

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-276-281>

Поступила 18.04.2024

Поступила после рецензирования 09.06.2024

Принята в печать 12.06.2024

© Свириденко Г. М., Шухалова О. М., Вахрушева Д. С., Мамыкин Д. С., 2024



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ФОРМИРОВАНИЕ РИСУНКА СЫРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОНОВИДОВЫХ КУЛЬТУР

Свириденко Г. М., Шухалова О. М.*, Вахрушева Д. С., Мамыкин Д. С.

Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия, Углич, Ярославская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

сыры, рисунок, бактериальная закваска, газо-ароматообразующие культуры, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis*, *Leuconostoc* subsp.

В статье представлены результаты исследования влияния моновидовых газо-ароматообразующих культур *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis* (*L. diacetylactis*) и *Leuconostoc* subsp. на особенности формирования рисунка в сырах с низкой температурой второго нагревания, формируемых из пласта. Исследуемые культуры использовались в дозе 0,6% от общего объема молока в качестве самостоятельной микрофлоры в модельных сырах (1-М и 2-М) и дополнительной микрофлоры наряду с основной лактококковой микрофлорой (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis*; *Lactococcus cremoris*) в контрольных сырах (1-К и 2-К). Модельные и контрольные сыры подвергались микробиологическим (общее количество молочнокислых микроорганизмов, количество *L. diacetylactis* и *Leuconostoc* subsp.), физико-химическим (массовая доля влаги pH), биохимическим (массовая доля лактозы) и органолептическим исследованиям после прессования и в процессе созревания в возрасте 15, 30, 45, 60 суток. Установлено, что использование культуры цитратсбраживающих лактококков *L. diacetylactis* обеспечивает стабильный молочнокислый процесс во время выработки и созревания модельных и контрольных сыров, формирование эластичной консистенции и искомого рисунка с глазками правильной округлой формы. Применение гетероферментативной культуры *Leuconostoc* subsp. в качестве самостоятельной микрофлоры не гарантирует достижения требуемого уровня молочнокислого брожения во время выработки сыра, приводит к повышению влажности сырной массы после прессования и к пережиранию сыра на первых этапах созревания. Перечисленные факторы способствуют формированию излишне пластичной консистенции и переразвитого рисунка в виде трещин. Использование *Leuconostoc* subsp. как газо-ароматообразующего компонента традиционной закваски для полутвердых сыров, состоящей также из мезофильных лактококков *Lc. lactis* subsp. *lactis* и *Lc. cremoris*, обуславливает развитие гнездовидного рисунка, что в полной мере не обеспечивает формирование желаемого рисунка с правильными округлыми глазками.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2024-0008 ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН.

Received 18.04.2024

Accepted in revised 09.06.2024

Accepted for publication 12.06.2024

© Sviridenko G. M., Shukhalova O. M., Vakhrusheva D. S., Mamykin D. S., 2024

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

FORMATION OF CHEESE PATTERN WHEN USING MONOSPECIES CULTURES

Galina M. Sviridenko, Olga M. Shukhalova,* Darya S. Vakhrusheva, Denis S. Mamykin

All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking, Uglich, Russia

KEY WORDS:

cheeses, pattern, bacterial starter, gas-aroma-forming cultures, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis*, *Leuconostoc* subsp.

ABSTRACT

The article presents the results of a study of the influence of monospecies gas-aroma-forming cultures *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis* (*L. diacetylactis*) and *Leuconostoc* subsp. on the peculiarities of pattern formation in cheeses with a low second heating temperature molded from a layer. The studied cultures were used at a dose of 0.6% of the total milk volume as as single starter microflora in the model cheeses (1-M and 2-M) and additional microflora along with the main lactococcal microflora (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis*; *Lactococcus cremoris*) in the control cheeses (1-K and 2-K). The model and control cheeses were subjected to microbiological tests (total number of lactic acid microorganisms, number of *L. diacetylactis* and *Leuconostoc* subsp.), physicochemical (mass fraction of moisture, pH), biochemical (mass fraction of lactose) and organoleptic studies after pressing and during ripening at the age of 15, 30, 45, 60 days. It has been established that the use of a culture of citrate-fermenting lactococci *L. diacetylactis* ensures a stable lactic acid fermentation process during the production and ripening of the model and control cheeses, the formation of an elastic consistency and the desired pattern with eyes of a regular round shape. The use of the heterofermentative culture *Leuconostoc* subsp., as single starter microflora, does not guarantee the required level of lactic acid fermentation during cheese production and leads to an increase in the moisture content of the cheese mass after pressing and overacidification of the cheese in the first stages of ripening, which together contributes to the formation of an overly plastic consistency and an overdeveloped pattern in the form of cracks. The use of *Leuconostoc* subsp. as a gas-aroma-forming component of a traditional starter culture for semi-hard cheeses, also consisting of mesophilic lactococci *Lc. lactis* subsp. *lactis* and *Lc. cremoris*, causes the development of a nest-like pattern, which does not fully ensure the formation of the desired pattern with regular rounded eyes.

FUNDING: The article was prepared as part of research under state assignment No. FGUS-2024-0008 of the the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences.

