



www.volsu.ru



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.2>

UDC 579.66:663.54

LBC 36.871.0

**ASSESSMENT OF THE LACTOSE-CONVERTING ABILITY OF YEAST
KLUYVEROMYCES LACTIS, DEPENDING ON THE CONCENTRATION
OF ZINC IN THE CULTIVATION MEDIUM**

Kais S. Abbas

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Elizaveta S. Lushnikova

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Valerij V. Novochadov

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The constantly increasing volumes of lactose-containing waste from the food industry, up to half of which ends up in wastewater, necessitate the development of biotechnologies for the fermentation of lactose from this raw material. Several such modifications use the possibility of increasing the activity of key lactose conversion enzymes by adding some biogenic trace elements to the culture medium. The article considers the effects of zinc on the efficiency of cheese whey fermentation by three commercial cultures of *Kluyveromyces lactis*. The efficiency of lactose utilization was assessed by its content in the culture medium before and after 5 days of fermentation. The *K. lactis* strain of the MicroMilk KF KL culture utilized 80.2–84.2% lactose. After the addition of zinc ions, these indicators ranged from 74.5 to 85.7%. The strain of the Zdoroteevo culture demonstrated the utilization of lactose in the control series in the range of 78.7–82.0%. After the addition of zinc ions at 2 MPC concentrations, utilization increased slightly, and after the addition of 5 MPC concentrations, we see values lower than the control ones. The lactose content in STANDA KL D cultures in the control series ranged from 41.5 to 59.0%; after addition of zinc ions at 2 MPC concentrations, it was from 50.5 to 69.0%; and after addition of 5 MPC, it was from 38.7 to 57.4%. Thus, the addition of zinc ions to *K. lactis* culture increases its lactose-converting ability at a concentration of 2 MPC and inhibits this ability if we use a concentration of 5 MPC. It is advisable to use the obtained data in developing a strategy for cleaning lactose-containing waste in the food industry

Key words: milk whey, environmental biotechnologies, bioethanol, renewable raw materials, *Kluyveromyces lactis*, zinc.

Citation. Abbas Kais S., Lushnikova E.S., Novochadov V.V. Assessment of the Lactose-Converting Ability of Yeast *Kluyveromyces Lactis*, Depending on the Concentration of Zinc in the Cultivation Medium. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2024, vol. 14, no. 1, pp. 18-25. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.2>

УДК 579.66:663.54

ББК 36.871.0

ОЦЕНКА ЛАКТОЗО-КОНВЕРТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДРОЖЖЕЙ *KLUYVEROMYCES LACTIS* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ЦИНКА В СРЕДЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Кайс Сатгван Аббас

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Елизавета Сергеевна Лушникова

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Валерий Валерьевич Новочадов

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Постоянно возрастающие объемы отходов пищевой промышленности, содержащих лактозу, до половины которой в итоге попадает в сточные воды, обуславливают необходимость разработки более эффективных способов ее утилизации. Наиболее перспективные из них основаны на увеличении лактозо-конвертирующей способности микроорганизмов, прежде всего – дрожжей, используемых в данной экологической биотехнологии. Ряд таких модификаций использует возможность увеличения активности ключевых ферментов конвертации лактозы за счет добавления в среду ряда биогенных микроэлементов. В статье рассмотрены эффекты цинка на эффективность ферментации подсырной сыворотки тремя коммерческими культурами *Kluyveromyces lactis*, для чего оценивали содержание лактозы в культуральной среде до начала и спустя пять суток ферментации. Штамм *K. lactis* культуры MicroMilk KF KL утилизировал от 80,2 до 84,2 % лактозы, при добавлении ионов цинка эти показатели находились пределах от 74,5 до 85,7 %. Штамм культуры Здоротеєво продемонстрировал утилизацию лактозы в контрольной серии от 78,7 до 82,0 %, при добавлении ионов цинка в концентрации 2 ПДК утилизация была несколько выше, при концентрации 5 ПДК – ниже значений в контроле. Содержание лактозы в культуры STANDA KL D в контрольной серии варьировало пределах от 41,5 до 59,0 %, при добавлении ионов цинка в концентрации 2 ПДК – от 50,5 до 69,0 %, при концентрации ионов цинка 5 ПДК – от 38,7 до 57,4 %. Таким образом, добавление ионов цинка в среду культивирования *K. lactis* в концентрации 2 ПДК несколько повышает лактозо-конвертирующую способность дрожжей, а в концентрации 5 ПДК – угнетает ее. Полученные данные целесообразно использовать при выработке стратегии очистки лактозо-содержащих отходов в пищевой промышленности.

