

АСПЕКТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ (*SORGHUM*) В БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Е.М. Серба[✉], Л.В. Римарева, М.Б. Оверченко, Н.И. Игнатова, А.А. Микуляк

Всероссийский НИИ пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия

[✉] serbae@mail.ru

Аннотация. Актуальной проблемой перерабатывающих отраслей промышленности является расширение сырьевой базы и сокращение образования отходов. В обзоре рассмотрены вопросы о перспективах использования нетрадиционного растительного сырья и современных биотехнологических процессов его направленной конверсии в продукты микробного синтеза, обеспечивающие ресурсосбережение и эффективную замену традиционных зерновых культур, на примере спиртового производства. На основе анализа научных публикаций, систематизации и обобщения результатов исследований приведены актуальные данные по влиянию особенностей состава основных полимеров зернового сорго на уровень синтеза этанола и лизина, позволившие выявить значимые характеристики зерна перспективных сортов сорго. Подтверждена возможность комплексного использования многокомпонентного растения сорго (зерно и сок стеблей) не только как сырья для получения этилового спирта, но и как источника углеводов для микробной конверсии их в лизин. Выявлена значимость микробного синтеза в решении экологических проблем спиртового производства, заключающаяся в получении наряду с целевым продуктом дополнительную – кормовую лизино-белковую добавку при культивировании *Brevibacterium* на средах, содержащих барду, остающуюся после сбраживания суслу дрожжами *Saccharomyces cerevisiae*. Показанная возможность комплексной биотехнологической переработки зерна и сока стеблей сорго в этанол и L-лизин создает предпосылки для расширения исследований в области разработки биосинтетических технологий получения других ценных продуктов микробного синтеза на основе использования многокомпонентного растения сорго как субстрата для культивирования промышленных штаммов микроорганизмов – продуцентов функциональных ингредиентов и биологически активных веществ.

Ключевые слова: зерно и сок стеблей сорго, сусло, микробная конверсия, барда, этанол, лизин

Благодарности. Работа проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания (тема № FGMF-2022-0006).

Для цитирования: Аспекты комплексного использования нетрадиционного растительного сырья (*Sorghum*) в биотехнологических производствах / Е.М. Серба, Л.В. Римарева, М.Б. Оверченко и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2023. Т. 11, № 4. С. 27–35. DOI: 10.14529/food230403

ASPECTS OF THE INTEGRATED USE OF NON-TRADITIONAL PLANT RAW MATERIALS (*SORGHUM*) IN BIOTECHNOLOGICAL INDUSTRIES

E.M. Serba[✉], L.V. Rimareva, M.B. Overchenko, N.I. Ignatova, A.A. Mikulyak

All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

[✉] serbae@mail.ru

Abstract. An urgent problem of the processing industries is the expansion of the raw material base and the reduction of waste generation. The review examines the prospects of using non-traditional plant raw materials and modern biotechnological processes of its directed conversion into microbial synthesis products that ensure resource conservation and effective replacement of traditional grain crops, using the example of alcohol production. Based on the analysis of scientific publications, systematization and generalization of research results, current data on the influence of the composition of the main polymers of grain sorghum on the level of synthesis of ethanol and lysine are presented, which made it possible to identify significant characteristics of grain of promising sorghum varieties. The possibility of complex use of a multicomponent sorghum plant (grain and stem juice) is confirmed not only as a raw material to produce ethyl alcohol, but also as a source of carbohydrates for microbial conversion into lysine. The importance of microbial synthesis in solving environmental problems of alcohol production has been revealed, which consists in obtaining, along with the target product, an additional feed lysine-protein additive when cultivating *Brevibacterium* on media containing barda remaining after fermentation of wort by yeast *Saccharomus cerevisiae*. The demonstrated possibility of complex biotechnological processing of grain and sorghum stem juice into ethanol and L-lysine creates prerequisites for expanding research in the field of biosynthetic technologies to produce other valuable products of microbial synthesis based on the use of multicomponent sorghum plant as a substrate for the cultivation of industrial strains of microorganisms – producers of functional ingredients and biologically active substances.

Keywords: grain and juice of sorghum stalks, wort, microbial conversion, barda, ethanol, lysine

Acknowledgements. The work was carried out at the expense of a subsidy for the fulfillment of a state task (topic No. FGMP-2022-0006).

