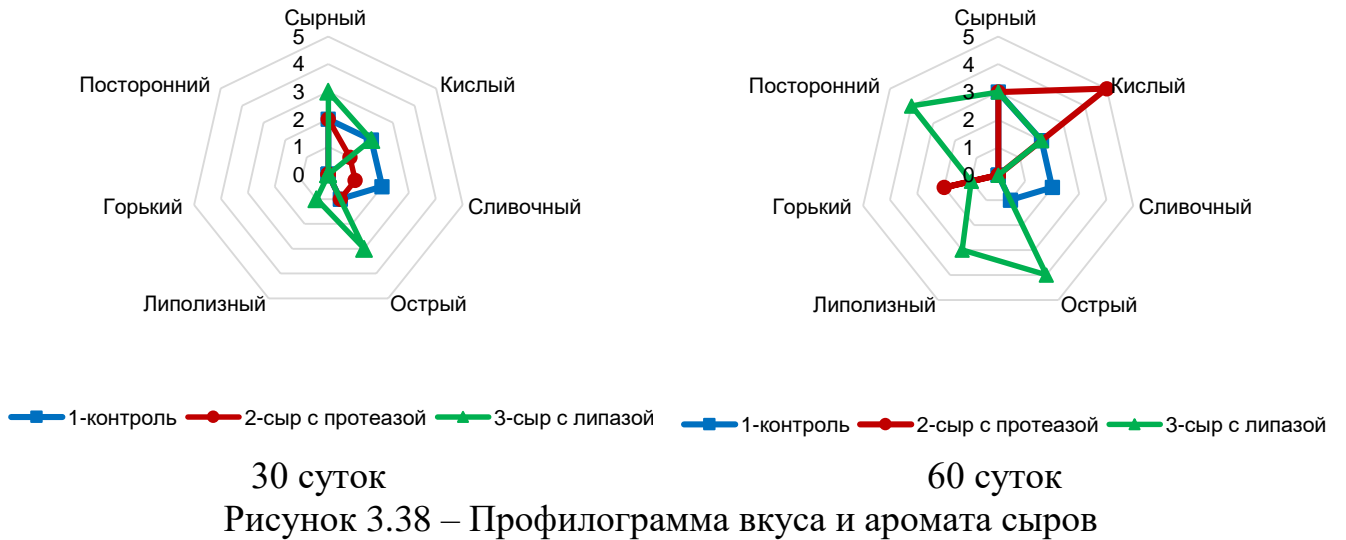
Анализ данных таблицы показал, что контрольные сыры и сыры с добавлением протеазы в возрасте 30 суток имели слабо выраженный сырный вкус и аромат, а сыры с липазой – умеренно выраженный. Сыры также различались отдельными вкусовыми нотами: в контрольных сырах отмечен легкий сливочный вкус, в то время как вкус сыров с протеазой был более гармоничным без особых вкусовых оттенков, но со слабо острым привкусом. За вкус и запах данные сыры получили по 37 баллов. Сыры с добавлением липазы имели более выраженный

вкусовой букет за счет наличия в нем легких липолизных нот, имитирующих в сыре пониженной жирности вкус жирного сыра, и оценены на 38 баллов.

В возрасте 45 суток в контрольных сырах отмечена слабая горечь, которая исчезла в возрасте кондиционной зрелости. Наличие в контрольных сырах легкого сливочного привкуса, отмеченного в 30-суточном возрасте, в конце срока созревания не зафиксировано. В сырах с добавлением протеазы отмечено резкое снижение вкуса вследствие появления порока «кислый вкус» и слабой горечи, что привело к снижению общей балловой оценки по этому показателю до 35 баллов. В сырах с добавлением липазы при созревании липолизные ноты постепенно усилились, однако появился посторонний привкус, нехарактерный для сыра, что явилось причиной снижения балловой оценки до 35 баллов.

Не менее значимые различия отмечены в консистенции экспериментальных сыров во время созревания. Консистенция контрольных сыров за 60 суток созревания изменилась от хорошей, слегка плотной до удовлетворительной, слегка мажущей. В сырах с добавлением протеазы вследствие активно протекающего протеолиза консистенция была слегка вязкой уже в 30 суток. Дальнейшее созревание привело к усилению выраженности этого порока – консистенция сыра была вязкая, что привело к снижению балльной оценки по этому показателю до 20 баллов. Консистенция сыров с добавлением липазы до 45 суток характеризовалась как «хорошая», «слегка пластичная», к 60 суткам – «удовлетворительная», «слегка вязкая».

Наглядно оценить изменение вкусового букета и консистенции сыров можно на профилограммах, представленных на рисунках 3.38 и 3.39.



Характер рисунка сыров показан на рисунке 3.40.

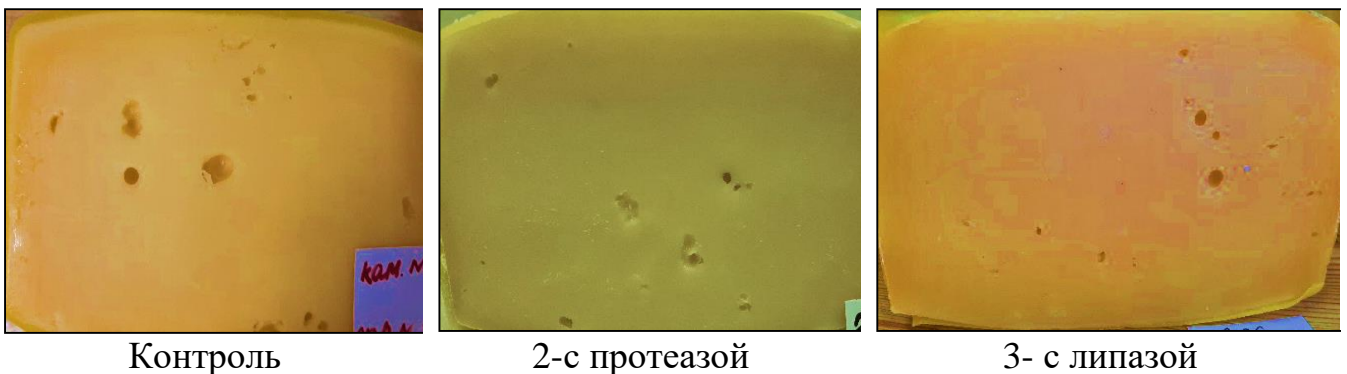


Рисунок 3.40 – Рисунок сыров в разрезе

Все сыры имели идентичный рисунок с отдельными редкими глазками правильной и неправильной формы и оценены на 9 баллов.

Таким образом, оценивая влияние добавления протеазы и липазы при выработке сыров пониженной жирности, можно сделать следующие выводы.

Добавление протеазы Flavourzyme в исследуемой дозе (5 г /100 кг молочной смеси) активизировало процессы протеолиза и развитие горького вкуса в процессе созревания сыров, способствовало некоторой интенсификации молочнокислого процесса во время выработки. Однако более значимое влияние внесение ферментного препарата оказало на формирование консистенции сыра, провоцируя в процессе созревания доминирование пластичных, переходящих в вязкие свойства.

В сырах с добавлением липазы Caglificio Clerici на ранних этапах созревания (до 30-45 суток) ускоряются процессы созревания, связанные с формированием сырного вкуса. В исследуемой дозе липаза положительно влияет на вкусовой букет сыра, делая его более выраженным, создавая ощущение более жирного сыра. Однако к 60 суткам созревания способствует усилению липолитических нот и появлению постороннего вкуса, приводящего к снижению балльной оценки сыра по этому показателю и создающего риски снижения хранимоспособности. На формирование консистенции сыра добавление липазы практически не повлияло.

### **3.3 Разработка и апробация научно-обоснованных рекомендаций по улучшению органолептических показателей сыров пониженной жирности**

На основе полученных экспериментальных данных с учетом анализа научной литературы и многолетнего опыта работы специалистов ВНИИМС разработана линейка сыров пониженной жирности с различными потребительскими характеристиками. Основу предлагаемых технологий 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 используемых групп микроорганизмов. Разработанный комплект технической документации включает СТО ВНИИМС 058 – 2023 «Сыры пониженной жирности Диетические. Технические условия» (Приложение Б) и Технологическую инструкцию (Приложение В) и



распространяется на процесс производства полутвердых полужирных (м.д.ж. в сухом веществе 30 %) и низкожирных (м.д.ж. в сухом веществе 20 %) сыров.

В результате обработки физико-химического состава экспериментальных сыров подтверждено их соответствие определениям «сниженная калорийность» или «сниженная энергетическая ценность», подразумевающих согласно ГОСТ Р 55577-2013 «Продукты пищевые функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности» снижение не менее, чем на 30 % энергетической ценности (калорийности) относительно аналогичной пищевой продукции (таблица 3.51), относящейся к категории «жирные» сыры.

Таблица 3.51 – Сравнительная характеристика пищевой и энергетической ценности жирных сыров и сыров пониженной жирности

Показатель	Жирный сыр, м.д.ж в СВ, %		Сыры пониженной жирности, м.д.ж в СВ, %:	
	50	30	20	
Влага, %	43,0±0,4	48,6±0,7	49,6±0,6	
Сухие вещества, %, в том числе	57,0±0,4	51,5±0,7	50,4±0,6	
– жира, %	30,5±0,4	15,3±0,5	10,5±0,5	
– белка, %	23,7±0,8	31,7±0,5	34,3±0,6	
Энергетическая ценность	ккал	370±1	265±1	231±1
	кДж	1578±5	1105±5	970±5

Данные, представленные в таблице 3.51, показывают, что содержание влаги в сыре с м.д.ж.50 % составляет 43,0±0,4 %, в сыре с м.д.ж 30 % – 48,6±0,7 % и в сыре с м.д.ж. 20 % – 49,6±0,6 %, а содержание белка 23,7±0,8 %, 31,7±0,5 % и 34,3±0,6 % соответственно. Таким образом, при редуцировании доли жира увеличивается содержание влаги и белка, что повышает биологическую ценность продукта при значительном снижении энергетической ценности: для сыров с м.д.ж. 30 % – на 30 % и для сыров с м.д.ж. 20 % – на 39 % относительно энергетической ценности жирного сыра.

