



УДК 637.075:648.63

<https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-4-52>

Источник изображения: freepik.com

# ПОДХОДЫ К ПРОВЕДЕНИЮ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ С ЦЕЛЬЮ УСТАНОВЛЕНИЯ ПРИЧИН ПОРЧИ МОЛОЧНОГО ПРОДУКТА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

**Юлия Константиновна Юшина<sup>1</sup>**, д-р. техн. наук, руководитель лаборатории

E-mail: yu.yushina@fncps.ru

**Дагмара Султановна Батаева<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

E-mail: d.bataeva@fncps.ru

**Мария Александровна Грудистова<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, научный сотрудник

E-mail: m.grudistova@fncps.ru

**Анжелика Александровна Махова<sup>1</sup>**, научный сотрудник

E-mail: a.mahova@fncps.ru

**Елена Викторовна Зайко<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, младший научный сотрудник

E-mail: e.zaiko@fncps.ru

**Максим Дмитриевич Рещиков<sup>1</sup>**, младший научный сотрудник

E-mail: reshchikov@fncps.ru

**Олеся Алексеевна Стаканова<sup>1</sup>**, инженер-исследователь

E-mail: o.stakanova@fncps.ru

**Григорий Новомирович Рогов<sup>2</sup>**, канд. техн. наук, директор

E-mail: g.rogov@fncps.ru

<sup>1</sup>Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, г. Москва

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия – филиал

Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, г. Углич

Серьезную озабоченность в молочной промышленности вызывает микробная порча свежих сыров, вызванная психротрофными бактериями рода *Pseudomonas*, проявляющаяся в виде синего окрашивания поверхности продуктов. Бактерии рода *Pseudomonas* считаются основными микроорганизмами, которые приводят к развитию нежелательных характеристик, значительно снижающих качество продукта и срок его годности. В статье приведены расширенные микробиологические исследования молочного продукта с признаками порчи; результаты исследования молочного сыра, промежуточных продуктов переработки молока и готового продукта; результаты идентификации выделенных бактерий рода *Pseudomonas* на различных этапах производства пастеризованного молока и подходы к мониторингу предприятия по переработке молока. При микробиологическом исследовании продукта с синим цветом творожного зерна (28 сутки хранения) определено, что продукт соответствует установленным микробиологическим требованиям ТР ТС 033/2013, однако не соответствует требованиям к органолептическим характеристикам. Дополнительные микробиологические исследования показали, что бактериями, вызывающими посинение творожного зерна, являются представители группы *Pseudomonas fluorescens*. Установлено, что бактерии рода *Pseudomonas* попадали на предприятие с молочным сырьем, уровень обсеменения которого составил от  $4,0 \times 10^3$  до  $1,0 \times 10^5$  КОЕ/г. В сырых сливках с массовой долей жира 10 %, произведенных на предприятии, уровень бактерий рода *Pseudomonas* достигал  $4,0 \times 10^6$  КОЕ/г. Пастеризация сливок снижает уровень бактерий, но не полностью инактивирует их. В результате исследования смызов с оборудования в 8 из 14 исследованных образцов обнаружены бактерии рода *Pseudomonas*, представленные 13 видами псевдомонад. Из них 9 относятся к группе *Ps. fluorescens*. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что бактерии рода *Pseudomonas* являются одной из основных причин микробной порчи молочных продуктов. В связи с этим были определены опасные факторы, объекты контроля в рамках технологического процесса, показатели для оценки объекта контроля и действия управления опасными факторами, позволяющие в дальнейшем предотвратить возникновение несоответствия в виде изменения цвета (посинения) творожного зерна.

**Ключевые слова:** порча молочных продуктов, творожное зерно, сливки, бактерии рода *Pseudomonas*, синий пигмент, пастеризация, смызы с производства

**Для цитирования:** Подходы к проведению микробиологических испытаний с целью установления причин порчи молочного продукта / Ю. К. Юшина, Д. С. Батаева, М. А. Грудистова [и др.] // Молочная промышленность. 2025. № 4. С. 51–62. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-4-52>

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время значительно увеличивается производство молочных продуктов в связи с тенденцией улучшения уровня жизни людей и изменения структуры и характера питания [1]. Однако молоко является идеальной средой для роста бактерий и плесневых грибов, которые способствуют порче продукта, что зачастую приводит к снижению качества продукции и сокращению срока ее хранения [2]. Порча молочных продуктов может происходить вследствие воздействия физических, химических и микробиологических факторов влияния. Существуют различные виды микробной порчи, такие как, например, сквашивание / скисание или створаживание, газообразование, тягучесть (продукт становится вязким и слизким), появление посторонних привкусов, изменение цвета и др. Серьезную озабоченность в молочной промышленности вызывает микробная порча свежих сыров в виде синего окрашивания поверхности, вызываемая бактериями рода *Pseudomonas* [3, 4].

Изначально молоко внутри вымени стерильно, но сразу после процесса доения оно может быть контаминировано несколькими способами из различных источников как изначально – от источника его получения (во время доения через оборудование, почву), так и во время его транспортирования и хранения (воздух, вода и др.) [5–7].

Нежелательные микроорганизмы могут присутствовать на поверхностях, непосредственно контактирующих с пищевыми продуктами в процессе и после обработки, что приводит к перекрестной контаминации на производственной линии [7, 8]. На предприятиях по переработке молока существуют различные потенциальные факторы и источники загрязнения, такие как качество используемой воды, ненадлежащие температуры хранения, длительные сроки хранения, недостаточная вентиляция, риски перекрестного загрязнения, состояние оборудования для обработки молока и резервуаров для хранения, наличие биопленок в трубах завода и длительные задержки между приемом и хранением молока [9].

Поскольку молоко является скоропортящимся продуктом, при производстве молока и молочных продуктов поддерживается надлежащая холодовая цепь, поэтому именно психротрофные (от др.-греч. ψυχρός – холодный, τροφή – пища) микроорганизмы являются основной причиной беспокойства молочной промышленности, поскольку они могут выживать в условиях охлаждения [9].

Психротрофные бактерии не являются типичными представителями микробного сообщества вымени, поэтому их присутствие в сыром молоке является только результатом загрязнения молока во время доения [10]. Изначально психротрофные бактерии составляют лишь небольшую часть микробной популяции сырого молока, состав которой тесно связан с состоянием здоровья коров и гигиеническими условиями доения. Впоследствии именно условия транспортирования и хранения молока оказывают решающее значение на развитие присутствующей микрофлоры [11, 12].