For citation: Serba E.M., Rimareva L.V., Overchenko M.B., Ignatova N.I., Mikulyak A.A. Aspects of the integrated use of non-traditional plant raw materials (*Sorghum*) in biotechnological industries. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 27–35. (In Russ.) DOI: 10.14529/food230403

Введение

В настоящее время актуальной проблемой перерабатывающих отраслей промышленности является расширение сырьевой базы и сокращение образования отходов на основе принципов рационального использования сельскохозяйственного сырья и современных биотехнологических процессов его глубокой конверсии в целевые продукты, обеспечивающие ресурсосбережение, эффективную замену традиционных зерновых культур на другие виды растительного сырья [1, 2]. Особенно это относится к производствам спирта, ферментных препаратов и других ингредиентов, которые методами биотехнологии перерабатывают существенное количество зерна пшеницы, кукурузы и ржи, имеющих широ-

кую востребованность в пищевой промышленности [3–5]. Решение данной проблемы заключается в подборе перспективных видов растительного сырья и эффективных для их конверсии ферментных систем, в исследовании биосинтетической способности и метаболизма микроорганизмов при культивировании их на питательных средах, приготовленных на основе нетрадиционных видов сырья.

Цель работы – систематизация и обобщение результатов исследований, посвященных изучению свойств, состава основных полимеров растительной культуры сорго, способов ее комплексной биотехнологической переработки в ресурсосберегающих технологиях на примере производства спирта.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования являлись актуальные данные научных статей об особенностях биохимического состава сахарного сорго и методах его комплексной конверсии в этанол и лизин. Поиск и отбор статей для составления обзора по тематике осуществляли по ключевым словам и их комбинациям в библиографических базах eLIBRARY, Google Scholar, Scopus, Elsevier. В качестве временного периода принят интервал 2008–2022 гг.

Результаты и их обсуждение

В работах ряда исследователей было показано, что перспективным сырьем для использования в спиртовом производстве может служить сельскохозяйственное растение *Sorghum bicolor* (L.) Moench [6–8]. Зерновое сорго отличается хорошей устойчивостью к условиям выращивания, обладает высокой продуктивностью, способностью к образованию зеленой массы, в соке стеблевой части которой содержатся углеводы [9–11]. В последние годы этой культуре придается важное значение: селекционерами-растениеводами получены и испытаны новые сорта сахарного сорго, отличающиеся не только высоким содержанием в зерне крахмала, но и повышенной способностью к синтезу зеленой расти-

тельной массы; расширяются посевные площади для их возделывания [9, 12].

Анализ биохимического состава зерна сорго показал, что по содержанию крахмала многие сорта зернового сорго превосходили традиционно применяемые в спиртовом производстве зерновые культуры, такие как пшеница, рожь и кукуруза [11–15], и различались по уровню содержания белка и гемицеллюлозы (рис. 1) [16].

Перспективность использования сорго зернового в качестве полноценного сырья исследована в производствах спирта, пива, крахмала и кормов [7, 11, 16–18]. В то же время мало изучена взаимосвязь состава основных полимеров зерна с выходом и качеством целевых продуктов. Результатами последних исследований показано, что крахмалистость зерна являлась основным фактором, обеспечивающим выход спирта, однако присутствие в зерне некрахмальных полисахаридов и белка, определяющих повышенную вязкость суслу, оказывало корректирующее влияние на уровень синтеза этанола [16].

Кроме того, в ряде работ показано, что еще одним важным преимуществом растения *Sorghum* является его способность к быстрому образованию зеленой массы и активному син-