1. Введение

Во всем мире производится более 1000 различных видов сыра. Они различаются по таким характеристикам, как состав, функциональность, внешний вид, вкус и рисунок [1]. Базовый ассортимент большинства сыродельных предприятий РФ составляют классиче-

ские полутвердые сыры с низкой температурой второго нагревания, формируемые из пласта (голландский, пошехонский, костромской и другие), на долю которых приходится более 65% от выпускаемого объема сыров. Одним из важных параметров качества для данной группы сыров считается рисунок, характеризующийся наличием

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Свириденко, Г. М., Шухалова, О. М., Вахрушева, Д. С., Мамыкин, Д. С. (2024). Формирование рисунка сыров при использовании моновидовых культур. *Пищевые системы*, 7(2), 276–281. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-276-281>

FOR CITATION: Sviridenko, G. M., Shukhalova, O. M., Vakhrusheva, D. S., Mamykin, D. S. (2024). Formation of cheese pattern when using monospecies cultures. *Food Systems*, 7(2), 276–281. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-276-281>

глазков правильной округлой формы. Однако при отклонении от технологии производства и при использовании несоответствующей бактериальной закваски может наблюдаться отсутствие рисунка или формирование глазков неправильной формы и трещин.

Механизм образования глазков представляет собой сложный процесс, который зависит от множества параметров, таких как способ формования, кислотность, реологические свойства сырной массы, температура созревания сыров, вид используемой заквасочной микрофлоры [2]. Под действием газообразующей и ароматообразующей микрофлоры заквасок в результате метаболизма лактозы и цитратов выделяется преимущественно углекислый газ, который накапливается в процессе созревания в пустотах между спрессованными сырыми зёрнами, раздвигая сырную массу, в результате чего образуются глазки. Формирование глазков в сыре обусловлено избыточным объемом углекислого газа, который не только диффундирует из сыра и растворяется в сырной массе, но и накапливается, образуя пустоты [3,4]. Основная кислотообразующая заквасочная микрофлора выделяет недостаточное количество газа, что приводит к формированию слепого рисунка.

Газоароматообразующая составляющая микрофлоры бактериальных заквасок для сыров с низкой температурой второго нагревания представлена лактококками *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis* (в дальнейшем — *L. diacetylactis*) и лейконостоками *Leuconostoc lactis* и *Leuconostoc mesenteroides* subsp. (в дальнейшем — *Leuconostoc* subsp.). Эти бактерии образуют углекислый газ и C₄-вкусоароматические соединения за счет метаболизма цитратов и/или гетероферментативного разложения лактозы.

Способность сбраживать соли лимонной кислоты штаммами *L. diacetylactis* и *Leuconostoc* subsp. — технологически важный показатель в сыроделии, необходимый для формирования специфических органолептических характеристик сыров [5]. Образующие в результате утилизации цитратов диацетил и ацетон придают ферментированному молочным продуктам, в т. ч. сырам, характерный приятный диацетиловый вкус и аромат [6,7], а углекислый газ способствует формированию соответствующего рисунка [8].

Штаммы *L. diacetylactis* содержат ответственные за метаболизм цитратов гены (*citP*, *citQ* и *citR*), кодируемые плазмидой [9,10]. Известно, что способность метаболизировать цитраты и появление кластера *cit* у *L. diacetylactis* отличают biovar *diacetylactis* от других подвилов лактококков [11].

Авторы Manno и др. [6] сообщают, что ферментативное разложение цитратов *L. diacetylactis* проходит через оксалоацетат, пируват и α-ацетолактат с высвобождением диоксида углерода. Группой ученых из Франции под руководством Laëtitia [11] установлено, что наибольшее влияние на газообразующую активность *L. diacetylactis* оказывает уровень цитратов в среде. Концентрация цитратов в молоке варьируется в зависимости от времени года, от рационов кормления животных и от других факторов и оказывает существенное влияние на обмен веществ газоароматообразующей микрофлоры закваски и на формирование рисунка в сырах. По результатам исследований, проведенных Akkerman и др. [12], установлено, что количество цитратов в молоке подвержено влиянию сезонности и колеблется в интервале от 1,33 г/л до 2,04 г/л. Недостаточное развитие рисунка в сырах, низкая активностью закваски, а также слабое образование газа, летучих кислот, ацетона и диацетила связано с низким содержанием лимоннокислых солей в молоке [12]. Бельгийские ученые Decadt и Vuyst [13] определили, что возможность формирования *L. diacetylactis* необходимого рисунка сыров находится в прямой зависимости от сезонных колебаний качества сырого молока, от температурных режимов производства и от активной кислотности сырной массы. Чем выше концентрация цитратов и температура обработки зерна в пределах диапазонов развития культуры, тем выше газообразующая активность *L. diacetylactis*.

Для производства созревающих сыров наряду с *L. diacetylactis* в качестве основного газоароматообразующего компонента чаще всего используются *Leuconostoc* subsp. [14]. Главным отличием *Leuconostoc* subsp. от *L. diacetylactis* является гетероферментативность сбраживания сахаров, в том числе лактозы, с образованием D (–) лактата, этанола и углекислого газа в качестве основных продуктов энергетического метаболизма [15]. При наличии в закваске *Leuconostoc* subsp. отсутствие цитратов в молоке не ведет к отсутствию рисунка в сыре, поскольку лейконостоки образуют углекислый газ не только из цитратов, но и из лактозы. Причинами потери лейконостоками газообразующей активности могут быть интенсивная посолка сыра в зерне, низкая температура прессования, посолки и созревания [16].

Цель данной работы заключается в установлении влияния моновиовых культур *L. diacetylactis* и *Leuconostoc* subsp. на особенности

формирования рисунка в сырах с низкой температурой второго нагревания, формируемых из пласта.

В задачи исследований входили:

- сравнительная оценка образования рисунка в модельных сырах под действием заквасочных микроорганизмов видов *L. diacetylactis* и *Leuconostoc* subsp. как единственных компонентов бактериальной закваски;
- сравнительная оценка образования рисунка в полутвердых сырах, выработанных с использованием в составе поливидовой бактериальной закваски дополнительного компонента, включающего газо-ароматообразующие микроорганизмы: либо *L. diacetylactis*, либо *Leuconostoc* subsp.

