

ПРИМЕНЕНИЕ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ШТАММОВ ЛАКТОЗОСБРАЖИВАЮЩИХ ДРОЖЖЕЙ*

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Светлана Андреевна Рябцева, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры прикладной биотехнологии
E-mail: ryabtseva07@mail.ru

Мария Александровна Шпак, канд. техн. наук, доцент кафедры стандартизации, метрологии и управления качеством
Серафима Николаевна Лапта, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры прикладной биотехнологии
Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

Переработка молочной сыворотки является производственной необходимостью. Биотехнологические процессы с использованием сыворотки перспективны для культивирования лактозосбраживающих дрожжей. Цель работы – исследование закономерностей культивирования в подсырной и творожной сыворотке коллекционных штаммов дрожжей рода *Kluyveromyces* при отдельном, совместном применении и после гибридизации. В результате проведения экспериментов установлено, что самый быстрый рост и максимальное накопление биомассы было получено с использованием штамма *K. marxianus* 459 в подсырной сыворотке (до IgN 9 через 24 ч и IgN 9,8 через 48 ч культивирования). В творожной сыворотке штаммы *K. marxianus* 459 и 1338 адаптировались быстрее, а *K. lactis* 1339 медленнее, чем в подсырной. Гибриды штаммов *K. lactis* 1333 × *K. marxianus* 1338 и *K. lactis* 1333 × 1339 показали более высокую скорость роста, чем отдельные штаммы, в течение 24 ч в обоих видах сыворотки, разница значений IgN составила 7,6–31 % в зависимости от сырья и штамма. Наиболее активное образование летучих компонентов обнаружено в опытах со смесью *K. lactis* 1333 + *K. marxianus* 1338 в творожной и подсырной сыворотке. Таким образом, совместное культивирование и гибридизация (как межштаммовая, так и межвидовая) некоторых лактозосбраживающих дрожжей может приводить к изменению их биохимических и физиологических свойств, что соответствует данным, представленным в работах других исследователей. Полученные результаты могут быть использованы при получении бета-галактозидаз для биосинтеза олигосахаридов-пребиотиков.

Ключевые слова: подсырная сыворотка, творожная сыворотка, дрожжи, *Kluyveromyces*, культивирование, биомасса, pH, летучие вещества

Для цитирования: Рябцева, С. А. Применение молочной сыворотки для культивирования штаммов лактозосбраживающих дрожжей / С. А. Рябцева, М. А. Шпак, С. Н. Лапта // Молочная промышленность. 2026. № 1. С. 36–42. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2026-1-68>

ВВЕДЕНИЕ

Академик РАН Андрей Георгиевич Храмцов называл молочную сыворотку биотехнологической системой, феномен которой заключается в уникальном составе. Она не только включает половину сухих веществ исходного молока, в т. ч. до 90 % лактозы, но и обогащена заквасочной микрофлорой, ее метаболитами, а также ферментами и реагентами, применяемыми при производстве сыра и творога [1]. Во всем мире комплексная переработка сыворотки рассматривается как с точки зрения требований экономики замкнутого цикла и устойчивого производства, так и как способ снижения ее нежелательного воздействия на окружающую среду [2].

В России ежегодно производят около 8 млн т сыворотки, при этом подсырной (сладкой) получают меньше

(около 40 %), чем кислой, остающейся в основном после производства творога, йогурта и казеина. Разные виды сыворотки отличаются по составу и свойствам, что существенно влияет на выбор процессов и конечных продуктов ее переработки¹. В связи с ужесточением требований к экологической безопасности и поощрением использования вторичного сырья в производстве товаров на государственном уровне, переработка молочной сыворотки в нашей стране стала производственной необходимостью [3].

Наиболее перспективные направления использования сыворотки связаны с биотехнологическими процессами, позволяющими получать из нее целый спектр различных продуктов, в том числе ферменты, молочную кислоту, этанол, биопластик, олигосахариды-пребиотики (лактULOзу, галакто-

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-20093 (<https://rscf.ru/project/25-26-20093/>).

¹Творожная сыворотка: способы и перспективы переработки [Электронный ресурс].

URL: <https://milknews.ru/longridy/Tvorozhnaja-syvorotka.html> (дата обращения 15.09.2025).

олигосахариды и др.) [4–6]. Конкурентоспособность биотехнологий переработки сыворотки базируется на интеграции современных способов ее предварительной обработки, а также результатов селекции и модификации штаммов-продуцентов [4].

