







## Подбор оптимальных условий биосинтеза молочной кислоты







Ольга В. Бондарева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:bond.vrn15@ya.ru">bond.vrn15@ya.ru</a>	 0000-0002-7051-9858
Анна А. Толкачева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:anna-biotech@ya.ru">anna-biotech@ya.ru</a>	 0000-0003-0725-6482
Нина А. Некрасова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:nekrasovaninelya@ya.ru">nekrasovaninelya@ya.ru</a>	 0000-0003-0434-3839
Галина П. Шуваева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:gpshuv@mail.ru">gpshuv@mail.ru</a>	 0000-0002-4294-8209
Дмитрий А. Черенков	<sup>1</sup>	<a href="mailto:d.cherenkov@mail.ru">d.cherenkov@mail.ru</a>	 0000-0002-8564-8919
Ольга С. Корнеева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:korneeva-olgas@ya.ru">korneeva-olgas@ya.ru</a>	 0000-0002-2863-0771

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Молочная кислота находит применение во множестве отраслей промышленности, при этом 40% потребности отечественного рынка удовлетворяется за счёт импорта, при этом основными способами получения молочной кислоты является микробиологический или синтетический. Наиболее рационален микробиологический синтез, однако, при его реализации используются ценные сахаросодержащие субстраты. В связи с этим поиск новых технологий получения молочной кислоты является актуальной задачей. Один из перспективных и экономически выгодных способов – переработка молочной сыворотки в молочную кислоту путем бактериального ферментирования лактозы, поскольку сыворотка является отходом производства творога. Постоянным финансовым обязательством для молочной отрасли является экологический сбор, большая часть предприятий молокопереработки фактически не имеет возможности следовать существующим требованиям в области биологических загрязнений, а потому компенсирует водоканалам дополнительные расходы на доочистку сточных вод. Цель исследования – провести скрининг культур микроорганизмов, способных ферментировать лактозу, содержащуюся в молочной сыворотке, и подобрать состав среды, обеспечивающий максимальный выход молочной кислоты. В эксперименте использовали штаммы молочнокислых бактерий, полученные из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (НИЦ «Курчатовский институт» – ГосНИИгенетика). С целью обеспечения максимального выхода молочной кислоты был определен оптимальный состав среды путем подбора концентраций дрожжевого автолизата и раствора солей. Также была подобрана оптимальная продолжительность биосинтеза молочной кислоты. Исследование кислотообразующей способности штаммов молочнокислых бактерий показало, что из исследованных штаммов наибольшую способность ферментировать лактозу, синтезируя молочную кислоту, проявил *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726), что коррелирует с данными по ассимиляции культурой лактозы. Подобраны оптимальная продолжительность культивирования (132 ч) и концентрация дрожжевого лизата (5%) в питательной среде на основе творожной сыворотки. При оптимальных параметрах максимальная концентрация молочной кислоты в культуральной жидкости *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726) составила 54.77 г/л, что сопоставимо с используемыми в настоящее время продуцентами при промышленном производстве молочной кислоты.

**Ключевые слова:** творожная сыворотка, молочная кислота, молочнокислые бактерии, кислотообразующая способность

## Selection of optimal conditions for the lactic acid biosynthesis

Olga V. Bondareva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:bond.vrn15@ya.ru">bond.vrn15@ya.ru</a>	 0000-0002-7051-9858
Anna A. Tolkacheva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:anna-biotech@ya.ru">anna-biotech@ya.ru</a>	 0000-0003-0725-6482
Nina A. Nekrasova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:nekrasovaninelya@ya.ru">nekrasovaninelya@ya.ru</a>	 0000-0003-0434-3839
Galina P. Shuvaeva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:gpshuv@mail.ru">gpshuv@mail.ru</a>	 0000-0002-4294-8209
Dmitry A. Cherenkov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:d.cherenkov@mail.ru">d.cherenkov@mail.ru</a>	 0000-0002-8564-8919
Olga S. Korneeva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:korneeva-olgas@ya.ru">korneeva-olgas@ya.ru</a>	 0000-0002-2863-0771

