

Применение микропартикулята сывороточных белков в технологии полутвердых сыров

Мельникова Елена Ивановна

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Адрес: 394036, город Воронеж, проспект Революции, дом 19
E-mail: melnikova@molvest.ru*

Станиславская Екатерина Борисовна

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Адрес: 394036, город Воронеж, проспект Революции, дом 19
E-mail: tereshkova-katia@yandex.ru*

В данной работе описываются исследования, подтверждающие возможность использования микропартикулята сывороточных белков в технологии полутвердых сыров типа «Российского». Внесение микропартикулята в нормализованную смесь изменяло ее состав, что оказывало негативное влияние на процесс сычужного свертывания, увеличивало продолжительность коагуляции и снижало прочность сгустка. Относительное значение прочности сгустка обосновывает целесообразность использования не более 10% микропартикулята в составе нормализованной молочной смеси. Для получения стандартной продолжительности сычужного свертывания, а также уплотнения сгустка предложены следующие технологические параметры: температура свертывания 35°C, pH 6,4, доля молокосвертывающего ферментного препарата 0,04%, хлорида кальция – 40 г безводной соли на 100 кг нормализованной молочной смеси. При формировании сычужного сгустка частицы микропартикулята проникают внутрь ее ячеек. Для того чтобы частицы микропартикулята не перешли в сыворотку, значение их среднего диаметра должно быть в интервале 0,5–10 мкм. Формирование необходимого диапазона размеров частиц микропартикулята возможно путем направленного изменения технологических параметров микропартикуляции (температуры и интенсивности механического воздействия). На основании данных о содержании растворимого азота показано интенсифицирующее действие микропартикулята на созревание сыра. Готовый продукт характеризовался более высокой массовой долей влаги в сравнении с контролем. Этот факт в совокупности с более высоким содержанием сывороточных белков способствует увеличению выхода сыра. Разработанная технология сычужного полутвердого сыра «Российский» с микропартикулятом сывороточных белков позволяет заменить часть дорогостоящих сырьевых компонентов продуктом модификации сыворотки, а следовательно, вернуть побочное сырье в основное производство.

Ключевые слова: сыворотка; сывороточные белки; микропартикулят сывороточных белков; сыр; сычужная коагуляция; синерезис; созревание сыра

Введение

В условиях увеличения мировой численности населения, роста уровня загрязнения окружающей среды, нерационального использования природных ресурсов актуальной задачей является обеспечение населения безопасными и полноценными продуктами питания. Согласно данным ВОЗ, около 10% населения Земли испытывают дефицит питания (Калинин, 2016). Такая ситуация диктует необходимость поиска новых сырьевых источников, создания и реализации инновационных ресурсосберегающих технологий.

Литературный обзор

К одной из важных задач мировой пищевой промышленности относится переработка побочных продуктов. Для молочной отрасли таким продуктом является сыворотка. Ежегодные ее сбросы оказывают огромный ущерб окружающей среде. Молочная сыворотка характеризуется крайне высокими значениями показателей биохимического и химического потребления кислорода: БПК – 40–60 мг/л, ХПК – 50–80 мг/л. Антропогенный вред, наносимый неконтролируемыми сбросами сыворотки, в 100–175 раз превышает аналогичное воздействие бытовых сточных вод (Talha, 2019).

Ежегодное мировое производство сыворотки оценивается примерно в 190 млн т (Barukčić, 2019). Для Российской Федерации эта цифра находится на уровне 7 млн т и имеет ежегодную тенденцию к увеличению (Рисунок 1). В отличие от стран Европы и США рациональное использование сыворотки в России находится на низком уровне. Около 20% ее подвергается промышленной переработке, а остальная часть используется для кормления сельскохозяйственных животных или сбрасывается в канализацию (Михалева, 2018). Вместе с тем, молочная сыворотка является ценным источником нутриентов и характеризуется высоким потенциалом использования различными отраслями пищевой промышленности и фармакологии (Ramos, 2016).

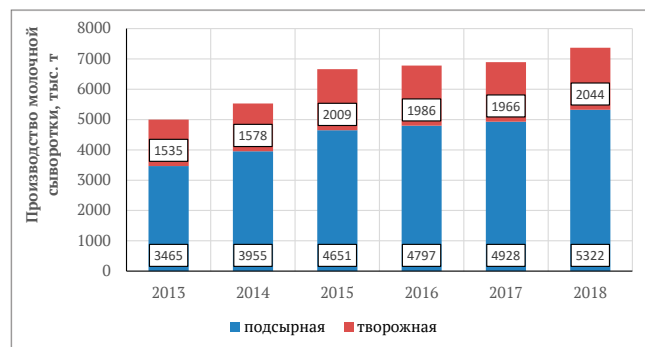


Рисунок 1. Производство молочной сыворотки в Российской Федерации.

Наиболее ценными компонентом сыворотки являются белки. Они выполняют многочисленные функции в организме человека, а их технофункциональные свойства многообразны и имеют широкий спектр применения в пищевом производстве (Castro, 2017). Одним из инновационных направлений реализации высокого биотехнологического потенциала сывороточных белков является модификация их состава и свойств с помощью процесса микропартикуляции. Эффективное сочетание тепловой и механической обработки позволяет получить пищевую композицию с уникальными свойствами, имитирующими органолептический профиль молочного жира (Olivares, 2019; Kelly, 2019; Ipsen, 2017).

Такой подход открывает широкие возможности для реализации молочной сыворотки в технологии продуктов питания, и прежде всего, ее наиболее ценной части – сывороточных белков.

