

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-77-83>

Поступила 19.10.2023

Поступила после рецензирования 10.03.2024

Принята в печать 14.03.2024

© Серба Е. М., Крючкова Е. Р., Римарева Л. В., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И., Павленко С. В., 2024



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕТАБОЛИЗМА СПИРТОВЫХ ДРОЖЖЕЙ ПРИ СБРАЖИВАНИИ ГРЕЧИШНО-КУКУРУЗНОГО СУСЛА

Серба Е. М.,* Крючкова Е. Р., Римарева Л. В., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И., Павленко С. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал
Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра
питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

гречиха,
ферментация,
дрожжи, этанол,
метаболиты,
зерновые дистилляты

Для расширения ассортимента конкурентоспособных спиртных напитков, обладающих оригинальными органолептическими свойствами, перспективны исследования о применении в технологиях зерновых дистиллятов новых видов растительного сырья. Цель данной работы состояла в установлении влияния особенностей состава зернового сусла, приготовленного с совместным использованием альтернативного сырьевого источника — гречихи и широко применяемой в спиртовом производстве кукурузы, на процессы метаболизма дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* 985-T и спиртового брожения. Объектами исследования служили следующие продукты и вещества: зерно гречихи и кукурузы; ферментные препараты — источники амилаз, ксиланазы, β -глюканазы и протеаз; образцы зернового сусла, бражки и отгонов бражки. Обоснована перспективность введения в технологию оригинальных спиртных напитков смешанных зерновых сред, приготовленных с использованием нетрадиционного гречишно-кукурузного сырья. Показано, что применение гречихи в качестве источника биополимерного белка, незаменимых аминокислот и минеральных веществ совместно с кукурузой, содержащей высокий уровень крахмала и малое количество некрахмальных полисахаридов, способствовало как увеличению выхода спирта, так и изменению количественного содержания вторичных метаболитов в составе летучих примесей. Установлено, что повышение концентрации в сусле растворимых углеводов и снижение его вязкости на 15,5–40,3% происходили за счет включения в состав зерновой смеси кукурузы, а обогащение сусла ассимилируемым дрожжами азотом на 19,0–41,8% в результате добавления гречихи. Подобрано оптимальное соотношение кукурузы и гречихи в составе зерновой смеси (7:3), позволившее улучшить биохимические и технологические показатели зернового сусла, повысить эффективность процессов жизнедеятельности дрожжей и спиртового брожения, обеспечить повышение выхода спирта на 1,8%, сократить образование побочных метаболитов, особенно высших спиртов, и изменить их состав в сторону увеличения доли альдегидов и эфиров. Всё перечисленное может оказывать положительное влияние на органолептические показатели дистиллята.

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

Received 19.10.2023

Accepted in revised 10.03.2024

Accepted for publication 14.03.2024

© Serba E. M., Kryuchkova E. R., Rimareva L. V., Overchenko M. B., Ignatova N. I., Pavlenko S. V., 2024

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

INVESTIGATION OF METABOLIC PROCESSES OF ALCOHOL YEAST DURING THE FERMENTATION OF BUCKWHEAT-CORN WORT

Elena M. Serba,* Elizaveta R. Kryuchkova, Lyubov V. Rimareva, Marina B. Overchenko,
Nadezhda I. Ignatova, Svetlana V. Pavlenko

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

KEY WORDS:

