

Научная статья/ Research article

УДК 637.146

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-274-286

Елена Владимировна Никитина^{1✉}, Никита Михайлович Астахов²,
Эдуард Шамилевич Юнусов³

^{1,2,3}Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Республика Татарстан, Россия

¹ev-nikitina@inbox.ru

²qwertycity1789@gmail.com

³ed.yunusov@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОБИОТИЧЕСКОГО ШТАММА *L. PLANTARUM* В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУТВЕРДОГО СЫРА

Цель исследования – изучение влияния пробиотического штамма *Lactiplantibacillus plantarum* FCa3L на технологические, биохимические и органолептические свойства полутвердого сыра. Исследования проводились в Казанском национальном исследовательском технологическом университете (Россия). Объекты исследования – два варианта сыра: контрольный (с коммерческой закваской CHOOZIT™) и экспериментальный (с добавлением штамма FCa3L). Сыр готовили из пастеризованного коровьего молока (3,3 % белка, 4 % жира) с внесением сычужного фермента и хлорида кальция. Ферментация длилась 60–90 мин при 40 °С, коагуляция – 40 мин при 35 °С. Сыр созрел 45 дней при 12 °С и влажности 75–80 %. Анализировались химические (рН, влажность, жир, белок, соль), текстурные (твердость, упругость), органолептические (вкус, цвет) и антиоксидантные показатели. Добавление FCa3L снизило рН сыра на 0,2 единицы в первые 2 ч ферментации. Влажность экспериментального образца была выше на 2 % на начальном этапе, но к 45-му дню снизилась до 30,97 % против 31,61 % в контроле. Концентрация пептидов в варианте с FCa3L увеличилась на 15 % к 14-му дню созревания. Антиоксидантная активность безбелкового экстракта была выше на 20–25 % по сравнению с контролем. Твердость сыра с FCa3L возросла на 18 % к 42-му дню, а органолептическая оценка выявила более выраженный сырный вкус и стабильный цвет ($L^* = 65,3$ против 68,1 в контроле). *L. plantarum* FCa3L улучшает протеолитическую активность, текстуру и антиоксидантные свойства полутвердого сыра, что делает его перспективным для применения в сыроделии.

Ключевые слова: пробиотик, сыр, текстура, химические показатели, протеолитическая активность, цветность, антиоксидантная активность

Для цитирования: Никитина Е.В., Астахов Н.М., Юнусов Э.Ш. Исследование возможности применения пробиотического штамма *L. plantarum* в технологии полутвердого сыра // Вестник КрасГАУ. 2025. № 8. С. 274–286. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-274-286.

Финансирование: работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан» (грант № 117/2024-ПД).

Elena Vladimirovna Nikitina^{1✉}, Nikita Mikhailovich Astakhov², Eduard Shamilevich Yunusov³

^{1,2,3}Kazan National Research Technological University, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

¹ev-nikitina@inbox.ru

²qwertycity1789@gmail.com

³ed.yunusov@gmail.com

STUDYING PROBIOTIC STRAIN *L. PLANTARUM* USE POSSIBILITY IN SEMI-HARD CHEESE TECHNOLOGY

The aim of the study is to investigate the effect of the probiotic strain *Lactiplantibacillus plantarum* FCa3L on the technological, biochemical and organoleptic properties of semi-hard cheese. The studies were conducted at the Kazan National Research Technological University (Russia). The objects of the study were two versions of cheese: control (with commercial starter culture CHOOZIT™) and experimental (with the addition of the FCa3L strain). The cheese was made from pasteurized cow's milk (3.3 % protein, 4 % fat) with the addition of rennet and calcium chloride. Fermentation lasted 60–90 min at 40 °C, coagulation – 40 min at 35 °C. The cheese was ripened for 45 days at 12 °C and humidity of 75–80 %. Chemical (pH, moisture, fat, protein, salt), textural (hardness, elasticity), organoleptic (taste, color) and antioxidant indicators were analyzed. The addition of FCa3L decreased the pH of the cheese by 0.2 units in the first 2 hours of fermentation. The moisture content of the experimental sample was 2 % higher at the initial stage, but by the 45th day it decreased to 30.97 % versus 31.61 % in the control. The concentration of peptides in the variant with FCa3L increased by 15 % by the 14th day of ripening. The antioxidant activity of the protein-free extract was 20–25 % higher compared to the control. The hardness of the cheese with FCa3L increased by 18 % by the 42nd day, and the organoleptic assessment revealed a more pronounced cheese flavor and stable color ($L^* = 65.3$ versus 68.1 in the control). *L. plantarum* FCa3L improves the proteolytic activity, texture and antioxidant properties of semi-hard cheese, which makes it promising for use in cheese making.

Keywords: probiotic, cheese, texture, chemical indicators, proteolytic activity, color, antioxidant activity

For citation: Nikitina EV, Astakhov NM, Yunusov ESh. Studying probiotic strain *L. plantarum* use possibility in semi-hard cheese technology. *Bulletin of KSAU*. 2025;(8):274-286. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-274-286.

Financing: the work was carried out at the expense of a grant from the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, provided to young candidates of science (postdoctoral students) for the purpose of defending a doctoral dissertation, carrying out research work, and also performing work functions in scientific and educational organizations of the Republic of Tatarstan within the framework of the State Program of the Republic of Tatarstan “Scientific and Technological Development of the Republic of Tatarstan” (grant № 117/2024-PD).