К известным промышленноценным и безопасным микроорганизмам, способным утилизировать лактозу и активно расти в молочном сырье, относятся дрожжи рода *Kluyveromyces*. В последние годы особое внимание уделяется методам генетической инженерии этих грибов, которая позволяет повысить экономическую эффективность производства различных белков, органических кислот, ароматизаторов, про- и пребиотиков, пищевых и кормовых добавок [7, 8].

Важно отметить, что представители рода *Kluyveromyces* отличаются высокой степенью полиморфизма генов, отвечающих за синтез бета-галактозидаз [9]. Доказана возможность межштаммовой гибридизации этих дрожжей, которая позволяет повысить активность этих ферментов в отношении сбраживания лактозы [10, 11]. Совместное культивирование разных штаммов и видов микроорганизмов тоже рассматривается как новый и многообещающий метод проведения биотехнологических процес-

сов [4, 12]. Можно предположить, что не только гибридизация, но и сочетание разных штаммов *Kluyveromyces* при культивировании может повлиять на результат накопления их биомассы и метаболитов. При этом целесообразно использовать штаммы из отечественных коллекций микроорганизмов, что позволяет укрепить технологический суверенитет нашей страны.

Основой любой биотехнологии является культивирование и накопление биомассы продуцентов. В обзоре [13] обобщены данные о закономерностях роста дрожжей и влияющих на него факторах. Показано, что разнообразие и адаптивность дрожжей позволяют регулировать состав и функциональные свойства получаемых из них продуктов. Отмечено, что род *Kluyveromyces* пока недостаточно изучен, в отличие от хлебопекарных и пивных дрожжей рода *Saccharomyces* [13]. Известно применение *Kluyveromyces* для производства галактоолигосахаридов с использованием подсырной и йогуртной сыворотки [14]. Опубликованы результаты культивирования некоторых видов и штаммов дрожжей в подсырной сыворотке и ее ультрафильтрационном пермеате. Показано, что штамм *Kluyveromyces marxianus* SK больше зависит от источников азота, меньше – от добавления сульфата магния и накапливает во вторичном сырье биомассу медленнее, чем *Candida kefir* (синоним *K. marxianus*) Y – 203 [15]. Однако эти данные недостаточны для понимания закономерностей роста других видов и штаммов лактозосбраживающих дрожжей. Научный и практический интерес представляет также применение для их культивирования разных видов молочной сыворотки, которые отличаются по составу углеводов, органических кислот, белковых и азотистых компонентов, витаминов, макро- и микроэлементов [1].

Цель работы – исследование закономерностей культивирования в подсырной и творожной сыворотке коллекционных штаммов дрожжей рода *Kluyveromyces* при отдельном, совместном применении и после гибридизации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований являлись образцы подсырной и творожной сыворотки, предоставленной АО Молочный комбинат «Ставропольский» (г. Ставрополь), ферментированные различными штаммами дрожжей: *Kluyveromyces lactis* ВКМ Y 1333 и Y 1339, *Kluyveromyces marxianus* ВКМ Y 459 и Y 1338 (Всерос-



сийская коллекция микроорганизмов (ВКМ), Федеральный исследовательский центр «Пушчинский научный центр биологических исследований Российской академии наук», г. Пушкино). Дрожжи активизировали путем пересева из коллекционных культур на плотную питательную среду Сабуро, скошенный агар (Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия, г. Углич) и инкубации в течение 24 ч при оптимальной температуре 30 °С, после чего готовили суспензию клеток в фосфатном буфере с оптической плотностью $D_{460} = (0,15 \pm 0,02)$, которая соответствовала концентрации клеток дрожжей $IgN = (5,4 \pm 0,2)$. Далее 1 см³ полученной суспензии вносили в коническую колбу со 150 см³ стерилизованной подсырной или творожной сыворотки. В случае использования смеси дрожжей приготовленные суспензии штаммов попарно вносили в стерилизованную молочную сыворотку в соотношении 1:1.

Гибридизацию дрожжей проводили по стандартной методике, описанной в работе [10], отличительной особенностью которой являлась первичная активация дрожжей на плотной питательной среде Сабуро. Культивирование дрожжей в молочной сыворотке проводили в условиях аэрации в шейкер-инкубаторе при 30 °С и перемешивании 100 об./мин в течение 72 ч для накопления их биомассы. Спустя 12, 24, 48 и 72 ч культивирования проводилось определение активной кислотности образцов, количественный учет клеток дрожжей, а также активности образования летучих соединений путем взвешивания колб и вычисления изменения их массы.