Ключевые слова: молочная сыворотка, экологические биотехнологии, биоэтанол, возобновляемое сырье, *Kluyveromyces lactis*, цинк.

Цитирование. Аббас Кайс С., Лушникова Е. С., Новочадов В. В. Оценка лактозо-конвертирующей способности дрожжей *Kluyveromyces lactis* в зависимости от концентрации цинка в среде культивирования // Природные системы и ресурсы. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 18–25. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.2>

По оценкам BusinesStat, с 2019 по 2023 г. производство сыра в России увеличилось на 40 %, до 758 тыс. т ежегодно. Причиной этому стали санкции против России, поскольку до введения эмбарго на импортные сыры приходилось до 50 % всего объема российского рынка [1]. Ежедневно в мире производится более 100 т молочной сыворотки, которая является неизбежным отходом пищевой про-

мышленности. В настоящее время большая ее часть никак не используется и утилизируется путем простого слива, что наносит ощутимый вред окружающей среде [5; 10; 11]. По данным компании Kieselmann Rus, ущерб, наносимый природе одной тонной сыворотки, приравнивается к ущербу от 100 т обычных хозяйственно-бытовых стоков [6].

Трансформация лактозы в этанол позволяет завершить технологическую цепочку, тем самым сокращая существенно сокращая убытки и уменьшая ущерб от загрязнения окружающей среды [13; 14]. Кроме того, использование дрожжей для ферментации возобновляемой биомассы для производства биоэтанола является многообещающей тенденцией для развития новой энергетики [2; 7; 20].

В качестве биообъектов для ферментации лактозы в последнее время ученых и практиков привлекают дрожжи *Kluyveromyces lactis* [12; 18]. Впервые геном *K. lactis* был исследован в Институте Пастера в Париже путем секвенирования 588 коротких меток из двух случайных геномных библиотек, было идентифицировано 296 генов, из которых 292 – новых. Полный геном *K. lactis* был секвенирован в 2004 г. в рамках проекта «Génolevures» и включает примерно 5 300 генов [9; 12]. *K. lactis* рекомендовали себя как привлекательная микробная экспрессионная система для рекомбинантных белков в промышленных масштабах. Его гены *LAC* позволяют использовать недорогую сахарную лактозу в качестве единственного источника углерода и энергии [3].

Цель работы – в модельном эксперименте *in vitro* сопоставить эффективность утилизации лактозы тремя коммерческими штаммами дрожжей из сырьевой среды, содержащей 40 г/л и 80 г/л лактозы, в зависимо-

сти от концентрации ионов цинка в культуральной среде.

Материал и методы

В работе для изучения лактозо-перерабатывающей способности основных использованы три коммерческих штамма дрожжей рода *K. lactis*:

- Здоротеevo (Россия);
- STANDА KL D (Франция);
- MicroMilk KF KL (Италия).

На этапе подготовки к культивированию были подготовлены две питательные среды – депротеинезированная нативная подсырная сыворотка А с содержанием лактозы 40 г/л и упаренная сыворотка В с содержанием лактозы 80 г/л. В каждой серии эти сыворотки ферментировались одной из дрожжевых культур с добавлением раствора $ZnSO_4$ до конечной концентрации 10 мг/л (2 ПДК) и 25,0 мг/л ионов цинка (5 ПДК), соответственно. В каждую пробирку для культивирования было добавлено: питательная среда (сыворотка А или В) – 3 мл, дрожжевая суспензия – 1,75 мл и 0,25 мл добавочного раствора. Культивирование дрожжевых культур проводилось в закрытых химических пробирках при поддержании постоянной температуры в 37,5 °С в течение 5 суток. Каждая серия включала шесть повторов (см. таблицу).