Психротрофные бактерии способны развиваться при температуре 7 °C или ниже, вне зависимости от их оптимальных условий роста [9]. Именно поэтому они могут легко преобладать в сыром молоке во время холодильного хранения (менее 6–7 °C) до пастеризации или обработки ультравысокой температурой, которые применяются в молочной промышленности во избежание роста бактерий и с целью сохранения первоначальных качественных характеристик [11, 13]. Установлено, что психротрофные бактерии способны нарастать до 50 % от всей микробной популяции после однодневного холодового хранения и более чем на 90 % после двухдневного холодового хранения [14]. По данным зарубежных ученых, микробное сообщество сырого молока смещается в сторону психротрофных бактерий во время хранения, что снижает качество молока [15].



Порча молока и молочных продуктов, связанная с психротрофными бактериями, происходит в основном по трем причинам: либо за счет непосредственного развития психротрофных микроорганизмов, либо из-за ферментов бактерий, накопленных в контаминированном сыром молоке, либо из-за контаминации после пастеризации.

Психротрофные бактерии рода *Pseudomonas* считаются основными микроорганизмами, которые приводят к порче охлажденного сырого молока во время хранения [6, 16, 17]. Из свежего молока и сыра выделяют самые различные виды рода *Pseudomonas* [12, 18, 19]. Бактерии рода *Pseudomonas* группы *Fluorescens* являются преобладающими и состоят более чем из пятидесяти видов и множества неклассифицированных изолятов [19]. Эта сложная филогенетическая группа была разделена на девять подгрупп, включая *Ps. fluorescens*, *Ps. jessejii*, *Ps. fragi*, *Ps. gessardii*, *Ps. corrugata*, *Ps. chlororaphis*, *Ps. mandelii*, *Ps. koreensis* и *Ps. protegens* [20, 21].

В молочных продуктах *Ps. fluorescens* часто является основным микроорганизмом, вызывающим нежелательные изменения, такие как потеря структуры, реологические изменения, деградация белка, неприятные запахи и привкусы, что существенно снижает качество и срок годности продукции [22]. Бактерии *Ps. fluorescens* интенсивно развиваются и в больших количествах вырабатывают термоустойчивые протеолитические и липолитические внеклеточные ферменты (такие как протеазы, липазы и лецитиназы), которые устойчивы к обычной тепловой обработке и приводят к порче молока, дефектам и изменению продуктов в процессе хранения [19, 23]. В частности, такое ухудшение качества молока, как развитие вяжущего или горького привкуса, образование осадка, гелеобразование или коагуляция, чаще всего связано с активностью протеолитических ферментов [16, 23–26]. В то же время активность бактериальных липаз может вызывать появление прогорклого вкуса [27]. Эти внеклеточные ферменты обладают термоустойчивостью, выдерживая нагревание до 100 °C в течение 30 мин [16].

Кроме того, огромную проблему для молочной промышленности представляет порча, связанная с изменением цвета свежих сыров в процессе хранения. При развитии псевдомонад происходит высвобождение ферментов, а также флуоресцентных или цветных пигментов. Пио-вердин (флуоресцеин), пиорубин, пиомеланин,

пиоцианин и индигоидин (синие пигменты) являются основными известными пигментами, производимыми различными штаммами и видами *Pseudomonas* spp. и связанными с дефектами изменения цвета свежих сыров в процессе хранения [28]. Это изменение цвета связано со штаммами, принадлежащими к филогенетической группе *Ps. fluorescens*, и в основном характеризуется пигментом индигоидин, который обычно вырабатывается при низких температурах [4]. Этот синий диазадифенохиноновый пигмент (номер CAS 2435–59–8; химическая формула  $C_{10}H_8N_4O_4$ ) синтезируется различными микроорганизмами [29].

Отличительной чертой *Ps. fluorescens* и *Ps. aeruginosa* [30] является секреция растворимого пигмента пиоцианина (синий пигмент) [31], который способствует выживанию бактерий и обильно вырабатывается в средах с высоким содержанием железа. Железо является необходимым питательным веществом для роста *Ps. fluorescens* [32].



Известно, что бактерии рода *Pseudomonas* являются основными контаминантами продукта после пастеризации, поскольку большинство из них способно образовывать биопленки в труднодоступных местах на производственных линиях, а также поверхности оборудования, инструментов и т. д. [33, 22], тем самым предоставляя бактериям удобную матрицу для роста. Скорость образования биопленки этими бактериями чрезвычайно высока [34] за счет питательных веществ молока, обеспечивающих благоприятные условия для роста бактерий и образования / прикрепления биопленки [35].

Тот факт, что промышленная термическая обработка недостаточно эффективна для инактивации этих ферментов даже после пастеризации или стерилизации, иллюстрирует важность контроля и мониторинга бактерий рода *Pseudomonas* в молочной промышленности [19].

В статье приведены расширенные микробиологические исследования молочного продукта с признаками порчи, подходы к мониторингу предприятия по переработке молока и идентификация выделенных бактерий рода *Pseudomonas* с различных этапов производства пастеризованного молока.

**Целью данной работы** было изучение подходов к проведению микробиологических испытаний и мониторинга на предприятиях по переработке молока для выявления причин порчи молочного продукта. Особое внимание уделялось идентификации бактерий, вызвавших порчу зерненого творога в сливках, на различных этапах его производства, установлению критических точек и установлению объектов, контаминированных бактериями рода *Pseudomonas*.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования стали:

- готовый продукт «Творожное зерно в сливках с наполнителем «Клубника», срок годности 25 суток;
- образцы, отобранные по ходу технологического процесса производства творога зерненого в сливках (молочное сырье, промежуточные продукты переработки молока и готовый продукт, изготовленный из них);
- смывы с объектов производственной среды, отобранные по ходу технологического процесса.

Органолептическую оценку зерненого творога в сливках проводили по ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011. Микроскопирование зерненого творога в сливках проводили по ГОСТ 30425-97 [37].

Микробиологические исследования проводили:

- по показателям, нормируемых в ТР ТС 033/2013 (табл. 1);
- по дополнительным микробиологическим показателям, ненормируемым в данном продукте: КМАФАНМ (КОЕ/г) по ГОСТ 32901-2014, бактерии рода *Pseudomonas* (КОЕ/г) по ГОСТ Р ИСО 13720 (методика верифицирована относительно молочных продуктов), молочнокислые микроорганизмы (КОЕ/г) по ГОСТ 33951-2016, бактерии рода *Enterococcus* (КОЕ/г) по ГОСТ 28566-90.