Исследования проводили в трех-пятикратной повторности по типовым и общепринятым методикам: кислотность активная определялась потенциометрически по ГОСТ 3624-92; температура – по ГОСТ 26754-85; количество дрожжей – методом счета колоний по ГОСТ 33566-2015.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В работе были использованы четыре штамма лактозосбраживающих дрожжей из отечественной коллекции микроорганизмов ВКМ, отобранные на основании результатов анализа литературы. Два штамма принадлежат виду *Kluyveromyces lactis* (1333 и 1339), который предпочитает температуру около 30 °С и аэробные условия, является промышленным продуцентом бета-галактозидаз для гидролиза и трансгликозилирования лактозы, а также используется как модель для экспрессии рекомбинантных белков и изучения

основных клеточных механизмов [16]. Другие два штамма дрожжей относятся к виду *Kluyveromyces marxianus* (459 и 1338). Для этого вида характерны более широкие диапазоны температур и pH, он отличается высокой скоростью роста и в анаэробных условиях легче переключается на спиртовое брожение, его применяют для получения этанола и целого ряда ферментов, в т. ч. бета-глюкозидазы, инулиназы и полигалактуроназы [17]. Штаммы обоих видов могут сбраживать лактозу и подвергаться гибридизации, которая считается классическим методом селекции дрожжей и основана на их способности в голодных (например, ацетатных) средах образовывать споры двух различных типов (α и α'), при слиянии которых образуются диплоидные клетки с измененной генетической информацией и свойствами. В частности, гибриды могут обладать более высокой скоростью сбраживания лактозы [9–11]. Возможна не только межштаммовая, но и межвидовая гибридизация дрожжей [18].

Для изучения закономерностей культивирования дрожжей четырех штаммов (при отдельном использовании, а также в смесях с соотношением клеток двух штаммов 1:1 и после гибридизации) в ходе экспериментов контролировали три выходных параметра. Первый, количество клеток дрожжей N , КОЕ/см³ (в логарифмической форме IgN), характеризовал накопление биомассы. Вторым показателем был связан с образованием летучих продуктов метаболизма (CO_2 , спиртов, эфиров, летучих жирных кислот) и определялся по снижению массы образцов в процессе культивирования. Третий, pH, отражал накопление кислых и щелочных продуктов метаболизма. Результаты экспериментов, в которых были получены значимые различия между культурами, показаны на рисунке 1 (IgN), по летучим веществам – на рисунке 2, по изменению pH образцов – на рисунке 3.