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** Lactic acid is used in various industries: chemical, food, cosmetic, pharmaceutical, agriculture and polymer production. 40% of the domestic market demand for lactic acid is met through imports, while the main methods for producing lactic acid are microbiological or synthetic. The most rational is microbiological synthesis, however, when it is implemented, valuable sugar-containing substrates (crystalline sucrose, molasses, sugar syrup) are used, which significantly affects the cost of the final product. There was an obvious need to search for new technologies for the production of lactic acid. Prospective and cost-effective is the processing of whey into lactic acid using bacterial fermentation of the lactose contained in the whey. The aim of the study is to screen cultures of microorganisms capable of fermenting lactose contained in milk whey and to select the composition of the medium that provides the maximum yield of lactic acid. Strains of lactic acid bacteria were used in the experiment: *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroides* 122 (B-1699), *Lactobacillus brevis* B-78 (B-5728), *Lactobacillus plantarum* K-9 (B-5466), *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726), *Lactobacillus acidophilus* (B-9012), *Lactobacillus paracasei* BT 24/88 (B-6253), *Lactobacillus paracasei* 139 (B-2430), obtained from the Russian National Collection of Industrial Microorganisms (Scientific Center "Kurchatov Institute" - Research Institute for Genetics and Selection of Industrial Microorganisms). The authors determined the optimal composition of the medium for the biosynthesis of lactic acid by selecting the concentrations of yeast autolysate and salt solution that provide the maximum yield of lactic acid. The authors also selected the optimal duration of lactic acid biosynthesis. The study of the acid-forming ability of strains of lactic acid bacteria showed that of the strains studied, *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726) showed the greatest ability to ferment lactose by synthesizing lactic acid, which correlates with the data on assimilation of lactose by the culture. The optimal cultivation time (132 h) and the concentration of yeast lysate (5%) in a nutrient medium based on curd whey were selected. With optimal parameters, the maximum concentration of lactic acid in the culture liquid of *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726) was 54.77 g / L, which is comparable with the currently used producers in the industrial production of lactic acid.

**Keywords:** curd whey, lactic acid, lactic acid bacteria, acid-forming ability

### Для цитирования

Бондарева О.В., Толкачева А.А., Некрасова Н.А., Шуваева Г.П., Черенков Д.А., Корнеева О.С. Подбор оптимальных условий биосинтеза молочной кислоты // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1. С. 112–117. doi:10.20914/2310-1202-2022-1-112-117

### For citation

Bondareva O.V., Tolkacheva A.A., Nekrasova N.A., Shuvaeva G.P., Cherenkov D.A., Korneeva O.S. Selection of optimal conditions for the lactic acid biosynthesis. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 1. pp. 112–117. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-1-112-117

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

В настоящее время молочная кислота (МК) – промышленно важный продукт, спрос на который растет во всем мире, в том числе в России. Потребность рынка в МК составляет порядка 130–150 тыс. т/год.

Молочную кислоту используют во многих промышленных отраслях, в химической добавляют для синтеза различных соединений (пропионовая и акриловая кислоты, уксусный альдегид и другие) и при изготовлении нейтрализаторов, растворителей, средств от нагара; в пищевой промышленности используют в качестве добавки в изделиях кондитерского и мучного производств, используют при консервации плодоовощных культур, а также в процессе изготовления слабоалкогольных и безалкогольных напитков; в косметической используют в кремах, в средствах против акне, в качестве питающего и отбеливающего компонента; в фармацевтической ее используют при изготовлении диализных растворов и минеральных препаратов, протезов и хирургических нитей, а также в системах контролируемой доставки лекарств. В сельском хозяйстве также отмечают использование молочной кислоты, так ее применяют в качестве добавки, которая способствует снижению уровня заболеваемости и повышению уровня репродуктивности сельскохозяйственных животных и птиц. Особое значение и интерес в современном мире представляют полимеры молочной кислоты, которые используют для получения биоразлагаемого пластика. Такие полимеры оказываются изомерами молочной кислоты и обладают схожими физическими и химическими свойствами с применяемыми в настоящее время полимерами из нефтехимических соединений [1, 5, 7, 11–20].

К сожалению, значительная часть потребности отечественного рынка в МК (40%) удовлетворяется за счёт импорта, так как отсутствуют инновационные технологии для её производства и предприятия, которые обладают возможностью выпускать качественную и высококонцентрированную МК [16].