Исследование образцов продукции, отобранных по ходу технологического процесса производства зерненого творога в сливках, проводили по двум микробиологическим показателям: КМАФАНМ и бактерии рода *Pseudomonas*. Исследования проводили на 3 и 8 сутки хранения. На 8 сутки проводили исследование в случае отсутствия роста на 3 сутки хранения.

Смывы с объектов производственной среды исследовали только на наличие бактерий рода *Pseudomonas*. Смывы отбирали стерильными губками (3M Dry-Sponge, США) или свабами, предварительно смоченными в забуференной пептонной воде (ЗПВ, Россия). Смывы с площади 100 см<sup>2</sup> и более отбирали губками, с площади менее 100 см<sup>2</sup> – свабами. Губки помещали в стерильные пакеты, свабы – в пробирки и транспортировали в лабораторию при температуре от 1 °C до 4 °C. Затем в лаборатории отбирали по 100 мкл смывной жидкости и распределяли с помощью стерильного шпателя на поверхность CFC-агара (цефалотин-фуцидин натрия-цитрамидный агар) и РСА (Plate Count Agar) (Oxoid, Великобритания) в чашках Петри и культивировали при температуре 25 °C в течение 2 суток и при температуре 30 °C в течение 3 суток верно.

**Таблица 1. Микробиологические показатели и их допустимые уровни в молочном продукте, нормируемые в ТР ТС 033/2013**

Показатели	Допустимый уровень	Нормативный документ
Количество дрожжей, КОЕ/г	не более 100	ГОСТ 33566-2015
Количество плесневых грибов, КОЕ/г	не более 50	
<i>S. aureus</i> , г	не допускаются в 0,1	ГОСТ 30347-2016
БГКП (колиформы), г	не допускаются в 0,01	ГОСТ 32901-2014
Патогенные бактерии, в т. ч. <i>Salmonella</i> , г	не допускаются в 25,0	ГОСТ 31659-2012

По истечении времени культивирования посевов с поверхности чашки отбирали колонии с разными культурально-морфологическими признаками для видовой идентификации.

Идентификацию проводили посредством метода времяпролетной масс-спектрометрии MALDI-ToF-MS с помощью масс-спектрометра «Autof MS 1000» (Autobio Diagnostics, Китай). Для этого бактериальную массу колоний наносили на плашку / мишень, подсушивали при комнатной температуре. Затем на 10 мин наносили по 1,2 мкл муравьиной кислоты в каждую ячейку с бактериальной массой, подсушивали, наносили по 1,2 мкл матрицы НССА (а-циано-4-гидроксикоричная кислота, 99 %) и опять подсушивали. Помещали MALDI-мишень в прибор и с помощью программы FlexControl (получение спектров) осуществляли запуск оборудования для идентификации микроорганизмов. Полученные результаты анализировали с помощью программного обеспечения: в случае если значения были ниже 6,0 – результат считался ненадежным и не использовался в дальнейшей работе. Результат считался надежным и учитывался при значениях 6,0–9,0 на уровне рода, 9,0–9,5 на уровне вида.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программного обеспечения Statastical версии 10.0.1011 (StatSoft). Результаты рассчитывались как среднее значение. Различия при  $p < 0,05$  считались статистически значимыми.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для исследования отобраны упаковки зерненого творога в сливках ( $n = 16$ ). При вскрытии упаковок сначала была проведена органолептическая оценка. Результаты представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Результаты органолептической оценки продукта зерненого творога в сливках**

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид и консистенция	Рассыпчатый, с отчетливо различимыми мягкими творожными зернами
Запах	Без посторонних запахов
Цвет творожного зерна	От белого до синего, неравномерный цвет по всей массе
Цвет сливок	Белый

Было установлено окрашивание творожного зерна, не покрытого сливками, в синий цвет и отсутствие изменений цвета творожного зерна, залитого сливками (белый) (рис. 1).

При микробиологическом анализе продукта с измененным цветом установлено, что нормируемые микробиологические показатели соответствовали допустимым уровням, установленным в ТР ТС 033/2013. Результаты исследования представлены в таблице 3.

Микроскопированием мазков, приготовленных из окрашенного творожного зерна, были выявлены грамположительные кокки и грамотрицательные палочки.



**Рисунок 1. Изменение цвета творожного зерна в сливках (с белого на синий цвет)**

**Таблица 3. Результаты микробиологического исследования продукта (зерненого творога в сливках) с измененным цветом согласно ТР ТС 033/2013**

Показатели	Результаты исследования	Нормативное значение
Количество дрожжей, КОЕ/г	Менее 10	Не более 100
Количество плесневых грибов, КОЕ/г	Менее 10	Не более 50
<i>S. aureus</i> , г	Не обнаружены в 0,1	Не допускаются в 0,1
БГКП, г	Не обнаружены в 0,01	Не допускаются в 0,01
Патогенные бактерии, в т. ч. <i>Salmonella</i> , г	Не обнаружены в 25,0	Не допускаются в 25,0

При посеве на агар TSA методом отпечатков творожного зерна синего цвета был получен рост микроорганизмов. При идентификации этих микроорганизмов методом времяпролетной масс-спектрометрии MALDI-Tof-MS был установлен их вид: *Ps. libanensis* и *Ps. extremorientalis*. На основе проведенного научного обзора [1–39] и полученных результатов были определены и проведены дополнительные исследования.

Для определения микробиоты творожного зерна с синим цветом дополнительно проведены исследования. Результаты микробиологических исследований представлены в таблице 4.

Было установлено, что общая обсемененность продукта (КМАФАнМ) составляла  $1,3 \times 10^6$  КОЕ/г. При идентификации колоний, выросших на питательном агаре, обнаружены представители бактерий рода *Pseudomonas* и молочнокислые бактерии. Количество молочнокислых бактерий составляло  $2,5 \times 10^7$  КОЕ/г, а бактерий рода *Enterococcus* – не менее  $1,2 \times 10^3$  КОЕ/г.