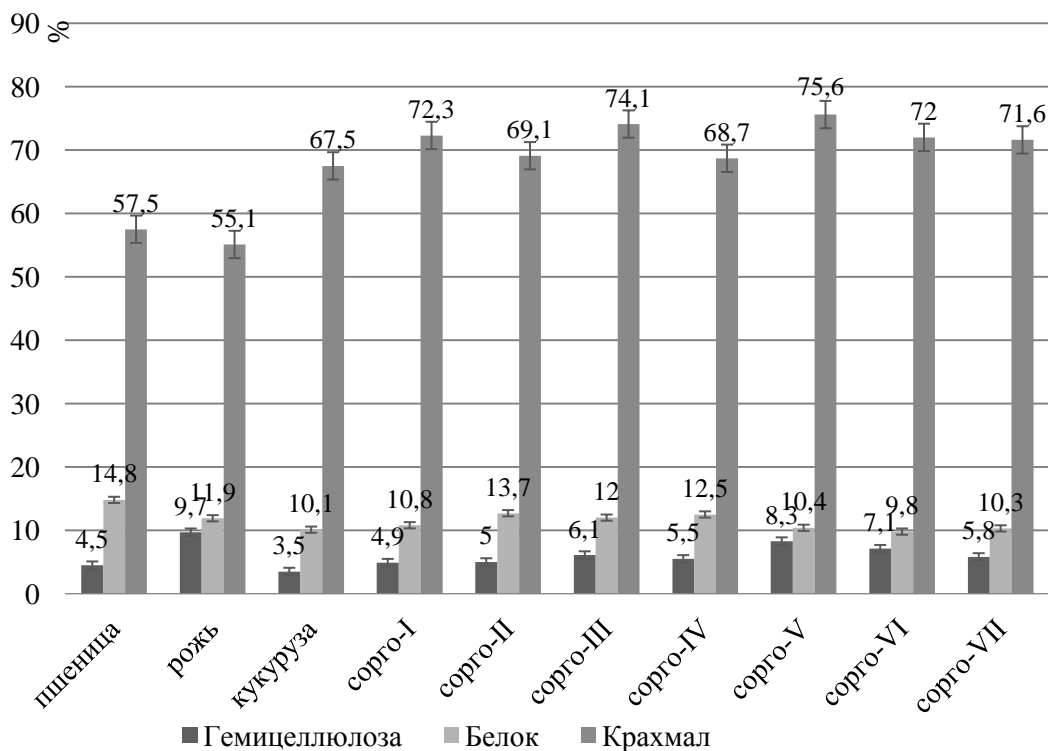


Рис. 1. Содержание (%) крахмала, гемицеллюлозы и белка в зерне сорго разных сортов в сравнении с зерном пшеницы, кукурузы и ржи [16]

тезу углеводов в соке стеблей растения, из которого заготавливают концентрат для длительного хранения и использования [15, 19–22].

В результате исследований, проведенных во ВНИИ пищевой биотехнологии, подтверждена перспективность комплексного использования многокомпонентного растения сорго (зерно и сок из стеблей зеленой массы) не только как сырья для производства этилового спирта, но и как источника углеводов для микробной конверсии их в лизин при культи-

вировании *Brevibacterium* RCAM 01129 на средах, содержащих барду, полученную после сбраживания суслу дрожжами *Saccharomyces cerevisiae*, и отъем суслу из зерна сорго (рис. 2) или сока стеблей сорго (рис. 3) [16, 22–25].

Исследователями показано, что количество крахмала в зерне сорго ещё не является гарантом высокого выхода целевых продуктов [16]. Питательные среды, приготовленные на основе сорта (V), который характеризовался самым

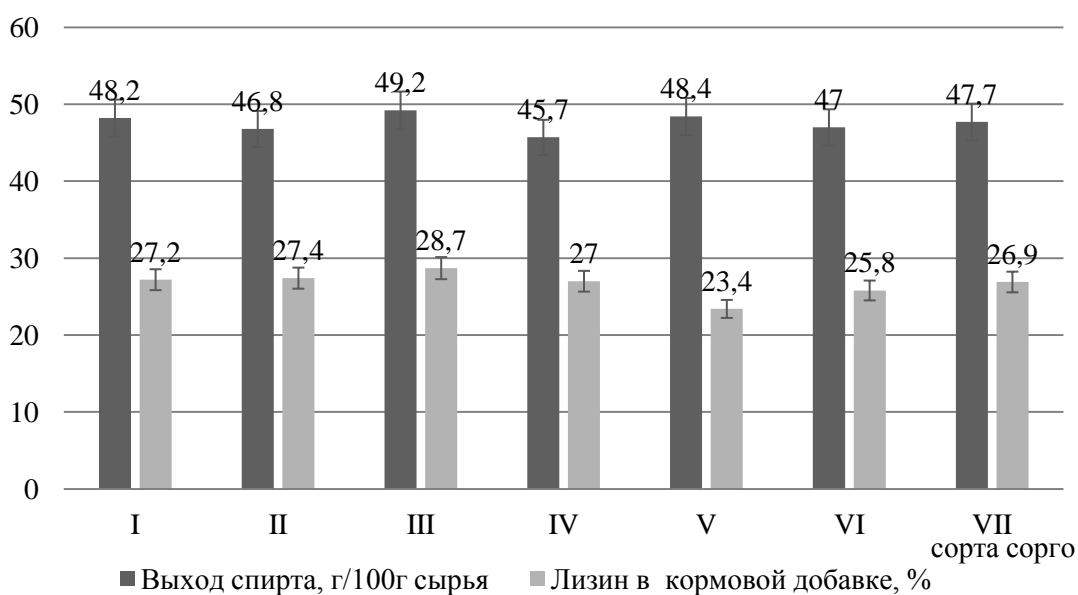


Рис. 2. Зависимость выхода спирта и лизина от сорта и особенностей биохимического состава зерна [16]