buckwheat,
fermentation, yeast,
ethanol, metabolites,
grain distillates

ABSTRACT

To expand the range of competitive alcoholic beverages with original organoleptic properties, it is promising to study the use of new types of plant raw materials in grain distillate technologies. The purpose of this work was to establish the influence of the characteristics of the composition of grain wort prepared with the joint use of an alternative raw material source — buckwheat and corn, which is widely used in alcohol production, on the metabolic processes of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* 985-T and alcoholic fermentation. The objects of the study were buckwheat and corn; enzyme preparations — sources of amylases, xylanases, β -glucanases and proteases; samples of grain wort, mash and mash distillates. The prospects of introducing mixed grain media prepared using non-traditional buckwheat raw materials into the technology of original alcoholic beverages are substantiated. It was shown that the use of buckwheat as a source of biocomplete protein, essential amino acids and minerals together with corn containing a high level of starch and a low level of non-starch polysaccharides contributed both to an increase in the yield of alcohol and a change in the quantitative content of secondary metabolites in the composition of volatile impurities. It was found that an increase in the concentration of soluble carbohydrates in the wort and a decrease in its viscosity by 15.5–40.3% occurred due to the inclusion of corn in the composition of the grain mixture, and the enrichment of the wort with nitrogen assimilated by yeast by 19.0–41.8% — as a result adding buckwheat. The optimal ratio of corn and buckwheat in the composition of the grain mixture (7:3) was selected, which made it possible to improve the biochemical and technological parameters of grain must, increase the efficiency of the vital processes of yeast and alcoholic fermentation, ensure an increase in the yield of alcohol by 1.8%, reduce the formation of side metabolites, especially higher alcohols, and change their composition in the direction of increasing the proportion of aldehydes and esters, which can have a positive effect on the organoleptic characteristics of the distillate.

FUNDING: The work was carried out at the expense of a subsidy for the implementation of the state task (subject No. FGMF-2022-0006).

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Серба, Е. М., Крючкова, Е. Р., Римарева, Л. В., Оверченко, М. Б., Игнатова, Н. И., Павленко, С. В. (2024). Исследование процессов метаболизма спиртовых дрожжей при сбраживании гречишно-кукурузного сусла. *Пищевые системы*, 7(1), 77–83. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-77-83>

FOR CITATION: Serba, E. M., Kryuchkova, E. R., Rimareva, L. V., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., Pavlenko, S. V. (2024). Investigation of metabolic processes of alcohol yeast during the fermentation of buckwheat-corn wort. *Food Systems*, 7(1), 77–83. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-77-83>

1. Введение

В последние годы активно проводятся исследования биотехнологического потенциала растительных культур местной селекции с целью научного обоснования перспективности их использования в технологиях производства конкурентоспособных спиртных напитков, обладающих оригинальными органолептическими свойствами [1,2,3]. Особенно это направление исследований актуально для производства наиболее популярной в настоящее время продукции — спиртных дистиллятов, качество которых зависит прежде всего от качества и состава сырья и от степени биокаталитической конверсии его полимеров при получении сусла, а также от биосинтетической способности используемой расы дрожжей и от аппаратно-технологических особенностей процесса дистилляции [1,3,4]. Возможность применения новых видов растительного сырья как альтернативы традиционным зерновым культурам (пшеница, рожь, кукуруза, ячмень) зависит от состава технологически значимых компонентов, а также от биохимических и органолептических характеристик сырья, влияющих на вкус и аромат зерновых дистиллятов и обеспечивающих эффективную конверсию углеводов в этанол [5,6].

Результаты проведенных в последнее время исследований показали, что к таким видам сырья относятся тритикале (амфидиплоид ржи и пшеницы) [7], сахарное сорго (зерно и сироп зеленой массы) [8] и топинамбур (земляная груша) [9,10]. Эти растительные культуры достаточно широко распространены в различных регионах Российской Федерации, обладают хорошей устойчивостью к условиям выращивания и высокой продуктивностью. Их использование позволяет подготовить сусло с требуемыми показателями качества, обеспечивающими высокий выход спирта.

Известны также разработки российских исследователей, направленные на применение возвратных отходов хлебопекарной промышленности в качестве альтернативного сырья для производства дистиллятов [11,12]. Полученные авторами результаты комплексных исследований трансформации исходного биохимического состава этого сырья по стадиям производства показали возможность на этапе дистилляции целенаправленно регулировать состав и концентрацию летучих компонентов, определяющих физико-химические и органолептические характеристики конечного продукта.

Однако остаются недостаточно изученными вопросы подбора перспективных видов нетрадиционных растительных культур, в состав которых входят ароматизующие и биологически ценные компоненты, способствующие получению оригинальных алкогольных напитков из натурального отечественного сырья. Приведенные в публикациях данные показывают, что определенный интерес для производителей бродильной продукции в этом аспекте представляет гречиха (*Fagopyrum esculentum* Moench) [13,14,15]. Гречиха, как и все традиционно применяемые в производстве спиртных напитков зерновые культуры, содержит крахмал — полимер, состоящий из глюкозы, конверсируемой дрожжами в этанол [14,16,17]. По количеству крахмала зерно гречихи практически приравнивается к пшенице и ржи, но несколько уступает кукурузе.