**Таблица 4. Результаты микробиологического исследования продукта (зерненого творога в сливках) с измененным цветом по ненормируемым показателям**

Показатели	Результаты, КОЕ/г	Результаты идентификации
КМАФАнМ	$1,3 \times 10^6$	<i>Lactococcus lactis</i> <i>Pseudomonas libanensis</i> <i>Pseudomonas orientalis</i> <i>Pseudomonas extremorientalis</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i>
Бактерии рода <i>Pseudomonas</i> spp.	$2,0 \times 10^3$	<i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Pseudomonas libanensis</i> <i>Pseudomonas synxantha</i>
Молочнокислые бактерии	$2,5 \times 10^7$	–
Бактерии рода <i>Enterococcus</i> spp.	$1,2 \times 10^3$	<i>Streptococcus constellatus</i>

Преимущественно они были представлены видом *Streptococcus constellatus*. Уровень контаминации продукта бактериями рода *Pseudomonas* составил  $2,0 \times 10^3$  КОЕ/г. При идентификации колоний, выросших на селективном агаре, было установлено, что все они представители рода *Pseudomonas* группы *Fluorescens*: *Ps. extremorientalis*, *Ps. fluorescens*, *Ps. libanensis*, *Ps. orientalis* и *Ps. synxantha*. Эти виды микроорганизмов обладают способностью образовывать биопленки и синтезировать пигменты при низких положительных значениях температуры, в т. ч. и синий пигмент, который стал причиной нежелательных органолептических изменений зерненого творога в сливках.

Полученные нами результаты нашли подтверждение в исследованиях, ученых из Китая. L. Yuan et al. из 16 образцов сырого молока выделили 480 изолятов психрофильных бактерий, 58,8 % из которых составили бактерии рода *Pseudomonas* [36]. L. Meng et al. изучили 125 образцов сырого молока из 125 молочных ферм. В 46 образцах молока были выделены 67 видов бактерий рода *Pseudomonas* [37].

Таким образом, в результате проведенных микробиологических исследований зерненого творога с синим цветом было установлено, что продукт контаминирован бактериями рода *Pseudomonas*, которые не нормируются в нем согласно ТР ТС 033/2013. Однако именно эти бактерии синтезируют пигмент синего цвета и вызывают порчу как различных сыров, так и зерненого творога в сливках, установленную в наших исследованиях. При этом следует обратить внимание на то, что продукт соответствовал микробиологическим показателям ТР ТС 033/2013.

Для выяснения источника контаминации исследованного продукта был проведен мониторинг молочного сырья, полученного из различных молочных хозяйств, промежуточных продуктов переработки молока, готового продукта, сыворов с объектов производственной среды, на наличие бактерий группы *Ps. fluorescens*. Результаты представлены в таблице 5.

Микробиологическое исследование молочного сырья, промежуточных продуктов переработки молока и готового продукта на наличие бактерий рода *Pseudomonas* было проведено на 3 и / или на 8 сутки хранения, т. к. в фоновой точке (0 суток хранения) бактерии рода *Pseudomonas* не были выявлены.

Как видно из данных таблицы 5, КМАФАнМ во всех образцах ( $n = 19$ ), которые хранились 3 суток, варьировалось от  $1,0 \times 10^2$  до  $1,3 \times 10^8$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>). При этом в 5 из исследованных образцов продукции бактерии рода *Pseudomonas* обнаружены на 3 сутки хранения, а еще в 9 образцах – на 8 сутки хранения. При исследовании сырого молока № 1–4 ( $n = 1 - 4$ ) наблюдали КМАФАнМ в диапазоне от  $3,1 \times 10^4$  до  $4,8 \times 10^5$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>), а количество бактерий рода *Pseudomonas* – от  $4,0 \times 10^3$  до  $1,0 \times 10^5$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>). В молоке сырому (молочное хозяйство №2) КМАФАнМ и количество бактерий рода *Pseudomonas* составляло не менее  $10^5$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>), в молоке из трех остальных молочных хозяйств количество бактерий рода *Pseudomonas* было ниже в 10 раз, чем КМАФАнМ.

**Таблица 5. Результаты исследования молочного сырья, промежуточных продуктов переработки молока и готового продукта**

№ образца	Объект исследования	КМАФАнМ, КОЕ/г (3 суток хранения)	<i>Pseudomonas</i> spp., КОЕ/г (см <sup>3</sup> )		Пигментация колоний	Результаты идентификации микроорганизмов
			3 суток хранения	8 суток хранения		
1	Молоко сырое (молочное хозяйство № 1)	$2,3 \times 10^5$	$2,0 \times 10^4$	–	присутствует	<i>Pseudomonas libanensis</i> <i>Pseudomonas chlororaphis</i> ssp. <i>aurantiaca</i>
2	Молоко сырое (молочное хозяйство № 2)	$4,8 \times 10^5$	$1,0 \times 10^5$	–	присутствует	<i>Pseudomonas proteolytica</i>
3	Молоко сырое (молочное хозяйство № 3)	$3,1 \times 10^4$	$4,0 \times 10^3$	–	присутствует	<i>Pseudomonas gessardii</i> <i>Pseudomonas veronii</i>
4	Молоко сырое (молочное хозяйство № 4)	$2,2 \times 10^5$	$2,6 \times 10^4$	–	присутствует	<i>Pseudomonas proteolytica</i> <i>Pseudomonas brenneri</i>
5	Ретентат	$1,9 \times 10^5$	$< 1,0 \times 10^2$	$1,7 \times 10^2$	отсутствует	<i>Pseudomonas lundensis</i>
6	Нормализованная смесь № 1 для производства зерненого творога	$7,0 \times 10^3$	$< 1,0 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$	отсутствует	<i>Microbacterium lacticum</i> <i>Pseudomonas proteolytica</i>
7	Нормализованная смесь № 2 для производства зерненого творога	$2,0 \times 10^3$	$< 1,0 \times 10^2$	$7,6 \times 10^2$	отсутствует	<i>Microbacterium lacticum</i> <i>Lactococcus lactis</i> <i>Pseudomonas proteolytica</i>
8	Нормализованная смесь № 3 для производства зерненого творога	$4,5 \times 10^6$	$< 1,0 \times 10^2$	$1,1 \times 10^3$	отсутствует	<i>Pseudomonas proteolytica</i>
9	Промытое творожное зерно	$6,6 \times 10^4$	$< 1,0 \times 10^2$	$< 1,0 \times 10^1$	отсутствует	<i>Lactococcus lactis</i>
10	Пастеризованная вода для промывки зерна с лимонной кислотой	$3,1 \times 10^2$	–	–	отсутствует	–
11	Сливки сырье с м. д. ж. 10 %	$2,8 \times 10^6$	$4,0 \times 10^6$	–	присутствует	<i>Pseudomonas extremonatalis</i> <i>Pseudomonas proteolytica</i>
12	Сливки пастеризованные № 1	$5,0 \times 10^2$	$< 1,0 \times 10^2$	$1,2 \times 10^5$	присутствует	<i>Lactococcus lactis</i> <i>Pseudomonas proteolytica</i>
13	Сливки пастеризованные № 2	$6,0 \times 10^2$	$< 1,0 \times 10^2$	$1,5 \times 10^6$	присутствует	<i>E. coli</i> <i>Pseudomonas synxantha</i> <i>Pseudomonas proteolytica</i>
14	Сливки пастеризованные № 3	$2,0 \times 10^2$	$< 1,0 \times 10^2$	$5,1 \times 10^3$	присутствует	<i>Microbacterium lacticum</i> <i>Pseudomonas frederiksbergensis</i>
15	Сливки пастеризованные № 4	$1,0 \times 10^2$	$< 1,0 \times 10^2$	$1,6 \times 10^4$	присутствует	<i>Pseudomonas brenneri</i>
16	Творожное зерно в сливках № 1	$8,0 \times 10^1$	$< 1,0 \times 10^5$	$< 1,0 \times 10^1$	отсутствует	–
17	Творожное зерно в сливках № 2	$1,0 \times 10^4$	$< 1,0 \times 10^1$	$< 1,0 \times 10^1$	отсутствует	–
18	Творожное зерно в сливках № 3	$1,0 \times 10^3$	$< 1,0 \times 10^1$	$< 1,0 \times 10^1$	отсутствует	–
19	Творожное зерно в сливках № 4	$2,0 \times 10^3$	$< 1,0 \times 10^1$	10	присутствует	<i>Pseudomonas lundensis</i> <i>Pseudomonas viridiflava</i>