Введение. Сыр – это богатый питательными веществами продукт, содержащий основные питательные вещества, белки, жиры, витамины и минералы, он играет важную роль в удовлетворении питательных потребностей человека при соблюдении меры. Производство твердых и полутвердых сыров включает фазу созревания, которая может длиться разное время. Созревание является сложным процессом, который включает различные биохимические изменения: гидролиз липидов, метаболизм лактозы, распад белка в сочетании с микробиологическими изменениями [1, 2]. Основным катализатором этих превращений служат заквасочные микроорганизмы, а также собственная микробиота молока, молочные ферменты, коагулянты и вторичные микроорганизмы, такие как плесень и дрожжи. В процессе сыроварения могут быть использованы различные заквасочные культуры, но особо популярны закваски на основе *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Lc. lactis* ssp.

cremoris, *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus helveticus* (FD-DVS RSF-736, Chr.Hansen A/S, Hørsholm, Дания) с некоторыми модификациями [3]. В процессе созревания сыра молочные белки подвергаются ферментации молочнокислыми бактериями, в результате которой образуются различные биоактивные пептиды, в т. ч. пептиды-ингибиторы ряда ферментов, иммуномодулирующие пептиды, антимикробные и антиоксидантные пептиды [4]. На уровне геномных исследований в подавляющем большинстве случаев сыров, имеющих стадию созревания, наблюдается следующая тенденция. В сырах молочнокислые бактерии, используемые в качестве закваски, при созревании постепенно заменяются на незаквасочные молочнокислые бактерии, в основном на мезофильные лактобактерии, лейконосток, педиококки и энтерококки, источником которых является используемое молоко, а также среда и инвентарь сыродельни. Эти микроорганизмы в

разной степени присутствуют в жизнеспособной микробиоте сыров во время созревания за счет их способности использовать, помимо остаточной лактозы, другие доступные питательные вещества, такие как пентозы, углеводы из гликозилированных пептидов к-казеина и мембран жировых глобул, цитрат, пептиды и аминокислоты [5].

В современном тренде сыроделия все чаще звучит идея использования сыра как матрицы введения в рацион человека пробиотических бактерий [6–8]. Сыр может считаться эффективным средством доставки пробиотических микроорганизмов в организм человека из-за ряда преимуществ по сравнению с другими ферментированными молочными продуктами. В отличие от йогурта, который имеет более низкий уровень pH (~4,0–4,5), у сыра этот показатель обычно выше (~5,0–5,5), что создает более благоприятные условия для выживания пробиотиков как в самом продукте, так и при прохождении через желудок человека [9]. Многие пробиотики являются анаэробными или микроаэрофильными (например *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*), поэтому плотная структура сыра ограничивает воздействие кислорода, повышая жизнеспособность полезных бактерий. Молочные жиры в сыре могут инкапсулировать клетки пробиотиков, защищая их от агрессивной среды желудка и улучшая их выживаемость в кишечнике [10]. В процессе своего развития в сыре пробиотические лактобактерии выделяют множество продуктов метаболизма, положительно влияющих на функциональное состояние человека [11]. Помимо повышения полезных свойств пищевых продуктов пробиотические

лактобактерии могут выполнять защитную функцию в сыре, предотвращая развитие *Aspergillus flavus* и *Aspergillus niger* и соответственно накопления афлотоксинов [12]. В дополнение у штамма *L. rhamnosus* выявлена способность ингибировать рост патогенного *L. monocytogenes* в сыре [13]. Таким образом, актуальность изучения пробиотических штаммов российской селекции на качественные показатели сыра очень высока и имеет широкую перспективу развития.

Цель исследования – изучить влияние незаквасочного пробиотического штамма *Lactiplantibacillus plantarum* FCa3L на комплекс показателей качества полутвердого сыра.

Задачи: оценка сыров, изготовленных с классической закваской и закваской, в которую добавлен пробиотический штамм, по следующим параметрам: химические, структурно-механические, органолептические и антиоксидантные.

Объекты и методы. Влияние штамма *Lactiplantibacillus plantarum* FCa3L (ранее этот штамм был описан как пробиотический [14]) изучали в модели полутвердого сыра. Изготовление сыра проводили по ранее описанному методу [15]. Использовали сырое коровье молоко со следующими характеристиками: 3,3 % белка; 4 % жира; 4,15 % лактозы, данные получены с помощью «Клевер-2М» (Россия). Предварительно пастеризованное молоко (75 °С, 30 с) охлаждали до 40 °С, добавляли заквасочную культуру CHOOZIT™ (Danisco, Франция), пробиотический штамм *L. plantarum* FCa3L (варианты сыров приведены в табл. 1), оставляли на ферментацию на 60–90 мин.

Таблица 1

Рецептура сыра полутвердого Semi-hard cheese recipe

Компонент рецептуры	Контроль	<i>L. plantarum</i> FCa3L
Сырое коровье молоко, л	4	4
Жидкая коммерческая закваска CHOOZIT™, мл	5	–
Жидкая закваска <i>L. Plantarum</i> , мл	–	5
Коммерческая закваска CHOOZIT™, г	0,07	0,07
Жидкий сычужный фермент, мл	0,12	0,12
Раствор хлорида кальция (10 %), мл	4	4

После ферментации и снижения pH на 0,2 ед., добавляли сычужный фермент (50000 ед.) (ООО «Современные технологии», г. Радужный, Рос-

сия). Смесь оставляли для коагуляции при температуре 35 °С на 40 мин, затем молоко оставляли в покое до образования прочного сгустка. Получив-

шийся сгусток разрезали стерильным творожным ножом на кусочки размером $1 \times 1 \times 1$ см, полученную массу оставляли в покое на 15–30 мин, затем отделяли сыворотку. Зерно перекладывали в формы, самопрессовали в течение 2 ч, затем прессовали под давлением, ставили отдыхать в холодильник на 12 ч. Сыры извлекали из форм, посол осуществляли в рассоле и далее отправляли на созревание в течение 45 дней при температуре $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, влажности воздуха 75–80 %, анализ качества сыра проводили через 3 дня и далее каждые две недели.

Химический состав сыра, цветность определяли как описано ранее [15].

Органолептическая оценка сыра проводилась через 45 дней после созревания. Сыры разрезали на кубики размером $\sim 2 \times 2 \times 2$ см³. Затем образцы помещали на пластиковые тарелки и кодировали случайными двузначными номерами. Гедонистическая оценка проводилась нетренированной и некурящей группой из 20 испытуемых (10 мужчин и 10 женщин, возраст от 19 до 65 лет), просили описать вкус, запах и текстуру сыра.

Приготовление водного экстракта и безбелкового экстракта. Образцы сыра (1 г) гомогенизировали в 10 мл дистиллированной воды, суспензию оставляли на 1 ч при $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем фильтровали через бумажный фильтр и использовали для анализа как водный экстракт (ВЭ). Для получения безбелкового экстракта (ББЭ) в 5 мл водного экстракта добавляли 0,2 мл 90 % трихлоруксусной кислоты, выдерживали 5 мин, потом центрифугировали 8000 об/мин 10 мин при комнатной температуре, супернатант собирали и использовали для анализа.