Теоретическое обоснование

Известно применение микропартикулятов подсырной и творожной сыворотки как в Российской Федерации, так и за рубежом. Высокую эффективность показало их использование в производстве кисломолочных напитков (йогуртов (Torres, 2016, Torres, 2018), кефира (Мельникова, 2018)), позволяющее модифицировать их реологические свойства; в составе творога (Melnikova, 2017), увеличивая выход продукта. Большой научный и практический интерес приобретает применение микропартикулята в технологии сыров. В некоторых исследованиях приводятся сведения об эффективности применения микропартикулята торговой марки Simplese в технологии нежирных сыров: термокислотного (Дымар, 2014) и мягких кислотно-сычужного и рассольного (Смирнова, 2014). Отмечается повышение выхода продукта, а также положительное влияние на органолептические характеристики. Сыры характеризуются более мягкой, сливочной консистенцией, приближенной к полножирным продуктам. В работах (Di Cagno, 2014; Sturaro, 2015) отмечается увеличение массовой доли влаги и выхода итальянского сыра «Качотта» при добавлении микропартикулята. Актуально исследование возможности использования микропартикулята в технологии полутвердых сыров как наиболее востребованного сегмента российского рынка.

Цель работы – совершенствование технологии полутвердых сыров для применения микропартикулята сывороточных белков. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- изучить влияние микропартикулята на процесс сычужного свертывания и качество стустка;
- подобрать рациональную массовую долю микропартикулята для использования в рецептуре полутвердого сыра;
- усовершенствовать технологические параметры производства полутвердых сыров с учетом применения микропартикулята;
- изучить влияние микропартикулята сывороточных белков на процесс созревания полутвердого сыра «Российского»;
- определить влияние микропартикулята сывороточных белков на показатели качества и хранимостпособность «Российского» сыра.

Исследование

В качестве объектов исследования рассматривали подсырную сыворотку, полученную при производстве сыров «Российского», «Калачеевского» и «Тильзитер» в условиях сыродельного завода «Калачеевский» (г. Калач, Воронежская область, РФ), микропартикулят сывороточных белков, выработанный на основе подсырной сыворотки, а также сыр сычужный полутвердый, произведенный по технологии сыра «Российского». В качестве технологически вспомогательных средств применяли заквасочные культуры мезофильных лактококков (*Lac. lactis*, *Lac. cremoris*) и молочнокислых палочек (*Lb. plantarum*, *Lb. casei*, *Lb. bulgaricus*), ферментный препарат производства компании Chr. Hansen, а также раствор хлористого кальция с массовой долей 40%. Процесс микропартикуляции подсырной сыворотки проводили в аппаратном цехе ПАО Молочный комбинат «Воронежский» (г. Воронеж, РФ). Технология получения микропартикулята включала очистку подсырной сыворотки от казеина и жира, ультрафильтрацию, а также термомеханическую обработку. Полученный микропартикулят использовали для получения опытных образцов нормализованной молочной смеси для производства сыра. Для этого часть обезжиренного молока заменяли микропартикулятом в количестве от 5 до 20 масс.%. Сыр выработывали согласно стандартной последовательности операций (МакСуини, 2019).

Пробы объектов исследования отбирали и подготавливали к анализам в соответствии со стандартом ISO 707:2008 (IDF 50: 2008) Milk and milk products. Guidance on sampling. Оценку органолептических показателей проводили в соответствии со стандартом ISO 22935-2:2009 Milk and milk products. Sensory analysis. Part 2: Recommended methods for sensory evaluation.

Таблица 1

Качественные показатели объектов исследования

Наименование показателя	Значение показателя	
	для нативной подсырной сыворотки	для микропартикулята сывороточных белков
Массовая доля сухих веществ, %	6,3 – 6,8	14,3 – 14,4
Массовая доля белка, %	0,43 – 0,9	7,5 – 7,6
Массовая доля жира, %	менее 0,05	0,07 – 0,08
Массовая доля лактозы, %	4,0 – 4,7	4,6 – 4,7
Молочная кислота, %	0,16 – 0,20	0,36 – 0,4
Массовая доля кальция, мг%	96,5 – 97,2	128 – 132
Титруемая кислотность, °T	15 – 19	21 – 22
Вязкость, мПа·с	1,5 – 1,6	12,5 – 13,2

Показатели состава объектов исследования, их физико-химические свойства определяли в соответствии с Российскими стандартами. Определение массовой доли белка проводили методом Кьельдаля, лактозы – методом Бертрона, жира – кислотным методом Гербера. С целью определения общей концентрации кальция в молочном сырье применяли комплексонометрический метод (Меркулова, 2017). Исследование процесса сычужного свертывания осуществляли по методике, описанной в ГОСТ ISO 11815-2015 Молоко. Определение общей молокосвертывающей активности говяжьего сычужного фермента. Определение динамической вязкости проводили методом камертонной вибрации на виброскозиметре SV-10. Относительную прочность сгустка определяли как отношение предельного напряжения сдвига опытного образца к контрольному. Предельное напряжение сдвига оценивали с помощью пенетromетра. Математическую обработку эксперимента проводили методами математической статистики по данным 5-10 опытов в трехкратной последовательности. Графические зависимости на рисунках представлены после обработки экспериментальных данных по методу наименьших квадратов.

Результаты и их обсуждение

Основой для получения «Российского» сыра является нормализованная молочная смесь. В ходе исследований часть обезжиренного молока в нормализованной молочной смеси заменяли микропартикулятом подсырной сыворотки (Таблица 1).

Внесение микропартикулята в нормализованную смесь изменяло ее состав, в частности, такие

важные показатели для сыроделия, как соотношение белковых фракций, отношение жира к белку и другие (Таблица 2).

Увеличение доли микропартикулята повышало продолжительность сычужного свертывания (Рисунок 2) и способствовало размягчению сычужного сгустка (Рисунок 3).

Для более полного понимания влияния добавления микропартикулята на процесс сычужной коагуляции определяли изменение динамической вязкости образцов нормализованной смеси во времени с момента внесения коагулянта и до начала синерезиса (Рисунок 4).

С целью улучшения качества сгустка и снижения продолжительности сычужного свертывания рассматривали возможность воздействия на технологические параметры коагуляции. Для этого оценивали влияние температуры, активной кислотности, доли молокосвертывающего ферментного препарата, а также присутствия

хлорида кальция на прочность сгустка, выработанного с использованием микропартикулята (Рисунок 5).

Образующееся сырное зерно в течение всего процесса обработки характеризовалось более высокой долей влаги в сравнении с зерном контрольного образца (Рисунок 6).