Состав модельных образцов

Серия	Вид сыворотки	Вид дрожжевой культуры	Количество ионов Zn^{+} в добавочном растворе
A1-0	Сыворотка А	Дрожжевая культура Здоротеevo	0 ПДК
A1-2			2 ПДК
A1-5			5 ПДК
A2-0		Дрожжевая культура STANDА KL D	0 ПДК
A2-2			2 ПДК
A2-5			5 ПДК
A3-0		Дрожжевая культура MicroMilk KF KL	0 ПДК
A3-2			2 ПДК
A3-5			5 ПДК
V1-0	Сыворотка В	Дрожжевая культура Здоротеevo	0 ПДК
V1-2			2 ПДК
V1-5			5 ПДК
V2-0		Дрожжевая культура STANDА KL D	0 ПДК
V2-2			2 ПДК
V2-5			5 ПДК
V3-0		Дрожжевая культура MicroMilk KF KL	0 ПДК
V3-2			2 ПДК
V3-5			5 ПДК

Лактозо-перерабатывающую способность дрожжей оценивали по содержанию лактозы в образцах адаптированным методом количественной оценки редуцирующих сахаров на основе спектрофотометрического метода Бенедикта [15; 17]. Для этого соединяли в пробирке 1 мл реактива Бенедикта и 0,25 мл образца, затем нагревали в течение 15 мин. при 95 °С, далее центрифугировали на 800 g в течение 5 мин. Супернатант разбавляли стерильной дистиллированной водой в соотношении 1:4 и проводили спектрофотометрическое измерение при длине волны 740 нм.

Статистическая обработка количественных результатов, после исключения нормального характера распределения в выборках, предусматривала расчет медианы, разброса между первым и третьим квартилем (Me, Q1 ÷ Q3)

и расчет показателя статистической значимости различий по критерию Манна-Уитни ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение

Данные о содержании лактозы в модельных смесях после ферментации представлены на рисунках 1–3.

Эксперименты показали, что все тестируемые штаммы могут успешно производить этанол из лактозы. Культуры MicroMilk KF KL и Здоротево показали высокую лактозо-конвертирующую активность, в то время как культура STANDA KL D демонстрировала более низкие показатели. Так, за 5 суток штамм *K. lactis* культуры MicroMilk KF KL утилизировал 84,2 % и 80,2 % лактозы при ее содер-

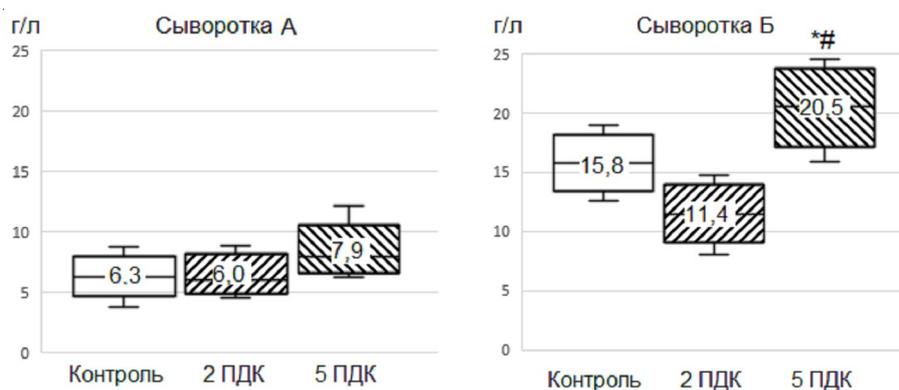


Рис. 1. Содержание лактозы после культивирования дрожжевой культуры MicroMilk KF KL на средах с различным содержанием ионов цинка

Примечание. Знаком * здесь и на последующих рисунках отмечены достоверные различия с контролем; # – между группами с умеренным и высоким содержанием цинка в культуральной среде ($p < 0,05$ по критерию Манна-Уитни).

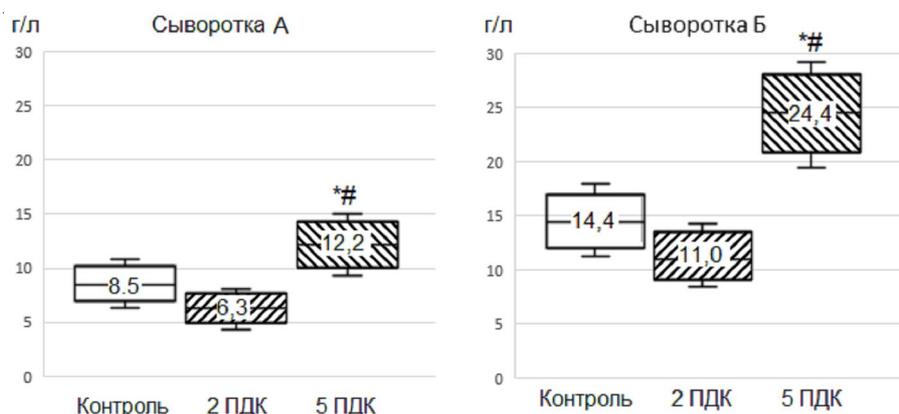


Рис. 2. Содержание лактозы после культивирования дрожжевой культуры Здоротево на средах с различным содержанием ионов цинка