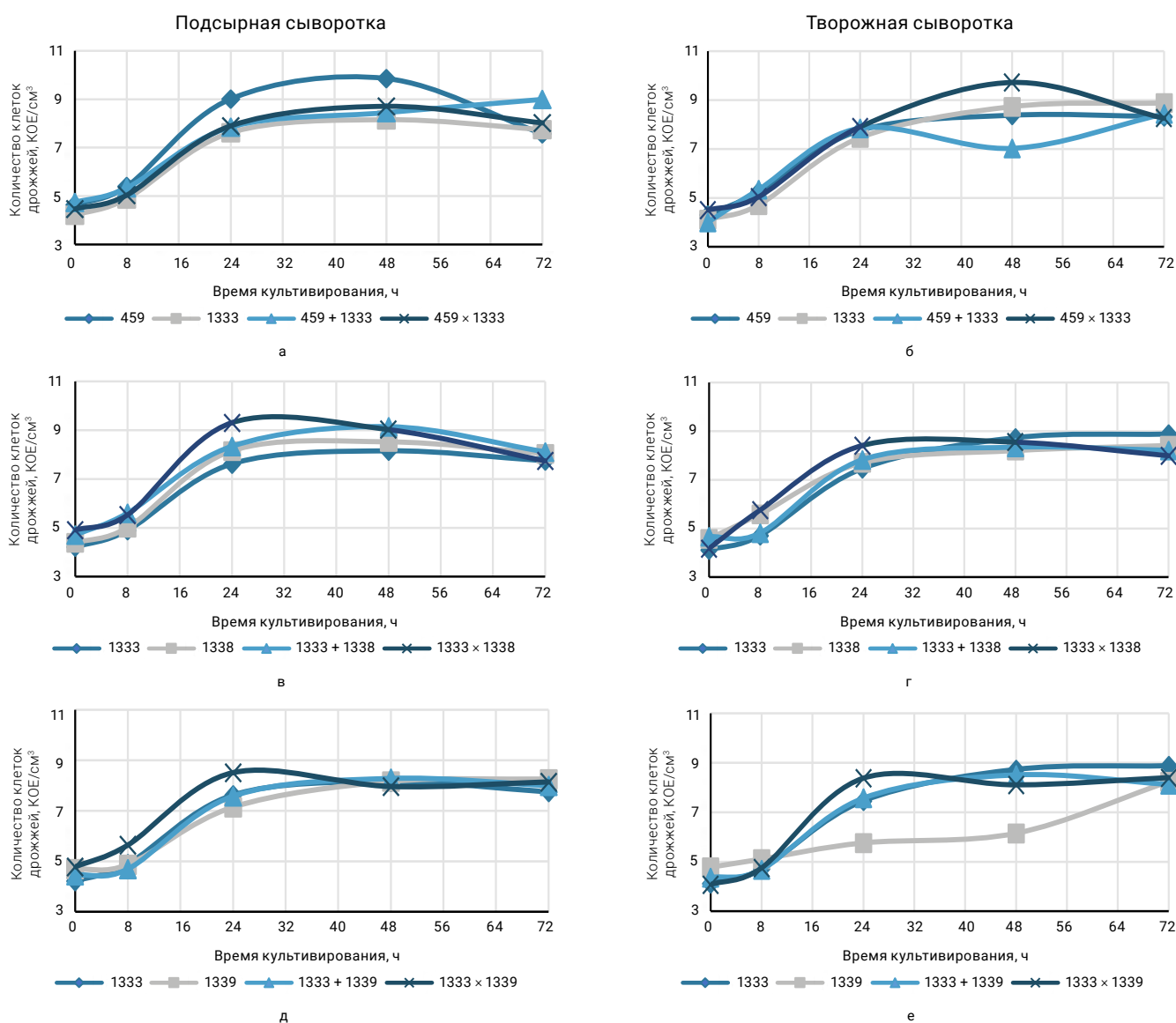
Анализ графиков, представленных на рисунке 1, показал, что фаза адаптации (лаг-фаза) длилась около 8 ч для всех отдельно выращиваемых в подсырной сыворотке штаммов, при этом количество клеток оставалось почти на исходном уровне (IgN 4,5–4,7). Далее экспоненциальная фаза роста позволила штамму *K. marxianus* 459 достичь IgN 9 через 24 ч и IgN 9,8 через 48 ч культивирования, после чего клетки стали быстро погибать (рис. 1а). Межвидовой гибрид *K. marxianus* 459 × *K. lactis* 1333 не показал значимых различий с отдельными культурами на подсырной сыворотке. Рост дрожжей в смеси *K. marxianus* 459 и *K. lactis* 1333 продолжался в течение 72 ч, количество клеток достигло зна-

чения IgN 9, что было на 11 % выше, чем к этому времени у отдельных штаммов и гибрида (рис. 1а).

У других отдельных чистых культур дрожжей и их смесей выход на стационарную фазу в подсырной сыворотке наблюдали через 24 ч на более низком уровне накопления биомассы (около IgN 8), после чего стабилизацию через 48 ч и незначительное снижение через 72 ч. Гибридизация штаммов *K. lactis* 1333 × *K. marxianus* 1338 привела через 24 ч к повышению значений IgN до уровня 9,3, который был существенно больше, чем у отдельных культур *K. lactis* 1333 и *K. marxianus* 1338 (на 11,8 % и 10,8 % соответственно) (рис. 1в).

Аналогичную закономерность наблюдали через 24 ч культивирования в подсырной сыворотке гибрида *K. lactis* 1333 × 1339: количество его клеток (IgN 8,5) было на 7,6 % выше, чем клеток *K. lactis* 1333, и на 16,5 %, чем клеток *K. lactis* 1339 (рис. 1д). Полученные результаты соответствуют результатам исследований других штаммов лактозосбраживающих дрожжей, выращенных в подсырной сыворотке [15, 19], а также сведениям о повышении активности сбраживания лактозы у некоторых гибридов.