Суммарные фенольные соединения (СФС) в водном экстракте (ВЭ) и ББЭ определяли с помощью реактива Фолина-Чиокальтеу. Для этого 250 мкл образца добавляли к 250 мкл реагента Фолина-Чиокальтеу, через 10 мин добавляли 1,25 мл раствора карбоната натрия (5 %) и 0,75 мл чистой воды и перемешивали. Затем смесь инкубировали в течение 1 ч в темноте и измеряли абсорбцию при 750 нм с помощью спектрофотометра (СФ-2000, Россия). Результаты выражали в тирозиновых эквивалентах, мкг/мл.

Анализ концентрации пептидов осуществляли с помощью О-фталдигидроксида анализа (OPA): ББЭ (100 мкл) смешивали с 1,0 мл раствора реагента OPA (ThermoScientific, США) и инкубировали в течение 2 мин. Абсорбцию из-

меряли при 340 нм (спектрофотометр СФ-2000, Россия).

Оценка радикал-связывающей активности. Для анализа 1 мл образца (водный экстракт или безбелковый экстракт) смешивали с 1 мл свежеприготовленного 0,12 мМ раствора 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (ДППГ) в этаноле. Реакционные смеси инкубировали при комнатной температуре в темноте в течение 30 мин. Смеси центрифугировали в течение 2 минут при 10000 об/мин. Поглощение супернатанта измеряли при 517 нм с помощью спектрофотометра СФ-2000 (Россия). Активность поглощения радикалов рассчитывали по следующему уравнению:

Ингибирование, % = $[(\text{абсорбция контроля} - \text{абсорбция образца}) / (\text{абсорбция контроля})] \cdot 100\text{ \%}$.

Оценка гидроксил-радикал-связывающей активности. Для анализа 0,5 мл образца (водный экстракт или безбелковый экстракт) смешивали с 0,5 мл дистиллированной воды, затем приливали 1 мл образца, добавляли 1 мл 5 мМ/л раствора сульфата железа (FeSO_4), 1 мл 5 мМ/л раствора салициловой кислоты в этаноле, 1 мл 0,03 % раствора перекиси водорода, затем перемешивали и инкубировали при $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин, центрифугировали 5 мин при 9000 об/мин и отбирали надосадочную жидкость. Поглощение супернатанта измеряли при 510 нм с помощью спектрофотометра СФ-2000 (Россия). Активность поглощения радикалов рассчитывали по следующему уравнению:

Ингибирование, % = $[(\text{абсорбция контроля} - \text{абсорбция образца}) / (\text{абсорбция контроля})] \cdot 100\text{ \%}$.

Определение восстанавливающей активности. 1 мл исследуемых образцов (водный экстракт или безбелковый экстракт) смешивали с 1 мл 0,2 М К-На фосфатного буфера (рН 6,5) и 1 мл 1 % феррицианида калия. Реакционную смесь инкубировали 20 мин при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, охлаждали, после чего добавляли 1 мл 10 % трихлоруксусной кислоты. Смесь центрифугировали при 7000 об/мин 5 мин при комнатной температуре. К супернатанту (1 мл) добавляли 1 мл дистиллированной воды и 200 мкл 0,1 % FeCl_3 . Абсорбцию реакционной смеси измеряли при 700 нм с помощью спектрофотометра СФ-2000 (Россия).

Анализ текстуры проводился в соответствии с [16], с некоторыми изменениями. Сыр нарезают кубиками размерами $1 \times 1 \times 1$ см. Текстурильный профиль определяли при температуре $(25 \pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ с помощью текстурометра «Структурометр СТ-2» и программного обеспечения ST-Data-TPA (ООО

«Лаборатория качества», Россия). Испытание проводили с помощью цилиндрического зонда диаметром 36 мм, который внедрялся в исследуемые образцы. Было произведено 2 цикла погружения зонда со скоростью 0,5 мм/с. Образцы сжимали на 50 % от первоначальной высоты.

В ходе анализа были измерены твердость (пиковая сила, возникающая при первом сжатии), упругость (отношение расстояния, на которое поднимается поршень при втором сжатии, к исходному расстоянию сжатия), когезия (отношение площадей второго и первого сжатий) и пережевываемость (произведение твердости, упругости и когезии).

Результаты и их обсуждение. В работе изучали влияние незаквасочного штамма *Lactiplantibacillus plantarum* FCa3L в составе сырной закваски на комплекс показателей, в том числе отражающих активность штамма в условиях молочного сырья в технологии полутвердого сыра. Выявлено, что уже на стадии ферментации молока добавление *L. plantarum* FCa3L приводит к более интенсивному накоплению молочной кислоты, на протяжении 2 ч ферментации показатель pH в варианте +FCa3L был на 0,2 ед. меньше, чем в контроле (рис. 1). В процессе созревания эта тенденция сохранилась, в течение 45 дней pH в экспериментальном варианте был ниже.

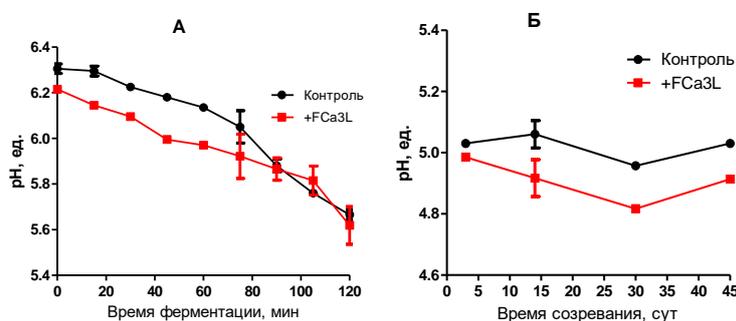


Рис. 1. Изменения pH молока в процессе ферментации (А) и динамика pH сыра в процессе созревания (Б)
Changes in milk pH during fermentation (A) and cheese pH dynamics during ripening (B)

Анализ химических показателей выявил более активное накопление молочной кислоты в образце +FCa3L в процессе созревания, что свидетельствует об отсутствии ингибирования кислотообразования всей закваски в присутствии *L. plantarum* FCa3L (табл. 2). Влажность сыров при закладке на созревание различалась, в варианте с *L. plantarum* FCa3L она была выше на 2 %. Через 14 сут, как и следовало ожидать, количество влаги резко уменьшилось, причем в варианте с *L. plantarum* FCa3L это уменьшение

более значимое, чем в контроле. На всем протяжении созревания контрольный сыр постепенно отдавал воду, чего не скажешь о варианте +FCa3L. Изменение количества жира было обратно пропорционально количеству влаги, что ожидаемо. Общее содержание белка при созревании в обоих случаях практически не изменялось. Надо заметить, что вариант +FCa3L лучше просолился, о чем свидетельствует большая концентрация соли в сыре.