В результате был установлен уровень КМАФАНМ  $1,9 \times 10^5$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>), при этом бактерии рода *Pseudomonas* не обнаружены в 0,01 г продукта. Однако при повторном посеве этого образца на 8 сутки хранения бактерии рода *Pseudomonas* были выявлены в 0,01 г и их количество составляло  $1,7 \times 10^2$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>).

Аналогичную картину по выявляемости бактерий рода *Pseudomonas* на 8 сутки хранения наблюдали в образцах нормализованных смесей № 6–8.



Источник изображения: freepik.com

В промытом творожном зерне № 9 уровень КМАФАНМ составлял  $6,6 \times 10^4$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>), при этом бактерии рода *Pseudomonas* не были обнаружены ни на 3 сутки, ни на 8 сутки хранения. В пастеризованной воде с лимонной кислотой № 10, которую использовали для промывания творожного зерна, бактерии рода *Pseudomonas* не были выявлены.

В сырых сливках № 11 КМАФАНМ и количество бактерий рода *Pseudomonas* составляло  $2,8 \times 10^6$  и  $4 \times 10^6$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>) соответственно, что говорит о высокой контаминации исходного сырья бактериями рода *Pseudomonas*. Кроме того, в четырех образцах сливок пастеризованных № 12–15, отобранных по ходу технологического процесса, бактерии рода *Pseudomonas* были выявлены только на 8 сутки хранения, при этом их количество составляло от  $5,1 \times 10^3$  до  $1,5 \times 10^6$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>).

Из четырех исследованных образцов № 16–19 готовой продукции «Творожное зерно в сливках» в трех из них (№ 16–18) бактерии рода *Pseudomonas* не были обнаружены ни на 3 сутки, ни на 8 сутки хранения. Минимальное количество бактерий рода *Pseudomonas* (10 клеток в 1 г) продукта обнаружено в образце № 19 на 8 сутки хранения.

Таким образом, основным источником бактерий рода *Pseudomonas* на предприятии по переработке молока являлось сырое молоко (от  $4,0 \times 10^3$  до  $1,0 \times 10^5$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>)). Уровень его обсемененности бактериями рода *Pseudomonas* был различен в зависимости от молочного хозяйства. В сырых сливках с м. д. ж. 10 %, изготовленных из сырого молока, количество бактерий рода *Pseudomonas* увеличивалось и достигало  $4,0 \times 10^6$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>). Пастеризация сливок снижала уровень этих бактерий до 10 клеток в грамме продукта. Однако на 8 сутки хранения их количество увеличивалось до  $10^5$ – $10^6$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>). Можно предположить, что появление синего цвета на творожном зерне в сливках – это результат жизнедеятельности восстановленных бактерий рода *Pseudomonas* после их сублетального повреждения пастеризацией [38, 39].

Исследования, подтверждающие полученные нами результаты, были проведены Chang G. et. al в 2024 г. Они выделили 363 штамма бактерий в процессе производства пастеризованного молока, 106 из которых (29,2 %) являлись бактериями рода *Pseudomonas*. Более половины выделенных штаммов *Pseudomonas* имели способность

к производству ферментов порчи и способность к образованию биопленок. Было установлено, что активность ферментов порчи зависела от температуры инкубации и термической обработки (пастеризации и стерилизации). При этом даже стерилизация ультравысокой температурой не могла полностью устраниć активность ферментов [24].

Аналогичные результаты, демонстрирующие, что для инактивации этих ферментов тепловая обработка (пастеризация и обработка ультравысокой температурой) недостаточна, были получены ранее целым рядом ученых [18].

На основании этих данных можно сделать вывод о важности соблюдения эффективных санитарно-гигиенических процедур на всех этапах производства молочной продукции. Это включает содержание и доение животных, хранение и транспортировку охлажденного сырого молока, а также контроль и мониторинг бактерий рода *Pseudomonas* spp. Только комплексный подход к этим вопросам может обеспечить высокое качество молочных продуктов.

Далее мы провели микробиологический анализ смызов ( $n = 14$ ), отобранных с объектов производственной среды, задействованных в технологическом процессе производства зерненого творога в сливках. Результаты представлены в таблице 6.

При исследовании объектов производственной среды установлено (табл. 6), что бактерии рода *Pseudomonas* были обнаружены на внешней поверхности тележки для транспортировки творожного зерна до участка фасовки, на внешней стороне воронки автомата фасовки № 6, транспортера и направляющей для пластиноч автомата фасовки № 5, на площадке транспортной ленты автомата № 5, на перчатках работника участка фасовки, на поддонах для слива у резервуара № 3 и в промывной воде. При идентификации штаммов, выделенных с объектов производственной среды, было определено 13 видов псевдомонад: *Ps. brenneri*, *Ps. chlororaphis* ssp. *aurantiaca*, *Ps. extremorientalis*, *Ps. fluorescens*, *Ps. frederiksbergensis*, *Ps. gessardii*, *Ps. libanensis*, *Ps. lundensis*, *Ps. orientalis*, *Ps. proteolytica*, *Ps. synxantha*, *Ps. veronii*, *Ps. viridiflava*. Из них 9 видов *Pseudomonas* относятся к группе *Fluorescens*, вызывающих порчу молочных продуктов в виде посинения продукта. Это виды *Ps. brenneri*, *Ps. extremorientalis*, *Ps. fluorescens*, *Ps. gessardii*, *Ps. libanensis*, *Ps. orientalis*, *Ps. proteolytica*, *Ps. synxantha*, *Ps. veronii*.