В настоящее время промышленно молочную кислоту получают двумя способами: микробиологический и синтетический. Целесообразным является микробный синтез, однако, в его технологии основными компонентами выступают ценные сахаросодержащие субстраты (сахароза, меласса, патока), которые оказывают значительное влияние на стоимость конечного продукта. В связи с этим существует очевидная необходимость разработки новых технологий получения молочной кислоты [5, 12, 17, 20].

Получить молочную кислоту можно из отходов молочной промышленности, а именно, молочной сыворотки, в состав которой входит достаточное количество молочного сахара – лактозы, ферментируемой молочнокислыми бактериями в МК [9, 11, 15, 18, 19].

Развитие молочной отрасли способствует увеличению объемов молочной сыворотки, налажено производство её концентрата с увеличенным содержанием лактозы. Это открывает широкую перспективу экономически выгодного и рационального использования сыворотки. Переработка молочной сыворотки в молочную кислоту позволит обеспечить российский рынок ценным продуктом и снизить нагрузку на окружающую среду, так как только 20% сыворотки подвергается переработке, а остальной объём сливается в окружающую среду.

Цель исследования – провести скрининг культур микроорганизмов, способных ферментировать лактозу, содержащуюся в молочной сыворотке, и подобрать состав среды, обеспечивающий максимальный выход молочной кислоты.

## Методы и материалы

В эксперименте исследовались штаммы молочнокислых бактерий (МКБ): *Leuconostomesenteroidessubsp. mesenteroides* 122 (B-1699), *Lactobacillus brevis* B-78 (B-5728), *Lactobacillus plantarum* K-9 (B-5466), *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726), *Lactobacillus acidophilus* (B-9012), *Lactobacillus paracasei* БТ 24/88 (B-6253), *Lactobacillus paracasei* 139 (B-2430), полученные из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (НИЦ «Курчатовский институт» – ГосНИИГенетика).

Для восстановления лиофилизированных культур молочнокислых бактерий применяли питательную среду Man-RogosaSharpe (MRS, стандартная) следующего состава (г/л): гидролизат казеина – 10, пептон – 10, глюкоза – 20, дрожжевой экстракт – 5, калий фосфорнокислый двузамещенный – 2, ацетат натрия – 5, цитрат триаммония – 2, сульфат магния – 0,2,  $MnSO_4$  – 0,05.

Для изучения накопления молочной кислоты исследуемыми штаммами использовали предварительно освобождённую от белка творожную молочную сыворотку, следующего состава (г/л): молочный жир – 1, белок – 0,70, лактоза – 52, минеральные соли – 9, молочная кислота – 6. Для обогащения сыворотки применяли дрожжевой автолизат и раствор микроэлементов по Федорову (г/л):  $H_3BO_3$  – 5,0;  $Na_2MoO_4 \times 2H_2O$  – 5,0;  $MnSO_4 \times 4H_2O$ ; KI – 0,5; NaBr – 0,5;  $ZnSO_4 \times 7H_2O$  – 0,2 [4]. Дрожжевой автолизат готовили из прессованных дрожжей, добавляя 2 см<sup>3</sup> хлороформа и выдерживая 72 часа при температуре 50 °C [7].

В качестве инокулята использовали культуры молочнокислых бактерий, которые выдерживали на жидкой среде MRS в шейкер-культиваторе Multitron (INFORSHT, Швейцария) при температуре 37 °С в течение 12 часов. Инокулят вносили в количестве 2% от объема среды.

Биосинтез молочной кислоты проводили в лабораторных условиях в шейкере-культиваторе при температуре 37 °С в течение 168 часов. Каждые 12 часов проводится отбор проб для контроля pH, измерение проводили при помощи pH-метра pH-150МИ (ООО «Измерительная техника», Россия). Оптимальное значение pH среды (около 6,7) поддерживали добавлением 20% раствора  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  [6].

Для определения окончания процесса брожения и максимального накопления молочной кислоты ведут контроль за остатком массовой доли лактозы в среде с помощью рефрактометра. Суть данной методики заключается в том, что молочная кислота обладает способностью преломления проходящего луча света под определенным углом, с учетом исходной концентрации молочного сахара [3,4].

Содержание молочной кислоты определяли с помощью спектрофотометрического метода, предложенного Л.Н. Борщевской с соавторами [10].