Таблица 2

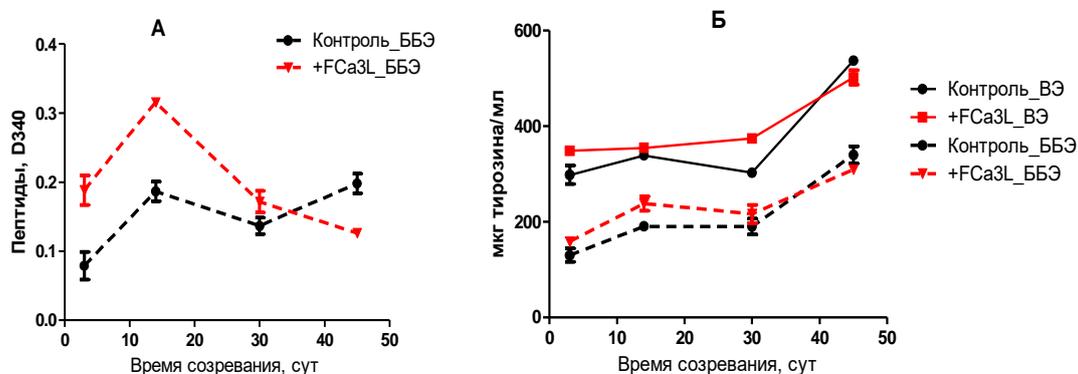
Химические показатели сыров в процессе созревания
The chemical parameters of cheeses during the ripening process

Вариант сыра	Срок созревания, сут	Молочная кислота, %	Белок, %	Жир, %	Влажность, %	Соль, %	Глюкоза, мкМ/л
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль	3	8,235	26,085	31,86	39,989	2,466	12,25
	10	8,145	26,173	35,945	35,915	1,967	12,75
	30	8,875	25,670	39,160	33,089	2,081	13,50
	45	8,740	26,378	39,876	31,609	2,137	13,59

1	2	3	4	5	6	7	8
+FCA3L	3	8,505	26,422	29,173	41,727	2,678	13,63
	10	8,730	25,857	38,624	33,015	2,504	13,75
	30	8,910	26,323	39,866	31,531	2,280	14,00
	45	9,270	26,467	39,682	30,975	2,876	13,75

Анализ пептидов, как показателей протеолитической активности, показал, что добавление в закваску штамма FCa3L увеличивает гидролиз белков под действием бактериального консорциума с образованием низкомолекулярных продуктов (рис. 2, А). Особенно активное накопление пептидов было в период первых 14 сут, в дальнейшем в варианте сыра с FCa3L наблюдалось снижение этого показателя. Такой ход

кривой свидетельствует об активных микробных процессах включения продуктов гидролиза белков в метаболические пути. Что касается контроля, то здесь наблюдалось накопление пептидов через 14 сут, с дальнейшей стабилизацией этого показателя. Минимальное изменение количества пептидов в процессе созревания, видимо, является следствием снижения численности заквасочных бактерий.



Добавление в состав закваски пробиотического штамма FCa3L приводило к увеличению суммарного количества фенольных соединений в водном и безбелковом экстракте (рис. 2, Б), этот показатель служит индикатором присутствия соединений с ароматической группой, обладающих антиоксидантными свойствами.

В процессе созревания были выявлены отличия структурно-механических свойств между образцами. Прежде всего сырное зерно, формируемое при созревании, в варианте с FCa3L отличалось большей влагоудерживающей способностью (рис. 3, А). Кроме того, сырное зерно в варианте +FCa3L было способно больше сорбировать добавленную воду (рис. 3, Б). Таким образом, добавление в закваску пробиотического штамма позволяет формировать одновре-

менно сырную матрицу с повышенной сочностью за счет остаточной воды и способности вбирать дополнительно влагу извне.

Текстурные характеристики образцов сыра значительно отличались (рис. 4), эти отличия формировались по мере созревания сыров. Показатель твердости резко вырос на 14-е сут созревания как в контрольном, так и в опытном образце. В процессе дальнейшего созревания, к 28-м сут, твердость обоих образцов понизилась, а на 42-е сут созревания этот показатель опять увеличился как в контрольном, так и в опытном образце. Следует отметить, что на 3-и сут созревания твердость была выше у контрольного образца, а начиная с 14-х сут созревания твердость была выше у опытного образца.

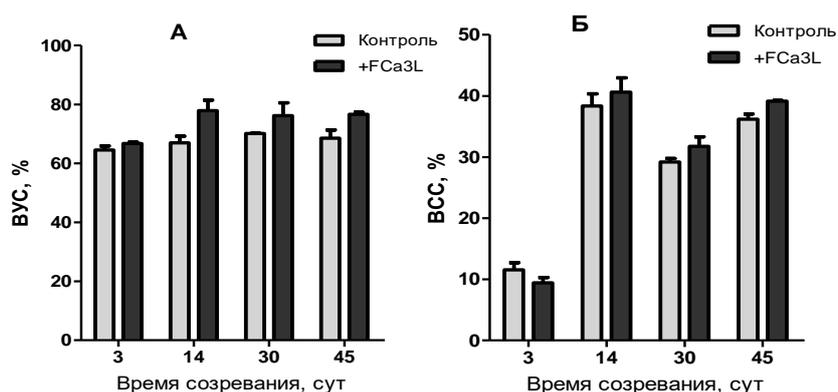


Рис. 3. Изменения влагоудерживающей (А) и влагосвязывающей (Б) способности сыра в процессе созревания
 Changes in water-holding (A) and water-binding (B) capacity during cheese ripening process

Похожая картина наблюдалась при анализе показателя пережевываемости. Пережевываемость опытного образца на 3-и сут была существенно ниже контрольного, однако на 14-е и 28-е сут созревания разница в этом показателе уже не была столь значительной, а на 42-е сут пережевываемость опытного образца стала выше, чем у контрольного.