В творожной сыворотке штаммы *K. marxianus* 459 и 1338 адаптировались быстрее, чем в подсырной, что



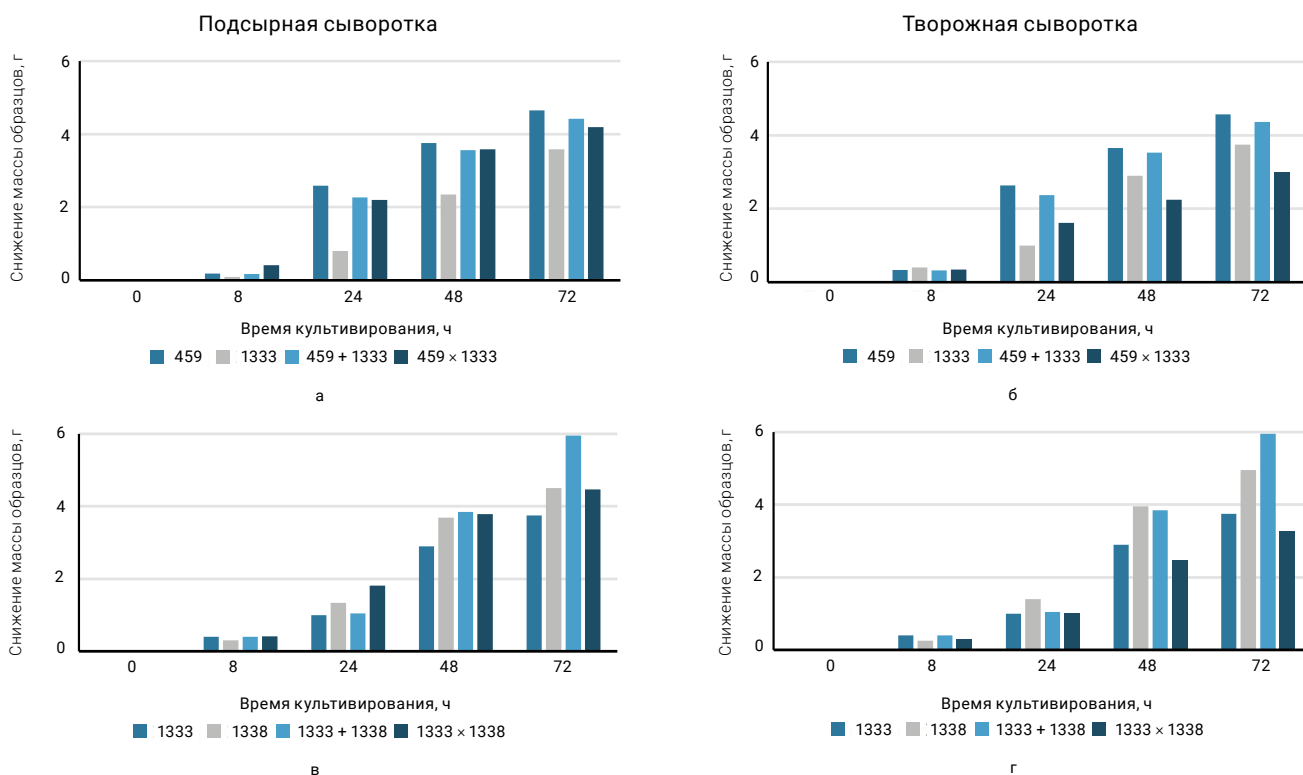
Примечание: 459 – *K. marxianus* ВКМ У 459; 1333 – *K. lactis* ВКМ У 1333; 1338 – *K. marxianus* ВКМ У 1338; 1339 – *K. lactis* ВКМ У 1339; 459 + 1333, 1333 + 1338, 1333 + 1339 – штаммы после совместного культивирования; 459 × 1333, 1333 × 1338, 1333 × 1339 – гибридные штаммы.