жании в среде 40 г/л и 80 г/л, соответственно, при добавлении ионов цинка эти показатели варьировали в пределах от 74,5 до 85,7 %. Штамм культуры Здоротеєво продемонстрировал утилизацию лактозы в контрольной серии в пределах от 78,7 до 82,0%, при добавлении ионов цинка в концентрации 2 ПДК несколько увеличивалась от 84,2 до 86,3 %, при концентрации ионов цинка 5 ПДК – оказывались ниже контроля, менее 70,0 %.

Содержание лактозы в культуры STANDAKL D в контрольной серии варьировало пределах от 41,5 до 59,0 %, при добавлении ионов цинка в концентрации 2 ПДК – от 50,5 до 69,0 %, при концентрации ионов цинка 5 ПДК – от 38,7 до 57,4 %.

Дрожжи являются лидерами в биотехнологиях, основанных на ферментации. Они способны преобразовывать множество органических веществ из окружающей среды в совершенно новые, которые используются в различных сферах деятельности человека. Однако на этом пути микроорганизмы сталкиваются с несколькими типами стрессов, наиболее частыми из которых являются осмотический, стресс от недостатка питательных веществ и от накопления в среде токсических продуктов жизнедеятельности [19]. Из дрожжей наиболее востребованы в биотехнологии различные виды рода *Saccharomyces* [4; 11; 16], но для утилизации лактозы все чаще специалисты обращают внимание на представителей рода *Kluyveromyces* [12; 18]. В процессе ферментации они, как и любые дрожжи, под-

вергаются воздействию стрессирующих ряда факторов, которые могут уменьшить активность их ферментов и, в итоге – снизить эффективность биотехнологического процесса [16].

Как известно, цинк является важным элементом для нормального роста, метаболизма и физиологии дрожжей. Помимо того, что он действует как кофактор для многих ферментов, цинк также необходим для структурной стабильности белков цинкового пальца, многие из которых оказывают важное влияние на клеточные метаболические процессы [8]. Недавние результаты демонстрируют участие белков цинкового пальца в клеточных стрессовых реакциях, с акцентом на повышение стрессоустойчивости дрожжей при производстве биоэтанола [19]. Глубокое понимание роли цинка в перепрограммировании метаболической сети дрожжей жизненно важно для выведения устойчивых штаммов дрожжей для сбраживания этанола, а также для улучшения качества продукции.

Заключение

Проведенные исследования позволяют считать, что современные штаммы *K. lactis* способны к конверсии лактозы в этанол, и в этой способности существенно превосходят классические спиртообразующие штаммы *S. cerevisiae*. Высокие показатели лактозо-перерабатывающей способности получены для дрожжевых культур MicroMilk KF KL и Здоротеєво, у которых утилизация лактозы нахо-

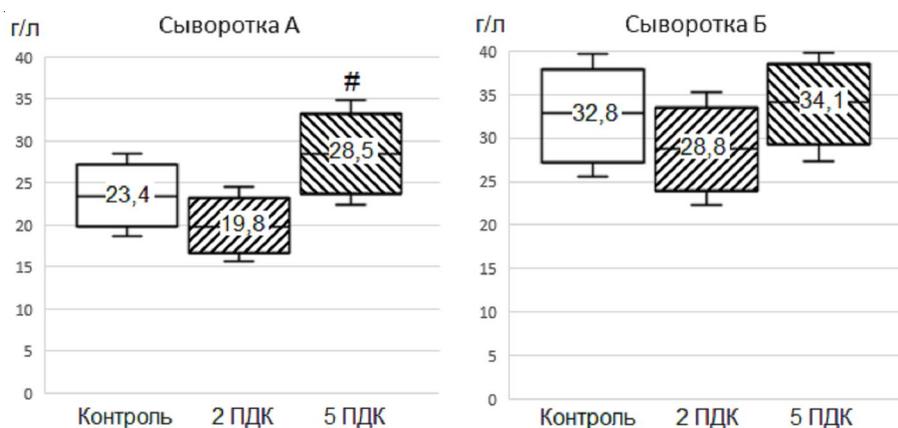


Рис. 3. Содержание лактозы после культивирования дрожжевой культуры STANDAKL D на средах с различным содержанием ионов цинка