### Результаты и обсуждение

В результате анализа кислотообразующей способности молочнокислых бактерий (рисунок 1) было установлено, что максимальной кислотообразующей способностью обладает штамм *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726). Содержание МК в культуральной жидкости составило 54.77 г./л, что на 54% выше по сравнению с известными в настоящее время продуцентами МК [6, 17]. По способности синтезировать МК из лактозы творожной сыворотки исследуемые штаммы можно расположить в следующей убывающей последовательности: *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726) – 54.77 г./л, *Lactobacillus brevis* B-78 (B-5728) – 49.39 г./л, *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroides* 122 (B-1699) – 40.60 г./л, *Lactobacillus paracasei* БТ 24/88 (B-6253) – 24.59 г./л, *Lactobacillus paracasei* 139 (B-2430) – 14.60 г./л, *Lactobacillus acidophilus* (B-9012) – 11.80 г./л, *Lactobacillus plantarum* К-9 (B-5466) – 6.00 г./л.

Аналогичные результаты были получены при анализе способности штаммов ферментировать лактозу (рисунок 2). Установлено, что штамм *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726) утилизировал 78% лактозы, содержащейся в молочной сыворотке, что на 20% выше относительно других исследуемых штаммов.

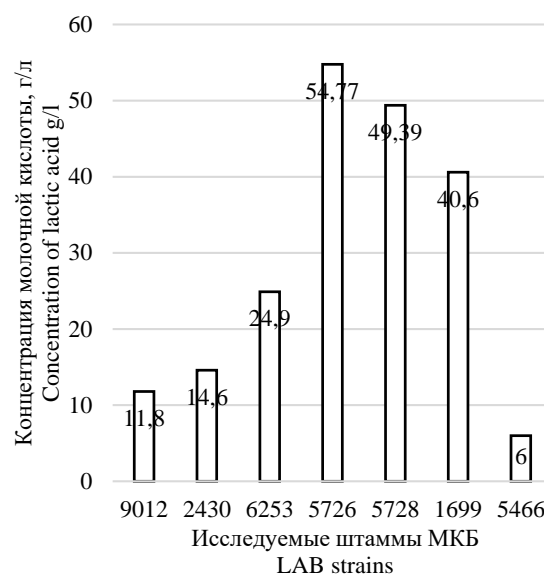


Рисунок 1. Концентрация молочной кислоты в культуральной жидкости исследуемых штаммов через 120 часов культивирования

Figure 1. The concentration of lactic acid in the culture fluid after 120 hours of cultivation

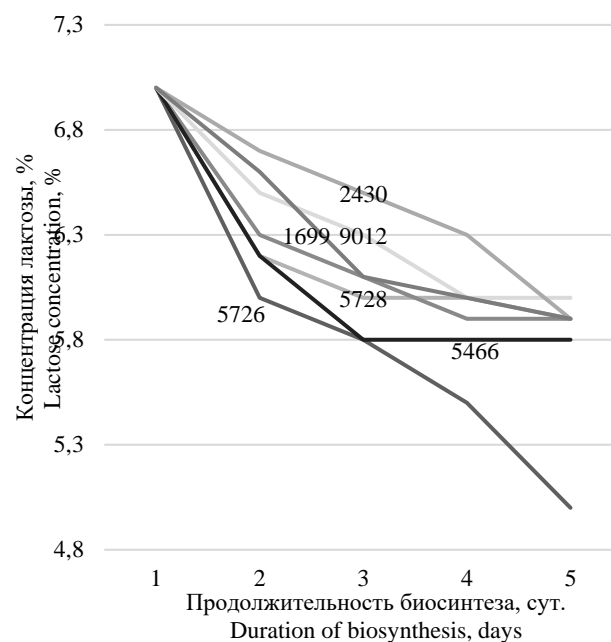


Рисунок 2. Кинетика ассимиляции лактозы (%) культурами исследуемых штаммов

Figure 2. Kinetics of lactose assimilation by the culture of the studied strains

Для определения оптимального состава среды для биосинтеза молочной кислоты штаммом *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726) проводили культивирование в течение 72 ч в питательной среде на основе творожной сыворотки с различным содержанием дрожжевого лизата (таблица 1).

Таблица 1.

Определение оптимальной концентрации дрожжевого автолизата в питательной среде для биосинтеза молочной кислоты штаммом *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726)

Table 1.