Высокая гидратация сывороточных белков повышала долю влаги в сырной массе после пресования и в процессе созревания (Рисунок 7).

Созданные таким образом благоприятные условия для жизнедеятельности микрофлоры заквасочных культур интенсифицировали биохимические процессы при созревании, имеющие большое значение в формировании специфических органолептических характеристик сыра. Исходя из уровня растворимого азота (Таблица 3), установлено, что гидролиз параказеина и его фракций более интенсивно протекал в сыре с микропартикулятом.

Таблица 2
Состав нормализованной смеси

Наименование показателя	контроль (смесь без микропартикулята)	Значение показателя смесь с добавлением микропартикулята			
		5%	10%	15%	20%
Сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО), %	8,3	8,6	8,9	9,2	9,5
Массовая доля белка, %	2,8	3,0	3,3	3,5	3,7
Массовая доля кальция, мг%	120,0	120,4	120,8	121,2	121,6
Казеин / сывороточный белок	80/20	76/24	73/27	70/30	67/33



Рисунок 2. Влияние массовой доли микропартикулята на продолжительность сычужного свертывания.

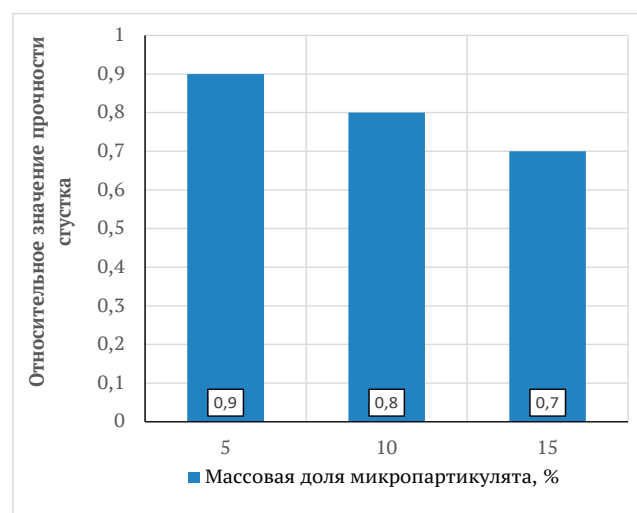


Рисунок 3. Влияние массовой доли микропартикулята на реологические свойства сычужного сгустка.

Готовый (созревший) сыр характеризовался высокой массовой долей влаги (Таблица 4), что вместе с удержанием сетчатой структурой сгустка частиц микропартикулята способствовало увеличению выхода.

Этот показатель составил в среднем 14,3 кг/100 кг молока, что на 6-8% выше контрольного образца. Использование микропартикулята приводило к улучшению консистенции сыра. Опытный образец характеризовался как более сливочный, мягкий в сравнении с контрольным.

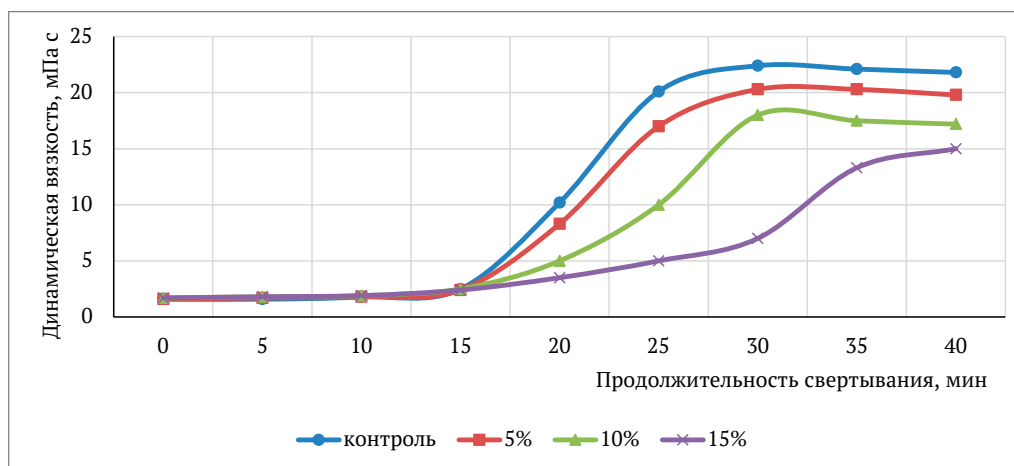
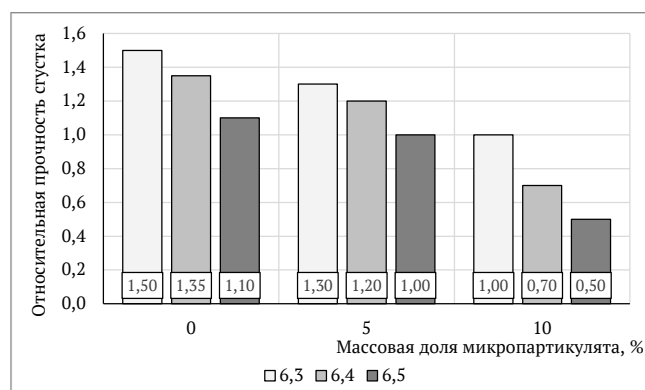
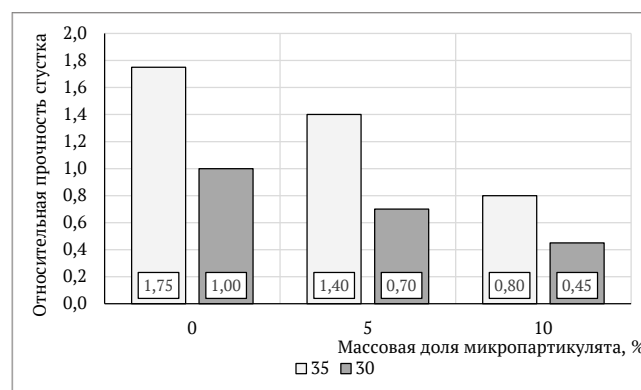


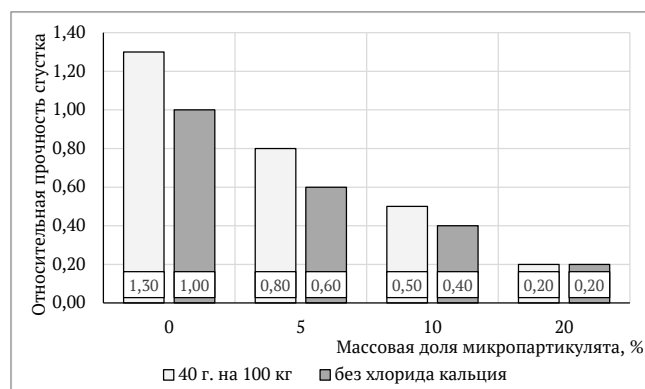
Рисунок 4. Реограммы процесса сычужного свертывания.