Технологии сыров пониженной жирности, представленные в ТИ СТО 058 – 2023, включают изготовление сыров с разными органолептическими характеристиками и подразумевают применение различных комбинаций заквасочных культур в сочетании с рядом технологических приемов, обоснованных в экспериментальной части работы (таблица 3.52):

1 вариант – применение в качестве основной кислотообразующей микрофлоры комбинации мезофильных лактококков *Lc. lactis* subsp. *lactis*, *Lc. cremoris* в дозе 0,6 % и *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis* в дозе 0,4 %, а также мезофильных палочек *L. casei* в дозе 0,4 % в качестве дополнительной культуры обеспечивает формирование выраженного сырного вкуса и аромата, эластично-пластичной консистенции и развитого рисунка с глазками правильной округлой формы. Данный вариант предполагает использование следующих технологических приемов: низкая температура второго нагревания ( $37\pm 1,0$ ) °С, обеспечивающая активизацию развития и метаболизма мезофильной микрофлоры, используемой в составе заквасок; разрезка и постановка крупного зерна ( $12\pm 2$  мм) и непродолжительное время его обработки ( $50\pm 5$  мин) с целью повышения влагоемкости сырной массы и активизации молочнокислого процесса.

2 вариант – применение в качестве основной микрофлоры комбинации мезофильных лактококков *Lc. lactis* subsp. *lactis*, *Lc. cremoris* в дозе 0,6 % и *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis* в дозе 0,4 %, а также в качестве дополнительной культуры термофильных палочек *L. helveticus* в дозе 0,1 %, обеспечивающих формирование выраженного сырного вкуса с пряными оттенками, эластично-пластичной консистенции и рисунка с единичными глазками правильной и неправильной формы. Термофильные палочки *L. helveticus* имеют значительно большее время генерации в сравнении с мезофильными лактококками. Поэтому в качестве технологического приема, наряду с низкой температурой второго нагревания, постановкой крупного сырного зерна и непродолжительного времени его обработки, с целью интенсификации роста и метаболизма *L. helveticus* рекомендуется включение этапа выдержки формованного сыра, с одновременным самопрессованием, в термокамере при температуре ( $35\pm 1$ ) °С в течение ( $90\pm 10$ ) минут. Данный технологический прием позволяет усилить пластичные свойства консистенции и выраженность сырного вкуса.

3 вариант – применение пропионовокислых бактерий *P. freudenreichii* в дозе  $1\cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup> смеси наряду с основной заквасочной микрофлорой представленной мезофильными лактококками *Lc. lactis* subsp. *lactis*, *Lc. cremoris* и *Lc. lactis*

subsp. *diacetylactis*, обеспечивает формирование выраженного сырного вкуса и аромата,пряного и сладковатого вкусового букета, эластично-пластичной консистенции и рисунка с правильными округлыми глазками. Данный вариант также предполагает применение низкой температуры второго нагревания, постановку крупного сырного зерна и непродолжительное время его обработки.

Особенностью технологии сыров, созревающих с участием пропионовокислых бактерий, является созревание в условиях 3-х ступенчатого режима с включением этапа созревания в бродильной камере. Однако установлено, что для сыров пониженной жирности предпочтительным является одноступенчатый режим созревания при температуре  $(11\pm 1)$  °С.

Добавление дополнительных культур *L. casei*, *L. helveticus*, *P. freudenreichii* наряду с основной кислотообразующей микрофлорой, представленной мезофильными лактококками *Lc. lactis* subsp. *lactis*, *Lc. cremoris* и *Lc. lactis* subsp. *diacetylactis*, способствует ускорению процесса созревания и обеспечивает достижение искомых органолептических показателей сыров пониженной жирности в возрасте 45 суток.

Результаты исследований по использованию биотехнологических приемов для получения сыров пониженной жирности с высокими органолептическими показателями, были апробированы в промышленных условиях на АО «Маслосырзавод «Починковский» (Приложение Г). 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.

Таблица 3.52 – 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 (при формировании из пласта)
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 и аромат, сливочный аромат различной интенсивности	От эластичной до эластично-пластичной	Глазки правильной и неправильной 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 выдержка формованного сыра с одновременным самопрессованием в термокамере при температуре (35±1) °С в течение (90±10) мин	Выраженный сырный вкус и аромат, наличие пряного 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> в дозе 1·10 <sup>5</sup> КОЕ/см <sup>3</sup> **	<i>L. casei</i> – 0,4 %* или без его добавления	Созревание сыра при температуре (11±1) °С	Выраженный сырный вкус и аромат, наличие пряных и сладковатых оттенков вкуса	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

## 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 основной кислотообразующей микрофлоры включать *Lc. lactis* subsp. *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/см<sup>3</sup> при режиме созревания  $(11 \pm 1)$  °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 хранимоспособности.

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 «Маслосырзавод «Починковский».

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

м.д.ж. – массовая доля жира;

БЗ – бактериальная закваска;

МПСБ – микропартикулят сывороточных белков;

СОМО – сухой обезжиренный молочный остаток;

СВ – сухие вещества;

АА – ароматообразующая активность;

ГА – газообразующая активность;

МО – микроорганизмы;

МКМ – молочнокислые бактерии;

КОЕ – колониеобразующие единицы;

КМАФАНМ – количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов;

КМАрФАНМ – количество мезофильных ароматообразующих аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. Микроорганизмы, способные преобразовывать цитраты (соли лимонной кислоты) в диацетил и ацетоин с выделением углекислого газа и составляющие газоароматообразующую микрофлору БЗ, формирующую диацетильный вкус в молочной продукции и рисунок в сырах;

КТАФАНМ – количество термофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов;

НВЧ – наиболее вероятное число;

ЛСМБ – лактатсбраживающие маслянокислые бактерии;

БГКП – бактерии группы кишечной палочки;

ВАВ – вкусоароматические вещества;

«×» – совокупное влияние факторов;

MS – средний квадрат отклонений;

$F_{эмп}$  – эмпирическое значение критерия Фишера;

$F_{кр}$  – критическое значение критерия Фишера.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудков, А.В. Сыроделие: технологические, биологические физико-химические аспекты / Гудков А.В. – Москва: ДеЛи Принт, 2003. – 800 с.
2. Paixão Teixeira, J. L. Bioavailability evaluation of calcium, magnesium and zinc in Brazilian cheese through a combined model of in vitro digestion and Caco-2 cells / J. L. Paixão Teixeira, J. A. L. Pallone, C. D. Andrade, M. Mesías, I. Seiquer // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2022. – Vol. 107: 104365. DOI: 10.1016/j.jfca.2021.104365
3. O'Brien, N. M. Nutritional Aspects of Cheese / O'Brien, N. M., O'Connor, T. P. // In book: *Cheese (Fourth edition). Chemistry, Physics and Microbiology*. – 2017. – P. 603–611. DOI:10.1016/b978-0-12-417012-4.00024-7
4. Feeney, E. L. The cheese matrix: Understanding the impact of cheese structure on aspects of cardiovascular health – A food science and a human nutrition perspective / E. L. Feeney, P. Lamichhane, J. J. Sheehan // *International Journal of Dairy Technology*. – 2021. – Vol. 74. – №4. – P. 656–670. DOI:10.1111/1471-0307.12755
5. Margalho, L. P. Biopreservation and probiotic potential of a large set of lactic acid bacteria isolated from Brazilian artisanal cheeses: from screening to in product approach / L. P. Margalho, G. P. Jorge, D. A. P. Noleto, C. E. Silva, J. S. Abreu et al. // *Microbiological Research*. – 2020. – T. 242. – № 126622. DOI:10.1016/j.micres.2020.126622
6. Homayouni, A. Cheese as a Potential Food Carrier to Deliver Probiotic Microorganisms into the Human Gut: A Review / A. Homayouni, F. Ansari, A. Azizi, H. Pourjafar, M. Madadi // *Current Nutrition & Food Science*. – 2020. – T. 16. – №1. – P. 15-28. DOI:10.2174/157340131466618081710
7. Banks, J M. The technology of low-fat cheese manufacture / J M. Banks // *International Journal of Dairy Technology*. – 2004. – Vol. 57. – №4. – P. 199–207. DOI: 10.1111/J.1471-0307.2004.00136.X
8. Childs, J. L. Consumer perception of fat reduction in cheese / J. L. Childs, M. Drake // *Journal of Sensory Studies*. – 2009. – № 24. – P. 902–921. DOI:10.1111/j.1745-459x.2009.00243.x



9. Salles, C. The TeRiFiQ project: Combining technologies to achieve significant binary reductions in sodium, fat and sugar content in everyday foods whilst optimising their nutritional quality / C. Salles, J. R. Kerjean, E. Veiseth-Kent, M. Stieger, P. Wilde, C. Cotillon // *Nutrition Bulletin*. – 2017. – № 42. – P. 361-368. DOI: 10.1111/nbu.12297
10. Belc, N. Reformulating foods to meet current scientific knowledge about salt, sugar and fats / N. Belc, I. Smeu, A. Macri, D. Vallauri, K. Flynn // *Trends in Food Science & Technology*. – 2018. – №84. – P. 25-28. DOI:10.1016/j.tifs.2018.11.002
11. Johnson, M. E. Reduction of Sodium and Fat Levels in Natural and Processed Cheeses: Scientific and Technological Aspects / M. E. Johnson, R. Kapoor, D. J. McMahon, D. R. McCoy, R. G. Narasimmon // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2009. – Vol.8. – №3. – P. 252–268. DOI:10.1111/j.1541-4337.2009.00080.x
12. Øvrum, A. Health information and diet choices: Results from a cheese experiment. / A. Øvrum, F. Alfnes, V. L. Almli, K. Rickertsen // *Food Policy*. – 2012. – Vol.37. – №5. – P. 520–529. DOI:10.1016/j.foodpol.2012.05.005
13. Izar, M.C.O. Update of the Brazilian Guideline for Familial Hypercholesterolemia / M.C.O. Izar, V.Z.R. Giraldez, A. Bertolami, R.D.D Santos Filho, A.M. Lottenberg, M.H.V. Assad et al // *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. – 2021. – Vol. 117. – № 4. – P. 782-844. DOI: 10.36660/abc.20210788
14. McGuire S. Scientific Report of the 2015 Dietary Guidelines Advisory Committee. Washington, DC: US Departments of Agriculture and Health and Human Services // *Advances in Nutrition*. – 2015. – Vol. 7. – № 1. – P. 202–204. DOI: 10.3945/an.115.011684
15. Hooper, L. Reduction in saturated fat intake for cardiovascular disease / L. Hooper, N. Martin, A. Abdelhamid, G. Davey Smith // *Cochrane Database of Systematic Reviews*. – 2015. – Issue 6. – №: CD011737. DOI:10.1002/14651858.cd011737
16. Mach, F. 2019 ESC/EAS guidelines for the management of dyslipidaemias: Lipid modification to reduce cardiovascular risk / F. Mach, C. Baigent, A.L. Catapano, K.