Белок гречихи отличается низким содержанием глютена и в основном представлен альбуминовыми и глобулиновыми фракциями, доля которых составляет порядка 60–70%; данное вещество обладает более высокой биологической ценностью за счет повышенного количества незаменимых аминокислот (триптофана, изолейцина, лизина, метионина и цистина), необходимых для жизнедеятельности дрожжей [14,16,18]. В отличие от злаковых культур, гречиха является более богатым источником антиоксидантов и витаминов, особенно рутина, тиамина, рибофлавина и ниацина, а также минеральных веществ (магния, меди, фосфора, марганца, железа) [14,16,19]. Использование гречихи в пищевой промышленности позволяет не только получать безглютеновую продукцию, но и придавать ей функциональные свойства [18,19,20]. Обнаруженное в гречихе высокое содержание флавоноидов, обладающих антиоксидантными, капилляроукрепляющими, гепатопротекторными и антимикробными свойствами, определяет перспективность ее применения в качестве источника биологически активных веществ (БАВ) [21,22]. При этом авторы отмечают, что функционально-технологические свойства гречневой муки находятся в корреляционной зависимости от срока созревания зерна, а наиболее высокий уровень содержания БАВ приходится на период молочно-восковой спелости [23].

В работах ряда авторов, посвященных исследованиям возможности применения гречихи в бродильных производствах, показано, что полная и даже частичная замена традиционного сырья в производстве пива [15,16], кваса [24], ферментированного солода [16] и оригинальных напитков [14,17,25] позволяет не только получать

целевую продукцию хорошего качества, но и придавать ей новые функциональные свойства и приятные сенсорные характеристики. Авторы отмечают, что использование ферментированной гречихи в качестве компонента питательных сред для культивирования дрожжей и пробиотических бактерий имеет ряд положительных аспектов, таких как более высокое содержание незаменимых аминокислот, полифенолов и других БАВ, способствующих ускорению роста микроорганизмов и повышению интенсивности биосинтетических процессов [6,17,26].

Анализ результатов исследований гречихи, в состав которой входят наряду с основными углеводными и белковыми полимерами ароматические и биологически ценные компоненты, подтверждает перспективу ее применения для получения оригинальных спиртных напитков. Особенно важную роль в этом процессе, по-видимому, будут играть полифенолы, присутствующие в гречихе и способные даже в малых концентрациях влиять на вкус и аромат напитков [6]. При этом остаются неизученными вопросы о способах рационального использования этой перспективной растительной культуры в производстве дистиллятов, а также о методах подготовки сырья для получения зернового сусла с качественными биохимическими и реологическими показателями, обеспечивающими его эффективную конверсию в этанол и в другие ароматизующие метаболиты.

Как показали результаты последних исследований, в гречишном дистилляте, по сравнению с дистиллятами из традиционного зернового сырья, отмечался более низкий уровень содержания побочных летучих веществ, сопутствующих синтезу этанола, в основном за счет высших спиртов [17]. Установлено, что в составе метаболитов повышалась доля альдегидов и эфиров, которые могут оказывать влияние на появление оригинальных оттенков и тонов в аромате и вкусе дистиллятов. Однако такой важный показатель, как выход спирта, был существенно ниже, что, по-видимому, связано с высоким содержанием в гречихе некрахмальных полисахаридов, особенно клетчатки [14,16,17]. Повышение дозировки ферментов ксиланазного и β -глюканазного действий оказало положительное влияние на реологические и технологические свойства гречишного сусла: вязкость снизилась в 2,3 раза, повысилось содержание растворимых углеводов (на 15,3%) и аминного азота (на 9,0%), достигнуть нормативных показателей выхода целевого продукта — этанола — не удалось [17]. Особенности состава гречишного сырья требуют дальнейшей разработки специальных подходов и биотехнологических методов его переработки, так как основной целью применения нетрадиционного сырья в спиртовом производстве является не только получение дистиллята со специфическими органолептическими свойствами, но и достижение нормативного уровня выхода спирта с единицы крахмала перерабатываемого сырья.