Показатели упругости и когезии постепенно снижались в течение всего срока созревания, причем значения этих показателей у опытного образца были ниже по сравнению с контрольным. Следует отметить, что в контрольном образце снижение значений как упругости, так и когезии происходило более интенсивно.

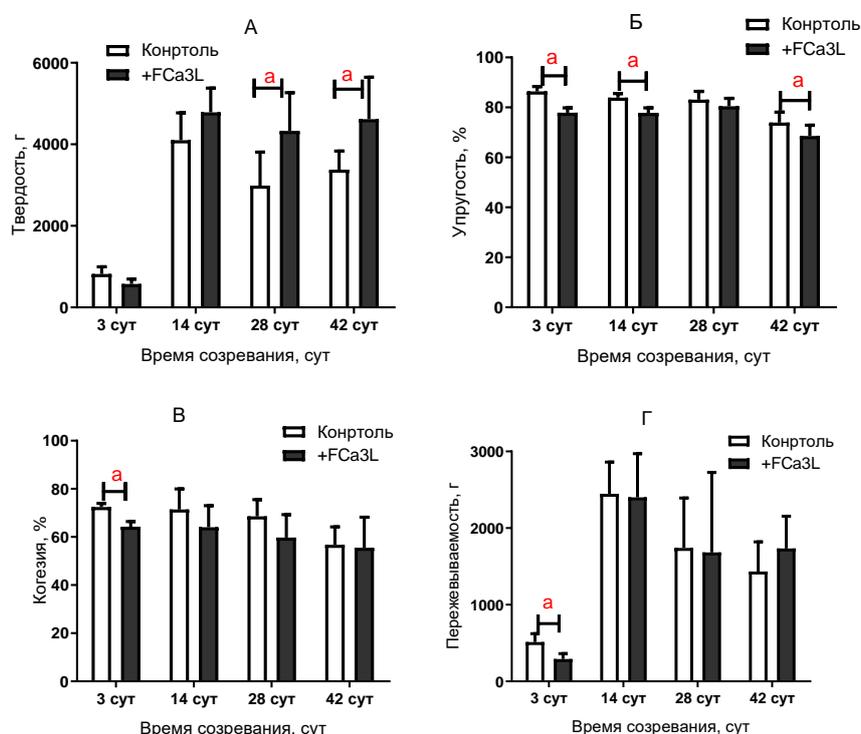


Рис. 4. Изменения показателей текстурного профиля сыров в процессе созревания:
 А – твердость; Б – упругость, В – когезия; Г – пережевываемость
 Changes in the textural profile of cheeses in the process of ripening:
 А – hardness; Б – elasticity, В – cohesion, Г – chewiness

Органолептическая характеристика сыров была различна, корка у обоих образцов была прочная, ровная, без повреждений. Консистенция различалась: если у контроля тело сыра было умеренно эластичным, то в варианте с FCa3L оно было более плотным. На разрезе у обоих образцов были глазки неправильной формы, в контроле они располагались равномерно по всей толще, а в варианте с FCa3L менее равномерно. Вкус сыра в варианте с FCa3L был более острый, насыщенно сырный, тогда

как в контроле выраженный сырный вкус чуть кисловатый. Цвет образцов различался, сыр с пробиотиком был более темный, что подтверждается и инструментальным анализом (рис. 5), показатель *L* (белизны) меньше в сыре FCa3L, кроме того, показатель *a* в варианте FCa3L более стабилен при созревании и не стремится к 0. Показатель *b* не подвержен флуктуациям при созревании, формируется устойчивая желтая окраска, тогда как в контроле интенсивность желтизны больше к концу созревания.

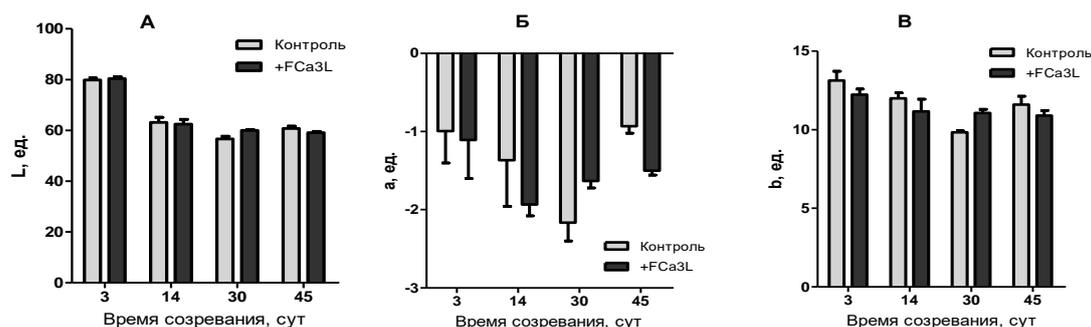


Рис. 5. Изменения цветовых характеристик сыра в процессе созревания:
 А – *L* показатель белизны (+)белый/(–)черный; Б – (+)краснота/(–)зеленость;
 В – (+)желтизна/(–)голубизна
 Changes in color characteristics of cheese during ripening:
 А – *L* indicator of whiteness (+)white/(–)black; Б – (+) redness/(–)greenness;
 В – (+)yellowness/(–)blueness

Антиоксидантные свойства кисломолочных напитков обеспечиваются различными продуктами метаболизма: аминокислотами, биоактивными пептидами, которые высвобождаются из α -лактальбумина, β -лактоглобулина и α -казеина в процессе ферментации, вновь синтезированными пептидами [17, 18]. Учитывая процессы молочнокислого брожения, протеолиза, протекающих в сыре, можно предположить, что сыр содержит в своем составе компоненты с антиоксидантными свойствами. В исследовании проводили анализ безбелкового экстракта и водного экстракта сыра (рис. 6), такое разделение дало возможность оценить отдельно вклад низкомолекулярных пептидов. Радикалсвязывающая активность низкомолекулярных соединений в БЭ на протяжении почти всего процесса созревания была выше в варианте с FCa3L. При этом этот показатель не отличался при анализе водного экстракта, что, видимо, обусловлено большим вкладом в реализацию связывания радикалов экстрагируемых молочных белков.