C.Koskinas, M. Casula, L.Badimon, M. J. Chapman et al. // *Atherosclerosis*. – 2019. – № 290. – P.140–205. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2019.08.014

17. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации" (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.).

18. ГОСТ Р 52686-2006 Сыры. Общие технические условия. М: Стандартинформ, 2018. –15 с.

19. Farkye, N.Y. Cheese. Chemistry, Physics and Microbiology (Fourth edition) / N.Y. Farkye, T. P.Guinee // *Low-fat and low-sodium chesses* / N.Y. Farkye, T. P.Guinee // Academic Press, 2017. – Chapter 28. – P. 699-714. ISBN 978-0-12-417012-4.

20. ТУ 9225-070-04610209-2002 Сыры полутвердые пониженной жирности. Технические условия. ГНУ ВНИИМС. ISBN 978-0-12-417012-4. – 2002. – 24 с.

21. Жаренов, Д.А. Низкожирные сыры и пути улучшения их качества /. Д. А. Жаренов, А. Н. Толкачев, Д. А. Малькова. – Москва: ЦНИИТЭИмясомолпрома, 1983 г. – 39 с.

22. Раманаускас, Р.И. Новые виды полутвердых сычужных сыров. Обзорная информация. Серия: Маслодельная и сыродельная промышленность / Раманаускас Р.И., Песецкас Д.Б. – Москва: ЦНИИТЭИмясомолпром, 1974. – 27 с.

23. Балинскяйте, Р.П. Изучение состава и свойств сычужных сыров различной жирности / Труды Литовского филиала ВНИИМС. Том 2. – Вильнюс: Издательство «Минтис», 1967. – С. 5-17

24. Jooyandeh, H. Effect of Persian and almond gums as fat replacers on the physicochemical, rheological, and microstructural attributes of low-fat Iranian White cheese / H. Jooyandeh, M. Goudarzi, H. Rostamabadi, M. Hojjati // *Food Science & Nutrition*. – 2016. – Vol.5. – №3. – P. 669–677. DOI:10.1002/fsn3.446

25. Felfoul, I. Low-fat Gouda cheese made from bovine milk-olive oil emulsion: Physicochemical and sensory attributes / I. Felfoul, S. Bornaz, A. Baccouche,

A. Sahli, H. Attia // *Journal of Food Science and Technology*. – 2015. – Vol. 52. – № 10. – P. 6749–6755. DOI:10.1007/s13197-015-1736-0

26. Chatli, M. K. Efficacy of sodium alginate as fat replacer on the processing and storage quality of buffalo mozzarella cheese / M. K. Chatli, N.Gandhi, P.Singh // *Nutrition & Food Science*. – 2017. – Vol. 47. – №3. – P. 381-397. DOI:10.1108/NFS-07-2016-0087

27. Горбатова, К.К. Физико-химические и биохимические основы производства молочных продуктов: научное издание / К.К. Горбатова. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 347 с.

28. Rashidinejad, A. Nutrients in Cheese and Their Effect on Health and Disease. Chapter 14 – Nutrients in Dairy and Their Implications on Health and Disease / Rashidinejad, A., Bremer, P., Birch, J., Oey, I. // Academic Press. – 2017. – P. 177–192. DOI:10.1016/b978-0-12-809762-5.00014-0

29. Fox, P. F. Chemistry and Biochemistry of Cheese. Chapter 12. / P. F.Fox, T.Uniacke-Lowe, P. L. H. McSweeney, J. A. O’Mahony // In book: *Dairy Chemistry and Biochemistry*. – Springer International Publishing Switzerland, 2015. – P. 499–546. DOI:10.1007/978-3-319-14892-2

30. Zhao, C. J. Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations – A review / C. J. Zhao, A.Schieber, M. G. Gänzle // *Food Research International*. – 2016. – Vol. 89. – P. 39–47. DOI:10.1016/j.foodres.2016.08.042

31. Andersen, L. T. Study of taste-active compounds in the water-soluble extract of mature Cheddar cheese / L. T.Andersen, Y.Ardö, W. L. P. Bredie // *International Dairy Journal*. – 2010. – Vol.20. – №8. – P. 528–536. DOI:10.1016/j.idairyj.2010.02.009

32. Lamichhane, P. Microstructure and fracture properties of semi-hard cheese: Differentiating the effects of primary proteolysis and calcium solubilization. / P. Lamichhane, P. Sharma, D. Kennedy, A. L. Kelly, J. J. Sheehan // *Food Research International*. – 2019. – № 108525. DOI:10.1016/j.foodres.2019.108525

33. Lucey, J. A. Invited Review: Perspectives on the Basis of the Rheology and Texture Properties of Cheese / J. A Lucey, M. E. Johnson, D. S. Horne // *Journal of*

Dairy Science. – 2003. – Vol.8. – №9. – P. 2725–2743. DOI:10.3168/jds.s0022-0302(03)73869-7

34. МакСуини, П.Л. Сыр. Научные основы и технологии. Том 1: Научные основы сыроделия / Под.ред П.Л. МакСуини, П.Ф.Фокс, П.Д.Коттер, Д.У.Эверетт [перевод с англ.]. – СПб.: ИД Профессия, 2019. – 556 с.

35. Mistry, V. V. Composition and Microstructure of Commercial Full-Fat and Low-Fat Cheeses / V. V. Mistry, D. L. Anderson // Food Structure. – 1993. – Vol. 12. – № 2. – Article 13.

36. Fenelon, M. A. The effect of fat content on the microbiology and proteolysis in Cheddar cheese during ripening / M. A. Fenelon, P. O'Connor, T. P. Guinee // Journal of Dairy Science. – 2000. – Vol.83. – №10. – P. 2173–2183 DOI:10.3168/jds.S0022-0302(00)75100-9

37. Guinee, T. P. The effect of fat content on the rheology, microstructure and heat-induced functional characteristics of Cheddar cheese. / T. P. Guinee, M. A. Auty, M.A. Fenelon // International Dairy Journal. – 2000. – Vol. 10. – №4. – P.277–288. DOI:10.1016/s0958-6946(00)00048-0

38. Thierry, A. Lipolysis and Metabolism of Fatty Acids in Cheese / A.Thierry, Y. F. Collins, M. C.Abeijón Mukdsi, P. L. H. McSweeney, M. G.Wilkinson, H. E Spinnler // In book: Cheese (Fourth edition). Chemistry, Physics and Microbiologie. – 2017. – P.423–444. DOI:10.1016/b978-0-12-417012-4.00017-x

39. Curioni, P. M. G. Key odorants in various cheese types as determined by gas chromatography-olfactometry / P. M. G. Curioni, J. O. Bosset // International Dairy Journal. – 2002. – Vol.12. – №12. – P. 959–984. DOI:10.1016/s0958-6946(02)00124-3

40. Smit, G. Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products / G.Smit, B. A. Smit, W. J. M. Engels // FEMS Microbiology Reviews. – 2005. – Vol.29. – №3. – P. 591–610. DOI:10.1016/j.fmrre.2005.04.002

41. Jo, Y. Benoist. Sensory and chemical properties of Gouda cheese / Y.Jo, D. M. Benoist, A. Ameerally, M. A. Drake // Journal of Dairy Science. – 2018. – Vol. 101. – №3. – P.1967–1989. DOI:10.3168/jds.2017-13637

42. Тёпел, А. Химия и физика молока. – СПб.: Профессия, 2012. – 824 с.
43. Ference, B. A. Association of Triglyceride-Lowering LPL Variants and LDL-C–Lowering LDLR Variants With Risk of Coronary Heart Disease / B. A. Ference, J. J. P. Kastelein, K. K.Ray, H. N.Ginsberg, M. J. Chapman et al. // JAMA. – 2019. – Vol. 321. – №4. – P. 364. DOI:10.1001/jama.2018.20045
44. Jakobsen, M. U. Intake of dairy products and associations with major atherosclerotic cardiovascular diseases: a systematic review and meta-analysis of cohort studies / M. U. Jakobsen, E.Trolle, M.Outzen, H.Mejborn, M.G. Grønberg, C. B. Lyndgaard et al. // Scientific Reports. – 2021. – Т. 11. – №. 1. – P. 1-28. DOI:10.1038/s41598-020-79708-x
45. Koskinen, T. T. Intake of fermented and non-fermented dairy products and risk of incident CHD: the Kuopio Ischaemic Heart Disease Risk Factor Study / T. T. Koskinen, H. E. K.Virtanen, S.Voutilainen, T.-P.Tuomainen, J. Mursu, J. K. Virtanen // British Journal of Nutrition. – 2018. – P. 1–10. DOI:10.1017/s0007114518002830
46. Babio, N. Total dairy consumption in relation to overweight and obesity in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis / N. Babio, N.Becerra-Tomás, S. K.Nishi, L.Lopez-González, I. Paz-Graniel, J.García-Gavilán et al. // Obesity Reviews. – 2021. – Т. 23. – Suppl 1. – e13400. DOI: 10.1111/oobp.13400
47. Devle, H. A GC - magnetic sector MS method for identification and quantification of fatty acids in ewe milk by different acquisition modes / H. Devle, E.-O.Rukke, C. F. Naess-Andresen, D.Ekeberg // Journal of Separation Science. – 2009. – Vol. 32. – №21. – P. 3738–3745. DOI:10.1002/jssc.200900455
48. Markiewicz-Kęszycka, M. Fatty Acid Profile of Milk - A Review. / M. Markiewicz-Kęszycka, G. Czyżak-Runowska, P. Lipińska, J.Wójtowski // Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy. – 2013. – Vol. 57. – №2. – P. 135–139. DOI:10.2478/bvip-2013-0026
49. Hadrová, S. Alternative and Unconventional Feeds in Dairy Diets and Their Effect on Fatty Acid Profile and Health Properties of Milk Fat / S. Hadrová, K. Sedláková, L. Křížová, S. Malyugina // Animals. – 2021. – Vol. 11. – №6. – P. 1817. DOI:10.3390/ani11061817