По-видимому, одним из перспективных путей применения гречихи при приготовлении зернового сусла является совместное ее использование с традиционной зерновой культурой, например, с кукурузой. Известно, что кукуруза отличается более высоким содержанием крахмала и более низким — клетчатки и гемицеллюлозы, а гречиха превосходит кукурузу по количеству белка в зерне [17]. При этом белки гречихи в основном представлены фракциями альбуминов и глобулинов, а белки кукурузы — фракциями проламинов и глютелинов [13,14,16]. Количество аминокислот, содержащих серу, в частности пролина, в кукурузе несколько выше, чем в гречихе, при этом в ее составе ограничено содержание незаменимых аминокислот, особенно триптофана, лизина и метионина [14]. По сравнению с гречихой кукуруза содержит меньше минеральных соединений. В этой связи введение гречихи в состав среды с кукурузой позволит сбалансировать биохимический состав зернового сусла по основным макро- и микро-веществам, необходимым для обеспечения жизнедеятельности дрожжевых клеток. Поэтому дальнейшие исследования о применении нетрадиционного сырья гречихи в спиртовом производстве должны быть направлены не только на получение дистиллята со специфическими органолептическими свойствами, обусловленными особенностями биохимического состава сырья и продуктами метаболизма дрожжей *S. cerevisiae*, но и на обоснование возможности применения гречихи в технологиях зерновых дистиллятов, в которых одним из ключевых факторов является показатель выхода спирта.

Цель данных исследований состояла в изучении процессов метаболизма дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* расы 985-Т и спиртового брожения при культивировании их на средах, приготовленных с совместным использованием альтернативного сырьевого источника — гречихи и широко применяемой в спиртовом производстве кукурузы.

2. Объекты и методы

Объектами исследований служили следующие составляющие: зерно гречихи и кукурузы, измельченные до размера частиц 40–120 мкм при помощи мультифункциональной дробилки «Вилитек VLM-6» (ООО «Вилитек», Россия); ферментные препараты (ФП): источники термостабильной α -амилазы — «Неозим АА 180» (Hunan Hong Ying Xiang Biochemistry Industry Co., LTD, KHP), глюкоамилазы — «Биозим 800L» (Shandong Longda Bio-products Co, KHP), ксиланазы и β -глюканазы — «Висколаза 150L» (Shandong Longda Bio-products Co., LTD, KHP) и протеазы — «Протоферм FP» (Shandong Longda Bio-products Co., LTD, KHP); дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* расы 985-T (с термотолерантными и осмофильными свойствами) для сбраживания зернового сусла [17].

Определение активности ферментов проводили согласно существующим методикам [17]. За единицу амилалитической активности (АС) принимали такое количество фермента, которое катализирует гидролиз 1 г растворимого крахмала до декстринов различной молекулярной массы в стандартных условиях (30 °C, pH 6,0, 10 мин); за единицу глюкоамилазной активности (ГЛС) принимали количество фермента, катализирующего гидролиз крахмала при 30 °C и pH 4,7 с высвобождением за 1 мин 1 мкмоль глюкозы; за единицу ксиланазной активности (КС) принимали количество фермента, действующего на ксилан из березы с высвобождением 1 мкмоль восстанавливающих сахаров (в глюкозном эквиваленте), которые образуются за 1 мин в стандартных условиях (50 °C и pH 5,0); за единицу общей протеолитической активности (ПС) принимали такое количество фермента, которое за 1 мин при температуре 30 °C, pH 5,3 приводит гемоглобин в неосаждаемое ТХУ состояние в количестве, соответствующем 1 мкмоль тирозина.

Приготовление зернового сусла проводили по схеме ферментативно-гидролитической обработки зерна в колбах Эрленмейера объемом 750 см³, содержащих измельченное зерно и воду, помещенных в водяную баню ПЭ-4300 («Экрос», Россия). В водно-зерновую суспензию (гидро модуль 1:3) добавляли термостабильную α -амилазу и выдерживали при температуре 40–60 °C в течение 30 мин. Дальнейшее приготовление замеса осуществляли при температуре 85–90 °C в течение 120 мин при периодическом перемешивании [17]. Далее содержимое колб охлаждали до 58–60 °C и инкубировали в присутствии ферментов в течение 60 мин. Для получения зернового сусла осахаривание крахмала и гидролиз некрахмальных полисахаридов осуществляли ФП: источниками глюкоамилазы и гемицеллюлазы (ксилазазы и β -глюканазы). Для гидролиза белковых веществ использовали ФП, содержащий комплекс грибных протеаз.