Рисунок 1. Зависимость количества клеток разных штаммов дрожжей (IgN, КОЕ/см³) от времени культивирования в подсырной и творожной сыворотке (среднее по трем повторностям, $p \leq 0,05$)

может быть обусловлено способностью этого вида сразу утилизировать молочную кислоту (рис. 1б, г). Штамму *K. lactis* 1333 потребовалось время для перестройки ферментной системы на расщепление лактозы, продолжительность лаг-фазы была такой же, как и в подсырной сыворотке (рис 1а, б). Самая медленная адаптация наблюдалась у штамма *K. lactis* 1339, для которого кислая среда творожной сыворотки была неблагоприятной (рис. 1е). Смеси штаммов развивались в творожной сыворотке так же, как более активный штамм в смеси. Гибриды

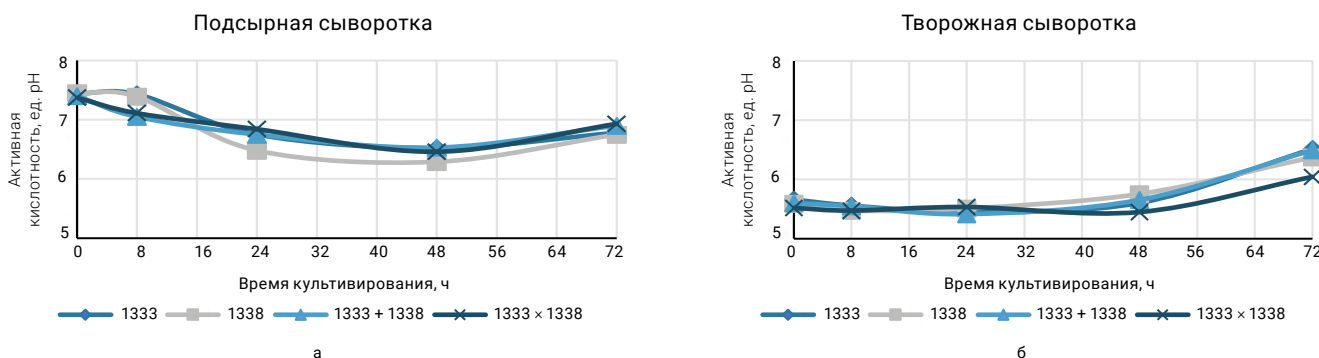
K. lactis 1333 × *K. marxianus* 1338 и *K. lactis* 1333 × 1339 переключили свой метаболизм на использование лактозы быстрее, чем отдельные штаммы (рис. 1г, е). Это способствовало более быстрому росту гибридных штаммов, особенно в опытах с *K. marxianus* 459 × *K. lactis* 1333 (lgN на 10,3 % выше, чем у отдельных штаммов, через 48 ч) и *K. lactis* 1333 × 1339 (на 10,7 % по сравнению с *K. lactis* 1333 и на 31 % по сравнению с *K. lactis* 1339 через 24 ч).

Данные, представленные на рисунке 2, позволяют говорить о том, что в обоих видах сыворотки наи-



Примечание: 459 – *K. marxianus* ВКМ Y 459; 1333 – *K. lactis* ВКМ Y 1333; 1338 – *K. marxianus* ВКМ Y 1338; 459 + 1333, 1333 + 1338 – штаммы после совместного культивирования; 459 × 1333, 1333 × 1338 – гибридные штаммы.

Рисунок 2. Зависимость снижения массы образцов (Δm, г) от времени культивирования клеток разных штаммов дрожжей в подсырной и творожной сыворотке (среднее по трем повторностям, p ≤ 0,05)



Примечание: 1333 – *K. lactis* ВКМ Y 1333, 1338 – *K. marxianus* ВКМ Y 1338; 1333 + 1338 – штаммы после совместного культивирования, 1333 × 1338 – гибридные штаммы.

Рисунок 3. Зависимость активной кислотности (pH) среды культивирования разных штаммов дрожжей от времени культивирования в подсырной и творожной сыворотке (среднее по трем повторностям, p ≤ 0,05)



более активным в отношении образования летучих компонентов были дрожжи *K. marxianus* 459, а самую слабую способность к их накоплению показал штамм *K. lactis* 1333 (рис. 2а, б). Смеси и гибриды этих штаммов в подсырной сыворотке демонстрировали результаты, близкие к результатам опытов с *K. marxianus* 459 (рис. 2а). Однако при взвешивании образцов творожной сыворотки с гибридами *K. marxianus* 459 × *K. lactis* 1333 и *K. lactis* 1333 × *K. marxianus* 1338 обнаружено значительно меньшее снижение веса, чем в опытах с отдельными культурами и смесью (рис. 2б, г). В то же время смесь *K. lactis* 1333 + *K. marxianus* 1338 показала самую высокую активность образования летучих компонентов, причем одинаковую в подсырной и творожной сыворотке (рис. 2в, г). Эти результаты могут быть связаны с особенностями метаболизма разных штаммов дрожжей, их влиянием друг на друга и изменением при гибридизации, но точное понимание механизмов требует дополнительных исследований.