50. Lindmark Mansson, H. Fatty acids in bovine milk fat. / H. Lindmark Mansson // *Food & Nutrition Research*. – 2008. – Vol.52. – №1. – P. 1821. DOI:10.3402/fnr.v52i0.1821
51. Gómez-Cortés, P. Milk fatty acids and potential health benefits: An updated vision / P. Gómez-Cortés, M. Juárez, M. A. de la Fuente // *Trends in Food Science & Technology*. – 2018. – Vol.81. – P. 1–9. DOI:10.1016/j.tifs.2018.08.014
52. Mohan, M. S. Milk fat: opportunities, challenges and innovation / M. S. Mohan, T. F. O’Callaghan, P. Kelly, S. A. Hogan // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2020. – Vol. 61. – №14. – P. 2411-2443. DOI:10.1080/10408398.2020.1778631
53. Gwartney, E. A. The Texture of Commercial Full-Fat and Reduced-Fat Cheese / E. A. Gwartney, E. A. Foegeding, D. K. Larick // *Journal of Food Science*. – 2002. – Vol. 67. – №2. – P. 812–816. DOI:10.1111/j.1365-2621.2002.tb10682.x
54. Khanal, B.K.S. Effect of Sodium Alginate Addition on Physical Properties of Rennet Milk Gels / B.K.S. Khanal, B. Bhandari, S. Prakash, N. Bansal // *Food Biophysics*. – 2017. – Vol. 12. – P. 141–150. DOI:10.1007/s11483-017-9470-y
55. Thierry, A. Cheese. Chemistry, Physics and Microbiology (Fourth edition) / A. Thierry, Y.F. Collins, M.S.Mukdsi, P. L.H. McSweeney [et al] // *Lipolysis and Metabolism of Fatty Acids in Cheese* // Academic Press. – 2017. – Chapter 28. – P. 423-444. ISBN 978-0-12-417012-4.
56. Kim, M. K. Evaluation of key flavor compounds in reduced- and full-fat cheddar cheeses using sensory studies on model systems / M. K. Kim, S. L. Drake, M. A. Drake // *Journal of Sensory Studies*. – 2011. – Vol. 26. – №4. – P. 278–290. DOI:10.1111/j.1745-459x.2011.00343.x
57. Collins, Y.F. Lipolysis and free fatty acid catabolism in cheese: are view of current knowledge / Y.F. Collins, P.L.H. McSweeney, M.G. Wilkinson // *International Dairy Journal*. – 2003. – Vol. 13. – № 11. – P. 841–866. DOI:10.1016/S0958-6946(03)00109-2
58. McSweeney, P. L. H. Biochemistry of cheese ripening: introduction and overview. In book: P. L. H. McSweeney, P. F. Fox, P. D. Cotter, D. W. Everett, editors.

Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. 4th ed. – San Diego: Academic Press. – 2017. – P. 379–88.

59. Guinee, T.P., McSweeney P.L.H. Significance of Milk Fat in Cheese. In book: Fox P.F., McSweeney P.L.H. (eds) *Advanced Dairy Chemistry*. – Boston: Lipids, Springer, MA. – 2006. – Volume 2. DOI:10.1007/0-387-28813-9-11

60. Fenelon, M. A. Composition and Sensory Attributes of Retail Cheddar Cheese with Different Fat Contents / M. A. Fenelon, T. P. Guinee, C. Delahunty, J. Murray, F.Crowe // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2000. – Vol. 13. – №1. – P. 13–26. DOI:10.1006/jfca.1999.0844

61. Ritvanen, T. Sensory evaluation, chemical composition and consumer acceptance of full fat and reduced fat cheeses in the Finnish market / T. Ritvanen, S. Lampolahti, L. Lilleberg, T. Tupasela, M. Isoniemi, U.Appelbye (et al) // *Food Quality and Preference*. – 2005. – Vol. 16. – №6. – P. 479–492. DOI:10.1016/j.foodqual.2004.10.00

62. Martin, C. Sensory properties linked to fat content and tasting temperature in Cottage cheese / C. Martin, R. Schoumacker, D. Bourjade, T. Thomas-Danguin, E. Guichard, J.-L. Le Quéré et al. // *Dairy Science & Technology*. – 2016. – Vol. 96. – №5. – P.735–746. DOI:10.1007/s13594-016-0301-6

63. Drake, M.A. Impact of fat reduction on flavor and flavor chemistry of Cheddar cheeses / M.A. Drake, R.E. Miracle, D.J. McMahon // *Journal of Dairy Science*. – 2010. – Vol. 93. – №11. – P. 5069- 5081. DOI:10.3168/jds.2010-3346

64. Manning, D. J. The production of sulphur compounds in Cheddar cheese and their significance in flavour development / D. J Manning, H. R.Chapman, Z. D. Hosking // *Journal of Dairy Research*. –1976. – Vol. 43. – №2. – P. 313-320. DOI:10.1017/s0022029900015879

65. Burbank, H. M. Volatile sulfur compounds in Cheddar cheese determined by headspace solid-phase microextraction and gas chromatograph-pulsed flame photometric detection / H. M. Burbank, M. C. Qian // *Journal of Chromatography A*. – 2005. – Vol. 1066. – №1-2. – P. 149–157. DOI:10.1016/j.chroma.2005.01.027

66. Bertuzzi, A. S. Detection of Volatile Compounds of Cheese and Their Contribution to the Flavor Profile of Surface-Ripened Cheese / A. S. Bertuzzi, P. L. H. McSweeney, M. C. Rea, K. N. Kilcawley // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2018. – Vol. 17. – №2. – P. 371–390. DOI:10.1111/1541-4337.12332
67. Manning, D.J. The analysis of volatile substances associated with Cheddar-cheese aroma / D.J. Manning, H. M. Robinson // *Journal of Dairy Research*. – 1973. – Vol. 40. – № 1. – P.63-75. DOI:10.1017/S0022029900014369
68. Khanal, B. K. S., Bansal N. Dairy fat replacement in low-fat cheese (LFC): a review of successful technological interventions // *Dairy Fat Products and Functionality: Fundamental Science and Technology*. – Switzerland: Springer Nature AG, 2020. – P. 549-581.
69. Чеботарев, А.И. Биохимические основы созревания сыров / А.И. Чеботарев. – Вологда: Вологодское книжное издательство, 1959. – 183 с.
70. Ganesan, B. Amino Acid Catabolism and Its Relationship to Cheese Flavor Outcomes // *Cheese (Fourth edition) Chemistry, Physics and Microbiology* / B. Ganesan, B. C. Weimer. – UK: Academic Press, 2017. – P. 483–516. DOI:10.1016/b978-0-12-417012-4.00019-3
71. Fox, P. F. *Fundamentals of Cheese Science* / Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., McSweeney, P. L. H. – New York: Springer, 2017. – 799 p. DOI:10.1007/978-1-4899-7681-9
72. Toelstede, S. Sensomics Mapping and Identification of the Key Bitter Metabolites in Gouda Cheese / S. Toelstede, T. Hofmann // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2008. – Vol. 56. – № 8. – P. 2795–2804. DOI:10.1021/jf7036533
73. Toelstede, S. Quantitative Studies and Taste Re-engineering Experiments toward the Decoding of the Nonvolatile Sensometabolome of Gouda Cheese / S. Toelstede, T. Hofmann // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2008. – Vol. 56. – №13. – P. 5299–5307. DOI:10.1021/jf800552n
74. Andersen, L. T. Study of taste-active compounds in the water-soluble extract of mature Cheddar cheese / L. T. Andersen, Y. Ardö, W. L. P. Bredie //



International Dairy Journal. – 2010. – Vol. 20. – №8. – P. 528–536.  
DOI:10.1016/j.idairyj.2010.02.009

75. Zhao, C. J. Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations – A review. / C. J. Zhao, A. Schieber, M. G. Gänzle // Food Research International. – 2016. – Vol. 89. – P. 39–47.  
DOI:10.1016/j.foodres.2016.08.042

76. Farkye, N.Y. Cheese. Chemistry, Physics and Microbiology (Fourth edition) / N.Y. Farkye T. P.Guinee // Low-fat and low-sodium chesses / N.Y. Farkye T. P.Guinee // Academic Press. – 2017. – Chapter 28. – P.699-714. ISBN 978-0-12-417012-4

77. Drake, S.L. Sources of umami taste in Cheddar and Swiss cheeses / S. L. Drake, M. E. C. Whetstine, M. A. Drake, P.Courtney, K.Fligner, J. Jenkins al // Journal of Food Science. – 2007. – Vol. 72. – №6. – P. 360–366.

78. Wadhvani, R. Color of low-fat cheese influences flavor perception and consumer liking / R. Wadhvani, D. J. McMahon // Journal of Dairy Science. – 2012. – Vol. 95. – №5. – P. 2336–2346. DOI:10.3168/jds.2011-5142

79. МакСуини, П.Л. Сыр. Научные основы и технологии. Том 2: Технологии основных групп сыров / Под.ред П.Л. МакСуини, П.Ф. Фокс, П.Д. Коттер, Д.У. Эверетт [перевод с англ.]. – СПб.: ИД Профессия, 2019. – 572 с

80. Caro, L. Composition, yield, and functionality of reduced-fat Oaxaca cheese: Effects of using skim milk or a dry milk protein concentrate / L. Caro, S. Soto, M.G. Franco // Journal of Dairy Science. – 2011. – Vol. 94. – №2. – P. 580-588.  
DOI:10.3168/jds.2010-3102

81. Edwards, J. Bitter compounds from Cheddar cheese / J. Edwards, F.V. Kosikowski // Journal Dairy Science. – 1983. – Vol. 66. – №4. – P. 727–734.  
DOI:10.3168/jds.S0022-0302(83)81851-7

82. Климовский, И.И. Биологические и микробиологические основы производства сыра / И.И. Климовский. – М: «Пищевая промышленность», 1966. – 207 с

83. Mistry, V. V. Low fat cheese technology / International Dairy Journal. – 2001. – Vol. 11. –№4-7. – P. 413–422. DOI:10.1016/S0958-6946(01)00077-2