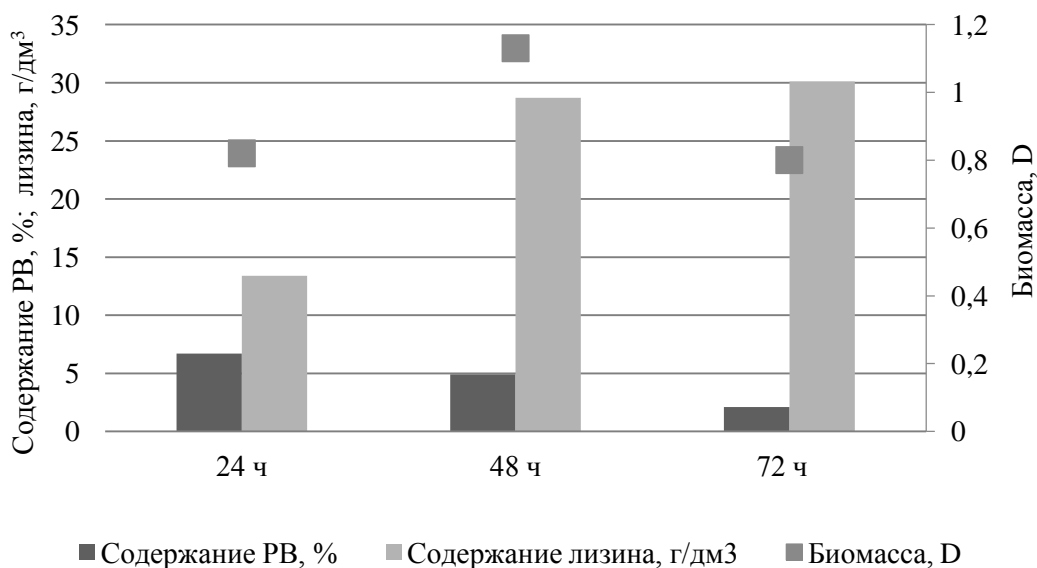


Рис. 3. Динамика конверсии углеводов, синтеза лизина и роста биомассы при культивировании *Brevibacterium* RCAM 01129 на средах, содержащих отъем суслу из сока стеблей сорго и барду [22, 25]

высоким содержанием крахмала (75,6 %), не обеспечивал максимальный синтез этанола и лизина, так как в составе зерна присутствовали гемицеллюлозы (8,3 %), являющие негативным фактором в отношении синтеза этанола и лизина. Так, при использовании сорта (III) с крахмалистостью 74,1 % и содержанием гемицеллюлоз – 6,1 %, выход спирта составил 49,2 г/100 г сырья, а содержание лизина в кормовой добавке – 28,7 %, в то время как в результате конверсии сорта (V) эти показатели были несколько ниже (см. рис. 2).

Высокая эффективность сорго подтверждена также в исследованиях по использованию в составе суслу сока стеблей сорго [22, 25]. Установлено, что дрожжи *S. cerevisiae* расы 1039 проявили наиболее высокую осмоустойчивость, хорошо развивались на среде с концентрацией растворимых сухих веществ 30 % и обеспечили высокий уровень синтеза этанола (14,9 об. %). При культивировании *Brevibacterium* RCAM 01129 на средах, приготовленных на основе отъема концентрированного суслу из сиропа сока сорго и барды, полученной после его сбраживания дрожжами, концентрация лизина составила 30,1 г/дм³ (см. рис. 3), что способствовало существенному повышению содержания белка и лизина в готовом кормовом продукте (см. таблицу) [22, 25].

В результате микробной конверсии полупродуктов и отходов спиртового производства получена кормовая лизино-белковая добавка, в которой содержание белка было в 1,8 раза, а лизина – в 36,5 раза выше, чем в составе в сухой барды (см. таблицу) [16, 22, 25]. Лизин является наиболее лимитированной из незаменимых аминокислот в злаковых культурах и растительных кормах. Применение лизина в животноводстве увеличивает коэффициент использования белка, позволяет сократить расход корма на единицу привеса животных, повышает их продуктивность [23–25]. Кроме того, сокращается дисбаланс белковых и углеводных компонентов в рационах сельскохозяйственных животных, который может

приводить к возникновению кетоза, являющегося причиной снижения продуктивности и потери живой массы, а также возникновению бесплодия [23, 26]. Решением проблемы белкового дефицита возможно путём снижения содержания в кормах зерновых культур и обогащения их белком, полученным на основе микробной конверсии растительного сырья [27–29].

Вывод

Анализ научных публикаций подтвердил возможность комплексной биотехнологической переработки такой многокомпонентной культуры, как *Sorghum bicolor* (зерно и сок стеблей сорго) в качестве нетрадиционного вида сырья в производстве спирта и кормовой добавки, что позволит [16, 22–25]:

- расширить сырьевую базу и реализовать комплексную ресурсосберегающую технологию спирта и кормовой лизино-белковой добавки;

- эффективно использовать полупродукты и отходы спиртового производства;

- повысить биологическую ценность кормов, обогатив их белком и лизином, что будет способствовать увеличению мясной продукции сельскохозяйственных животных.