Изменение pH не имело существенных отличий для разных штаммов, их смесей и гибридов. В ходе экспериментов наблюдали постепенное снижение

pH с 7,3 до 6,3–6,5 в подсырной сыворотке в первые 48 ч с незначительным повышением и достижением нейтральных значений к концу культивирования (рис. 3а). В творожной сыворотке уровень pH в первые 48 ч культивирования оставался на исходном уровне (pH 5,5–5,7), в дальнейшем наблюдалось повышение pH до 6,0 для гибридов и до 6,5 для отдельных культур и смесей (рис. 3б). Возможно, незначительное изменение pH связано с буферными свойствами сыворотки, а также с балансом между образованием кислых (например, органических кислот) и щелочных (например, продуктов распада сывороточных белков) продуктов метаболизма дрожжей.

ВЫВОДЫ

Самый быстрый рост и максимальное накопление биомассы было получено с использованием штамма *K. marxianus* 459 в подсырной сыворотке и гибридов штаммов *K. lactis* 1333 × *K. marxianus* 1338 и *K. lactis* 1333 × 1339 в обоих видах сыворотки. Наиболее активное образование летучих компонентов обнаружено в ходе опытов со смесью *K. lactis* 1333 + *K. marxianus* 1338. Таким образом, совместное

культивирование и гибридизация (как межштаммовая, так и межвидовая) некоторых лактозосбраживающих дрожжей может приводить к изменению их биохимических и физиологических свойств,

что соответствует данным других исследователей [10, 11]. Полученные результаты могут быть использованы при получении бета-галактозидаз для биосинтеза олигосахаридов-пребиотиков. ■

Поступила в редакцию: 22.09.2025

Принята в печать: 15.01.2026

WHEY IN CULTIVATING LACTOSE-FERMENTING YEASTS

Svetlana A. Ryabtseva, Maria A. Shpak, Serafima N. Lapta

North-Caucasus Federal University, Stavropol

ORIGINAL ARTICLE

Whey processing is unavoidable in sustainable production. Waste whey can be utilized in the biotechnological production of lactose-fermenting yeasts. This study featured cultivation patterns of separate, combined, and hybridized cultivation of *Kluyveromyces* yeasts in cheese and curd whey. The fastest growth and greatest biomass accumulation belonged to *K. marxianus* 459 in cheese whey (\leq lgN 9 after 24 h and lgN 9.8 after 48 h of cultivation). *K. marxianus* 459 and 1338 adapted more quickly in curd whey than in cheese whey, with the opposite result for *K. lactis* 1339. Hybrid strains of *K. lactis* 1333 \times *K. marxianus* 1338 and *K. lactis* 1333 \times 1339 demonstrated a higher growth rate than individual strains over 24 h in both types of whey. The difference in lgN values was 7.6–31 %, depending on the whey type and strain. The most active formation of volatile components was observed in the experiments that featured co-cultivation of *K. lactis* 1333 + *K. marxianus* 1338 in curd and cheese whey. In this study, co-cultivation and hybridization (both interstrain and interspecies) of some lactose-fermenting yeasts changed their biochemical and physiological properties, which was consistent with other studies. The obtained results can be used in the production of β -galactosidases for the biosynthesis of prebiotic oligosaccharides.

Keywords: cheese whey, curd whey, yeast, *Kluyveromyces*, cultivation, biomass, pH, volatile matter