Гидроксил-радикалсвязывающая активность компонентов БЭ в варианте сыра FCa3L была на всем протяжении созревания выше, тогда как в водном экстракте выявлены значительные флуктуации. Возможно, за реализацию способности связывать гидроксил-ионы отвечают группы веществ в сырном матрикс, претерпевающие преобразования под действием молочнокислых бактерий. Восстановительная сила БЭ и водного экстракта как контрольного, так и опытного варианта сыров не отличалась на всем протяжении созревания.

Активное использование пробиотиков в технологии кисломолочных напитков является катализатором расширения ассортимента продуктов, в технологии которых могут быть использованы пробиотические бактерии. В настоящей работе была продемонстрирована возможность использования штамма *L. plantarum* FCa3L [19] с целым рядом пробиотических свойств в технологии полутвердого сыра. Штамм *L. plantarum* FCa3L не влияет на общее содержание основных пищевых веществ в сыре. Однако выявле-

ны изменения накопления продуктов протеолиза в варианте сыра с добавлением *L. plantarum* FCa3L. В ранний период созревания наблюдается усиленное накопление низкомолекулярных пептидов в сыре FCa3L. Аналогичные результаты были получены исследователями при использовании *Lactobacillus helveticus* в чеддере [20]. Кроме того, выявлено повышенное накопление фенолсодержащих соединений как продуктов гидролиза молочных белков, так и про-

дуктов метаболизма МКБ в экспериментальном варианте. Роль пептидов, продуктов метаболизма МКБ в формировании полезных свойств кисломолочных продуктов обсуждается во многих работах [20, 21]. В наших исследованиях выявлен большой антиоксидантный потенциал в варианте с *L. plantarum* FCa3L, что коррелирует с большей интенсивностью накопления продуктов протеолиза.

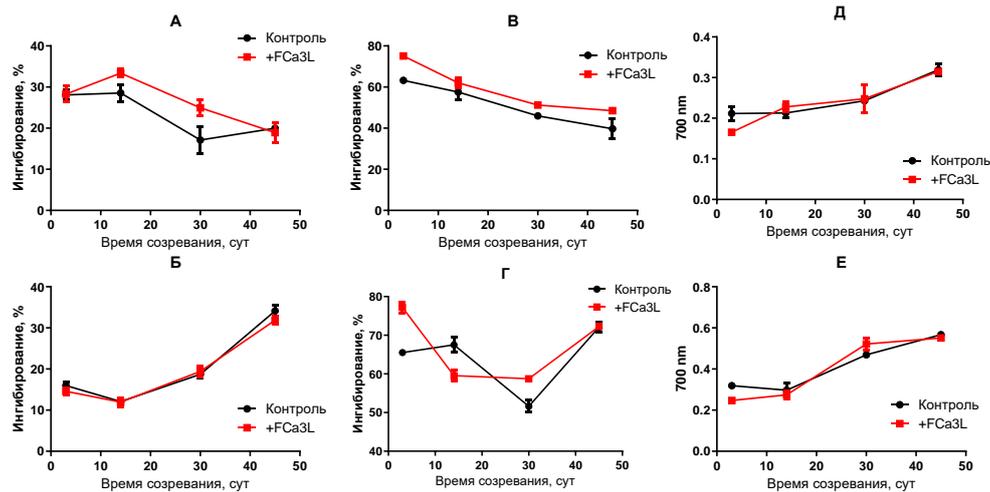


Рис. 6. Изменения антиоксидантных свойств сыров в процессе созревания:
 А, Б – радикалсвязывающая активность; В, Г – гидроксил-радикал-связывающая активность;
 Д, Е – восстанавливающая активность; А, В, Д – безбелковый экстракт,
 Б, Г, Е – водный экстракт

Changes in antioxidant properties of cheese in the ripening process:
 А, Б – radical-scavenging activity; В, Г – hydroxyl-radical-scavenging activity;
 Д, Е – reducing activity; А, В, Д – protein-free extract; Б, Г, Е – water extract

Интересным является факт изменения текстуры сыра, если в состав закваски интродуцирован *L. plantarum* FCa3L. Показатель твердости указывает на требуемое усилие для деформации твердого тела. Применительно к сырам этот показатель связан с влажностью продукта. Влажность в сыре служит своеобразным связующим звеном, обеспечивая молекулам возможность свободного перемещения относительно друг друга, и способствует мягкости и пластичности продукта [22]. Высокие значения влажности в начальный период созревания обуславливают низкие значения твердости, и наоборот, по мере снижения влажности при дальнейшем созревании твердость сыров увеличивалась. Снижение когезии и упругости в процессе созревания может быть связано с протеолизом белковых молекул, а также с накоплением молочной кислоты. По мере увеличения протеолиза или сниже-

ния рН целостность и сцепление мицелл казеина в сыре нарушаются [23]. Кроме того, имеются сведения, что по мере ослабления связей внутри белковой матрицы увеличивается взаимодействие белков с влагой [24]. Это в свою очередь приводит к ослаблению структурных связей между частицами сыра и снижению когезии.

Принимая во внимание полученные в процессе комплексного исследования результаты, можно говорить о положительной роли пробиотического штамма *L. plantarum* FCa3L в составе закваски для полутвердых сыров. Высокие технологические параметры полученного сыра в совокупности с показанными ранее высокими антагонистическими свойствами *L. plantarum* FCa3L по отношению к патогенным бактериям делает перспективным применение этого штамма в сыроделии

Заключение. Проведенное исследование продемонстрировало, что добавление пробиотического штамма *Lactiplantibacillus plantarum* FCa3L в закваску для полутвердого сыра оказывает значительное влияние на его качественные и функциональные характеристики. Было установлено, что штамм FCa3L способствует более интенсивному кислотообразованию, что подтверждается снижением pH на всех этапах созревания. Кроме того, наблюдалось увеличение протеолитической активности, что привело к накоплению низкомолекулярных пептидов и фенольных соединений, обладающих антиоксидантными свойствами. Текстурные свойства сыра также изменились: образец с FCa3L показал более высокую твердость и пережевываемость, что связано с улучшенной влагоудержи-

вающей способностью сырной матрицы. Органолептическая оценка выявила более насыщенный вкус и устойчивый цвет у сыра с пробиотиком. Антиоксидантная активность, особенно в безбелковом экстракте, была выше в варианте с FCa3L, что подтверждает его потенциал в улучшении функциональных свойств продукта. Таким образом, использование штамма *L. plantarum* FCa3L в технологии полутвердого сыра не только сохраняет традиционные показатели качества, но и обогащает его пищевую ценность за счет увеличения содержания биоактивных компонентов. Полученные результаты открывают перспективы для дальнейшего изучения пробиотических штаммов в сыроделии и разработки новых функциональных продуктов.