Результаты исследований, представленные в обзоре, показали перспективность комплексной биотехнологической переработки многокомпонентного растения сорго в этанол и L-лизин, что раскрывает перспективы разработки не только новых ресурсосберегающих технологий спирта и поколений кормов, интенсифицирующих рост и продуктивность сельскохозяйственных животных, но и создают предпосылки для расширения исследований в области разработки биосинтетических технологий получения других ценных продуктов микробного синтеза на основе использования сорго как субстрата для культивирования промышленных штаммов микроорганизмов – продуцентов функциональных ингредиентов и биологически активных веществ.

Сравнительная характеристика кормовых продуктов, полученных на основе комплексной конверсии зернового сорго на спирт и кормовые продукты [16]

Продукт	Сырой протеин, %	Истинный белок, %	Лизин, %
Зерновая барда	24,5 ± 1,2	17,9 ± 0,8	0,75 ± 0,03
Лизино-белковый препарат	43,9 ± 2,4	26,7 ± 1,4	27,40 ± 1,40

Список литературы

1. Веретнова О.Ю. Возможности использования нетрадиционного растительного сырья в производстве пищевых продуктов функционального назначения // Вестник КрасГАУ. 2015. № 6. С. 154–158.
2. Серба Е.М. Роль биокатализа в технологиях переработки зернового сырья / Е.М. Серба, Л.В. Римарева, М.Б. Оверченко и др. // Пищевая промышленность. 2022. № 5. С. 13–15. DOI: 10.52653/PPI.2022.5.5.003
3. Серба Е.М., Поляков В.А. Биотехнологические основы комплексной переработки зернового сырья и вторичных биоресурсов в этанол и белково-аминокислотные добавки: монография. М.: ВНИИПБТ. 2015. 133 с.
4. Ресурсосберегающие технологии подготовки крахмалсодержащего сырья к сбраживанию / С.В. Иванов, П.Л. Шиян, Т.Е. Мудрак, С.С. Ковальчук // Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. № 1. С. 24–28.
5. Спиртовое производство – технологическая основа комплексной переработки зерна с получением пищевых продуктов / В.А. Кривченко, М.В. Туршатов, А.О. Соловьев, И.М. Абрамова // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 53–54.
6. Nahar K. Sweet Sorghum: an Alternative Feedstock for Bioethanol // Iranica Journal of Energy & Environment. 2011. № 2(1). P. 58–61.
7. Potential of Some Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Genotypes Under Two Water Regimes for Sugar and Bio-ethanol Production / D. Alhajturki, M. Aljamali, A. Kanbar, F. Azmah // Sugar Tech. 2012. V. 14. P. 376–382. DOI: 10.1007/s12355-012-0181-x
8. Аскарбеков Э.Б., Байгазиева Г.И. Использование сахарного сорго в производстве спирта // Вестник Алматинского технологического университета. 2015. № 4. С. 77–79.
9. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В. Использование сорго и основные направления селекционной работы во ВНИИЗК им. И.Г. Калиненко // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 3 (7). С. 60–70.
10. Григоренко Н.О. Сорго сахарное и перспективное направление его использования // Вестник пищевой промышленности «Сахарная отрасль». 2016. № 5. С. 5–7.
11. Effect of Harvesting Stage on Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Genotypes in Western Kenya / M.O. Oyier, J.O. Owuoche, M.E. Oyoo et al. // The Scientific World Journal. 2017. DOI: 10.1155/2017/8249532.
12. Ковтунова Н.А., Ерешко А.С., Ржевская А.А. Итоги испытания новых сортов и гибридов сахарного сорго // Научное обозрение. Международный научно-практический журнал. 2017. № 2. С. 4.
13. Состав концентрированного зернового сула, приготовленного из различных видов зернового сырья / Е.М. Серба, М.Б. Оверченко, Н.И. Игнатова и др. // Актуальные вопросы индустрии напитков. 2018. № 2. С. 166–170. DOI: 10.21323/978-5-6041190-3-7-2018-2-166-170.
14. Абрамова И.М., Римарева Л.В., Туршатов М.В. Исходные требования к качеству зернового сырья, обеспечивающие высокие показатели эффективности производства спирта: монография. М.: ООО Издат. дом «БИБЛИО-ГЛОБУС», 2019. 114 с. DOI: 10.18334/978907063556.
15. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В. Использование сорго сахарного в качестве источника питательных веществ для человека (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2019. № 3. С. 3–9. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-3-9.
16. Влияние особенностей состава зерна сорго на эффективность его микробной конверсии в этанол и лизин / Е.М. Серба, Л.В. Римарева, В.Т. Чан и др. // Журнал СФУ. Биология. 2022. № 3. С. 347–362. DOI: 10.17516/1997-1389-0392
17. Potential for improvement in yeast nutrition in raw whole grain sorghum and maize lager brewing and bioethanol production through grain genetic modification and phytase treatment / J. Kruger, A. Oelofse, J. Taylor, J.R.N. Taylor // Journal of the Institute of Brewing. 2012. № 118(1). P. 70–75.
18. Алабушев А.В., Ковтунов В.В., Лушпина О.А. Сорго зерновое – перспективное сырье для производства крахмала // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, №7. С. 64–66.
19. Assessment of genetic diversity for biomass related traits in Sweet Sorghum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench.) / D.M. Bahadure, S. Marker, A.V. Umakanth et al. // IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science. 2014. V.7(8). P. 32–34. DOI: 10.9790/2380-07823234