Selection of the optimal concentration of yeast autolysate in the nutrient medium for the biosynthesis of lactic acid by the *Lactobacillus casei* C-1 (B 5726) strain

Концентрация дрожжевого автолизата в питательной среде, % The concentration of yeast autolysate in the nutrient medium, %	Концентрация молочной кислоты через 72 ч культивирования, г/л Lactic acid concentration after 72 hours of cultivation, g/l
1	22,2
2,5	24,36
<b>5</b>	<b>27,96</b>
7,5	26,33
10	25,35
15	25,20

В ходе эксперимента выявлено, что достичь конечную максимальную концентрацию молочной кислоты можно путем добавления к питательной среде автолизата дрожжей в количестве 5 % от объема среды.

Для определения оптимальной продолжительности биосинтеза МК штаммом *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726) культуру выращивали на стандартной среде (MRS) при температуре 37 °C в течение 7 суток. Количество МК в культуральной жидкости определяли каждые 12 ч (рисунок 3). Установлено, что максимальное количество молочной кислоты продуцент накапливает к 132 ч роста (54.77 г./л). Дальнейшее культивирование не приводило к значительному увеличению концентрации МК, из чего

следует вывод о целесообразности ограничения продолжительности культивирования *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726) периодом в 132 ч.

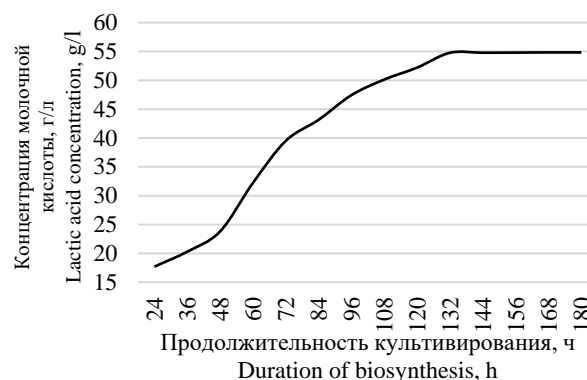


Рисунок 3. Кинетика накопления молочной кислоты штаммом *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726)

Figure 3. Kinetics of lactic acid accumulation by *Lactobacillus casei* C 1 (B 5726) strain

### Заключение

Исследование кислотообразующей способности штаммов молочнокислых бактерий показало, что из исследованных штаммов наибольшую способность ферментировать лактозу, синтезируя молочную кислоту, проявил *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726), что коррелирует с данными по ассимиляции культурой лактозы. Подобраны оптимальная продолжительность культивирования (132 ч) и концентрация дрожжевого лизата (5%) в питательной среде на основе творожной сыворотки. При оптимальных параметрах максимальная концентрация молочной кислоты в культуральной жидкости *Lactobacillus casei* C-1 (B-5726) составила 54.77 г./л, что сопоставимо с используемыми в настоящее время продуцентами при промышленном производстве МК.

### Литература

- 1 Болотенков М.В. Производство молочной кислоты в мембранном биореакторе. М.: ЦНИИТЭИмясомолпром, 2017. 78 с.
- 2 Государственная фармакопея Российской Федерации, XIV издание; под. редакцией С.Е. Емшанова. Москва: «Медицина», 2018. 2787 с.
- 3 Горбатова К.К., Гунькова П.И. Химия и физика молока. СПб: ГИОРД, 2012. 336 с.
- 4 ГОСТ 34304–2017 Молоко и молочные продукты. Метод определения лактозы и галактозы (с Поправкой). Москва, Стандартинформ, 2018. 7 с.
- 5 Дуринец А.С. Биологические основы совершенствования культивирования молочнокислых бактерий для разработки высокоэффективной технологии получения молочной кислоты: дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук: 03.01.06. Москва, 2020. 153 с.
- 6 Залашко М.Н. Биотехнология переработки молочной сыворотки. М.: Агропромиздат, 1990. 192 с.
- 7 Квасников Г.И., Нестеренко О.А. Молочнокислые бактерии и пути их использования. М: Агропроомиздат, 2015. 208 с.
- 8 Пат. № 2000109701, RU, C12P 7/56. Способ получения молочной кислоты / Исакова Д.М. № 2000109701/13; Заявл. 20.04.2000; Оpubл. 20.10.2001.
- 9 Самуйленко А.Я., Еремец В.Е., Гринь С.А., Шинкарев С.М. и др. Промышленные способы биотехнологического получения и выделения молочной кислоты // Вестник технологического университета. 2017. С. 123–126.
- 10 Борщевская Л.Н., Гордеева Т.Л., Калинина А.Н., Синецкий С.П. Спектрофотометрической определение молочной кислоты // Журнал аналитической химии. 2016. С. 787–780.