Список источников

1. Habliza R., Abd Elhamid A., Shamsia S., et al. Production of ras cheese analogue by partially or totally substitution of milk fat with palm oil // Alexandria Science Exchange Journal. 2022. Vol. 43, N 2. P. 343–352.
2. Hao X., Yang W., Zhu, et al. Proteolysis and ACE-inhibitory peptide profile of Cheddar cheese: Effect of digestion treatment and different probiotics // Lebensmittel-Wissenschaft und – Technologie. 2021. Vol. 145. 111295.
3. Rozman V., Stopnišek N., Lorbeg P.M., et al. Exploring the resistome of probiotics, starter cultures, and cheeses via metagenomic analysis // Food Control. 2025. Vol. 172. 111173.
4. Singh T.P., Arora S., Borad S.G., et al. Fatty acid and amino acid profiling, antioxidant activity and other quality characteristics of vacuum packed cheddar style-yak milk cheese during ripening // Food Bioscience. 2023. Vol. 51. P. 1–9.
5. McSweeney P.L.H., Sousa M.J. Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: A review // Le Lait. 2000. Vol. 80. P. 293–324.
6. Dimitrellou D., Kandyli P., Kourkoutas Y., et al. Novel probiotic whey cheese with immobilized lactobacilli on casein // LWT. 2017. Vol. 86. P. 627–634.
7. Pino A., Van Hoorde K., Pitino I., et al. Survival of potential probiotic lactobacilli used as adjunct cultures on Pecorino Siciliano cheese ripening and passage through the gastrointestinal tract of healthy volunteers // Int J Food Microbiol. 2017. Vol. 252. P. 42–52.
8. Mohammadzadeh M., Moayedi A., Khomeiri M., et al. Exploring the probiotic properties of *Lactiplantibacillus pentosus* and gamma-aminobutyric acid production for cheese development // Applied Food Research. 2025. Vol. 5, N 1. 100817.
9. Diniz-Silva H.T., Brandão L.R., de Sousa Galvão M. et al. Survival of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Escherichia coli* O157: H7 in Minas Frescal cheese made with oregano and rosemary essential oils. Food Microbiol. 2020. Vol. 86. 103348.
10. Chen P., Liu L., Zhang X., et al. Antioxidant activity of Cheddar cheese during its ripening time and after simulated gastrointestinal digestion as affected by probiotic bacteria // Int. J. Food Prop. 2019. Vol. 22. P. 218–229.
11. Chourasia R., Abedin M.M., Chiring Phukon L., et al. Biotechnological approaches for the production of designer cheese with improved functionality // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021. Vol. 20, N 1. P. 960–979.

12. Moneeb A.H.M., Mehany T., Abd-Elmonem M.A., et al. Probiotic *Lactobacillus* strains as protective adjunct cultures against fungal growth and toxin production in Hard cheese // *LWT – Food Science and Technology*. 2024. Vol. 213. 117057.
13. Prezzia L.E., Leea S.H.I., Nunesa V.M.R., et al. Effect of *Lactobacillus rhamnosus* on growth of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* in a probiotic Minas Frescal cheese // *Food Microbiology*. 2020. Vol. 92. 103557.
14. Karaseva O., Ozhegov G., Khusnutdinova D., et al. Whole Genome Sequencing of the Novel Probiotic Strain *Lactiplantibacillus plantarum* FCa3L // *Microorganisms*. 2023. Vol. 11, N 5. P. 1234.
15. Юнусов Э.Ш., Пономарев В.Я., Никитина Е.В. Оценка перспективы использования незаквасочного штамма *Lactiplantibacillus plantarum* AG15 в технологиях ферментированных молочных продуктов. // *Индустрия питания*. 2022. Т. 7, № 3. С. 5–17.
16. Monsalve-Atencio R., Sanchez-Soto K., Chica J., et al. Interaction between phospholipase and transglutaminase in the production of semi-soft fresh cheese and its effect on the yield, composition, microstructure and textural properties // *LWT*. 2022. Vol. 154. 112722.
17. Park Y.W., Nam M.S. Bioactive peptides in milk and dairy products: a review // *Korean J Food Sci Anim Resour*. 2015. Vol. 35. P. 831–840.
18. Stobiecka M., Król J., Brodziak A. Antioxidant Activity of Milk and Dairy Products. // *Animals (Basel)*. 2022. Vol. 12, N 3. P. 245.
19. Anisimova E.A., Yarullina D.R. Antibiotic Resistance of LACTOBACILLUS Strains // *Curr Microbiol* 2019. Vol. 76. 1407.
20. Yang W. Evaluation of the antioxidant activity and identification of potential antioxidant peptides in commercially available probiotic Cheddar cheese // *LWT* 2024. Vol. 205. 116486.
21. Zanga A., Cui L., Tu X., et al. Peptides derived from casein hydrolyzed by *Lactobacillus*: Screening and antioxidant properties in H2O2-induced HepG2 cells model // *Journal of Functional Foods*. 2024. Vol. 117. 106221.
22. Amiri S., Kohneshahri A.S.R., Nabizadeh F. The effect of unit operation and adjunct probiotic culture on physicochemical, biochemical, and textural properties of Dutch Edam cheese // *LWT*. 2022. Vol. 155. 112859.
23. Oluk A.C. Effect of production variations on the composition, textural and microstructural properties, and volatile compounds of Turkish white cheese during ripening // *LWT*. 2023. Vol. 173. 114348.
24. Moreira G., Costa R., Teodoro V.A.M., et al. Effect of ripening time on proteolysis, free amino acids, bioactive amines and texture profile of Gorgonzola-type cheese // *LWT*. 2018. Vol. 98. P. 583–590.