дится вблизи или превышает 80 %. Для дрожжевых культур *K. lactis* добавление ионов цинка в среду культивирования в концентрации 2 ПДК немного повышает лактозо-перерабатывающую способность дрожжей, а в концентрации 5 ПДК – угнетает ее. Полученные данные целесообразно использовать при разработке стратегии очистки лактозо-содержащих отходов в пищевой промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ рынка сыров в России в 2019–2023 гг., прогноз на 2024–2028 гг. Структура розничной торговли // *BusinesStat*. – 2023. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://marketing.rbc.ru/research/27985/>. – Загл. с экрана.
2. Исина, Н. Ю. Финансовый механизм внедрения эколого-ориентированной технологии переработки молочной сыворотки / Н. Ю. Исина // *Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2020. – № 90. – С. 111–119.
3. Молекулярный полиморфизм генов *galactosyltransferase LAC4* у молочных и природных штаммов дрожжей *Kluyveromyces* / Л. В. Лютова [и др.] // *Молекулярная биология*. – 2021. – Т. 55, № 1. – С. 75–85. – DOI: <https://doi.org/10.31857/S0026898421010109>
4. Оценка эффективности процесса биосинтеза этанола дрожжами рода *Saccharomyces* / И. В. Калинина [и др.] // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии*. – 2018. – Т. 6, № 4. – С. 74–82. – DOI: <https://doi.org/10.14529/food180410>
5. Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and Its Separation and Purification: A Review / A. Bušić [et al.] // *Food Technol. Biotechnol.* – 2018. – Vol. 56, № 3. – P. 289–311. – DOI: <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>
6. Bioethanol Production from Renewable Sources: Current Perspectives and Technological Progress / H. Zabel [et al.] // *Renewable Sustainable Energy Rev.* – 2017. – Vol. 71. – P. 475–501. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076>
7. Bioprospecting of Microbial Strains for Biofuel Production: Metabolic Engineering, Applications, and Challenges / M. F. Adegboye [et al.] // *Biotechnol. Biofuels*. – 2021. – Vol. 14, № 1. – e5. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01853-2>
8. Cellular Stress Impact on Yeast Activity in Biotechnological Processes – A Short Overview / M. Postaru [et al.] // *Microorganisms*. – 2023. – Vol. 11, № 10. – e2522. – DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11102522>
9. Genome-Wide Metabolic (Re-) Annotation of *Kluyveromyces lactis* / O. Dias [et al.] // *BMC Genomics*. – 2012. – Vol. 13. – e517. – DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-517>
10. Ethanol Production from Cheese Whey and Expired Milk by the Brown Rot Fungus *Neolentinus lepideus* / K. Okamoto [et al.] // *Fermentation*. – 2019. – Vol. 5, № 2. – e49. – DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation5020049>
11. Fermentation of Lactose to Ethanol in Cheese Whey Permeate and Concentrated Permeate by Engineered *Escherichia coli* / L. Pasotti [et al.] // *BMC Biotechnology*. – 2017. – Vol. 17, № 1. – P. 48–57. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s12896-017-0369-y>
12. *Kluyveromyces marxianus* Developing Ethanol Tolerance During Adaptive Evolution with Significant Improvements of Multiple Pathways / W. Mo [et al.] // *Biotechnol Biofuels*. – 2019. – Vol. 12. – P. 63–72. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1393-z>
13. Papademas, P. Technological Utilization of Whey Towards Sustainable Exploitation / P. Papademas, P. Kotsaki // *Adv. Dairy Res.* – 2019. – Vol. 7, iss 4. – e231. – DOI: <https://doi.org/10.35248/2329-888X.19.7.231>
14. Promising Renewable Raw for Ethanol Biosynthesis / Yu. A. Zimina [et al.] // *Eur. J. Mol. Biotech.* – 2020. – Vol. 8, № 1. – P. 42–51. – DOI: <https://doi.org/10.13187/ejmb.2020.1.42>
15. Quantification of Reducing Sugars Based on the Qualitative Technique of Benedict / A. Hernández-Lypez [et al.] // *ACS Omega*. – 2020. – Vol. 5, № 50. – P. 32403–32410. – DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04467>
16. Selection and Subsequent Physiological Characterization of Industrial *Saccharomyces cerevisiae* Strains During Continuous Growth at Sub- and Supra Optimal Temperatures / K. Y. F. Lip [et al.] // *Biotechnol. Rep. (Amst)*. – 2020. – Vol. 26. – e00462. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00462>
17. Simoni, R. D. Benedict's Solution, a Reagent for Measuring Reducing Sugars: the Clinical Chemistry of Stanley R. Benedict / R. D. Simoni, R. L. Hill, M. Vaughan // *Journal of Biological Chemistry*. – 2002. – Vol. 277, № 16. – P. 33–45. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)61050-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)61050-1)
18. Vu, H. H., Structural Basis for Substrate Recognition of Glucose-6-Phosphate Dehydrogenase from *Kluyveromyces lactis* / H. H. Vu, C. Jin, J. H. Chang // *Biochem. Biophys. Res. Comm.* – 2021. – Vol. 155, № 1. – P. 85–91. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2021.02.088>
19. Walker, G. M. Mitigating Stress in Industrial Yeasts / G. M. Walker, T. O. Basso // *Fungal Biol.* – 2020. – Vol. 124, № 5. – P. 387–397. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.10.010>
20. Zandona, E. Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach / E. Zandona, M. Blažič, A. Rehek Jambrak // *Food Technol. Biotechnol.* – 2021. – Vol. 59, № 2. – P. 147–161. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00462>