- 11 Hujanen M., Linko Y.-Y. Effect of temperature and various nitrogen sources on L (+)-lactic acid production by *Lactobacillus casei* // *Appl Microbiol Biotechnol*. 1995. P. 307–313.
- 12 Fitzpatrick J.J., Ahrens M., Smith S. Effect of manganese on *Lactobacillus casei* fermentation to produce lactic acid from whey permeate // *Process Biochemistry*. 2001. V. 36. №7. P. 671 – 675.
- 13 Rocha-Mendoza D., Kosmerl E., Krentz A., Zhang L. et al. Invited review: Acid whey trends and health benefits // *Journal of Dairy Science*. 2021. V. 104. №. 2. P. 1262-1275. doi: 10.3168/jds.2020-19038
- 14 Litchfield J.H. Lactic Acid, Microbially Produced // *Encyclopedia of Microbiology*. 2009. P. 362–372.
- 15 Ago K.-I., Hasegawa S., Azuma M., Takahashi K. Lactic acid fermentation from rice by adopting food wastes as nutrients // *Journal of Chemical Engineering of Japan*. 2007. V. 40. №2. P. 164 – 167.
- 16 Amrane A., Prigent Y. Lactic acid production from lactose in batch culture: analysis of the data with the help of a mathematical model; relevance for nitrogen source and preculture assessment // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 1994. V. 40. №5. P. 644–649.
- 17 Coelho L.F., Bernardo M.P., de Oliveira P.M. et al. Lactic acid production from renewable resources // *Lactic Acid: Production, Properties and Health Effects*. 2012. P 47–64.
- 18 Kwon S., Lee P.C., Lee E.G., Keun Chang Y. et al. Production of lactic acid by *Lactobacillus rhamnosus* with vitamin-supplemented soybean hydrolysate // *Enzyme and Microbial Technology*. 2000. V. 26. №2. P. 209–215.
- 19 Smithers G.W. Whey-ing up the options - Yesterday, today and tomorrow // *Int. Dairy J*. 2015. V. 48. P. 2-14. doi: 10.1016/j.idairyj.2015.01.011
- 20 Gharwalová L., Paulová L., Patakova P., Branská B. et al. Use of wheat straw and chicken feather hydrolysates as a complete medium for lactic acid production // *Czech Journal of Food Sciences*. 2018. V. 36. №. 2. P. 146-153. doi: 10.17221/461/2017-CJFS