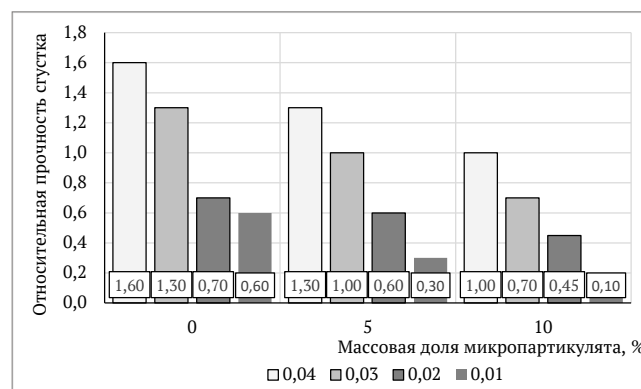
(а)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 5. Влияние микропартикулята сывороточных белков на качество сычужного сгустка при различных технологических параметрах свертывания: активной кислотности, ед. рН (а), температуры свертывания, °С (б), присутствия раствора хлористого кальция (в) и молокосвертывающего ферментного препарата, % (г).

Обсуждение

Применение ультрафильтрации при получении микропартикулята приводит к повышению доли сухих веществ, в том числе белков и кальция, в сравнении с нативной подсырной сывороткой. Это оказывает влияние на состав нормализованной смеси при добавлении микропартикулята. Рост массовой доли белка обусловлен повышением доли сывороточных белков, в то время как содержание казеина не изменяется. Это приводит к эффекту «разбавления», когда доля субстрата (α -казеина) для взаимодействия с химозином в общей массе сухих веществ снижается, тем самым оказывая негативное влияние на скорость сычужной коагуляции.

Как видно из полученных реограмм (Рисунок 4), как для контрольного (образец без добавления микропартикулята), так и для опытных

образцов наблюдали четыре стандартные стадии: индукционный период, массовая коагуляция, структурообразование и синерезис (Горбатова, 2015). В соответствии с гидролитической теорией сычужного свертывания, на первой стадии происходит ферментативное расщепление молекул α -казеина. Отщепление от мицеллы гликомакропептида сопровождается уменьшением ее заряда и радиуса. Это ослабляет электростатический фактор устойчивости мицелл. Отщепление части гидратной оболочки разрушает и стерический фактор, а казеиновые мицеллы, утратившие устойчивость, начинают образовывать цепочечные и почковидные агрегаты (Тепел, 2012). Внесение микропартикулята не изменяет продолжительности индукционного периода, поскольку его частицы не взаимодействуют с химозином, т.е. не участвуют в ферментативной стадии сычужного свертывания.

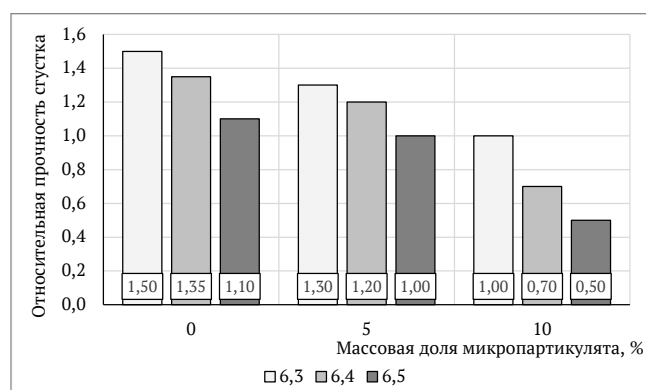


Рисунок 6. Динамика обезвоживания сырного зерна.

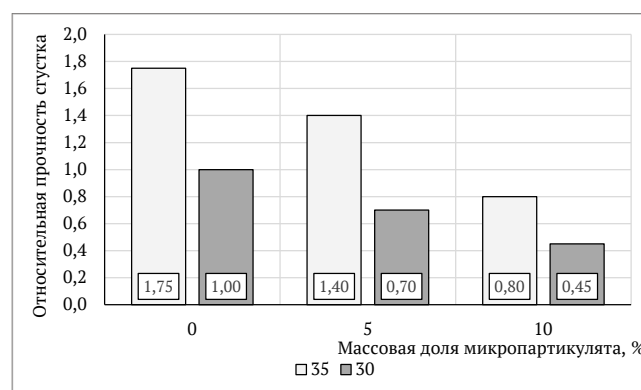


Рисунок 7. Изменение массовой доли влаги образцов сыра в процессе созревания.