REFERENCES

1. Analiz rynka syrov v Rossii v 2019–2023 gg, prognoz na 2024–2028 gg. Struktura roznichnoy torgovli [Analysis of the Cheese Market in Russia in 2019–2023, Forecast for 2024–2028. The Structure of Retail Trade]. *BusinessStat*, 2023. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/27985/>
2. Isina N.Yu. Finansovyy mekhanizm vnedreniya ekologo-orientirovannoy tekhnologii pererabotki molochnoy syvorotki [Financial Mechanism for the Implementation of Ecologically Orientated Technology of Milk Whey Processing]. *Trudy Kostromskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* [Proceedings of the Kostroma State Agricultural Academy], 2020, iss. 90, pp. 111–119.
3. Lyutova L.V., Naumov G.I., Shnyreva A.V., Naumova E.S. Molekulyarnyy polimorfizm genov v-galaktozidazy LAC4 u molochnykh i prirodnykh shtammov drozhzhey Kluyveromyce [Molecular Polymorphism of B-Galactosidase LAC4 Genes in Dairy and Natural Strains of Kluyveromyces Yeasts]. *Molekulyarnaya biologiya*, 2021, vol. 55, no. 1, pp. 75–85. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0026898421010109>
4. Kalinina I.V., Fatkullin R.I., Popova N.V., Sharipova A.R. Otsenka effektivnosti protsessy biosinteza etanola drozhzhami roda Saccharomyces [The Analysis on Efficiency of Ethanol Biosynthesis by Saccharomyces Yeast]. *Vestnik YuUrGU. Seriya: Pishchevyye i biotekhnologii* [Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology], 2018, vol. 6, no. 4, pp. 74–82. DOI: <https://doi.org/10.14529/food180410>
5. Bušić A., Marđetko N., Kundas S., Morzak G., Belskaya H., Ivančić Šantek M., Komes D., Novak S., Šantek B. Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and Its Separation and Purification: A Review. *Food Technol. Biotechnol.*, 2018, vol. 56, no. 3, pp. 289–311. DOI: <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>
6. Zabed H., Sahu J., Akter S., Boyce A.N., Faruq G. Bioethanol Production from Renewable Sources: Current Perspectives and Technological Progress. *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2017, vol. 71, pp. 475–501. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076>
7. Adegboye M.F., Ojuederie O.B., Talia P.M., Babalola O.O. Bioprospecting of Microbial Strains for Biofuel Production: Metabolic Engineering, Applications, and Challenges. *Biotechnol. Biofuels.*, 2021, vol. 14, no. 1, e5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01853-2>
8. Postaru M., Tucaliuc A., Cascaval D., Galaction A.I. Cellular Stress Impact on Yeast Activity in Biotechnological Processes – A Short Overview. *Microorganisms*, 2023, vol. 11, no. 10, e2522. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11102522>
9. Dias O., Gombert A.K., Ferreira E.C., Rocha I. Genome-Wide Metabolic (Re-) Annotation of Kluyveromyces Lactis. *BMC Genomics*, 2012, vol. 13, e517. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-517>
10. Okamoto K., Nakagawa S., Kanawaku R., Kawamura S. Ethanol Production from Cheese Whey and Expired Milk by the Brown Rot Fungus Neolentinus lepideus. *Fermentation*, 2019, vol. 5, no. 2, e49. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation5020049>
11. Pasotti L., Zucca S., Casanova M., Micoli G., Cusella De Angelis M.G., Magni P. Fermentation of Lactose to Ethanol in Cheese Whey Permeate and Concentrated Permeate by Engineered Escherichia coli. *BMC Biotechnology*, 2017, vol. 17, no 1, pp. 48–57. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12896-017-0369-y>