□

2. Объекты и методы

Объектами исследования являлись модельные и традиционные сыры.

Модельные сыры — сыры, выработанные в условиях производственного цеха по технологии голландского сыра с использованием в качестве основной микрофлоры моновидовой культуры *L. diacetylactis* (вариант 1-М) или *Leuconostoc* subsp. (вариант 2-М);

Контрольные сыры — сыры, выработанные по технологии голландского сыра с использованием поливидовой бактериальной закваски для полутвердых сыров с низкой температурой второго нагревания. Эта закваска состоит из мезофильных лактококков видов *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* и *Lactococcus cremoris* и из газо-ароматообразующего компонента *L. diacetylactis* (вариант 1-К) или *Leuconostoc* subsp. (вариант 2-К).

В данном исследовании использовались культуры молочнокислых микроорганизмов из промышленной коллекции микроорганизмов экспериментальной биофабрики ВНИИМС.

Видовой состав заквасочной микрофлоры и применяемые дозы бактериальных заквасок для сыров представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Видовой состав заквасочной микрофлоры сыров

Table 1. Species composition of cheese starter microflora

Вар	Основной кислотообразующий компонент		Моновидовой газо-ароматообразующий компонент	
	видовой состав	доза, %	видовой состав	доза, %
1-М*	–	–	<i>L. diacetylactis</i>	0,6
2-М*	–	–	<i>Leuconostoc</i> subsp.	0,6
1-К*	<i>Lc. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> ; <i>Lc. cremoris</i>	0,4	<i>L. diacetylactis</i> .	0,6
2-К*			<i>Leuconostoc</i> subsp	0,6

Примечание: *М — модельный сыр; К — контрольный сыр.

Выработки сыров проводились в производственном цехе ВНИИМС (Углич, Ярославская область). Сырьем для производства сыров служило сырое коровье молоко ООО «АгриВолга», Ярославская область, Угличский район, д. Бурмасово, Россия), соответствующее общим критериям безопасности и специфическим показателям сыропригодности.

Сыры вырабатывались по единой технологической схеме производства полутвердого сыра голландский с массовой долей жира в сухом веществе 45% из молока, пастеризованного при температуре (72±1) °С с выдержкой (20–25) секунд. В подготовленную к свертыванию смесь при температуре (31±1) °С вносили производственную закваску в дозах, указанных в Таблице 1, а также молокосвертывающий сычужный ферментный препарат (Завод эндокринных ферментов, г. Москва). Дозу фермента определяли перед внесением с помощью кружки ВНИИМС, исходя из оценки сыропригодных свойств молока.

Продолжительность свертывания смеси — (35±5) минут. После постановки зерно вымешивалось (23±1) минуты до начала второго нагревания. Готовность зерна ко второму нагреванию определяли, оценивая его по плотности, упругости и форме. Температура второго нагревания составила (40±1) °С, время выдержки — (30±1) минут. Сыр формовался из пласта. Масса головки после прессования — (5,0±0,2) кг. После прессования сыры солились в рассоле с концентрацией (18–20)% при температуре (11±1) °С. Продолжительность посолки составила (23±1) часа. После посолки и обсушки сыры помещались в камеру созревания с температурой воздуха (11±1) °С на 60 суток.

Сыры после прессования и в процессе созревания в возрасте 15, 30, 45, 60 суток подвергались микробиологическим, физико-химическим, биохимическим исследованиям.