На основании результатов лабораторных исследований готового продукта, промежуточных продуктов его производства, а также смызов с объектов производственной среды была проведена оценка результатов мониторинга и разработка рекомендаций по установлению критических контрольных точек в рамках технологического процесса производства продукта «Творожное зерно в сливках».

**Таблица 6. Результаты исследования смызов, отобранных с оборудования по ходу технологического процесса производства творога зерненого в сливках**

№ образца	Место отбора смызов	Бактерии рода <i>Pseudomonas</i> spp. (обнаружены / не обнаружены)
1	Тележка для перевозки творожного зерна	Обнаружены
2	Автомат фасовки № 5, толкатель (конденсат)	Не обнаружены
3	Автомат фасовки № 6, воронка для подачи (наружная сторона)	Обнаружены
4	Автомат фасовки № 5, головка	Не обнаружены
5	Автомат фасовки № 5, утюги (ржавчина)	Не обнаружены
6	Транспортер 5 линии	Обнаружены
7	Автомат фасовки № 5, направляющая для пластиноч	Обнаружены
8	Детали автомата № 5 (после мойки в ванне)	Не обнаружены
9	Внутренняя поверхность крышки резервуара № 1 для сливок и внутренняя поверхность горловины и решетки	Не обнаружены
10	Площадка транспортной ленты автомата № 5	Обнаружены
11	Перчатка работника	Обнаружены
12	Поддон для слива у резервуара № 3	Обнаружены
13	Канализация, трап	Не обнаружены
14	Промывная вода (творогоизготовитель № 7)	Обнаружены

Первостепенно были определены опасные факторы и объекты контроля в рамках технологического процесса, а также установлены показатели для оценки объектов контроля, позволяющие в дальнейшем предотвратить возникновение несоответствия в виде изменения цвета (посинение) творожного зерна. Затем были определены управляющие действия опасными факторами в рамках технологического процесса (табл. 7).

## ВЫВОДЫ

Целью данного исследования было изучение подходов к проведению микробиологических испытаний и мониторингу на предприятиях по переработке молока с целью выявления причин порчи молочных продуктов, вызванных бактериями рода *Pseudomonas*. Особое внимание уделено идентификации этих бактерий на различных этапах производства продукта и установлению критических точек и объектов, связанных с их появлением и развитием. В рамках работы были проведены расширенные микробиологические исследования молочного продукта, несоответствующего органолептическим характеристикам (цвет творожного зерна – синий), а также образцов молочного сырья, промежуточных продуктов переработки молока и готового продукта. Всего было исследовано 16 упаковок готового продукта и 19 образцов сырья и промежуточных продуктов.

Дополнительно были изучены смыки с оборудованием, отобранные по ходу технологического процесса производства творога зерненого в сливках.

Были рассмотрены и обоснованы подходы к проведению микробиологических исследований готового молочного продукта по дополнительным ненормируемым микробиологическим показателям.

При микробиологическом исследовании творожного зерна в сливках с синим цветом установлено, что продукт, несоответствующий органолептическим характеристикам, при этом соответствовал требованиям ТР ТС 033/2013. Дополнительные микробиологические исследования с использованием современных микробиологических методов (в т. ч. массспектрометрии) позволили установить, что бактериями, вызывающими посинение творожного зерна, являлись представители группы *Ps. fluorescens*.

При оценке молочного сырья, промежуточных продуктов переработки молока и готового продукта было определено, что бактерии рода *Pseudomonas* на предприятие поступали с сырым молоком. Уровень обсемененности сырого молока этими бактериями составлял от  $4,0 \times 10^3$  до  $1 \times 10^5$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>). Сливки сырье с м. д. ж. 10 %, изготовленные из этого молока, были контаминырованы бактериями рода *Pseudomonas* на уровне  $4,0 \times 10^6$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>).

**Таблица 7. Перечень опасных факторов, объектов контроля, показателей и управляющих действий в отношении опасных факторов в рамках технологического процесса при производстве творожного зерна в сливках**

Опасный фактор	Объект контроля	Показатели	Действия
Точка приемки сырья	Молоко сырое	Бактерии рода <i>Pseudomonas</i> , КОЕ/г (см <sup>3</sup> )	Установить приемлемый уровень бактерий рода <i>Pseudomonas</i> в сыром молоке (менее $1,0 \times 10^3$ КОЕ/г (см <sup>3</sup> )) для снижения уровня контаминации сырых сливок и объектов производственной среды
	Сливки сырье	Бактерии рода <i>Pseudomonas</i> , КОЕ/г (см <sup>3</sup> )	Мониторинг сливок до пастеризации для установления количества бактерий рода <i>Pseudomonas</i>
Пастеризация сливок	Режимы пастеризации	Эффективность используемых режимов пастеризации сливок за счет определения в них бактерий рода <i>Pseudomonas</i> (КОЕ/г (см <sup>3</sup> )) в процессе хранения	Мониторинг сливок сразу после пастеризации и в точке окончания срока хранения «Творожное зерно в сливках» для установления количества бактерий рода <i>Pseudomonas</i>
		Концентрации рабочих растворов дезинфицирующих средств	Контроль бактерицидной эффективности дезинфицирующих средств в отношении бактерий рода <i>Pseudomonas</i> в беспленочной форме, выделенных с объектов производственной среды предприятия
Санитарная обработка производственных помещений, оборудования, инвентаря	Смыки с объектов производственной среды, отобранные в ходе технологического процесса	Наличие бактерий рода <i>Pseudomonas</i>	Расширение перечня объектов производственной среды для контроля на наличие бактерий рода <i>Pseudomonas</i>

При пастеризации сливок количество бактерий снижалось до 10 клеток в грамме продукта. Однако при их последующем хранении, к 8 суткам, их количество достигало  $10^5$ – $10^6$  КОЕ/г (см<sup>3</sup>). Пастеризация сливок снижала уровень бактерий, но не подавляла полностью их жизнедеятельность. Восстановление и развитие бактерий, сублетально поврежденных пастеризацией, при хранении продукта, вероятно, является причиной появления синего цвета на творожном зерне в сливках.