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Храмцов, А. Г. Феномен молочной сыворотки / А. Г. Храмцов. – СПб.: Профессия, 2011. – 804 с. <https://elibrary.ru/vdgvkn>
2. Buchanan, D. Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives / D. Buchanan [et al.] // International Journal of Dairy Technology. 2023. Vol. 76(2). P. 291–312. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12935>
3. Просеков, А. Ю. Молочная сыворотка: переработка и роль в устойчивом развитии / А. Ю. Просеков // Сыроделие и маслоделие. 2025. № 2. С. 2–3. <https://elibrary.ru/lmhpzp>
4. Delgado-Macuil, R. J. Recent biotechnological applications of whey: Review and perspectives / R. J. Delgado-Macuil [et al.] // Fermentation. 2025. Vol. 11(4). Article number 217. <https://doi.org/10.3390/fermentation11040217>
5. Limnaios, A. Cheese and yogurt by-products as valuable ingredients for the production of prebiotic oligosaccharides / A. Limnaios [et al.] // Dairy. 2024. Vol. 5(1). P. 78–92. <https://doi.org/10.3390/dairy5010007>
6. Deshmukh, N. Waste to nutrition: The evolution of whey, a byproduct to galactooligosaccharides production / N. Deshmukh [et al.] // Food Chemistry Advances. 2024. Vol. 4. Article number 100642. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100642>
7. Qiu, Y. *Kluyveromyces* as promising yeast cell factories for industrial bioproduction: From bio-functional design to applications / Y. Qiu [et al.] // Biotechnology Advances. 2023. Vol. 64. Article number 108125. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2023.108125>
8. Артемьева, О. А. Молочные дрожжи *Kluyveromyces* и их биологический потенциал (обзор) / О. А. Артемьева, Т. И. Логвинова, Д. А. Никанова // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108, № 1. С. 128–144. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-128>; <https://elibrary.ru/ifwsgj>
9. Лютова, Л. В. Молекулярный полиморфизм генов β -галактозидазы LAC4 у молочных и природных штаммов дрожжей *Kluyveromyces* / Л. В. Лютова [и др.] // Молекулярная биология. 2021. Т. 55, № 1. С. 75–85. <https://doi.org/10.31857/S0026898421010109>; <https://elibrary.ru/dxucci>
10. Лютова, Л. В. Межштаммовая гибридизация дрожжей *Kluyveromyces lactis* для создания штаммов, активно сбраживающих лактозу / Л. В. Лютова, Е. С. Наумова // Биотехнология. 2021. Т. 37, № 4. С. 43–50. <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2021-37-4-43-50>; <https://elibrary.ru/xzkbcb>
11. Лютова, Л. В. Сравнительный анализ сбраживания лактозы и ее компонентов, глюкозы и галактозы, межштаммовыми гибридами молочных дрожжей *Kluyveromyces lactis* / Л. В. Лютова, Е. С. Наумова // Биотехнология. 2023. Т. 39, № 1. С. 3–11. <https://doi.org/10.56304/S0234275823010064>; <https://elibrary.ru/bmmpor>
12. Tian, Y. High-yield production of single-cell protein from starch processing wastewater using co-cultivation of yeasts / Y. Tian [et al.] // Bioresource Technology. 2023. Vol. 370. Article number 128527. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128527>
13. Martin, G. J. O. Future production of yeast biomass for sustainable proteins: A critical review / G. J. O. Martin, S. Chan // Sustainable Food Technology. 2024. <https://doi.org/10.1039/d4fb00164h>
14. Limnaios, A. Cheese and yogurt by-products as valuable ingredients for the production of prebiotic oligosaccharides / A. Limnaios [et al.] // Dairy. 2024. Vol. 5(1). P. 78–92. <https://doi.org/10.3390/dairy5010007>
15. Рябцева, С. А. Применение подсырной сыворотки и УФ-пермеата для культивирования дрожжей-продуцентов лактаз / С. А. Рябцева [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2023. № 4(393). С. 70–75. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.4.12>; <https://elibrary.ru/yqxfmq>
16. Spohner, S. C. *Kluyveromyces lactis*: An emerging tool in biotechnology / S. C. Spohner [et al.] // Journal of Biotechnology. 2016. Vol. 222. P. 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.02.023>
17. Reina-Posso, D. Expanding horizons: The untapped potential of *kluyveromyces marxianus* in biotechnological applications / D. Reina-Posso, F. A. Gonzales-Zubiate // Fermentation. 2025. Vol. 11(2). 98. <https://doi.org/10.3390/fermentation11020098>
18. Murath, P. Distinct genome stabilization procedures lead to phenotypic variability in newly generated interspecific yeast hybrids / P. Murath [et al.] // Frontiers in Microbiology. 2025. Vol. 16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1472832>
19. Bolognesi, L. S. Biotechnological production of galactooligosaccharides (GOS) using porungo cheese whey / L. S. Bolognesi [et al.] // Ciencia e Tecnologia de Alimentos. 2022. Vol. 42. <https://doi.org/10.1590/ft.64520>