84. Sadowska, J. Effect of fat content and storage time on the rheological properties of Dutch-type cheese / J. Sadowska, I. Białobrzewski, T. Jeliński, M. Markowski // *Journal of Food Engineering*. – 2009. – Vol. 94. – №3-4. – P. 254–259. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2009.03.015
85. Henneberry, S. Interactive effects of salt and fat reduction on composition, rheology and functional properties of mozzarella-style cheese / S. Henneberry, M. G. Wilkinson, K. N. Kilcawley, P. M. Kelly, T. P. Guinee // *Dairy Science & Technology*. – 2015. – Vol. 95. – P. 613–638. DOI:10.1007/s13594-015-0231-8
86. Johnson, M. E. Cheese: Low-fat and reduced-fat cheese. In book: J. W. Fuquay (Ed.), *Encyclopedia of Dairy Sciences*. San Diego, CA: Academic Press, 2011. – P. 833–842. DOI:10.1016/b978-0-12-374407-4.00098-4
87. Bryant, A. Texture of Cheddar Cheese as Influenced by Fat Reduction / A. Bryant, Z. Ustunol, J. Steffe // *Journal of Food Science*. – 1995. – Vol. 60. – №6. – P. 1216–1219. DOI:10.1111/j.1365-2621.1995.tb04559.x
88. Ma, L. Viscoelastic Properties of Reduced-fat and Full-fat Cheddar Cheeses / L. Ma, M. A. Drake, G. V. Barbosa-Cánovas, B. G. Swanson // *Journal of Food Science*. – 1996. – Vol. 61. – №4. – P. 821–823. DOI:10.1111/j.1365-2621.1996.tb12210.x
89. Rogers, N. R. The effect of aging on low-fat, reduced-fat, and full-fat cheddar cheese texture / N. R. Rogers, M. A. Drake, C. R. Daubert, D. J. McMahon, T. K., Bletsch, E. A. Foegeding // *Journal of Dairy Science*. – 2009. – Vol. 92. – №10. – P. 4756–4772. DOI:10.3168/jds.2009-2156
90. Sánchez-Macías, D. Physicochemical analysis of full-fat, reduced-fat and low-fat artisan-style goat cheese/ D. Sánchez-Macías, M. Fresno, I. Moreno-Indias, N. Castro, A. Morales-delaNuez et al // *Journal of Dairy Science*. – 2010. – Vol. 93. – №9. – P. 3950–3956. DOI:10.3168/jds.2010-3193
91. Emmons, D. B. Milk gel structure. X. Texture and microstructure in Cheddar cheese made from whole milk and from homogenized low-fat milk / D. B. Emmons, M. Kalab, E. Larmond, R. Lowrie // *Journal of Texture Studies*. – 1980. – Vol. 11. – №1. – P.15–34. DOI:10.1111/j.1745-4603.1980.tb00305.x

92. McCarthy, C. M. Effect of salt and fat reduction on proteolysis, rheology and cooking properties of Cheddar cheese / C. M. McCarthy, M. G. Wilkinson, P. M. Kelly, T. P. Guinee // *International Dairy Journal*. – 2016. – Vol. 56. – P. 74–86. DOI:10.1016/j.idairyj.2016.01.001
93. Drake, M. A. Reduced- and low-fat cheese technology: A review / M. A. Drake, B.G. Swanson // *Trends in Food Science & Technology*. – 1995. – Vol. 6. – №11. – P. 366-369. DOI: 10.1016/S0924-2244(00)89192-X
94. Küküköner, E. Physico-chemical and rheological properties of full fat and low fat Edam cheeses / E. Küküköner, Z. U. Haque // *European Food Research and Technology*. – 2003. – Vol. 217. – P. 281–286. DOI: 10.1007/s00217-003-0752-x
95. Свириденко, Г.М. Особенности подбора состава бактериальных заквасок для производства сыров с низкой температурой второго нагревания / Г.М. Свириденко, О.М. Шухалова // *Сыроделие и маслоделие*. – 2020. – №4. – С. 22-25.
96. Сборник технологических инструкций по производству полутвердых сыров ТИ ГОСТ 32260-2013. – ГНУ ВНИИМС, 2015. – 179 с.
97. Madadlou, A. Effect of cream homogenization on textural characteristics of low-fat Iranian white cheese / A. Madadlou, E. M Mousavi, A. Khosrowshahi, Z.Emam-Djome, M.Zargaran // *International Dairy Journal*. – 2007. – Vol. 17. – №5. – P. 547-554. DOI: 10.1016/j.idairyj.2006.07.006
98. Karaman, A. D. Improving quality characteristics of reduced and low fat Turkish white cheeses using homogenized cream / A. D. Karaman, A. S. Akalın // *LWT. Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 50. – №2. – P. 503–510. DOI:10.1016/j.lwt.2012.08.017
99. Deegan, K. C. Characterisation of the sensory properties and market positioning of novel reduced-fat cheese / K. C. Deegan, U. Holopainen, P. L. H. McSweeney, T. Alatossava, H. Tuorila // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2014. – Vol. 21. – P. 169–178. DOI:10.1016/j.ifset.2013.10.003
100. Banks J. M. The production of low fat Cheddar-type cheese / J. M. Banks, E. Y. Brechany, W. W. Christie // *International Journal of Dairy Technology*. – 1989. – Vol. 42. – №. 1. – P. 6-9. DOI:10.1111/j.1471-0307.1989.tb01699.x

101. Kosikowski, F.V., Mistry, V.V. Cheese and Fermented Milk Foods (third ed.). – LLC: Westport, CT, 1997. – 330 p.
102. ГОСТ 34372-2017. Закваски бактериальные для производства молочной продукции. Общие технические условия. – М: Стандартинформ, 2018. –18 с.
103. Свириденко, Г.М. Заквасочные микроорганизмы, как возможный источник органолептических пороков при производстве ферментируемых молочных продуктов / Г.М. Свириденко, О.М. Шухалова // Переработка молока. – 2019. – № 12. – С. 46-49.
104. Manno, M.T. Genetic and phenotypic features defining industrial relevant *Lactococcus lactis*, *L. cremoris* and *L. lactis* biovar. *diacetilactis* strains / M.T. Manno, F. Zuljan, S. Alarcon, L. Esteban, V. Blancato et al. // Journal of Biotechnology. – 2018. – Vol. 282. – №20. – P. 25-31. DOI:10.1016/j.jbiotec.2018.06.345
105. McCarthy, C. M., Wilkinson, M. G., Guinee, T. P. Effect of calcium reduction on the properties of half-fat Cheddar-style cheeses with full-salt or half-salt / C. M. McCarthy, M. G. Wilkinson, T. P. Guinee / International Dairy Journal. – 2017. – Vol. 73. – P. 38–49. DOI:10.1016/j.idairyj.2017.04.006
106. СТО ВНИИМС 043-2018. Сыр Качотта. Технические условия. – ВНИИМС – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им.В.М.Горбатова» РАН, 2018. – С. 31.
107. Ларионов, Г.А., Каюкова О.В., Щипцова Н.В. Разработка технологии производства сыра «Качотта» для фермерских хозяйств / Г.А. Ларионов, О.В. Каюкова, Н.В. Щипцова // Аграрная наука. – 2022. – Т.1. – №11. – С. 147-153. DOI:10.32634/0869-8155-2022-364-11-147-153
108. Khanal, B. K. S. Modifying textural and microstructural properties of low fat Cheddar cheese using sodium alginate / B. K. S. Khanal, B.Bhandari, S. Prakash, D.Liu, P.Zhou, N. Bansal // Food Hydrocolloids. – 2018. – Vol. 83. – P. 97–108. DOI:10.1016/j.foodhyd.2018.03.015
109. Ibáñez, R. A. Effect of pectin on the composition, microbiology, texture, and functionality of reduced-fat Cheddar cheese / R. A Ibáñez, D. S.Waldron, P. L. H.

McSweeney // *Dairy Science & Technology*. – 2015. – Vol. 96. – №3. – P. 297–316.  
DOI:10.1007/s13594-015-0265-y

110. Zhao, Yi. Application of different hydrocolloids as fat replacer in low-fat dairy products: Ice cream, yogurt and cheese / Yi. Zhao, H. Khalesi, J. He, Ya. Fang // *Food Hydrocolloids*. – 2023. – Vol. 138. – 108493.

DOI:10.1016/j.foodhyd.2023.108493.

111. Лепилкина, О.В. Сырные продукты с растительными жирами / О.В. Лепилкина. – М: Издательство Россельхозакадемии, 2009. – 182 с.

112. Błaszak, B. Carrageenan as a functional additive in the production of cheese and cheese-like products / B. Błaszak, G. Gozdecka, A. Shyichuk // *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. – 2018. – Vol. 17. – №2. – P. 107-116. DOI:10.17306/J.AFS.2018.0550

113. Karimi, R. Application of inulin in cheese as prebiotic, fat replacer and texturizer / R. Karimi, M. H. Azizi, M. Ghasemlou, M. Vaziri // *Carbohydrate Polymers*. – 2015. – Vol. 119. – P. 85–100. DOI:10.1016/j.carbpol.2014.11.029

114. Дымар, О.В. Повышение эффективности переработки молочных ресурсов. Научно-технологические аспекты / О.В. Дымар. – Минск: «Колорград», 2018. – 236 с.

115. Лосев, А.Н. Микропартикуляция творожной сыворотки / А. Н. Лосев, А.Н. Пономарев, Е.И. Мельникова, Е.Б. Станиславская // *Молочная промышленность*. – 2015. – № 9. – С. 42–43.

116. Schenkel, P. The effect of adding whey protein particles as inert filler on thermophysical properties of fat-reduced semihard cheese type Gouda / P. Schenkel, R. Samudrala, J. Hinrichs // *International Journal of Dairy Technology*. – 2013. – Vol. 66. – №2. – P. 220–230. DOI:10.1111/1471-0307.12036

117. Ipsen, R. Microparticulated whey proteins for improving dairy product texture / R. Ipsen // *International Dairy Journal*. – 2017. – Vol. 67. – P. 73–79. DOI:10.1016/j.idairyj.2016.08.009

118. Неберт, В.К. Производство Литовского сыра при использовании денатурированных сывороточных белков / В.К. Неберт, С.Д. Сахаров // *Молочная промышленность*. – 1975. – № 1. – С. 19-20.

119. Domingos, L. D. Fat reduction and whey protein concentrate addition alter the concentration of volatile compounds during Prato cheese ripening / L. D. Domingos, A. L. de Souza, L. R. B. Mariutti, M. de T., Benassi, N. Bragagnolo, W. H. Viotto // *Food Research International*. – 2018. – Vol. 119. DOI:10.1016/j.foodres.2018.10.062

120. Крашенинин, П.Ф., Влияние сывороточных белков и жира на структурно-механические свойства сырной массы / П.Ф. Крашенинин, В.П. Табачников, В.К. Неберт, С.Д. Сахаров, Н.К. Соколова // *Труды ВНИИМС: «Совершенствование технологии, техники и методов контроля в сыроделии»*. – Выпуск XVIII. – Москва: «Пищевая промышленность», 1975. – С. 37-41.