На основании этих данных можно сделать вывод о важности соблюдения санитарно-гигиенических норм на всех этапах производства молочной продукции. Это включает как содержание, так и получение молока от животных на молочных фермах, хранение и транспортировку охлажденного сырого молока, а также контроль и мониторинг бактерий рода *Pseudomonas*. Только комплексный подход к этим вопросам может обеспечить высокое качество молочных продуктов.

В результате исследования смывов с оборудования в 8 из 14 исследованных образцов были обнаружены бактерии рода *Pseudomonas*, представленные

13 видами псевдомонад. Из них 9 видов относятся к группе *Ps. fluorescens*, которые являются основными микроорганизмами порчи молочных продуктов, вызывающими посинение творожного зерна.

На основании того, что бактерии рода *Pseudomonas* являются одними из основных микроорганизмов порчи молочных продуктов, особое внимание следует уделить контролю качества поступающего на переработку молочного сырья и промежуточных продуктов, а также поддержанию оптимальных условий хранения и переработки молока.

Для предотвращения микробной порчи продуктов необходимо проводить регулярный мониторинг предприятий по переработке молока, включая исследование объектов производственной среды на наличие бактерий рода *Pseudomonas*. Для обеспечения качества и безопасности молочных продуктов, в т. ч. в установленные сроки годности, необходимо разработать и внедрить эффективные меры по предотвращению появления и развития бактерий рода *Pseudomonas* на предприятиях по переработке молока. ■

Поступила в редакцию: 29.01.2025

Принята в печать: 16.06.2025

## APPROACHES TO MICROBIAL TESTING OF DAIRY PRODUCTS

Yulia K. Yushina<sup>1</sup>, Dagmara S. Bataeva<sup>1</sup>, Maria A. Grudistova<sup>1</sup>, Anjelika A. Makhova<sup>1</sup>, Elena V. Zaiko<sup>1</sup>, Maxim D. Reshchikov<sup>1</sup>, Olesya A. Stakhanova<sup>1</sup>, Grigoriy N. Rogov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow

<sup>2</sup>All-Russian Scientific Research Institute of Butter-and Cheesemaking – Branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Uglich

### ORIGINAL ARTICLE

Psychrotrophic *Pseudomonas* bacteria cause microbial spoilage of fresh cheese, manifested as blue pigmentation on its surface. This and other undesirable characteristics reduce the quality and shelf-life of cheese. This comprehensive microbiological research featured dairy products with signs of spoilage: raw milk, intermediate products of milk processing, and cheese. We isolated bacteria of the genus *Pseudomonas* from various stages of pasteurized milk production using different approaches to monitoring a dairy plant. On storage day 28, cheese with blue curd grains still complied with the microbiological standards (TR CU 033/2013), but failed to pass the sensory evaluation. *Pseudomonas fluorescens*, which were found responsible for the blue pigment, entered the dairy plant with raw milk, whose contamination level ranged from  $4,0 \times 10^3$  to  $1,0 \times 10^5$  CFU/g. The raw cream with 10% fat produced at the same dairy plant had  $4,0 \times 10^6$  CFU/g, which means that pasteurization reduced the bacterial contamination but provided no protection. Moreover, eight out of fourteen washing samples from the technological equipment contained thirteen pseudomonad species. Of these, nine belonged to *Ps. fluorescens*. Bacteria of the genus *Pseudomonas* proved to be a major microbial spoilage threat to dairy products. The article also introduces hazardous factors, objects of technological control, control assessment indicators, and measures against blue coloration of curd grain caused by *Ps. fluorescens*.

**Keywords:** dairy spoilage, curd grain, cream, *Pseudomonas*, blue pigment, pasteurization, washings from production

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Zhang, N.** Nutrient losses and greenhouse gas emissions from dairy production in China: Lessons learned from historical changes and regional differences / N. Zhang [et al.] // Science of the Total Environment. 2017. Vol. 598. P. 1095–1105. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.165>
2. **Dash, K. K.** A comprehensive review on heat treatments and related impact on the quality and microbial safety of milk and milk-based products / K. K. Dash [et al.] // Food Chemistry Advances. 2022. Vol. 1. 100041. <https://doi.org/10.1016/j.foodcha.2022.100041>
3. **del Olmo, A.** The blue discoloration of fresh cheeses: A worldwide defect associated to specific contamination by *Pseudomonas fluorescens* / A. del Olmo, J. Calzada, M. Nuñez // Food Control. 2018. Vol. 86. P. 359–366. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.12.001>
4. **da Silva Rodrigues, R.** Comparative genomic and functional annotation of *Pseudomonas* spp. genomes responsible for blue discoloration of Brazilian fresh soft cheese / R. da Silva Rodrigues [et al.] // International Dairy Journal. 2023. Vol. 140. 105605. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105605>