References

1. Habliza R, Abd Elhamid, A., Shamsia S, et al. Production of ras cheese analogue by partially or totally substitution of milk fat with palm oil. *Alexandria Science Exchange Journal*. 2022;43(2):343-352. DOI: 10.21608/asejaiqsae.2022.248650.
2. Hao X, Yang W, Zhu, et al. Proteolysis and ACE-inhibitory peptide profile of Cheddar cheese: Effect of digestion treatment and different probiotics. *Lebensmittel-Wissenschaft und – Technologie*. 2021;145:111295. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111295.
3. Rozman V, Stopnišek N, Lorbeg PM, et al. Exploring the resistome of probiotics, starter cultures, and cheeses via metagenomic analysis. *Food Control*. 2025;172:111173. DOI: 10.1016/j.foodcont.2025.111173.
4. Singh TP, Arora S, Borad SG, et al. Fatty acid and amino acid profiling, antioxidant activity and other quality characteristics of vacuum packed cheddar style-yak milk cheese during ripening. *Food Bioscience*. 2023;51:1-9. DOI: 10.1016/j.fbio.2022.102213.
5. McSweeney PLH, Sousa MJ. Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: A review. *Le Lait*. 2000;80:293-324.
6. Dimitrellou D, Kandyli P, Kourkoutas Y, et al. Novel probiotic whey cheese with immobilized lactobacilli on casein. *LWT*. 2017;86:627-634. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.08.028.

7. Pino A, Van Hoorde K, Pitino I, et al. Survival of potential probiotic lactobacilli used as adjunct cultures on Pecorino Siciliano cheese ripening and passage through the gastrointestinal tract of healthy volunteers. *Int J Food Microbiol.* 2017;252:42-52. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2017.04.012.
8. Mohammadzadeh M, Moayedi A, Khomeiri M, et al. Exploring the probiotic properties of *Lactiplantibacillus pentosus* and gamma-aminobutyric acid production for cheese development. *Applied Food Research.* 2025;5(1):100817. DOI: 10.1016/j.afres.2025.100817.
9. Diniz-Silva HT, Brandão LR, de Sousa Galvão M, et al. Survival of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Escherichia coli* O157: H7 in Minas Frescal cheese made with oregano and rosemary essential oils. *Food Microbiol.* 2020;86:103348. DOI: 10.1016/j.fm.2019.103348.
10. Chen P, Liu L, Zhang X, et al. Antioxidant activity of Cheddar cheese during its ripening time and after simulated gastrointestinal digestion as affected by probiotic bacteria. *Int. J. Food Prop.* 2019;22:218–229.
11. Chourasia R, Abedin MM, Chiring Phukon L, et al. Biotechnological approaches for the production of designer cheese with improved functionality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* 2021;20(1):960-979. DOI: 10.1111/1541-4337.12680.
12. Moneeb AHM, Mehany T, Abd-Elmonem MA, et al. Probiotic *Lactobacillus* strains as protective adjunct cultures against fungal growth and toxin production in Hard cheese. *LWT – Food Science and Technology.* 2024;213:117057. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.117057.
13. Prezzia LE, Leea SHI, Nunesa VMR, et al. Effect of *Lactobacillus rhamnosus* on growth of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* in a probiotic Minas Frescal cheese. *Food Microbiology.* 2020;92:103557. DOI: 10.1016/j.fm.2020.103557.
14. Karaseva O, Ozhegov G, Khusnutdinova D, et al. Whole genome sequencing of the novel probiotic strain *Lactiplantibacillus plantarum* FCa3L. *Microorganisms.* 2023;11(5):1234. DOI: 10.3390/microorganisms11051234.
15. Yunusov ESh, Ponomarev VY, Nikitina EV. Evaluation of the prospects of using the non-starter strain *Lactiplantibacillus plantarum* AG15 in fermented dairy products technologies. *Food industry.* 2022;7(3):5-17 (In Russ.). DOI: 10.29141/2500-1922-2022-7-3-1. EDN: NYSJHR.
16. Monsalve-Atencio R, Sanchez-Soto K, Chica J, et al. Interaction between phospholipase and transglutaminase in the production of semi-soft fresh cheese and its effect on the yield, composition, microstructure and textural properties. *LWT.* 2022;154:112722. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112722.
17. Park YW, Nam MS. Bioactive peptides in milk and dairy products: a review. *Korean J Food Sci Anim Resour.* 2015;35:831-840.
18. Stobiecka M, Król J, Brodziak A. Antioxidant activity of milk and dairy products. *Animals (Basel).* 2022;12(3):245.
19. Anisimova EA, Yarullina DR. Antibiotic resistance of *Lactobacillus* strains. *Curr Microbiol.* 2019;76:1407. DOI: 10.1007/s00284-019-01769-7.
20. Yang W. Evaluation of the antioxidant activity and identification of potential antioxidant peptides in commercially available probiotic Cheddar cheese. *LWT.* 2024;205:116486. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.116486.
21. Zanga A, Cui L, Tu X, et al. Peptides derived from casein hydrolyzed by *Lactobacillus*: Screening and antioxidant properties in H₂O₂-induced HepG2 cells model. *Journal of Functional Foods.* 2024;117:106221. DOI: 10.1016/j.jff.2024.106221
22. Amiri S, Kohneshahri ASR, Nabizadeh F. The effect of unit operation and adjunct probiotic culture on physicochemical, biochemical, and textural properties of Dutch Edam cheese. *LWT.* 2022;155:112859. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112859.
23. Oluk AC. Effect of production variations on the composition, textural and microstructural properties, and volatile compounds of Turkish white cheese during ripening. *LWT.* 2023;173:114348. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.114348.
24. Moreira G, Costa R, Teodoro VAM, et al. Effect of ripening time on proteolysis, free amino acids, bioactive amines and texture profile of Gorgonzola-type cheese. *LWT.* 2018;98:583-590. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.09.026.

Статья принята к публикации 29.05.2025 / The article accepted for publication 29.05.2025.

Информация об авторах:

Елена Владимировна Никитина¹, доцент кафедры технологий мясных и молочных продуктов, кандидат биологических наук, доцент

Никита Михайлович Астахов², инженер кафедры технологий мясных и молочных продуктов

Эдуард Шамилевич Юнусов³, доцент кафедры технологий мясных и молочных продуктов, кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors:

Elena Vladimirovna Nikitina¹, Associate Professor at the Department of Meat and Dairy Products Technologies, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Nikita Mikhailovich Astakhov², Engineer at the Department of Meat and Dairy Products Technologies

Eduard Shamilevich Yunusov³, Associate Professor at the Department of Meat and Dairy Products Technologies, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