121. Baldwin, K. A. Evaluation of Yield and Quality of Cheddar Cheese Manufactured from Milk with Added Whey Protein Concentrate / K. A. Baldwin, R. J. Baer, J. G. Parsons, S. W. Seas, K. R. Spurgeon, G. S. Torrey // *Journal of Dairy Science*. – 1986. – Vol. 69. – №10. – P. 2543–2550. DOI:10.3168/jds.s0022-0302(86)80699-3

122. Lynch, K. M. Isolation and characterisation of exopolysaccharide-producing *Weissella* and *Lactobacillus* and their application as adjunct cultures in Cheddar cheese / K. M. Lynch, P. L. H. McSweeney, E. K. Arendt, T. Uniacke-Lowe, S. Galle, A. Coffey // *International Dairy Journal*. – 2013. – Vol. 34. – №1. – P. 125-134. DOI: 10.1016/j.idairyj.2013.07.013

123. Tungjaroenchai, W. Influence of Adjunct Cultures on Ripening of Reduced Fat Edam Cheeses / W. Tungjaroenchai, M.A. Drake // *Journal of Dairy Science*. – 2001. – Vol. 84. – №10. – P. 2117-2124. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(01)74656-5

124. Fenelon, M. A. Comparison of different bacterial culture systems for the production of reduced-fat Cheddar cheese / M. A. Fenelon, T. P. Beresford, T. P. Guinee // *International Journal of Dairy Technology*. – 2002. – Vol. 55. – № 4. – P. 194-203. DOI:10.1046/j.1471-0307.2002.00067.x

125. Ahmed, M. E. Influence of probiotic adjunct cultures on the characteristics of low-fat Feta cheese / M. E. Ahmed, K. Rathnakumar, N. Awasti, M. S. Elfaruk, A. R.

A. Hammam // *Food Science & Nutrition*. – 2021. – Vol. 9. – №3. – P. 1512–1520.  
DOI:10.1002/fsn3.2121

126. Broadbent, J. R. Influence of Adjunct Use and Cheese Microenvironment on Nonstarter Bacteria in Reduced-Fat Cheddar-Type Cheese / J. R. Broadbent, K. Houck, M. E. Johnson, C. J. Oberg // *Journal of Dairy Science*. – 2003. – Vol. 86. – №9. – P. 2773–2782. DOI:10.3168/jds.s0022-0302(03)73874-0

127. Asensio, C. Use of Heat-Shocked Mesophilic Lactic Acid Bacteria in Low-Fat Goat's Milk Cheesemaking / C. Asensio, L. Parra, C. Peláez, R. Gómez // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1996. – Vol. 44. – №9. – P. 2919–2923. DOI:10.1021/jf950617d

128. Katsiari, M. C. Improvement of sensory quality of low fat Kefalograviera-type cheese with commercial adjunct cultures / M. C. Katsiari, L. P. Voutsinas, E. Kondyli // *International Dairy Journal*. – 2002. – Vol. 12. – №9. – P. 757–764. DOI:10.1016/S0958-6946(02)00066-3

129. Kondyli, E. Free fatty acids and volatile compounds in low-fat Kefalograviera-type cheese made with commercial adjunct cultures / E. Kondyli, T. Massouras, M. Katsiari, L. Voutsinas // *International Dairy Journal*. – 2003. – Vol. 13. – №1. – P. 47–54. DOI:10.1016/S0958-6946(02)00144-9

130. Skeie, S. Improvement of the quality of low-fat cheese using a two-step strategy / S. Skeie, G. M. Alseth, H. Østlie, R. K. Abrahamsen, A. G. Johansen // *International Dairy Journal*. – 2013. – Vol. 33. – №2. – P. 153–162. DOI:10.1016/j.idairyj.2013.04.003

131. Ramzan, M. Evaluation of volatile flavouring compounds in Cheddar cheese, manufactured by using *Lactobacillus rhamnosus* as an adjunct culture / M. Ramzan, H. Nuzhat, M. Tita, O. Tita // *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. – 2010. – Vol. 16. – №2. – P. 188-195.

132. Ningtyas, D. W. Flavour profiles of functional reduced-fat cream cheese: Effects of  $\beta$ -glucan, phytosterols, and probiotic *L. rhamnosus* / D. W. Ningtyas, B. Bhandari, N. Bansal, S. Prakash // *LWT – Food Science and Technology*. – 2019. – Vol. 105. – P. 16-22. DOI:10.1016/j.lwt.2019.01.063

133. Tungjaroenchai, W. Influence of Adjunct Cultures on Volatile Free Fatty Acids in Reduced-Fat Edam Cheeses / W. Tungjaroenchai, C. H. White, W. E. Holmes, M. A. Drake // *Journal of Dairy Science*. – 2004. – Vol. 87. – №10. – P. 3224–3234. DOI:10.3168/jds.s0022-0302(04)73458-x

134. Milesi, M. M. Two strains of nonstarter Lactobacilli increased the production of flavor compounds in soft cheeses / M. M. Milesi, I. V. Wolf, C. V. Bergamini, E. R. Hynes // *Journal of Dairy Science*. – 2010. – Vol. 93. – №11. – P. 5020-5034. DOI:10.3168/jds.2009-3043

135. Zhang, X. The effects of *Lactobacillus plantarum* combined with inulin on the physicochemical properties and sensory acceptance of low-fat Cheddar cheese during ripening / X. Zhang, X. Hao, H. Wang, X. Li, L. Liu, W. Yang et al. // *International Dairy Journal*. – 2020. – 104947. DOI:10.1016/j.idairyj.2020.104947

136. Di Cagno, R. Use of microparticulated whey protein concentrate, exopolysaccharide-producing *Streptococcus thermophilus*, and adjunct cultures for making low-fat Italian Caciotta-type cheese / Di Cagno, I. De Pasquale, M. De Angelis, S. Buchin, C. G. Rizzello, M. Gobbetti // *Journal of Dairy Science*. – 2014. – Vol. 97. – №1. – P. 72–84. DOI:10.3168/jds.2013-7078

137. Stefanovic, E. Advances in the genomics and metabolomics of dairy lactobacilli: A review / E. Stefanovic, G. Fitzgerald, O. McAuliffe // *Food Microbiology*. – 2017. – Vol. 61. – P. 33–49. DOI: 10.1016/j.fm.2016.08.009

138. Broadbent, J. R. Genetic diversity in proteolytic enzymes and amino acid metabolism among *Lactobacillus helveticus* strains / J. R. Broadbent, H. Cai, R. L. Larsen, J. E. Hughes et al // *Journal of Dairy Science*. – 2011. – Vol. 94. – №9. – P. 4313-4328. DOI:10.3168/jds.2010-4068

139. Sadat-Mekmene, L. Simultaneous presence of PrtH and PrtH2 proteinases in *Lactobacillus helveticus* strains improves breakdown of the pure  $\alpha$ s1-casein / L. Sadat-Mekmene, J. Jardin, C. Corre, D. Mollé, R. Richoux, M.-M. Delage // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2011. – Vol. 77. – №1. – P. 179–186. DOI:10.1128/AEM.01466-10



140. Sadat-Mekmene, L. Original features of cell-envelope proteinases of *Lactobacillus helveticus*. A review / L. Sadat-Mekmene, M.Genay, D. Atlan, S. Lortal, V. Gagnaire // *International Journal of Food Microbiology*. – 2011. – Vol. 146. – №1. – P. 1-13. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2011.01
141. Елфимова, Г.А., Силаева В.М., Пятницкая М.В. Способ производства низкожирного сыра / А.с. № 1734639 А1 SU А23 С 19/032, 23.05.1992, бюл. №19 // Заявитель и патентообладатель: Алтайский филиал ВНИИМС.
142. Zaravela, A. Effect of adjunct starter culture on the quality of reduced fat, white, brined goat cheese: part I. Assessment of chemical composition, proteolysis, lipolysis, texture and sensory attributes / A. Zaravela, S. Kontakos, A. V. Badeka, M. G. Kontominas // *European Food Research and Technology*. – 2021. – Vol. 247. – №9. – P. 2211–2225. DOI:10.1007/s00217-021-03780-4
143. Garbowska, M. The Impact of the Adjunct Heat-Treated Starter Culture and *Lb. helveticus* LH-B01 on the Proteolysis and ACE Inhibitory Activity in Dutch-Type Cheese Model during Ripening / M. Garbowska, A. Berthold-Pluta, L.Stasiak-Różańska, A.Pluta, // *Animals*. – 2021. – Vol.11. – P. 2699. DOI:10.3390/ani11092699
144. Law, B. A. Controlled and accelerated cheese ripening: the research base for new technology / B. A. Law // *International Dairy Journal*. – 2001. – Vol. 11. – №4-7. – P.383–398. DOI:10.1016/s0958-6946(01)00067-x
145. Garbowska, M. Changes during ripening of reduced-fat Dutch-type cheeses produced with low temperature and long time (LTLT) heat-treated adjunct starter culture / M. Garbowska, A. Pluta, A. Berthold-Pluta // *Food Science and Technology*. – 2016. – Vol. 69. – P. 287-294. DOI:10.1016/j.lwt.2016.01.044
146. Johnson, J. A. C. Accelerated Ripening of Reduced-Fat Cheddar Cheese Using Four Attenuated *Lactobacillus helveticus* CNRZ-32 Adjuncts / J. A. C. Johnson, M. R. Etzel, C. M. Chen, M. E. Johnson // *Journal of Dairy Science*. – 1995. – Vol. 78. – №4. – P. 769–776. DOI:10.3168/jds.s0022-0302(95)76688-7
147. Gürsoy, A. Effect of Using Attenuated Lactic Starter Cultures on Lipolysis and Proteolysis in Low Fat Kaşar Cheese / A. Gürsoy // *Journal of Agricultural Sciences*. – 2009. – Vol. 15. – №3. – P. 285-292. DOI:10.1501/Tarimbil\_0000001102