## References


- 1 Bolotnikov M.V. Production of lactic acid in a membrane bioreactor. Moscow, TsNIITEImyasomolprom, 2017. 78 p. (in Russian).
- 2 State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XIV edition; under. edited by S.E. Emshanova. Moscow, Medicine, 2018. 2787 p. (in Russian).
- 3 Gorbatova K.K., Gunkova P.I. Chemistry and physics of milk. St. Petersburg, GIOR, 2012. 336 p. (in Russian).
- 4 GOST 34304–2017. Milk and dairy products. Method for determination of lactose and galactose (Amended). Moscow, Standartinform, 2018. 7 p. (in Russian).
- 5 Durinets A.S. Biological bases for improving the cultivation of lactic acid bacteria for the development of a highly efficient technology for the production of lactic acid: dis. for the competition scientist step. cand. biol. Sciences: 03.01.06. Moscow, 2020. 153 p. (in Russian).
- 6 Zalashko M.N. Biotechnology of whey processing. Moscow, Agropromizdat, 1990. 192 p. (in Russian).
- 7 Kvasnikov G.I., Nesterenko O.A. Lactic acid bacteria and ways of their use. Moscow, Agvopoomizdat, 2015. 208 p. (in Russian).
- 8 Isakova D.M. Method for obtaining lactic acid. Patent RF, no. 2000109701, 2001.
- 9 Samuylenko A.Ya., Eremets V.E., Grin S.A., Shinkarev S.M. and other Industrial methods of biotechnological production and isolation of lactic acid. Bulletin of the Technological University. 2017. pp. 123–126. (in Russian).
- 10 Borshchevskaya L.N., Gordeeva T.L., Kalinina A.N., Sineoky S.P. Spectrophotometric determination of lactic acid. *Journal of Analytical Chemistry*. 2016. pp. 787–780. (in Russian).
- 11 Hujanen M., Linko Y.-Y. Effect of temperature and various nitrogen sources on L (+)-lactic acid production by *Lactobacillus casei*. *Appl Microbiol Biotechnol*. 1995. pp. 307–313.
- 12 Fitzpatrick J.J., Ahrens M., Smith S. Effect of manganese on *Lactobacillus casei* fermentation to produce lactic acid from whey permeate. *Process Biochemistry*. 2001. vol. 36. no. 7. pp. 671 – 675.
- 13 Rocha-Mendoza D., Kosmerl E., Krentz A., Zhang L. et al. Invited review: Acid whey trends and health benefits. *Journal of Dairy Science*. 2021. vol. 104. no. 2. pp. 1262-1275. doi: 10.3168/jds.2020-19038
- 14 Litchfield J.H. Lactic Acid, Microbially Produced. *Encyclopedia of Microbiology*. 2009. pp. 362–372.
- 15 Ago K.-I., Hasegawa S., Azuma M., Takahashi K. Lactic acid fermentation from rice by adopting food wastes as nutrients. *Journal of Chemical Engineering of Japan*. 2007. vol. 40. no. 2. pp. 164 – 167.
- 16 Amrane A., Prigent Y. Lactic acid production from lactose in batch culture: analysis of the data with the help of a mathematical model; relevance for nitrogen source and preculture assessment. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 1994. vol. 40. no. 5. pp. 644–649.
- 17 Coelho L.F., Bernardo M.P., de Oliveira P.M. et al. Lactic acid production from renewable resources. *Lactic Acid: Production, Properties and Health Effects*. 2012. pp. 47–64.
- 18 Kwon S., Lee P.C., Lee E.G., Keun Chang Y. et al. Production of lactic acid by *Lactobacillus rhamnosus* with vitamin-supplemented soybean hydrolysate. *Enzyme and Microbial Technology*. 2000. vol. 26. no. 2. pp. 209–215.
- 19 Smithers G.W. Whey-ing up the options - Yesterday, today and tomorrow. *Int. Dairy J*. 2015. vol. 48. pp. 2-14. doi: 10.1016/j.idairyj.2015.01.011
- 20 Gharwalová L., Paulová L., Patakova P., Branská B. et al. Use of wheat straw and chicken feather hydrolysates as a complete medium for lactic acid production. *Czech Journal of Food Sciences*. 2018. vol. 36. no. 2. pp. 146-153. doi: 10.17221/461/2017-CJFS

# Сведения об авторах


**Ольга В. Бондарева** м.н.с., лаборатория метагеномики и пищевой биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, bond.vrn15@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7051-9858>


**Анна А. Толкачева** м.н.с., лаборатория метагеномики и пищевой биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, anna-biotech@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0725-6482>


**Нина А. Некрасова** м.н.с., лаборатория метагеномики и пищевой биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nekrasovaninelya@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0434-3839>


**Галина П. Шуваева** доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gpshuv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4294-8209>

**Дмитрий А. Черенков** д.б.н., профессор, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, d.cherenkov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8564-8919>

**Ольга С. Корнеева** д.б.н., профессор, , кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>

# Вклад авторов


Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

# Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

# Information about authors


**Olga V. Bondareva** researcher, laboratory of metagenomics and food biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, bond.vrn15@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7051-9858>


**Anna A. Tolkacheva** researcher, laboratory of metagenomics and food biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, anna-biotech@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0725-6482>


**Nina A. Nekrasova** researcher, laboratory of metagenomics and food biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nekrasovaninelya@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0434-3839>


**Galina P. Shuvaeva** associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gpshuv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4294-8209>

**Dmitry A. Cherenkov** Dr. Sci. (Biol.), professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, d.cherenkov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8564-8919>

**Olga S. Korneeva** Dr. Sci. (Biol.), professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>

# Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

# Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

<b>Поступила</b> 10/12/2021	<b>После редакции</b> 12/01/2022	<b>Принята в печать</b> 18/02/2022
<b>Received</b> 10/12/2021	<b>Accepted in revised</b> 12/01/2022	<b>Accepted</b> 18/02/2022