Таблица 3

Содержание азотистых соединений в контрольном и опытном образцах сыра

Образец сыра	Нерастворимый азот, % от общего азота	Растворимый азот, % от общего азота			
		всего	в том числе		
			белковый	пептидный	аминный и аммиачный
Контрольный	78,2	21,8	7,4	6,8	7,6
Опытный	77,7	22,3	7,6	6,9	7,8

Таблица 4

Показатели качества сыра

Наименование показателя	Значение показателя для сыра	
	контроль	с микропартикулятом
Массовая доля жира в сухом веществе, %	50	50
Массовая доля влаги, %	40,0	47,0
Массовая доля хлорида натрия, %	1,4	1,5
Активная кислотность, ед. pH	5,3	5,2

Процесс видимой коагуляции начинается с образования цепочек, звеньями которых являются частицы параказеина. По мере увеличения длительности свертывания происходит формирование «прядей», длина которых в среднем составляет 10 мицелл. Формирование сгустка происходит при соединении образовавшихся «прядей» поперечными связями и образовании сетчатой структуры. Диаметр ячеек сгустка составляет в среднем 10 мкм, а размер пор – 0,5 мкм. Внутреннее пространство образованной структуры заполняет сыворотка, и занимают жировые шарики. При помощи электронного микроскопирования подтверждено, что частицы микропартикулята, как и шарики жира, проникают внутрь пустот структуры сгустка. Для того, чтобы частицы микропартикулята не были при последующей обработке удалены с сывороткой, важен их средний диаметр. Присутствие при гелеобразовании частиц микропартикулята диаметром более 10 мкм нарушает однородность и связность структуры сгустка, сырное зерно образуется мягкое, не пригодное для дальнейшей обработки. Частицы микропартикулята размером менее 0,5 мкм не могут задерживаться в петлях структуры сычужного сгустка и переходят в сыворотку. Формирование необходимого диапазона размеров частиц микропартикулята возможно путем направленного изменения технологических параметров микропартикуляции (температуры и интенсивности механического воздействия).

При массовой доле микропартикулята более 10% образуется дряблый сгусток (Рисунок 3), который крайне затруднительно подвергнуть дальнейшей обработке для получения эластичного сырного зерна. Путем направленного воздействия на технологические параметры коагуляции можно добиться упрочнения сгустка, создав благоприятные условия для получения сыра, характеризующегося стандартным качеством. Технологические параметры сычужного свертывания устанавливали как с учетом обеспечения наиболее благоприятных условий для развития микрофлоры заквасочных культур, так и получения наилучших качественных показателей сыра. Выбирали такие концентрации молокосвертывающего ферментного препарата, при которых коагуляция будет проведена при температуре 30-35°C в течение 30 минут. При необходимости ускорения ферментативной фазы свертывания целесообразно повысить дозу ферментного препарата. При этом возрастает и прочность сычужного сгустка (Рисунок 5г). Однако, такой прием приводит к увеличению доли химозина, оставшегося в сыре к моменту созревания. Это может

интенсифицировать неспецифический протеолиз, а образование большого количества коротких пептидов привести к горечи сыра при созревании (МакСуини, 2019). Большое влияние на скорость гелеобразования оказывает температура (Рисунок 5б), что объясняется ведущей ролью гидрофобных взаимодействий мицелл при сычужной коагуляции. Из двух стадий процесса свертывания более чувствительной к температуре является вторая – стадия агрегирования дестабилизированных казеиновых мицелл. При повышении температуры прочность сгустка возрастает, так как повышается как скорость ферментативных реакций, так и физико-химических взаимодействий. Вместе с тем, увеличение температуры выше 35°C интенсифицирует рост вредной микрофлоры, замедляя развитие заквасочных культур, и является нецелесообразным. На скорость ферментативной и коагуляционной стадий сычужного свертывания можно воздействовать, изменяя активную кислотность среды. Понижение уровня pH способствует ускорению ферментативной стадии (Рисунок 5а). Это можно объяснить происходящими при подкислении молочной смеси конформационными изменениями субстрата (казеиновых мицелл) и фермента, а также повышением степени доступности α -казеина для гидролиза, вследствие растворения мицеллярного коллоидного фосфата кальция. Снижение pH положительно влияет и на продолжительность коагуляционной стадии. Этому способствует понижение отрицательного заряда параказеиновых мицелл и увеличение концентрации ионов кальция за счет растворения коллоидного фосфата кальция. Вместе с тем, при повышении кислотности увеличивается количество химозина, оставшегося в сыре, что может стать причиной появления горечи. Таким образом, значение pH, при котором проводят ферментативную стадию коагуляции, должно поддерживаться в довольно узких пределах, нарушение которых может негативно сказаться на качестве сыра. При добавлении 10% микропартикулята сывороточных белков для достижения стандартной прочности сычужного сгустка целесообразно снижать уровень pH с 6,5 до 6,4 ед. Кальций непосредственно не участвует в ферментативной реакции в ходе сычужного свертывания. Однако изменение его содержания в нормализованной молочной смеси в результате внесения раствора CaCl_2 может повлиять на общую продолжительность коагуляции и качество сгустка. При добавлении в нормализованное молоко для производства сыра хлорида кальция прочность сгустка повышается. Роль ионов Ca^{2+} в формировании сычужного сгустка состоит в том, что они осуществляют перекрестные связи мицелл друг с

другом через фосфосерильные остатки казеинов. Положительно заряженные ионы, кроме того, нейтрализуют остатки поверхностного заряда, способствуя снижению гидратного слоя, который частично сохраняют параказеиновые мицеллы (Скотт, 2012). При внесении в молоко раствора хлорида кальция повышается и количество коллоидного фосфата, а также понижается pH. Все эти факторы способствуют лучшему образованию сычужного сгустка и повышению его прочности. Однако при внесении в нормализованную молочную смесь более 15% микропартикулята влияние кальция на скорость формирования и качество сычужного сгустка снижается. Нейтрализовать отрицательное действие микропартикулята далее не удается (Рисунок 5в).

По окончании гелеобразования последующее уплотнение образовавшегося сычужного сгустка приводит к уменьшению длины связей между частицами казеина и увеличению точек сопряжения. Свободные частицы пара-х-казеина к этому моменту отсутствуют, происходит утолщение казеиновых волокон и укорачивание цепочек мицелл. Размер полостей, заполненных сывороткой, уменьшается. Начинается синезрис, степень которого во многом определяет консистенцию сыра. Высокая водосвязывающая способность сывороточных белков в составе микропартикулята затрудняет дегидратацию (Рисунок 6).