Процесс биокаталитической конверсии углеводных и белковых полимеров в зерновом сусле тестировали по содержанию общих и редуцирующих веществ (РВ) колориметрическим методом, а также по уровню образования аминного азота методом йодометрического титрования [27,28]. Вязкость подготовленного к сбраживанию сусла измеряли на вискозиметре SV-10 (Япония). Растворимые сухие вещества (РСВ) сусла фиксировали на рефрактометре Rochet PAL-S (ATAGO, Япония). Значение pH сусла измеряли на pH-метре/ионометре (Mettler-Toledo SevenCompact™, Швейцария).

Процесс сбраживания сусла, приготовленного с использованием смеси кукурузы и гречихи в различных соотношениях, проводили в одинаковых анаэробных условиях: при температуре 30 °C длительностью 70 ч. Для сбраживания применяли водную суспензию клеток дрожжей *S. cerevisiae* 985-T, которую вносили в зерновое сусло из расчета 10 млн клеток/см³ сусла.

Состав и содержание летучих метаболитов, синтезируемых дрожжами, тестировали с использованием газового хроматографа

Таблица 2. Характеристика зернового сусла, приготовленного с использованием кукурузы и гречихи

Table 2. Characterization of grain wort prepared with the use of corn and buckwheat

Состав зерна в сусле, %	Содержание крахмала в сырье %	Показатели зернового сусла					
		pH	РСВ, %	РВ, %	ОРВ, %	Аминный азот, мг %	Вязкость, мПа·сек
Гречиха — 100	54,5 ± 1,6 ^a	6,18	19,8 ± 0,9 ^a	15,8 ± 0,7 ^a	20,5 ± 0,6 ^a	59,7 ± 2,8 ^a	28,3 ± 1,3
Гречиха — 70 Кукуруза — 30	57,7 ± 2,3 ^{ab}	6,10	20,4 ± 0,9 ^{ab}	16,5 ± 0,7 ^{ab}	20,9 ± 0,4 ^a	54,3 ± 2,6 ^{ab}	23,9 ± 1,1 ^a
Гречиха — 50 Кукуруза — 50	59,5 ± 1,5 ^{ab}	6,03	21,2 ± 1,0 ^{ab}	16,7 ± 0,7 ^{ab}	21,3 ± 0,8 ^a	51,1 ± 2,4 ^b	21,8 ± 1,2 ^a
Гречиха — 30 Кукуруза — 70	61,9 ± 2,2 ^{bc}	6,04	22,4 ± 1,0 ^b	17,3 ± 0,8 ^b	21,8 ± 0,5 ^a	45,6 ± 1,9	16,9 ± 0,8
Кукуруза — 100	65,0 ± 2,0 ^c	5,80	22,5 ± 1,0 ^b	17,5 ± 0,8 ^b	22,0 ± 0,9 ^a	38,3 ± 1,8	15,3 ± 0,7

Примечание: значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение. Различие значений в каждом столбце, обозначенных одинаковыми буквенными индексами, статистически не значимо при $p < 0,05$.

серии HP Agilent 6890 (США) [29]. Концентрацию этанола в бражке определяли на анализаторе относительной плотности спирта Densimat-Alcomat 2 (Gibertini, Италия).

Статистическую обработку новых экспериментальных данных, полученных не менее чем в трех повторностях, осуществляли методом однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным анализом по критерию Тьюки при $p < 0,05$ с использованием программы Statistica 6.0.

3. Результаты и обсуждение

Сравнительные исследования процессов генерации дрожжей и спиртового брожения проводили на средах, приготовленных с совместным использованием альтернативного сырьевого источника — гречихи и широко применяемой в спиртовом производстве кукурузы в различных соотношениях.