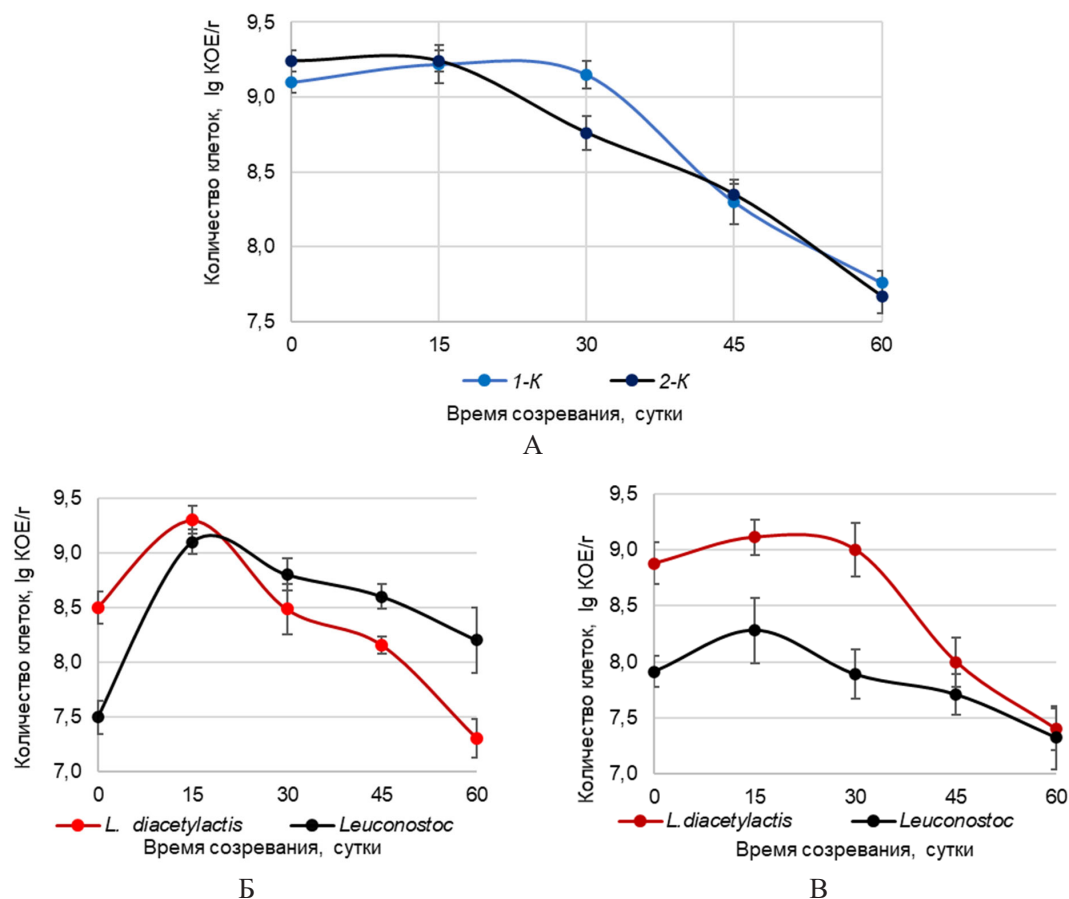


Рисунок 1. Динамика развития кислотообразующей микрофлоры в контрольных сырах (А) и газо- и ароматообразующей микрофлоры в модельных (Б) и контрольных (В) сырах
 Figure 1. Dynamics of development of acid-forming microflora in control cheeses (A) and gas- and aroma-forming microflora in model (B) and control (B) cheeses

Общее количество молочнокислых микроорганизмов выявляли путем посева на твердую питательную среду для определения молочнокислых микроорганизмов по ГОСТ 33951–2016¹.

Количество цитратсбраживающих молочнокислых бактерий (*L. diacetylactis* и *Leuconostoc* subsp.) устанавливали путем посева на питательную среду с цитратом кальция по ГОСТ 34372–2017². Метод основан на способности цитратсбраживающих микроорганизмов при развитии на плотных питательных средах с цитратом кальция в течение 48–72 ч. при температуре (30 ± 1) °C образовывать зоны просветления вокруг колоний.

В модельных и традиционных сырах в процессе созревания в период до 15 суток рассчитывали кинетические параметры роста (скорость деления (v), время генерации (g) и количество клеточных делений (n)) исследуемых микроорганизмов *L. diacetylactis* и *Leuconostoc* subsp. Расчеты проводились по формулам:

$$V = \lg N - \lg N_0 / \lg 2 \times (t - t_0) \quad (1)$$

где V — константа скорости деления; N и N_0 — количество клеток в момент времени; t и t_0 — продолжительность логарифмической фазы роста культуры.

$$g = 1 / V \quad (2)$$

где g — время генерации; V — константа скорости деления.

$$n = \frac{\lg N - \lg N_0}{\lg 2} \quad (3)$$

где n — количество клеточных делений; N и N_0 — количество клеток в момент времени.

Активную кислотность в сыре определяли по ГОСТ 32892–2014³.

¹ ГОСТ 33951–2016 «Молоко и молочная продукция. Методы определения молочнокислых микроорганизмов». — М.: Стандартинформ, 2016. — 10 с.

² ГОСТ 34372–2017 «Закваски бактериальные для производства молочной продукции. Общие технические условия». — М.: Стандартинформ, 2018. — 18 с.

³ ГОСТ 32892–2014 «Молоко и молочная продукция. Метод измерения активной кислотности». — М.: Стандартинформ, 2015. — 10 с.

Массовую долю влаги в сыре рассчитывали по ГОСТ Р 55063–2012⁴. Определение массовой доли лактозы в сыре осуществляли с использованием метода капиллярного электрофореза⁵.

Подготовленную анализируемую пробу продукта помещали в устройство ввода проб системы капиллярного электрофореза и проводили измерения в соответствии с руководством по эксплуатации.

Консистенцию и рисунок сыров в возрасте кондиционной зрелости (60 суток) оценивали органолептически. Образцы перед оценкой были закодированы. Экспертная комиссия состояла из пяти квалифицированных отобранных дегустаторов и двух экспертов-дегустаторов.

Исследования проводились не менее чем в 3-кратной повторности. Математическую обработку результатов и построение графиков осуществляли с использованием компьютерной программы Microsoft Excel 2010. Для попарного сравнения выборок и оценки статистически значимых различий между образцами применяли HSD тест (критерий Тьюки). Результаты считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

3. Результаты и обсуждение

Образование искомого рисунка, типичного для конкретного вида сыра, зависит от характера и интенсивности протекания микробиологических процессов. На Рисунке 1 представлена динамика изменения общего количества жизнеспособных клеток кислотообразующей, газо-ароматообразующей микрофлоры в процессе созревания модельных и традиционных сыров.

В процессе созревания как традиционных, так и модельных сыров максимальное количество кислотообразующей микрофлоры (Рисунок 1А), а также газо-ароматообразующей микрофлоры (Рисунок 1Б и 1В) наблюдалось на 15 сутки созревания. К 20 суткам количество жизнеспособных клеток снижалось, и к концу периода созревания клеточная популяция уменьшилась в несколько раз.

⁴ ГОСТ Р 55063 — 2012 «Сыры и сыры плавленые. Правила приемки, отбор проб и методы контроля». — М.: Стандартинформ, 2013. — 28 с.

⁵ ГОСТ 33527–2015 Молочные и молочные составные продукты для детского питания. Определение массовой доли моно- и дисахаридов с использованием капиллярного электрофореза. — М.: Стандартинформ, 2015. — 12 с.