Внесение микропартикулята оказывает влияние на биохимические процессы в ходе созревания. Под действием молочнокислых бактерий глюкоза, образующаяся при гидролизе лактозы, превращается в молочную кислоту. В «Российском» сыре глюкоза полностью сбраживается уже на 2-3 сутки созревания. В это же время количество лактококков достигает максимального значения. Далее их количество резко снижается. Гибель их сопровождается автолизом клеток и высвобождением внутриклеточных ферментов, характеризующихся высокой протеолитической активностью. Энзимы микрофлоры лактококковых заквасок являются главным фактором созревания сыров с низкой температурой второго нагревания, в том числе «Российского». Общее их количество пропорционально количеству микрофлоры в сыре. Эндоферменты молочнокислых лактококков осуществляют протеолиз молочного белка, играющий большую роль в образовании специфического вкуса и аромата сыра (Рябцева, 2018). При созревании происходит гидролиз параказеина. Если под действием молокосвертывающего фермента, внесенного перед коагуляцией, парака-

зеин распадается до пептонов и полипептидов, то эндоферменты молочнокислых микроорганизмов вызывают более глубокий распад с образованием аминокислот. Количество растворимых азотистых соединений непрерывно увеличивается (Ardö, 2017). Уменьшение количества мезофильных молочнокислых лактококков сопровождается увеличением содержания молочнокислых палочек. Их размножение обусловлено способностью усваивать в качестве источника углерода лактаты. Влага является фактором повышения количества молочнокислых микроорганизмов, инициирующих биохимические изменения в сыре в ходе созревания. Кроме того, она способствует снижению сопротивления диффузионным процессам, за счет чего повышается эффективность транспорта ферментов к субстрату. В этой связи биохимические процессы при созревании сыра с микропартикулятом протекают более интенсивно.

Применение микропартикулята в составе сычужного полутвердого сыра улучшает его органолептические характеристики и повышает выход продукта, однако снижает хранимособность. Это объясняется более высокой долей влаги в готовом продукте в сравнении с традиционно вырабатываемым, а следовательно, интенсификаций микробиологических процессов при хранении.

Выводы

Выполненные исследования подтвердили возможность замены части нормализованной смеси для производства полутвердых сычужных сыров микропартикулятом сывороточных белков. Присутствие микропартикулята оказывает негативное влияние на процесс сычужного свертывания, поскольку снижает долю казеина, содержащегося в общей массе сухих веществ, повышая долю сывороточных белков. Снижение скорости сычужного свертывания, а также прочности сгустка подтверждает целесообразность использования не более 10% микропартикулята в составе нормализованной молочной смеси. Для получения стандартной продолжительности сычужного свертывания, а также уплотнения сгустка предложены следующие технологические параметры: температура 35°C, pH 6,4, доля молокосвертывающего ферментного препарата 0,04%, а также внесение хлорида кальция из расчета 40 г безводной соли на 100 кг нормализованной молочной смеси. В результате дальнейшей обра-

ботки образуется свежий сыр, массовая доля влаги в котором превышает соответствующее значение для контрольного образца. Повышенная доля влаги сохраняется в сыре в процессе созревания. Это оказывает влияние на продолжительность созревания, создавая возможность его сокращения. Повышение массовой доли влаги, а также увеличение доли сывороточных белков, вносимых в сыр с микропартикулятом, увеличивают выход продукта. Высокая доля влаги в сыре приводит и к незначительному сокращению хранимостпособности. Разработанная технология полутвердого сыра с микропартикулятом сывороточных белков позволяет заменить часть дорогостоящих сырьевых компонентов продуктом модификации сыворотки. Это способствует сокращению себестоимости сыров, а также позволяет возратить побочный продукт отрасли в основное производство.

Литература

- Горбатова К.К. Биохимия молока и молочных продуктов. СПб.: ГИОРД, 2015. 336 с.
- Дымар О.В. Технологические аспекты использования микропартикулятов сывороточных белков при производстве молочных продуктов // Молочная промышленность. 2014. № 6. С. 19-21.
- Калинин Д.В. Увеличение численности населения Земли как фактор развития цивилизации: проблема перенаселения // Электронный научный журнал «ГосРег». 2016. № 3. URL: http://gosreg.amchs.ru/pdf/files/17number/articles17/Kalinin_17.pdf (дата обращения: 20.08.2019).
- Михалева Е. Молочная сыворотка. Потенциал развития Российского рынка // Молочная река. 2018. № 4. С. 14-18.
- Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б. Применение микропартикулята сывороточных белков в технологии кефира // Молочная промышленность. 2018. № 8. С. 49-51.
- Меркулова Н.Г., Меркулов М.Ю., Меркулов И.Ю. Производственный контроль в молочной промышленности. Практическое руководство. СПб.: ГИОРД, 2017. 1022 с.
- Рябцева С.А., Ганина В.И., Панова Н.М. Микробиология молока и молочных продуктов. СПб.: Лань, 2018. 192 с.
- Скотт Р., Робинсон Р.К., Уилби Р.А. Производство сыра: научные основы и технологии. СПб.: Профессия, 2012. 468 с.
- Смирнова И.А., Лобачева Е.М., Гулбани А.Д. Использование микропартикулята сывороточных белков в молочных продуктах // Молочная промышленность. 2014. № 6. С. 28-30.
- МакСуини П.Л., Фокс П.Ф., Коттер П.Д., Эверетт Д.У. Сыр. Научные основы и технологии. В 2-х т. Том 2. Технологии основных групп сыров. М.: Профессия, 2019. 572 с.
- МакСуини П.Л., Фокс П.Ф., Коттер П.Д., Эверетт Д.У. Сыр. Научные основы и технологии. В 2-х т. Том 1. Научные основы сыроделия. М.: Профессия, 2019. 556 с.
- Тёпел А. Химия и физика молока. СПб.: Профессия, 2012. 824 с.
- Ardö Y., McSweeney P.L.H., Magboul A.A.A., Upadhyay V.K., Fox P.F. Biochemistry of Cheese Ripening: Proteolysis // Cheese. Chemistry, Physics and Microbiology. Ed. by P.L.H. McSweeney, P.F. Fox, P.D. Cotter, D.W. Everett. Chapter 18. London: Academic Press, 2017. P. 445-482. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417012-4.00018-1>
- Barukčić I., Lisak Jakopović K., Božanić R. Whey and Buttermilk – Neglected Sources of Valuable Beverages // The Science of Beverages. Natural Beverages. Ed. by A.M. Grumezescu, A.M. Holban. Chapter 8. Cambridge: Academic Press, 2019. P. 209-242. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816689-5.00008-0>
- Torres I.C., Mutaf G., Larsen F.H., Ipsen R. Effect of hydration of microparticulated whey protein ingredients on their gelling behaviour in a non-fat milk system // Journal of Food Engineering. 2016. Vol. 184. P. 31-37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.03.018>
- Sturaro A., De Marchi M., Zorzi E., Cassandro M. Effect of microparticulated whey protein concentration and protein-to-fat ratio on Caciotta cheese yield and composition // International Dairy Journal. 2015. Vol. 48. P. 46-52. doi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.02.003>
- Ipsen R. Microparticulated whey proteins for improving dairy product texture // International Dairy Journal. 2017. Vol. 67. P. 73-79. doi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.08.009>
- Kelly Ph. Manufacture of Whey Protein Products: Concentrates, Isolate, Whey Protein Fractions and Microparticulated // Whey Proteins. From Milk to Medicine. Ed. by H.C. Deeth, N. Bansal. Chapter 3. London: Academic Press, 2019. P. 97-122. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00003-5>
- Melnikova E.I., Stanislavskaja E.B., Losev A.N. Microparticulation of Caseic Whey to Use in Fermented Milk Production // Foods and Raw Materials. 2017. Vol. 5. No. 2. P. 83-93.
- Olivares M.L., Shahrivar K., de Vicente J. Soft lubrication characteristics of microparticulated