Как показали результаты ранее проведенных исследований [17], для приготовления кукурузного и гречишного сусла с концентрацией растворимых сухих веществ (РСВ) порядка 20% были использованы ферментные препараты (ФП) амилалитического, ксиланазного, β -глюканазного и протеолитического действий в дозировках, указанных в Таблице 1.

Таблица 1. Характеристика и дозировка ферментных препаратов по уровню активности основных ферментов

Table 1. Characterization and doses of enzyme preparations by the activity level of the main enzymes

Наименование ФП	Основной фермент	Активность, ед./см ³	Дозировка ФП
Неозим АА 180	Термостабильная α -амилаза (АС)	1805,0 ± 85,2	0,6 ед. АС/г крахмала
Биозим 800L	Глюкоамилаза (ГЛС)	13203,0 ± 632,0	10,0 ед. ГЛС/г крахмала
Висколаза 150L	Ксиланаза (КС) β -глюканаза (β -ГКс)	6100,0 ± 294,3 1050,0 ± 52,5	0,6 ед. КС/сырья 0,1 ед. β -ГКс/г сырья
Протоферм FP	Протеазы (ПС)	820,0 ± 39,2	0,3 ед. ПС/г сырья

Примечание: значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение.

В Таблице 2 представлены экспериментальные данные по биохимическому составу и реологическим показателям зернового сусла, приготовленного с использованием смеси кукурузы и гречихи в различных соотношениях. Введение гречихи в состав зерновой смеси позволило повысить содержание аминного азота на 19,0–41,8% в зависимости от ее долевого содержания, а использование кукурузы способствовало увеличению количества общих (ОРВ) и растворимых (РВ) редуцирующих углеводов, а также снижению вязкости сусла на 15,5–40,3% (Таблица 2).

Дальнейшие исследования показали, что качество зернового сусла, приготовленного с использованием различных зерновых композиций, сказалось на процессах генерации дрожжей и спиртового брожения (Рисунок 2, Таблица 3). Наиболее высокая концентрация дрожжевых клеток (159 млн/см³) отмечена через 24 ч при сбраживании сусла, приготовленного полностью из гречишного сырья; по мере сокращения доли гречихи в составе сусла их количество снижалось. При этом на гречишном сусле уже к 12 ч количество клеток достигло 125 млн/см³, в то время как на кукурузном сусле — только

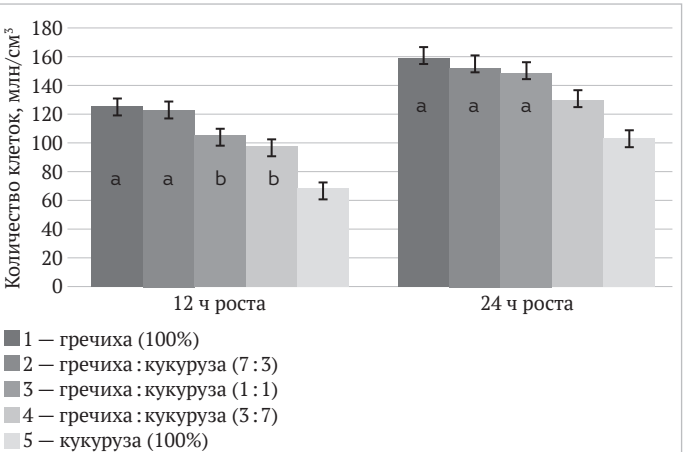
69 млн/см³ (Рисунок 1). По-видимому, целесообразно проводить генерацию дрожжевых клеток на гречишном сусле, содержащем наиболее высокое количество легко ассимилируемого аминного азота (59,7 мг%).

Анализ процесса генерации дрожжей подтвердил, что наличие в гречихе биологически полноценного белка и других биологически активных компонентов способствовало интенсификации развития дрожжей *S. cerevisiae*; даже на среде, в составе которой содержание гречихи составило только 30% от объема зерновой смеси, количество клеток увеличилось на 25% (Рисунок 1).