20. Изучение сахара в стеблях сорго / Т. Товолдиев, Г. Рустамова, Б. Хусанов, Н. Набиева // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. № 4. С. 62–64.
21. Near infrared spectroscopy determination of sucrose, glucose and fructose in sweet sorghum juice / M.L.F. Simeone, R.A.C. Parrella, R.E. Schaffert et al. // *Microchemical Journal*. 2017. V. 134. P. 125–130. DOI: 10.1016/j.microc.2017.05.020
22. Комплексное использование сока стеблей сахарного сорго для получения этанола и кормовой белково-аминокислотной добавки / Л.В. Римарева, Е.М. Серба, М.Б. Оверченко и др. // *Пищевая промышленность*. 2021. № 5. С. 56–61. DOI: 10.52653/PPI.2021.5.5.013
23. Римарева Л.В., Оверченко М.Б., Игнатова Н.И. Микробная конверсия растительного сырья и вторичных сырьевых ресурсов АПК в высокоэффективный лизино-белковый препарат // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2008. № 12. С. 48–51.
24. Римарева Л.В., Григорьев М.А. Создание безотходной технологии в свете ответственности производителей за переработку сырьевых отходов на примере пивоваренного производства // *Экология промышленного производства*. 2009. № 1. С. 43–46.
25. Получение этанола и кормовой лизинсодержащей добавки на основе сиропа из сахарного сорго / Е.М. Серба, Л.В. Римарева, М.Б. Оверченко и др. // *Перспективные направления совершенствования технологии спирта и спиртных напитков и методы их контроля: сб. науч. тр. / под ред. И.М. Абрамовой, Е.М. Сербы. М.: Первое экономическое издательство. 2021. С. 115–124. ISBN 978-5-91292-400-2. DOI: 10.18334/9785912924002.115-124*
26. Фаритов Т.А. Корма и кормовые добавки для животных: учеб. пособие для СПО. СПб.: Лань. 2010. 304 с. ISBN 978-5-8114-9892-5
27. Неминущая Л.А. Лечебно-профилактические кормовые белковые добавки на основе высшего лечебного гриба *Fusarium sambucinum* MKF-2001-3 // *Ветеринария и кормление*. 2010. № 4. С. 8–9.
28. Биотехнологические основы направленной конверсии сельскохозяйственного сырья и вторичных биоресурсов для получения пищевых ингредиентов, функциональных продуктов питания и кормов: монография / Е.М. Серба, Л.В. Римарева, Е.Н. Соколова и др. М.: ООО Издат. дом «БИБЛИО-ГЛОБУС», 2017. 180 с. ISBN 978-5-6040237-1-6. DOI: 10.18334/9785604023716.
29. Биотехнологические основы создания кормовых добавок с защитно-профилактическими свойствами: монография / Г.С. Волкова, Л.В. Римарева, Е.В. Куксова, Е.М. Серба. М.: Первое экономическое издательство, 2020. 148 с. DOI: 10.18334/9785912923418.