Динамика роста *L. diacetylactis* в модельных и контрольных сырах происходила идентично и не имела статистически значимых различий ($>0,05$): максимальное значение количества жизнеспособных клеток составило $(1,8 \pm 0,5) \times 10^9$ КОЕ/г.

В модельных сырах (2-М) увеличение количества жизнеспособных клеток *Leuconostoc* subsp. в процессе созревания до 15 суток происходило интенсивнее, чем в контрольных (2-К). Подавление развития *Leuconostoc* subsp. в контрольных сырах в сравнении с модельными сырами, вероятно, связано с явлением неспецифического антагонизма, возникающего между лейконостоком и лактококками, которые являются преобладающей микрофлорой контрольных сыров.

Для объективной оценки роста и развития *L. diacetylactis* и *Leuconostoc* subsp. в процессе созревания модельных и контрольных сыров проведены расчеты кинетических параметров экспоненциального роста культур. Данные показатели определялись для периода наиболее интенсивного роста культур (до 15 суток), поскольку, по данным Остроумова Л. А., в полутвердом сыре глазки образуются на начальном периоде созревания и в 15–20-суточном возрасте, как правило, сыр уже имеет выраженный рисунок [17]. Результаты расчета кинетических параметров представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Кинетические параметры экспоненциального роста культур *L. diacetylactis* и *Leuconostoc* subsp. за 15 суток созревания в модельных и контрольных сырах

Table 2. Kinetic parameters of the exponential growth of the cultures of *L. diacetylactis* and *Leuconostoc* subsp. for 15 days of ripening in the model and control cheeses

Вид МКМ		ν , час ⁻¹	g, час	n, час
<i>L. diacetylactis</i>	1-М	$0,18 \pm 0,01_a$	$5,64 \pm 0,06_a$	$2,66 \pm 0,16_a$
	1-К	$0,07 \pm 0,02_b$	$13,05 \pm 0,02_b$	$1,09 \pm 0,12_b$
<i>Leuconostoc</i> subsp.	2-М	$0,36 \pm 0,02_c$	$2,80 \pm 0,12_c$	$5,34 \pm 0,13_c$
	2-К	$0,08 \pm 0,01_b$	$12,90 \pm 0,16_b$	$1,16 \pm 0,11_b$

Примечание: данные, отмеченные одинаковым индексом внутри одного столбца, не имеют статистически значимых отличий ($p > 0,05$).

Установлено, что кинетические параметры роста и развития *L. diacetylactis* и *Leuconostoc* subsp., оцениваемые по показателям скорости деления, по времени генерации и по количеству клеточных генераций, в модельных и контрольных сырах имели статистически значимые различия. В модельных сырах скорость развития и количество клеточных генераций жизнеспособных клеток выше, чем в контрольных, что, возможно, связано с отсутствием в составе микрофлоры модельных сыров других кислотообразующих микроорганизмов видов *Lc. lactis* subsp. *lactis* и *Lc. cremoris*.

Формирование рисунка зависит не только от видового состава заквасочных микроорганизмов и от динамики микробиологических процессов, но и от физико-химических свойств и реологических показателей сыров [18]. Для образования глазков одним из ключевых факторов является кислотность сырной массы [16]. Наиболее важным фактором, определяющим последующее развитие биохимических процессов созревания сыров, в частности, формирование глазков, является минимальное значение pH (Рисунок 2), которое устанавливается после сбраживания молочного сахара.

Традиционные сыры характеризовались снижением активной кислотности до 15 суток созревания (Рисунок 2Б), затем pH сыров

плавно повышался до среднего значения ($5,37 \pm 0,02$) ед. pH. Постепенное увеличение значений pH после 15 суток созревания сыров связано с накоплением щелочных продуктов расщепления белковых соединений. Данная закономерность изменения активной кислотности прослеживается практически у всех созревающих сыров и была описана ранее в трудах Климовского [19] и Горбатовой [20], а также в обзоре Johnson [21]. Исследования Li и др. [22] показывают аналогичные результаты изменения pH в процессе созревания сыра.

В модельных сырах минимальное значение активной кислотности зафиксировано на 30 сутки созревания. В данных сырах к концу срока созревания значимого повышения pH не наблюдалось. Более высокое значение активной кислотности в модельных сырах после прессования варианта 2-М, выработанный с добавлением *Leuconostoc* subsp., связано с недостаточно интенсивным молочнокислым процессом во время выработки, что повлияло на синерезис и обработку сырного зерна. Fox с соавторами [23] показал, что снижение интенсивности синерезиса оказывает негативное влияние на формирование сырной массы.

Точка минимального значения активной кислотности совпадала с завершением процесса молочнокислого брожения, что косвенно подтверждается данными о содержании остаточной лактозы (Таблица 3).

Таблица 3. Массовая доля лактозы в сырах в процессе созревания

Table 3. Mass fraction of lactose in the cheeses during ripening

Образец	Массовая доля, %	
	лактоза	влага
После прессования		
1-М	$1,31 \pm 0,06_a$	$48,9 \pm 0,6_a$
2-М	$1,98 \pm 0,07_b$	$58,0 \pm 0,6_b$
1-К	$1,16 \pm 0,05_c$	$48,0 \pm 0,5_a$
2-К	$1,20 \pm 0,04_c$	$48,4 \pm 0,3_a$
Сыр 15 суток		
1-М	$0,34 \pm 0,05_a$	$44,4 \pm 0,7_a$
2-М	$0,50 \pm 0,05_b$	$48,8 \pm 0,3_b$
1-К	—	$44,9 \pm 0,5_a$
2-К	—	$45,2 \pm 0,3_a$
Сыр 30 суток		
1-М	—	$43,6 \pm 0,4_a$
2-М	—	$44,8 \pm 0,5_a$
1-К	—	$43,7 \pm 0,2_a$
2-К	—	$44,0 \pm 0,4_a$
60 суток		
1-М	—	$42,4 \pm 0,5_a$
2-М	—	$43,2 \pm 0,3_a$

Примечание: данные, отмеченные одинаковым индексом внутри конкретной точки контроля, не имеют статистически значимых отличий ($p > 0,05$).