148. Hassan, A. N. Application of exopolysaccharide-producing cultures in reduced-fat Cheddar cheese: cryo-scanning electron microscopy observations / A. N. Hassan, S. Awad // *Journal of Dairy Science*. – 2005. – Vol. 88. – №12. – P. 4214-4220. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(05)73107-6
149. Bruinenberg, P. Innovations in dairy cultures and enzymes / P. Bruinenberg, B. Savage, A. Zourari [et al] // *Australian Journal of Dairy Technology*. – 2010. – Vol. 65. – №3. – P. 159-161.
150. Ayyash, M. Rheological, textural, microstructural and sensory impact of exopolysaccharide-producing *Lactobacillus plantarum* isolated from camel milk on low-fat akawi cheese / M. Ayyash, B. Abu-Jdayil, F. Hamed, R. Shaker // *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. – 2018. – Vol. 87. – P. 423–431. DOI:10.1016/j.lwt.2017.09.023
151. Oluk, A. C. Proteolysis texture and microstructure of low-fat Tulum cheese affected by exopolysaccharide-producing cultures during ripening / A. C. Oluk, M.Güven, A. A. Hayaloglu // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2013. – Vol. 49. – №2. – P. 435–443. DOI:10.1111/ijfs.12320
152. Ryan, P. M. Reduced-fat Cheddar and Swiss-type cheeses harboring exopolysaccharide-producing probiotic *Lactobacillus mucosae* DPC 6426 / P. M. Ryan, Z. Burdíkóvá, T. Beresford, M. A. E. Auty, G. F. Fitzgerald, R. P. Ross et al. // *Journal of Dairy Science*. – 2015. – Vol. 98. – №12. – P. 8531–8544. DOI:10.3168/jds.2015-9996
153. Wang, J. Manufacture of low-fat Cheddar cheese by exopolysaccharide-producing *Lactobacillus plantarum* JLK0142 and its functional properties / J. Wang, T. Wu, X. Fang, Z. Yang // *Journal of Dairy Science*. – 2019. – Vol. 102. – №5. – P. 3825-3838. DOI:10.3168/jds.2018-15154
154. Şanlı, T. The effect of using an exopolysaccharide-producing culture on the physicochemical properties of low-fat and reduced-fat Kasar cheeses / T.Şanlı, A. Gursel, E.Şanlı, E.Acar, M.Benli // *International Journal of Dairy Technology*. – 2013. – Vol. 66. – №4. – P. 535- 542. DOI:10.1111/1471-0307.12071

155. Dias, B. Production of volatile sulfur compounds in Cheddar cheese slurries. / B.Dias, B.Weimer // *International Dairy Journal*. – 1999. – Vol. 9. – № 9. – P. 605–611. DOI: 10.1016/S0958-6946(99)00130-2
156. Wolf, I.V. The role of propionibacteria in the volatile profile of Pategrás cheeses / I.V. Wolf, G.H.Peralta, M. Candioti, M. C. Perotti // *Dairy Science and Technology*. – 2016. – Vol. 96. – P. 551–567. DOI:10.1007/s13594-016-0289-y
157. Yee, A. L. Great interspecies and intraspecies diversity of dairy Propionibacteria in the production of cheese aroma compounds / A. L. Yee, M.-B. Maillard, N. Roland, V. Chuat et al. // *International Journal of Food Microbiology*. – 2014. – Vol. 191. – P. 60–68. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2014.09
158. Уманский, М.С. Селективный липолиз в биотехнологии сыра. – Барнаул, 2000. – 245 с.
159. Thierry, A. New insights into physiology and metabolism of *Propionibacterium freudenreichii*. / A. Thierry, S.-M. Deutsch, H. Falentin, M. Dalmaso, F. J. Cousin, G. Jan // *International Journal of Food Microbiology*. – 2011. – Vol. 149. – №1. – P. 19-27. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2011.04.026
160. Остроумов, Л. А. Физиолого-биохимические свойства пропионовокислых бактерий, выделенных из Советского сыра / Л.А. Остроумов, Е. Ф. Отт, А. Н. Шлегель // Сб. науч. трудов ВНИИМС: «Технология сыра и техника сыроделия». – Москва: «Пищевая промышленность», 1982. – С. 72–75
161. Park, H. S. Growth of propionibacteria at low temperatures / H. S. Park, G. W. Reinbold, E. G. Hammond, W. S. Clark // *Journal of Dairy Science*. – 1967. – Vol. 50. – №4.– P. 589–591. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(67)87474-5
162. Sheehan, J. J. Influence of processing and ripening parameters on starter, non-starter and propionic acid bacteria and on the ripening characteristics of semi-hard cheeses / J. J. Sheehan, M. G. Wilkinson, P. L.H. McSweeney // *International Dairy Journal*. – 2008. – Vol. 18. – №9. – P. 905–917. DOI:10.1016/j.idairyj.2007.11.024
163. Thierry, A. The Addition of *Propionibacterium freudenreichii* to Raclette Cheese Induces Biochemical Changes and Enhances Flavor Development / A. Thierry,

M.-B. Maillard, P. Bonnarne, E. Roussel // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2005. – Vol. 53. – №10. – P. 4157–4165. DOI:10.1021/jf0481195

164. Fernandez-Espla, M. D. Effect of adding *Propionibacterium shermanii* NCDO 853 or *Lactobacillus casei* ssp. *casei* IFPL 731 on proteolysis and flavor development of Cheddar cheese / M. D. Fernandez-Espla, P. F. Fox // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1998. – Vol. 46. – №4. – P. 1228-1234. DOI:10.1021/jf970535k

165. Özer, E. The effect of using different starter culture combinations on ripening parameters, microbiological and sensory properties of Mihaliç cheese / E. Özer, H. Kesenkaş // *Journal of Food Science and Technology*. – 2019. – Vol. 56. – №3. – P. 1202–1211. DOI:10.1007/s13197-019-03583-2

166. Skeie, S. Addition of liposome-encapsulated enzymes SP446 and flavourzyme to low fat (10% fat) Gouda-type cheese / S. Skeie, J. A. Narvhus, R. K. Abrahamsen // *Milchwissenschaft*. – 1995. – Vol. 50. – №. 3. – P. 134-138.

167. Bas, D. Production of enzyme-modified cheese (EMC) with ripened white cheese flavour: I-effects of proteolytic enzymes and determination of their appropriate combination / D. Bas, P. Kendirci, P. Salum, G. Govce, Z. Erbay // *Food and Bioproducts Processing*. – 2019. – Vol. 117. – P. 287–301. DOI:10.1016/j.fbp.2019.07.016

168. Gao, P. Chemical and Flavor Characteristics of Enzyme-Modified Cheese Made by Two-Stage Processing / P. Gao, Y. Su, W. Zhang, X. Pang, N. Xie, M. Zhang et al // *Gels*. – 2022. – Vol. 8. – №3. – P. 160. DOI:10.3390/gels8030160

169. Moschopoulou, E. Microbial Non-Coagulant Enzymes Used in Cheese Making. Глава в книге: *Microbial Cultures and Enzymes in Dairy Technology*. – США: Издательство IGI Global, 2018. – 18 p. DOI:10.4018/978-1-5225-5363-2.ch011

170. Roberto, J. C. Use of an Exogenous Carboxypeptidase to Accelerate Proteolysis in Reggiano Cheese / J. C. Roberto, B. P. María, R. Elisabet, R. Laura, C.R. Amelia, A. S. Guillermo // *Czech Journal of Food Sciences*. – 2016. – Vol. 34. – №5. – P. 445–455. DOI:10.17221/567/2015-cjfs

171. Kilcawley, K. N. Evaluation of commercial enzyme systems to accelerate Cheddar cheese ripening / K. N. Kilcawley, A. B. Nongonierma, J. A. Hannon, I. A. Doolan, M. G. Wilkinson // *International Dairy Journal*. – 2012. – Vol. 26. – № 1. – P. 50-57. DOI:10.1016/j.idairyj.2012.03.015
172. Свириденко, Ю.Я. Перспективная технология управления созреванием сыров методами биотехнологии / Ю.Я. Свириденко // *Сыроделие и маслоделие*. – 2016. – № 3. – С.41-43.
173. Chandra, P. Microbial lipases and their industrial applications: a comprehensive review / P. Chandra, Enespa, R. Singh, P. K. Arora // *Microbial Cell Factories*. – 2020. – Vol. 19. – №1. – P. 169. DOI:10.1186/S12934-020-01428-8
174. Trani, A. Enzymes Applications for the Dairy Industry. In book: *Advances in Dairy Products*/ A. Trani. – John Wiley & Sons Ltd., 2017. – P. 163-175.
175. Zhao, J. Expression and characterization of a novel lipase from *Bacillus licheniformis* NCU CS-5 for application in enhancing fatty acids flavor release for low-fat cheeses / J. Zhao, M. Ma, X. Yan, G. Zhang, J. Xia, G. Zeng et al // *Food Chemistry*. – 2022. – Vol. 368. – 130868. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.13086
176. Kendirci, P. Production of enzyme-modified cheese (EMC) with ripened white cheese flavour: II- Effects of lipases / P. Kendirci, P. Salum, D. Bas, Z. Erbay // *Food and Bioproducts Processing*. – 2020. – Vol. 122. – P. 230-244. DOI:10.1016/j.fbp.2020.05.010
177. Белов, А.Н. Некоторые аспекты управления созреванием сыров / А.Н.Белов // *Сб. науч. работ «Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов»*. – Вып. 2. – Кемерово, 2001.
178. Кригер, А.В. Влияние прегастральной липазы на созревание сыра / А.В.Кригер, А.Н. Белов // *Сыроделие и маслоделие*. – 2010. – №2. – С. 34-35.
179. Стурова, Ю.Г. Влияние прегастральных липаз на качество сыра и содержание в нем жирных кислот / Ю.Г. Стурова, А.В.Гришкова, Л.Е. Мелешкина // *Сыроделие и маслоделие*. – 2020. – №1. – С. 16-19

180. Wilkinson, M. G. Effects of commercial enzymes on proteolysis and ripening in Cheddar cheese / M. G. Wilkinson, T. P. Guinee, D. M. O'Callaghan, P. F. Fox // *Le Lait*.–1992.– Vol. 72.–№5.– P. 449-459. DOI: 10.1051/lait:1992533
181. Karaca, O. B. Effects of Proteolytic and Lipolytic Enzyme Supplementations on Lipolysis and Proteolysis Characteristics of White Cheeses / O. B. Karaca, M. Güven // *Foods*. – 2018. – Vol. 7. – №8. – 125. DOI:10.3390/foods7080125
182. Kocak, C. Effect of added fungal lipase on ripening of Kasar cheese / C. Kocak, A. Bitils, A. Gursel, Y. Avsar // *Milchwissenschaft*. – 1996. – Vol. 51. – №1 – P. 13-16.
183. Hernández, I. Assessment of industrial lipases for flavour development in commercial Idiazabal (ewe's raw milk) cheese // I. Hernández, M. de Renobales, M. Virto, F. J. Pérez-Elortondo, L. J. R. Barron et al // *Enzyme and Microbial Technology*. – 2005. – Vol. 36. – №7. – P. 870–879. DOI:10.1016/j.enzmictec.2004.12.0
184. Settanni, L. Non-starter lactic acid bacteria used to improve cheese quality and provide health benefits / L. Settanni, G. Moschetti // *Food Microbiology*. – 2010. – Vol. 27. – №6. – P. 691–697. DOI:10.1016/j.fm.2010.05.023
185. Martínez-Cuesta, M. C. Enzymatic ability of *Lactobacillus casei* subsp. *casei* IFPL731 for flavour development in cheese / M. C. Martínez-Cuesta, P. Fernández de Palencia, T.Requena, C. Peláez // *International Dairy Journal*. – 2001. – Vol. 11. – №8. – P. 577-585. DOI:10.1016/S0958-6946(01)00046-2
186. Свириденко, Г. М. Лейконостоки как газо-ароматообразующий компонент бактериальных заквасок для ферментированных молочных продуктов, в том числе сыров / Г. М. Свириденко, О. М. Шухалова // *Молочная промышленность*. – 2019.– № 7. – С. 16-19.
187. Свириденко, Г.М. Диацетильный лактококк как компонент бактериальных заквасок для ферментированных молочных продуктов, в том числе сыров / Г.М. Свириденко, О.М. Шухалова // *Молочная промышленность*. – 2019.– № 8. – С.21-24.
188. Kihal, M. Carbon dioxide production by *Leuconostoc mesenteroides* grown in single and mixed culture with *Lactococcus lactis* in skimmed milk / M. Kihal, H.