References

1. Veretnova O.Yu. The possibilities to use the non-traditional vegetable raw materials for the functional food production. *Vestnik KrasGAU*, 2015, no. 6, pp. 154–158. (In Russ.).
2. Serba E.M., Rimareva L.V., Overchenko M.B., Ignatova N.I., Pogorzhefskaya N.S. The role of biocatalysis in the technologies of processing grain raw materials. *Food industry*, 2022, no. 5, pp. 13–15. (In Russ.). DOI: 10.52653/PPI.2022.5.5.003
3. Serba E.M., Polyakov V.A. *Biotechnologicheskie osnovy kompleksnoy pererabotki zernovogo syr'ya i vtorichnykh bioresursov v etanol i belkovo-aminokislotnye dobavki* [Biotechnological bases of complex processing of grain raw materials and secondary bioresources into ethanol and protein-amino acid additives]. Moscow, 2015. 133 p.
4. Ivanov S.V., Shiyan P.L., Mudrak T.E., Kovalchuk S.S. Resource-saving technologies of preparation of starch-containing raw materials for fermentation. *Storage and processing of agricultural raw materials*, 2015, no. 1, pp. 24–28. (In Russ.).
5. Kravchenko V.A., Turshatov M.V., Soloviev A.O., Abramova I.M. Alcohol production – the technological basis of complex grain processing to produce food products. *Food industry*, 2019, no. 4, pp. 53–54. (In Russ.).
6. Nahar K. Sweet Sorghum: an Alternative Feedstock for Bioethanol. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 2011, no. 2(1), pp. 58–61.
7. Alhajturki D., Aljamali M., Kanbar A., Azmah F. Potential of Some Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Genotypes Under Two Water Regimes for Sugar and Bio-ethanol Production. *Sugar Tech*, 2012, vol. 14, pp. 376–382. DOI: 10.1007/s12355-012-0181-x

8. Askarbekov E.B., Baigazieva G.I. The use of sugar sorghum in the production of alcohol. *Bulletin of the Almaty Technological University*, 2015, no. 4, pp. 77–79. (In Russ.).
9. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V. The use of sorghum and the main directions of breeding work in the I.G. Kalinenko VNIIZK. *Tauride Bulletin of Agrarian Science*, 2016, no. 3 (7), pp. 60–70. (In Russ.).
10. Grigorenko N.O. Sugar sorghum and the promising direction of its use. *Vestnik pishchevoy promyshlennosti «Sakharnaya otrasl'»* [Bulletin of the food industry “Sugar industry”], 2016, no. 5, pp. 5–7. (In Russ.).
11. Oyier M.O., Owuoche J.O., Oyoo M.E., Cheruiyot E., Mulianga B., Rono J. Effect of Harvesting Stage on Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Genotypes in Western Kenya. *The Scientific World Journal*, 2017. DOI: 10.1155/2017/8249532.
12. Kovtunova N.A., Ereshko A.S., Rzhetskaya A.A. Results of testing of new varieties and hybrids of sugar sorghum. *Scientific review. International Scientific and Practical Journal*, 2017, no. 2, pp. 4. (In Russ.).
13. Serba E.M., Overchenko M.B., Ignatova N.I., Belokopytova E.N., Rimareva L.V. Composition of concentrated grain wort prepared from various types of grain raw materials. *Topical issues of the beverage industry*, 2018, no. 2, pp. 166–170. (In Russ.). DOI: 10.21323/978-5-6041190-3-7-2018-2-166-170.
14. Abramova I.M., Rimareva L.V., Turshatov M.V. *Iskhodnye trebovaniya k kachestvu zernovogo syr'ya, obespechivayushchie vysokie pokazateli effektivnosti proizvodstva spirta* [Initial requirements for the quality of grain raw materials that ensure high efficiency of alcohol production]. Moscow, 2019. 114 p. DOI: 10.18334/978907063556.
15. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V. The use of sugar sorghum as a source of nutrients for humans (literature review). *Grain farming of Russia*, 2019, no. 3, pp. 3–9. (In Russ.). DOI: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-3-9.
16. Serba E.M., Rimareva L.V., Chan V.T., Overchenko M.B., Ignatova N.I., Pavlova A.A., Abramova I.M. The influence of sorghum grain composition features on the effectiveness of its microbial conversion to ethanol and lysine. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2022, no. 3, pp. 347–362. (In Russ.). DOI: 10.17516/1997-1389-0392
17. Kruger J., Oelofse A., Taylor J., Taylor J.R.N. Potential for improvement in yeast nutrition in raw whole grain sorghum and maize lager brewing and bioethanol production through grain genetic modification and phytase treatment. *Journal of the Institute of Brewing*, 2012, no. 118(1), pp. 70–75.
18. Alabushev A.V., Kovtunova V.V., Lushpina O.A. Grain sorghum promising raw materials for starch production. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*, 2016, vol. 30, no. 7, pp. 64–66. (In Russ.).
19. Bahadure D.M., Marker S., Umakanth A.V., Prabhakar B., Patil J.V., Synrem G.J. Assessment of genetic diversity for biomass related traits in Sweet Sorghum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench.). *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 2014, vol. 7(8), pp. 32–34. DOI: 10.9790/2380-07823234
20. Tovaldiev T., Rustamova G., Sukhanov B., Nabieva N. The study of sugar in sorghum stalks. *Theoretical and applied aspects of modern science*, 2014, no. 4, pp. 62–64. (In Russ.).
21. Simeone M.L.F., Parrella R.A.C., Schaffert R.E., Damasceno C.M.B., Leal M.C.B., Pasquini C. Near infrared spectroscopy determination of sucrose, glucose and fructose in sweet sorghum juice. *Microchemical Journal*, 2017, vol. 134, pp. 125–130. DOI: 10.1016/j.microc.2017.05.020
22. Rimareva L.V., Serba E.M., Overchenko M.B., Ignatova N.I., Pogorzelskaya N.S., Pavlova A.A. Complex use of sugar sorghum stem juice to produce ethanol and feed protein-amino acid additives. *Food Industry*, 2021, no. 5, pp. 56–61. (In Russ.). DOI: 10.52653/PPI.2021.5.5.013
23. Rimareva L.V., Overchenko M.B., Ignatova N.I. Microbial conversion of plant raw materials and secondary raw materials of the agro-industrial complex into a highly effective lysine-protein preparation. *Storage and processing of agricultural raw materials*, 2008, no. 12, pp. 48–51. (In Russ.).
24. Rimareva L.V., Grigoriev M.A. Creation of waste-free technology in the light of producers' responsibility for processing raw waste on the example of brewing production. *Ecology of industrial production*, 2009, no. 1, pp. 43–46. (In Russ.).
25. Serba E.M., Rimareva L.V., Overchenko M.B., Ignatova N.I., Pogorzelskaya N.S. Obtaining ethanol and feed lysine-containing additives based on syrup from sugar sorghum. *Promising directions for improving the technology of alcohol and alcoholic beverages and methods of their control*. Moscow, 2021, pp. 115–124. (In Russ.). DOI: 10.18334/9785912924002.115-124