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

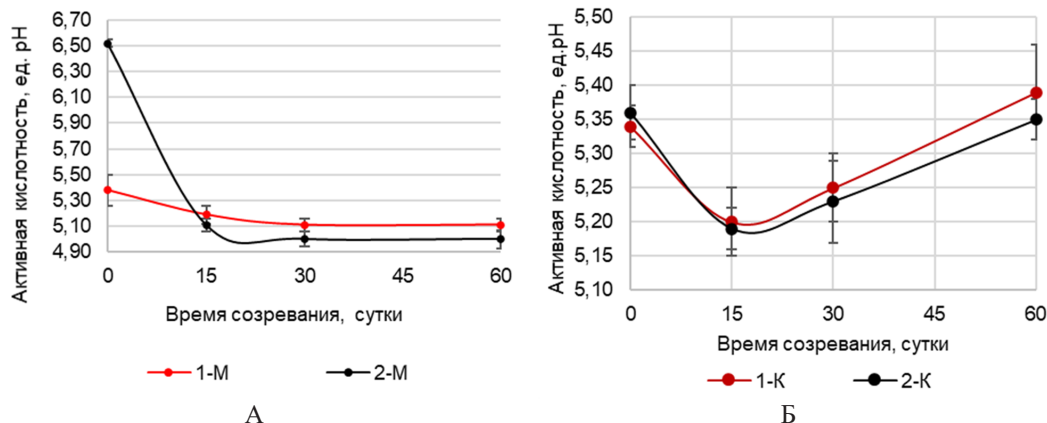


Рисунок 2. Динамика активной кислотности в сырах в процессе созревания А — модельных; Б — контрольных
Figure 2. Dynamics of active acidity in cheeses during ripening A — model; B — control

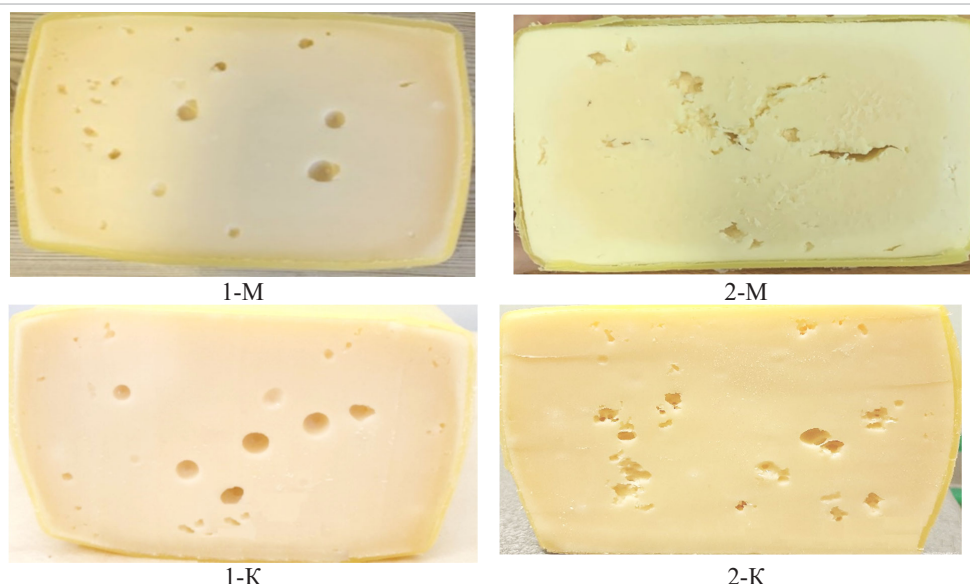


Рисунок 3. Фотографии экспериментальных сыров в возрасте кондиционной зрелости
Figure 3. Photos of experimental aged cheeses standard maturity

высоком уровне — в вариантах 1-К и 2-К отмечено полное сбраживание лактозы уже в возрасте 15 суток.

В отличие от контрольных, в модельных сырах уровень остаточной лактозы после прессования несколько выше, а полное ее сбраживание зафиксировано после 15 суток созревания. Модельные сыры, выработанные на основе *Leuconostoc* subsp. (2-М), отличались достижением более низких значений активной кислотности ($5,00 \pm 0,07$) (Рисунок 2А), что вызвано повышенным содержанием влаги (Таблица 3) в начальный период созревания. В свою очередь, в модельных сырах, выработанных на основе моновидовой бактериальной закваски *L. diacetylactis*, и в контрольных сырах массовая доля влаги соответствовала требуемому уровню по ГОСТ 32260–2013⁶.

Известно, что влажность сырной массы в значительной степени предопределяет ее структурно-механические характеристики. При отклонении данного показателя от регламентируемых значений возникает высокая вероятность появления органолептических дефектов, в т. ч. рисунка.

Повышенное содержание массовой доли влаги в модельных сырах, выработанных с использованием моновидовой культуры *Leuconostoc* subsp. (2-М), и последующее переокисление сырной массы на этапе созревания закономерно привели к формированию несвязной, мажущей, излишне пластичной консистенции и, как следствие, к образованию трещин (Рисунок 3). Известно, что при значительном накоплении молочной кислоты происходит деминерализация параказеинаткальцийфосфатного комплекса (ПККФК), т. е. отщепление коллоидного фосфата кальция. Снижение доли коллоидного кальция способствует чрезмерному размягчению казеиновой сетки сыра и формированию несвязной крошливой консистенции, образованию самокола, а также мелких и крупных трещин [24].