Prevost, D.E. Henni, Z. Benmechernene, C. Divies // *World Journal of Dairy and Food Sciences*. – 2007. – Vol. 2. – №2. – P. 62–68.

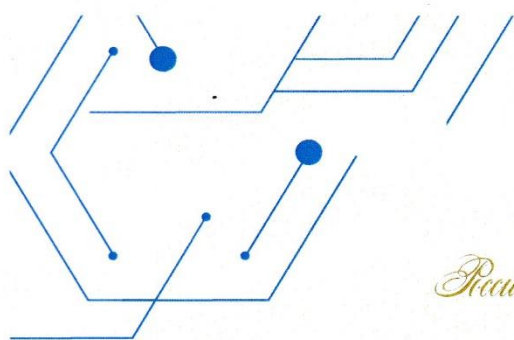
189. Holland, R. Lactic Acid Bacteria. *Leuconostoc* spp. *Encyclopedia of Dairy Sciences* // Holland R., Liu.- S.-Q. – 2011. – P. 138–142.

190. Pedersen, T. B. Effect of heterofermentative lactic acid bacteria of DL-starters in initial ripening of semi-hard cheese / Pedersen T. B., Vogensen F. K., Ardö Y. // *International Dairy Journal*. – 2016. – Vol. 57. – P. 72–79. DOI:10.1016/j.idairyj.2016.02.041

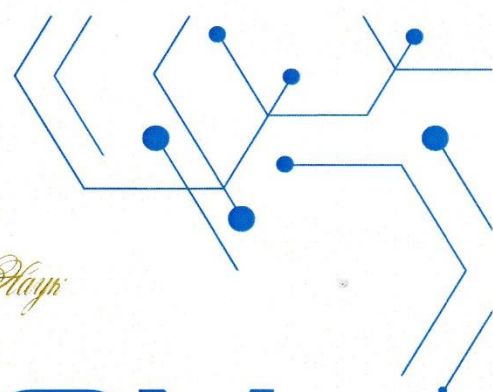
191. Watkinson, P Effect of cheese pH and ripening time on model cheese textural properties and proteolysis / P.Watkinson, C.Coker, R. Crawford, C. Dodds, K.Johnston et al // *International Dairy Journal*. – 2001. – Vol. 11. – № 4-7. – P. 455–464. DOI:10.1016/s0958-6946(01)00070-x

192. Andersen, L. T. Study of taste-active compounds in the water-soluble extract of mature Cheddar cheese / L. T. Andersen, Y. Ardö, W. L. P. Bredie // *International Dairy Journal*. – 2010. – Vol. 20. – №8. – P. 528–536. DOI:10.1016/j.idairyj.2010.02.009

193. Ochi, H. Metabolomics-based component profiling of hard and semi-hard natural cheeses with gas chromatography/time-of-flight-mass spectrometry, and its application to sensory predictive modeling / H. Ochi, H. Naito, K. Iwatsuki, T. Bamba, E. Fukusaki // *Journal of Bioscience and Bioengineering*. – 2012. – Vol. 113. – №6. – P. 751–758. DOI:10.1016/j.jbiosc.2012.02.006



*Российская Академия Наук*



# ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

**Вахрушева Дарья  
Сергеевна**

ЗА ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ РАБОТУ  
В РАМКАХ XV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

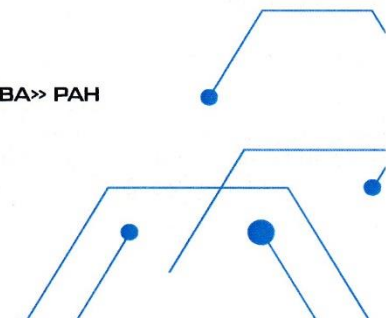
**«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И СОВРЕМЕННЫЕ  
РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ»**

Вице-президент РАН, академик

И.М. Донник

ФГБНУ «ФНЦ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ ИМ. В.М. ГОРБАТОВА» РАН

20-22 СЕНТЯБРЯ 2022  
МОСКВА





---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ  
им. В.М. ГОРБАТОВА» РАН

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ МАСЛОДЕЛИЯ И СЫРОДЕЛИЯ –  
ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ им. В.М. ГОРБАТОВА» РАН  
**(ВНИИМС – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН)**

---



**С Т А Н Д А Р Т  
В Н И И М С**

**СТО ВНИИМС 058–2023**

---

**СЫРЫ ПОНИЖЕННОЙ ЖИРНОСТИ  
ДИЕТИЧЕСКИЕ  
Технические условия**

Углич  
Ярославская область  
2023

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ МАСЛОДЕЛИЯ И СЫРОДЕЛИЯ –  
ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ им. В.М. ГОРБАТОВА» РАН  
(ВНИИМС – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН)



УТВЕРЖДАЮ

Директор ВНИИМС

Е.В. Топникова

» \_\_\_\_\_ 2023 г.

## СЫРЫ ПОНИЖЕННОЙ ЖИРНОСТИ ДИЕТИЧЕСКИЕ

Технологическая инструкция  
ТИ СТО ВНИИМС 058-2023

(Разработана впервые)

Дата введения в действие – 15.04.2023 г.

РАЗРАБОТАНО

ВНИИМС

Зам. директора по научной работе

А.В. Дунаев

Ведущий научный сотрудник, руководитель  
направления исследований по технологии сыроде-  
лия и переработке сыворотки

В.А. Мордвинова

Старший научный сотрудник отдела сыроделия

И.Н. Делицкая

Младший научный сотрудник отдела микробиоло-  
гии

Д.С. Вахрушева

Научный сотрудник, руководитель направления  
исследований по стандартизации и метрологии

Н.Н. Оносовская

152613 г. Углич, Ярославская обл.  
Красноармейский б-р, д.19

УТВЕРЖДАЮ:  
 Директор АО «Маслосырзавод  
 «Починковский»  
 Рубцова Елена Борисовна  
 15 мая 2023 г.



### А К Т

#### опытно-промышленной проверки технологического процесса выработки полутвердого сыра пониженной жирности

Мы, ниже подписавшиеся, гл. технолог Гришаева Т. Ф., менеджер по контролю качества и безопасности продукции Яшков М. В., с одной стороны, и старший научный сотрудник отдела сыроделия ВНИИМС, к.т.н. Остроухова И. Л., младший научный сотрудник отдела микробиологии ВНИИМС Вахрушева Д.С., с другой стороны, составили настоящий акт о том, что 15 мая 2023 г. в условиях сыродельного цеха ООО «Сыродельный комбинат Ичалковский» проведена выработка сыра с массовой долей жира в сухом веществе 30 %. Выработка проводилась в соответствии с СТО ВНИИМС 058–2023 «Сыры пониженной жирности Диетические. Технические условия».

Для выработки сыра использовали молоко-сырье, отвечающее требованиям СТО ВНИИМС 019-2019. Для выработки использовали нормализованную молочную смесь в количестве 3000 л с массовой долей жира 1,7 % и титруемой кислотностью – 17,5 °Т. В подготовленную к свертыванию смесь при температуре (31±1) °С вносили раствор кальция хлористого с расчетом 25 г/100 кг молока, производственную бактериальную закваску в дозе 1,4 % от объема молока и сычужный молокосвертывающий фермент в дозе 2 г/100л молока.

Для выработки сыра использовали 3 вида производственных заквасок: поливидовая закваска на основе мезофильных лактококков *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Lactococcus cremoris* – 0,6 %, моновидовая закваска *Lactococcus lactis subsp. diacetylactis* – 0,4 % и моновидовая закваска *L. casei* в дозе 0,4 %.

Продолжительность свертывания молока составила 40 минут, длительность процессов разрезки, постановки и обработки зерна до начала второго нагревания – (20±5) минут. Второе нагревание осуществляли в течении 25 минут до температуры (37±1) °С. Длительность вымешивания после второго нагревания составила 20 минут. Сыры формовались из пласта. Масса головки после прессования (5,0±0,2) кг. Посолка сыров осуществлялась в рассоле с концентрацией хлористого натрия (20±1) % и температурой (9±1) °С в течение (23±1) часов. После посолки и обсушки сыры помещались в камеру созревания с температурой воздуха (11±1) °С на 60 суток.

Выработана партия сыра в количестве 250 кг с массовой долей жира в сухом веществе 30 %.

Сыры в возрасте 60 суток имели следующие органолептические показатели:

- вкус и запах выраженный сырный, слабый кислый с легкой остротой (44 балла);
- консистенция эластичная (24 балла);
- рисунок равномерный с глазками правильной округлой формы (диаметром до 5 мм) (10 баллов).

Заключение:

На основании проведенных выработок установлено:

1. Технология сыра с редуцированной калорийностью хорошо воспроизводима в условиях современного сыродельного производства.
2. Сыр, выработанный по данной ТИ СТО ВНИИМС 019-2019, обладает высокими потребительскими свойствами, заложенными в документе.

Анализ технологического процесса проведенной выработки, а также физико-химические и органолептические показатели зрелых сыров позволяют сделать вывод о хорошей воспроизводимости разработанной технологии в условиях современного промышленного производства, позволяющей получить сыры, отвечающие требованиям разработанного документа СТО ВНИИМС 058–2023 «Сыры пониженной жирности Диетические. Технические условия».

Гл. технолог

Гришаева Т.Ф.

Менеджер по контролю качества и безопасности продукции

Яшков М.В.

Старший научный сотрудник ВНИИМС, к.т.н.

Остроухова И.Л.

Младший научный сотрудник ВНИИМС

Вахрушева Д.С.