26. Faritov T.A. *Korma i kormovye dobavki dlya zhivotnykh* [Feed and feed additives for animals]. St. Petersburg, 2010. 304 p. ISBN 978-5-8114-9892-5

27. Neminuschaya L.A. Therapeutic and prophylactic feed protein supplements based on the higher medicinal mushroom *Fusarium sambucinum* MKF-2001-3. *Veterinary medicine and feeding*, 2010, no. 4, pp. 8–9. (In Russ.).

28. Serba E. M., Rimareva L.V., Sokolova E.N., Borshcheva Yu.A., Kurbatova E.I., Volkova G.S., Pogorzhelskaya N.S., Martynenko N.N. *Biotekhnologicheskie osnovy napravlennoy konversii sel'skokhozyaystvennogo syr'ya i vtorichnykh bioresursov dlya polucheniya pishchevykh ingredientov, funktsional'nykh produktov pitaniya i kormov* [Biotechnological bases of directed conversion of agricultural raw materials and secondary bioresources for obtaining food ingredients, functional food, and feed]. Moscow, 2017. 180 p. ISBN 978-5-6040237-1-6. DOI: 10.18334/9785604023716.

29. Volkova G.S., Rimareva L.V., Kuksova E.V., Serba E.M. *Biotekhnologicheskie osnovy sozdaniya kormovykh dobavok s zashchitno-profilakticheskimi svoystvami* [Biotechnological foundations of the creation of feed additives with protective and preventive properties]. Moscow, 2020. 148 p. DOI: 10.18334/9785912923418.

Информация об авторах

Серба Елена Михайловна, доктор биологических наук, доцент, профессор РАН, член-корреспондент РАН, Всероссийский НИИ пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия, serbae@mail.ru

Римарева Любовь Вячеславовна, доктор технических наук, профессор, академик РАН, Всероссийский НИИ пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия, lrimareva@mail.ru

Оверченко Марина Борисовна, кандидат технических наук, Всероссийский НИИ пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия, mb_over@mail.ru

Игнатова Надежда Иосифовна, Всероссийский НИИ пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия, ignatova59@list.ru

Микуляк Анжелика Андреевна, Всероссийский НИИ пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия, pavlovaanzhelika98@gmail.com

Information about the authors

Elena M. Serba, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the RAS, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia, serbae@mail.ru

Lyubov V. Rimareva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia, lrimareva@mail.ru

Marina B. Overchenko, candidate of technical sciences, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia, mb_over@mail.ru

Nadezhda I. Ignatova, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia, ignatova59@list.ru

Anzhelika A. Mikulyak, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia, pavlovaanzhelika98@gmail.com

Статья поступила в редакцию 16.07.2023

The article was submitted 16.07.2023