- whey proteins used as fat replacers in dairy systems // *Journal of Food Engineering*. 2019. Vol. 245. P. 157-165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.015>
- Ramos O.L., Pereira R.N., Rodrigues R.M., Teixeira J.A., Vicente A.A., Malcata F.X. Whey and Whey Powders: Production and Uses // *Encyclopedia of Food and Health*. Ed. by B. Caballero, P.M. Finglas, F. Toldrá. Oxford: Academic Press, 2016. P. 498-505. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00747-9>
- Torres I.C., Amigo J.M., Knudsen J.Ch., Tolkach A. Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer // *International Dairy Journal*. 2018. Vol. 81. P. 62-71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.01.004>
- Ahmad T., Aadil R.M., Ahmed H., Cruz A.G. Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 88. P. 361-372. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
- Di Cagno R., De Pasquale I., De Angelis M., Buchin S., Rizzello C.G., Gobbetti M. Use of microparticulated whey protein concentrate, exopolysaccharide-producing *Streptococcus thermophilus*, and adjunct cultures for making low-fat Italian Caciotta-type cheese // *Journal of Dairy Science*. 2014. Vol. 97(1). P. 72-84. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7078>
- Janser R., Domingues M.A., Ohara A., Okuro P., dos Santos Aguilar J., Brexó R., Sato H. Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications // *Food Structure*. 2017. Vol. 14. P. 17-29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.05.004>

Application of Microparticulates of Whey Proteins in the Technology of Semi-Hard Cheeses

Elena I. Melnikova

Voronezh State University of Engineering Technology
19, prospekt Revolyucii, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: melnikova@molvest.ru

Ekaterina B. Stanislavskaya

Voronezh State University of Engineering Technology
19, prospekt Revolyucii, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: tereshkova-katia@yandex.ru

This paper describes studies that confirm the possibility of using whey protein microparticulate in semi-hard cheese technology such as "Russian". The introduction of a microparticulate into a normalized mixture changed its composition, which had a negative effect on the rennet coagulation process, increased the duration of coagulation and decreased clot strength. The relative value of the strength of the clot justifies the feasibility of using no more than 10% of the microparticulate in the composition of the normalized milk mixture. To obtain the standard duration of rennet coagulation, as well as condensation of the clot, the following technological parameters were proposed: clotting temperature 35°C, pH 6.4, the proportion of milk-clotting enzyme preparation 0.04%, calcium chloride – 40 g of anhydrous salt per 100 kg of normalized milk mixture. When forming a rennet, the particles of the microparticulate penetrate into its cells. In order to prevent microparticulate particles from entering serum, their average diameter should be in the range of 0.5 – 10 microns. The formation of the required range of microparticulate particle sizes is possible by a directed change in the technological parameters of microparticulation (temperature and intensity of mechanical stress). Based on data on the content of soluble nitrogen, the intensifying effect of microparticulate on the maturation of cheese is shown. The finished product was characterized by a higher mass fraction of moisture in comparison with the control. This fact, combined with a higher content of whey proteins, increases the yield of cheese. The developed technology of rennet semi-hard cheese "Russian" with a microparticulate whey protein allows you to replace some of the expensive raw components with a whey modification product, and therefore return the by-product to the main production.

Keywords: whey; whey proteins; whey protein microparticulate; cheese; rennet coagulation; syneresis; ripening cheese

References

- Gorbatova K.K. Biohimiya moloka i molochnyh produktov [Biochemistry of milk and dairy products]. Saint Petersburg: GIOR, 2015. 336 p.
- Dymar O.V. Tekhnologicheskie aspekty ispolzovaniya mikropartikulyatov syvorotochnykh belkov pri proizvodstve molochnykh produktov [Technological aspects of the use of whey protein microparticulate in the production of dairy products]. *Molochnaya promyshlennost* [Dairy industry], 2014, no. 6, pp. 19-21.
- Kalinin D.V. Uvelichenie chislennosti naseleniya Zemli kak faktor razvitiya civilizatsii: problema perenaseleniya [The increase in the population of the Earth as a factor in the development of civilization: the problem of overpopulation]. *Elektronnyy nauchnyy zhurnal «GosReg»* [Electronic scientific journal "GosReg"], 2016, no. 3. URL: http://gosreg.amchs.ru/pdf/files/17number/articles17/Kalinin_17.pdf (accessed: 20.08.2019).
- Mihaleva E. Molochnaya syvorotka. Potencial razvitiya Rossijskogo rynka [Whey. The potential development of the Russian market]. *Molochnaya reka* [Milk River], 2018, no. 4, pp. 14-18.
- Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B. Primenenie mikropartikulyata syvorotochnykh belkov v tekhnologii kefira [The use of microparticulate whey proteins in kefir technology]. *Molochnaya promyshlennost* [Dairy industry], 2018, no. 8, pp. 49-51.
- Merkulova N.G., Merkulov M.Yu., Merkulov I.Yu. Proizvodstvennyy kontrol v molochnoj promyshlennosti. Prakticheskoe rukovodstvo [Production control in the dairy industry. Practical guide]. Saint Petersburg: GIOR, 2017. 1022 p.