12. Mo W., Wang M., Zhan R., Yu Y., He Y., Lu H. Kluyveromyces Marxianus Developing Ethanol Tolerance During Adaptive Evolution with Significant Improvements of Multiple Pathways. *Biotechnol Biofuels*, 2019, vol. 12, pp. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1393-z>
13. Papademas P., Kotsaki P. Technological Utilization of Whey Towards Sustainable Exploitation. *Adv. Dairy Res.*, 2019, vol. 7, iss. 4, e231. DOI: <https://doi.org/10.35248/2329-888X.19.7.231>
14. Zimina Y.A., Postnova M.V., Abbas Kais S., Abbas Kasym S., Ivanova G.S., Novochadov V.V. Promising Renewable Raw for Ethanol Biosynthesis. *Eur. J. Mol. Biotech.*, 2020, vol. 8, no. 1, pp. 42–51. DOI: <https://doi.org/10.13187/ejmb.2020.1.42>
15. Hernández-López A., Sánchez Félix D.A., Zuñiga Sierra Z. García Bravo I., Dinkova T.D., Avila-Alejandre A.X. Quantification of Reducing Sugars Based on the Qualitative Technique of Benedict. *ACS Omega*, 2020, vol. 5, no. 50, pp. 32403–32410. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04467/>
16. Lip K.Y.F., Garcia-Rhos E., Costa C.E., Guillamyn J.M., Domingues L., Teixeira J., van Gulik W.M. Selection and Subsequent Physiological Characterization of Industrial Saccharomyces cerevisiae Strains During Continuous Growth at Sub- and- Supra Optimal Temperatures. *Biotechnol. Rep. (Amst.)*, 2020, vol. 26, e00462. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00462>
17. Simoni R.D., Hill R.L., Vaughan M. A Benedict's Solution, a Reagent for Measuring Reducing Sugars: the Clinical Chemistry of Stanley R. Benedict. *Journal of Biological Chemistry*, 2002, vol. 277, no. 16, pp. 33–45. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)61050-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)61050-1)
18. Vu H.H., Jin C., Chang J.H. Structural Basis for Substrate Recognition of Glucose-6-Phosphate Dehydrogenase from Kluyveromyces lactis. *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, 2021, vol. 155, no. 1, pp. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2021.02.088>
19. Walker G.M., Basso T.O. Mitigating Stress in Industrial Yeasts. *Fungal Biol.*, 2020, vol. 124, no. 5, pp. 387–397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.10.010>
20. Zandona E., Blahizh M., Rehek Jambrak A. Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach. *Food Technol. Biotechnol.*, 2021, vol. 59, no. 2, pp. 147–161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00462>

Information About the Authors

Kais S. Abbas, Postgraduate Student, Department of Biology and Bioengineering, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, qays.abas90@gmail.com

Elizaveta S. Lushnikova, Student, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, lizalushnikova01@yandex.ru

Valerij V. Novochadov, Doctor of Sciences (Medicine), Professor, Department of Biology and Bioengineering, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, novochadov.valeriy@volsu.ru

Информация об авторах

Кайс Сагтван Аббас, аспирант кафедры биологии и биоинженерии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, qays.abas90@gmail.com

Елизавета Сергеевна Лушникова, студент, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, lizalushnikova01@yandex.ru

Валерий Валерьевич Новочадов, доктор медицинских наук, профессор кафедры биологии и биоинженерии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, novochadov.valeriy@volsu.ru