На формирование переразвитого рисунка, состоящего из деформированных глазков и трещин, оказывают влияние не только физико-химические и реологические показатели сырной массы, но и активная газообразующая способность гетероферментативной культуры *Leuconostoc* subsp., которая являлась единственной заквасочной микрофлорой модельных сыров (2-М).

Вместе с тем в сырах с *Leuconostoc* subsp. на протяжении всего срока созревания отмечался неравномерно окрашенный цвет сырного теста с более выраженным центром, что являлось пороком при оценке качественных показателей сыров.

Контрольные сыры с добавлением *Leuconostoc* subsp. (2-К) имели гнездовидный рисунок с глазками правильной и неправильной формы.

Сыры, выработанные с *L. diacetylactis* (1-М и 1-К), имели глазки правильной округлой формы. Консистенция сыров на протяжении всего периода созревания характеризовалась как эластичная, а физико-химические показатели варьировались в пределах нормы. Таким образом, характер протекания микробиологических, физико-химических и биохимических процессов под действием культуры *L. diacetylactis* обусловило развитие искомого рисунка, характерного для полутвердых сыров, формуемых из пласта.

Результаты данного исследования позволяют прогнозировать влияние мезофильных газо- и ароматообразующих микроорганизмов *L. diacetylactis* и *Leuconostoc* subsp. на формирование рисунка в сырах, формуемых из пласта, и оценить риски возникновения пороков консистенции и внешнего вида. Необходимы дальнейшие исследования для определения оптимального соотношения кислотообразующих и газообразующих молочнокислых микроорганизмов в составе закваски для сыров с низкой температурой второго нагревания.

4. Выводы

В результате проведенных исследований и оценки влияния культур *L. diacetylactis* и *Leuconostoc* subsp. на формирование рисунка в сырах с низкой температурой второго нагревания, формуемых из пласта, получены следующие данные:

- использование *L. diacetylactis* как в качестве основной микрофлоры в модельных сырах, так и в качестве дополнительной культуры наряду с основной закваской, состоящей из мезофильных лактококков *Lc. lactis* subsp. *lactis* и *Lc. cremoris* приводит к формированию в сырах рисунка с глазками правильной округлой формы;
- применение гетероферментативной культуры *Leuconostoc* subsp. в качестве самостоятельной микрофлоры в модельных сырах не обеспечивает достаточно интенсивный уровень молочнокислого брожения во время выработки сыра, что способствует повышению влажности сырной массы после прессования и переокислению сыра на первых этапах созревания, что ведет к формированию переразвитого рисунка в виде трещин;
- традиционная закваска, состоящая из основной кислотообразующей микрофлоры *Lc. lactis* subsp. *lactis* и *Lc. cremoris* и газо-ароматообразующего компонента в виде культуры *Leuconostoc* subsp., обеспечивает достаточный уровень молочнокислого процесса на этапах производства сыра, но не позволяет получить рисунок с правильными круглыми глазками.

⁶ ГОСТ 32260–2013 «Сыры полутвердые. Технические условия». — М.: Стандартинформ, 2015. — 18 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК /REFERENCES

1. McSweeney, P. L. H., Ottogalli, G., Fox, P. F. (2004). Diversity of cheese varieties: An overview. Chapter in a book: Cheese: chemistry, physics and microbiology (Vol.2). Elsevier, 2004. [https://doi.org/10.1016/S1874-558X\(04\)80037-X](https://doi.org/10.1016/S1874-558X(04)80037-X)
2. Fröhlich-Wyder, M.-T., Bisig, W., Guggisberg, D, Jakob, E., Turgay, M., Wechsler, D. (2017). Cheeses with propionic acid fermentation. Chapter in a book: Cheese: Chemistry, physics and microbiology. Academic Press, 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417012-4.00035-1>