- Ryabceva S.A., Ganina V.I., Panova N.M. *Mikrobiologiya moloka i molochnykh produktov* [Microbiology of milk and dairy products]. Saint Petersburg: Lan, 2018. 192 p.
- Skott R., Robinson R.K., Uilbi R.A. *Proizvodstvo syra: nauchnye osnovy i tekhnologii* [Cheese production: scientific foundations and technologies]. Saint Petersburg: Professiya, 2012. 468 p.
- Smirnova I.A., Lobacheva E.M., Gulbani A.D. *Ispolzovanie mikropartikulyata syvorotochnykh belkov v molochnykh produktah* [The use of microparticulate whey proteins in dairy products]. *Molochnaya promyshlennost* [Dairy industry], 2014, no. 6, pp. 28-30.
- McSweeney P.L., Foks P.F., Kotter P.D., Everett D.U. *Syr. Nauchnye osnovy i tekhnologii. V 2-h t. Tom 2. Tekhnologii osnovnykh grupp syrov* [Cheese. Scientific fundamentals and technologies. In 2 volumes. Volume 2. Technologies of the main groups of cheeses]. Moscow: Professiya, 2019. 572 p.
- McSweeney P.L., Foks P.F., Kotter P.D., Everett D.U. *Syr. Nauchnye osnovy i tekhnologii. V 2-h t. Tom 1. Nauchnye osnovy syrodelya* [Scientific fundamentals and technologies. In the 2nd vol. Volume 1. Scientific basis of cheese making]. Moscow: Professiya, 2019. 556 p.
- Tyopel A. *Himiya i fizika moloka* [Chemistry and Physics of Milk]. Saint Petersburg: Professiya, 2012. 824 p.
- Ardö Y., McSweeney P.L.H., Magboul A.A.A., Upadhyay V.K., Fox P.F. *Biochemistry of Cheese Ripening: Proteolysis*. In *Cheese. Chemistry, Physics and Microbiology*. Ed. by P.L.H. McSweeney, P.F. Fox, P.D. Cotter, D.W. Everett. Chapter 18. London: Academic Press, 2017, pp. 445-482. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417012-4.00018-1>
- Barukčić I., Lisak Jakopović K., Božanić R. *Whey and Buttermilk – Neglected Sources of Valuable Beverages*. In *The Science of Beverages. Natural Beverages*. Ed. by A.M. Grumezescu, A.M. Holban. Chapter 8. Cambridge: Academic Press, 2019, pp. 209-242. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816689-5.00008-0>
- Torres I.C., Mutaf G., Larsen F.H., Ipsen R. *Effect of hydration of microparticulated whey protein ingredients on their gelling behaviour in a non-fat milk system*. *Journal of Food Engineering*, 2016, vol. 184, pp. 31-37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.03.018>
- Sturaro A., De Marchi M., Zorzi E., Cassandro M. *Effect of microparticulated whey protein concentration and protein-to-fat ratio on Caciotta cheese yield and composition*. *International Dairy Journal*, 2015, vol. 48, pp. 46-52. doi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.02.003>
- Ipsen R. *Microparticulated whey proteins for improving dairy product texture*. *International Dairy Journal*, 2017, vol. 67, pp. 73-79. doi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.08.009>
- Kelly Ph. *Manufacture of Whey Protein Products: Concentrates, Isolate, Whey Protein Fractions and Microparticulated*. In *Whey Proteins. From Milk to Medicine*. Ed. by H.C. Deeth, N. Bansal. Chapter 3. London: Academic Press, 2019, pp. 97-122. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00003-5>
- Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B., Losev A.N. *Microparticulation of Caseic Whey to Use in Fermented Milk Production*. *Foods and Raw Materials*, 2017, vol. 5, no. 2, pp. 83-93.
- Olivares M.L., Shahrivar K., de Vicente J. *Soft lubrication characteristics of microparticulated whey proteins used as fat replacers in dairy systems*. *Journal of Food Engineering*, 2019, vol. 245, pp. 157-165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.015>
- Ramos O.L., Pereira R.N., Rodrigues R.M., Teixeira J.A., Vicente A.A., Malcata F.X. *Whey and Whey Powders: Production and Uses*. In *Encyclopedia of Food and Health*. Ed. by B. Caballero, P.M. Finglas, F. Toldrá. Oxford: Academic Press, 2016, pp. 498-505. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00747-9>
- Torres I.C., Amigo J.M., Knudsen J.Ch., Tolkach A. *Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer*. *International Dairy Journal*, 2018, vol. 81, pp. 62-71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.01.004>
- Ahmad T., Aadil R.M., Ahmed H., Cruz A.G. *Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review*. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, vol. 88, pp. 361-372. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
- Di Cagno R., De Pasquale I., De Angelis M., Buchin S., Rizzello C.G., Gobbetti M. *Use of microparticulated whey protein concentrate, exopolysaccharide-producing *Streptococcus thermophilus*, and adjunct cultures for making low-fat Italian Caciotta-type cheese*. *Journal of Dairy Science*, 2014, vol. 97(1), pp. 72-84. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7078>
- Janser R., Domingues M.A., Ohara A., Okuro P., dos Santos Aguilar J., Brexó R., Sato H. *Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications*. *Food Structure*, 2017, vol. 14, pp. 17-29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.05.004>