5. **Machado, S. G.** *Pseudomonas* spp. and *Serratia liquefaciens* as predominant spoilers in cold raw milk / S. G. Machado [et al.] // Journal of food science. 2015. Vol. 80(8). P. M1842–M1849. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12957>
6. **Du, B.** Diversity and proteolytic activity of *Pseudomonas* species isolated from raw cow milk samples across China / B. Du [et al.] // Science of the Total Environment. 2022. Vol. 838. 156382. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156382>
7. **Badawy, B.** Prevalence of multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* isolated from dairy cattle, milk, environment, and workers' hands / B. Badawy [et al.] // Microorganisms. 2023. Vol. 11(11). 2775. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11112775>
8. **Wedel, C.** Towards low-spore milk powders: A review on microbiological challenges of dairy powder production with focus on aerobic mesophilic and thermophilic spores / C. Wedel [et al.] // International Dairy Journal. 2022. Vol. 126. 105252. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105252>
9. **Saha, S.** Unveiling the significance of psychrotrophic bacteria in milk and milk product spoilage-A review / S. Saha [et al.] // The Microbe. 2024. Vol. 2 100034. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2024.100034>
10. **Munsch-Alatossava, P.** Phenotypic characterization of raw milk-associated psychrotrophic bacteria / P. Munsch-Alatossava, T. Alatossava // Microbiological Research. 2006. Vol. 161(4). P. 334–346. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2005.12.004>
11. **Lu, M.** Spoilage of milk and dairy products / M. Lu, N. S. Wang // The microbiological quality of food. 2017. P. 151–178. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100502-6.00010-8>
12. **Vithanage, N. R.** Biodiversity of culturable psychrotrophic microbiota in raw milk attributable to refrigeration conditions, seasonality and their spoilage potential / N. R. Vithanage [et al.] // International Dairy Journal. 2016. Vol. 57. P. 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.02.042>
13. **Martin, N. H.** Symposium review: Effect of post-pasteurization contamination on fluid milk quality / N. H. Martin, K. J. Boor, M. Wiedmann // Journal of dairy science. 2018. Vol. 101(1). P. 861–870. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13339>
14. **Lafarge, V.** Raw cow milk bacterial population shifts attributable to refrigeration / V. Lafarge [et al.] // Applied and environmental microbiology. 2004. Vol. 70(9). P. 5644–5650. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.9.5644-5650.2004>
15. **Xin, L.** The diversity and proteolytic properties of psychrotrophic bacteria in raw cows' milk from North China / L. Xin [et al.] // International Dairy Journal. 2017. Vol. 66. P. 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.10.014>
16. **Yan, M.** Biofilm formation risk assessment for psychrotrophic *Pseudomonas* in raw milk by MALDI-TOF mass spectrometry / M. Yan [et al.] // LWT. 2023. Vol. 176. 114508. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114508>
17. **Paludetti, L. F.** Effect of *Pseudomonas fluorescens* proteases on the quality of Cheddar cheese / L. F. Paludetti [et al.] // Journal of Dairy Science. 2020. Vol. 103. № 9. P. 7865–7878. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18043>
18. **Wongyoo, R.** Isolation of bacteriophages specific to *Pseudomonas mosseii* for controlling milk spoilage / R. Wongyoo [et al.] // International Dairy Journal. 2023. Vol. 145. 105674. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105674>
19. **Zarei, M.** Identification, phylogenetic characterisation and proteolytic activity quantification of high biofilm-forming *Pseudomonas fluorescens* group bacterial strains isolated from cold raw milk / M. Zarei [et al.] // International Dairy Journal. 2020. Vol. 109. 104787. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104787>
20. **Garrido-Sanz, D.** Genomic and genetic diversity within the *Pseudomonas fluorescens* complex / D. Garrido-Sanz [et al.] // PloS one. 2016. Vol. 11(2). e0150183. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150183>
21. **Du, B.** *Pseudomonas* isolates from raw milk with high level proteolytic activity display reduced carbon substrate utilization and higher levels of antibiotic resistance / B. Du [et al.] // LWT. 2023. Vol. 181. 114766. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114766>
22. **Saraiva, B. B.** Reducing *Pseudomonas fluorescens* in milk through photodynamic inactivation using riboflavin and curcumin with 450 nm blue light-emitting diode / B. B. Saraiva [et al.] // International Dairy Journal. 2024. Vol. 148. 105787. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105787>
23. **Colantuono, A.** Milk substrates influence proteolytic activity of *Pseudomonas fluorescens* strains / A. Colantuono [et al.] // Food Control. 2020. Vol. 111. 107063. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107063>
24. **Chang, G.** Characterization of *Pseudomonas* spp. contamination and in situ spoilage potential in pasteurized milk production process / G. Chang [et al.] // Food Research International. 2024. Vol. 188. 114463. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114463>
25. **Boran, R.** Partial purification and characterization of the organic solvent-tolerant lipase produced by *Pseudomonas fluorescens* RB02-3 isolated from milk / R. Boran, A. Ugur // Preparative Biochemistry & Biotechnology. 2010. Vol. 40(4). P. 229–241. <https://doi.org/10.1080/10826068.2010.488929>
26. **Fusco, V.** Microbial quality and safety of milk and milk products in the 21st century / V. Fusco [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2020. Vol. 19. № 4. P. 2013–2049. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12568>
27. **Bekker, A.** Lipid breakdown and sensory analysis of milk inoculated with *Chryseobacterium joostei* or *Pseudomonas fluorescens* / A. Bekker [et al.] // International dairy journal. 2016. Vol. 52. P. 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.09.003>
28. **Carminati, D.** Investigation on the presence of blue pigment-producing *Pseudomonas* strains along a production line of fresh mozzarella cheese / D. Carminati [et al.] // Food Control. 2019. Vol. 100. P. 321–328. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.02.009>
29. **Carrascosa, C.** Identification of the *Pseudomonas fluorescens* group as being responsible for blue pigment on fresh cheese / C. Carrascosa [et al.] // Journal of Dairy Science. 2021. Vol. 104(6). P. 6548–6558. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19517>
30. **Carrascosa, C.** Blue pigment in fresh cheese produced by *Pseudomonas fluorescens* / C. Carrascosa [et al.] // Food Control. 2015. Vol. 54. P. 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.039>
31. **El-Fouly, M. Z.** Biosynthesis of pyocyanin pigment by *Pseudomonas aeruginosa* / M. Z. El-Fouly [et al.] // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2015. Vol. 8(1). P. 36–48. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2014.10.007>
32. **Jayaseelan, S.** Pyocyanin: production, applications, challenges and new insights / S. Jayaseelan, D. Ramaswamy, S. Dharmaraj // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2014. Vol. 30. P. 1159–1168. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1552-5>
33. **Vithanage, N. R.** Comparison of identification systems for psychrotrophic bacteria isolated from raw bovine milk / N. R. Vithanage [et al.] // International Journal of Food Microbiology. 2014. Vol. 189. P. 26–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.07.023>
34. **Castro, M. S. R.** Modelling *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas aeruginosa* biofilm formation on stainless steel surfaces and controlling through sanitisers / M. S. R. Castro [et al.] // International Dairy Journal. 2021. Vol. 114. 104945. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104945>
35. **Rossi, C.** Biofilm formation, pigment production and motility in *Pseudomonas* spp. isolated from the dairy industry / C. Rossi [et al.] // Food Control. 2018. Vol. 86. P. 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.018>
36. **Yuan, L.** Psychrotrophic bacterial populations in Chinese raw dairy milk / L. Yuan [et al.] // LWT. 2017. Vol. 84. P. 409–418. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.023>
37. **Meng, L.** Identification and proteolytic activity quantification of *Pseudomonas* spp. isolated from different raw milks at storage temperatures / L. Meng [et al.] // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101(4). P. 2897–2905. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13617>
38. **Mathew, A.** Production optimization, characterization and antimicrobial activity of pyocyanin from *Pseudomonas aeruginosa* SPC B 65 / A. Mathew, A. N. Eldo, A. G. Molly // BioTechnology: An Indian Journal. 2011. Vol. 55. P. 297–301
39. **Indriatmoko, I.** Protonation and Thermostability Studies of Pyocyanin from *Pseudomonas aeruginosa* / I. Indriatmoko [et al.] // Conference: Ma Chung Research Center for Photosynthetic Pigment. 2012.