3. Guggisberg, D., Schuetz, P., Winkler, H., Amrein, R., Jakob, E., Fröhlich-Wyder, M. T. et al. (2015). Mechanism and control of eye formation in cheese. *International Dairy Journal*, 47, 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.03.001>
4. Fröhlich-Wyder, M. T., Guggisberg, D., Bisig, W., Jakob, E., Schmidt, R. S. (2023). The total eye volume of cheese is influenced by different fat-levels. *International Dairy Journal*, 144, Article 105690. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105690>
5. Гудков, А. В. (2004). Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты. М.: ДеЛи принт, 2004. [Gudkov, A. V. (2004). Cheese making: Technological, biological and physico-chemical aspects. Moscow: DeLi print, 2004. (In Russian)]
6. Manno, M. T., Zulian, F., Alarcon, S., Esteban, L., Blancato, V., Esparis, M. et al. Magni, S. (2018). Genetic and phenotypic features defining industrial relevant *Lactococcus lactis*, *L. cremoris* and *L. lactis* biovar. *diacetylactis* strains. *Journal of Biotechnology*, 282, 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2018.06.345>
7. Decadt, H., Weckx, S., De Vuyst, L. (2024). The microbial and metabolite composition of Gouda cheese made from pasteurized milk is determined by the processing chain. *International Journal of Food Microbiology*, 412, Article 110557 <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110557>
8. Clark, S., Winter, K. K. (2015). Diacetyl in foods: A review of safety and sensory characteristics. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 634–643. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12150>
9. Smith, M. R., Hugenoltz, J., Mikóchi, P., de Ree, E., Bunch, A. W., de Bont, J. A. M. (1992). The stability of the lactose and citrate plasmids in *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis*. *FEMS Microbiology Letters*, 96(1), 7–11. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1992.tb05385.x>
10. Van Mastrigt, O., Di Stefano, E., Hartono, S., Abi, T., Smid, E. J. (2018). Large plasmidome of dairy *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis* FM03P encodes technological functions and appears highly unstable. *BMC Genomics*, 19, 1–19 Article 620. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-5005-2>
11. Laëtita, G., Pascal, D., Yann, D. (2014). The citrate metabolism in homo- and heterofermentative LAB: A selective means of becoming dominant over other microorganisms in complex ecosystems. *Food and Nutrition Sciences*, 5(10), 953–969. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.510106>
12. Akkerman, M., Larsen, L. B., Sørensen, J., Poulsen, N. A. (2019). Natural variations of citrate and calcium in milk and their effects on milk processing properties. *Journal of Dairy Science*, 102(8), 6830–6841. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16195>
13. Decadt, H., De Vuyst, L. (2023). Insights into the microbiota and defects of present-day Gouda cheese productions. *Current Opinion in Food Science*, 52, Article 101044. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101044>
14. Dusterhöft, E. M., Engels, W., Huppertz, T. (2017). Dutch-Type Cheeses. Chapter in a book: *Global Cheesemaking Technology: Cheese Quality and Characteristics*. John Wiley and Sons, Ltd., 2018. <https://doi.org/10.1002/9781119046165.ch5>
15. van Mastrigt, O., Egas, R. A., Abee, T., Smid, E. J. (2019). Aroma formation in retentostat co-cultures of *Lactococcus lactis* and *Leuconostoc mesenteroides*. *Food Microbiology*, 82, 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.01.016>
16. Силаева, В. М., Жидких, К. В. (2011). Гарантия рисунка в сырах с низкой температурой второго нагревания. *Переработка молока*, 12, 19–23. [Silayeva, V.M., Zhidkikh, K.V. (2011). Assurance of pattern in cheeses with low temperature of second heating. *Milk Processing*, 12, 19–23. (In Russian)]
17. Остроумов, Л. А., Майоров, А. А., Николаева, Е. А. (2009). Динамика образования рисунка в сырах. *Техника и технология пищевых производств*, 3, 19а–23. [Ostroumov, L. A., Mayorov, A. A., Nikolayeva, Ye. E. A. (2009). Dynamics of formation of figure in cheeses. *Food Processing: Techniques and Technology*, 3, 19а–23. (In Russian)]
18. Bansal, V., Veena, N. (2024). Understanding the role of pH in cheese manufacturing: General aspects of cheese quality and safety. *Journal of Food Science and Technology*, 61, 16–26. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05631-w>
19. Климовский, И. И. (1966). Биохимические и микробиологические основы производства сыра. М.: Пищевая промышленность. 1966. [Klimovskiy, I. I. (1966). Biochemical and microbiological foundations of cheese production. Moscow: Food Industry, 1966. (In Russian)]
20. Горбатова, К. К. (1984). Биохимия молока и молочных продуктов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. [Gorbatova, K. K. (1984). Biochemistry of milk and dairy products. Moscow: Light and Food Industry, 1984. (In Russian)]
21. Johnson, M. E. (2017). A 100-Year Review: Cheese production and quality. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9952–9965. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12979>
22. Li, L., Chen, H., Lü, X., Gong, J., Xiao, G. (2022). Effects of papain concentration, coagulation temperature, and coagulation time on the properties of model soft cheese during ripening. *LWT*, 161, Article 113404. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113404>
23. Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., McSweeney, P. L. H. (2017). Enzymatic Coagulation of Milk. Chapter in a book: *Fundamentals of Cheese Science*. Springer, Boston, MA, 2017. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9_7
24. Lamichhane, P., Auty, M. A. E., Kelly, A. L., Sheehan, J. J. (2020). Dynamic in situ imaging of semi-hard cheese microstructure under large-strain tensile deformation: Understanding structure-fracture relationships. *International Dairy Journal*, 103, Article 104626. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104626>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Свириденко Галина Михайловна — доктор технических наук, главный научный сотрудник, руководитель направления микробиологических исследований молока и молочных продуктов, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоседеления и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-485-325-48-64 E-mail: g.sviridenko@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9586-3786 * автор для контактов	Galina M. Sviridenko , Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Head of Research Department of Microbiology, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-485-325-48-64 E-mail: g.sviridenko@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1231-8388 * corresponding author
Шухалова Ольга Михайловна — младший научный сотрудник, отдел микробиологии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоседеления и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-485-329-81-52 E-mail: o.shukhalova@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7665-8517	Olga M. Shukhalova , Junior Researcher, Department of Microbiology, All-Russian Scientific Research Institute of Butter and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-485-329-81-52 E-mail: o.shukhalova@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7665-8517
Вахрушева Дарья Сергеевна — младший научный сотрудник, отдел микробиологии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоседеления и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-485-329-81-52 E-mail: d.vakhrusheva@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4687-0960	Darya S. Vakhrusheva , Junior Researcher, Department of Microbiology, All-Russian Scientific Research Institute of Butter and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-485-329-81-52 E-mail: d.vakhrusheva@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4687-0960
Мамыкин Денис Станиславович — младший научный сотрудник, отдел микробиологии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоседеления и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-485-329-81-52 E-mail: d.mamykin@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2145-1439	Denis S. Mamykin , Junior Researcher, Department of Microbiology, All-Russian Scientific Research Institute of Butter and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-485-329-81-52 E-mail: d.mamykin@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2145-1439
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.