Показано, что повышение концентрации в сусле растворимых углеводов и снижение его вязкости за счет включения в состав зерновой смеси кукурузы способствовали эффективному сбраживанию и увеличению концентрации этанола в бражке. Установлено, что при сбраживании сусла, в составе которого доля гречихи составляла 30% от общего содержания сырья, были достигнуты практически такие же показатели бражки, как и при сбраживании кукурузного сусла. При этом выход спирта составил 66,3 см³/100 г крахмала, что превысило на 1,8% показатели в контрольном варианте по сбраживанию гречишного сусла (Таблица 3).

Как известно, летучие компоненты, образующиеся в дистиллятах, влияют на качество спиртных напитков, формируя их вкус и аромат [29,30]. Поэтому интересно было установить, какое влияние оказывает используемое нетрадиционное сырье, в частности гречиха, содержащая достаточно высокое количество флавоноидов, на синтез побочных метаболитов дрожжами *S. cerevisiae* 985-Т (Таблица 4).

В результате исследований выявлено, что использование гречихи привело к снижению уровня образования побочных метаболитов на



Примечание: различие значений, обозначенных одинаковыми буквенными индексами на каждой диаграмме, статистически не достоверно при $p < 0,05$.

Рисунок 1. Концентрация клеток дрожжей *S. cerevisiae* 985-Т при генерации на сусле, приготовленном с использованием гречихи и кукурузы (в течение 12 и 24 ч роста)

Figure 1. Concentration of cells of the yeast *S. cerevisiae* 985-T upon generation on wort prepared with the use of buckwheat and corn (during 12 and 24 h of growth)

Таблица 3. Технохимические показатели бражки
Table 3. Technochemical indicators of mash

Состав зерна в сусле, %	Показатели зерновой бражки на 70 ч брожения					Выход спирта, см ³ /100 г условного крахмала
	pH	РВ, %	ОРВ, %	СО ₂ , г	Спирт, % об.	
Гречиха — 100	4,95	0,40±0,02 ^a	0,45±0,02 ^a	13,1±0,52	9,95±0,20 ^a	65,1±0,39 ^a
Гречиха — 70 Кукуруза — 30	4,86	0,39±0,02 ^a	0,43±0,02 ^a	14,9±0,60 ^b	10,50±0,26 ^{ab}	65,3±0,52 ^{ab}
Гречиха — 50 Кукуруза — 50	4,78	0,37±0,01 ^b	0,41±0,02 ^b	16,3±0,65 ^{bc}	11,10±0,32 ^b	65,9±0,32 ^{ab}
Гречиха — 30 Кукуруза — 70	4,62	0,30±0,01 ^b	0,34±0,01 ^b	16,8±0,67 ^c	11,90±0,18 ^c	66,3±0,46 ^b
Кукуруза — 100	4,32	0,29±0,01 ^b	0,34±0,01 ^b	16,9±0,70 ^c	12,10±0,30 ^c	66,4±0,37 ^b

Примечание: значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение. Различие значений в каждом столбце, обозначенных одинаковыми буквенными индексами, статистически не значимо при $p < 0,05$.

Таблица 4. Образование летучих метаболитов дрожжами *S. cerevisiae* 985-Т в зависимости от содержания гречихи в составе сбраживаемого сусла

Table 4. Production of volatile metabolites by the yeast *S. cerevisiae* 985-T depending on the buckwheat content in the composition of fermented wort

Сопутствующие метаболиты	Концентрация метаболитов в отгонах бражки, мг/дм ³				
	Содержание гречихи в составе зернового сырья сусла, %				
	100	70	50	30	0
ацетальдегид	80,13±3,20	72,37±2,17	65,10±2,28	59,09±2,95	32,20±1,22
ацетон	1,12±0,04	1,56±0,07	2,09±0,10 ^a	2,10±0,11 ^a	2,10±0,11 ^a
этилацетат	74,80±3,30 ^a	71,54±3,52 ^{ab}	66,20±3,28 ^{bc}	62,51±2,64 ^c	53,00±2,10
метанол, % об	0,003±0,0001 ^a	0,004±0,0001	0,003±0,0001 ^a	0,003±0,0001 ^a	0,003±0,0001 ^a
2-пропанол	0,26±0,012 ^a	0,25±0,012 ^a	0,15±0,007 ^b	0,22±0,009	0,16±0,006 ^b
изобутилацетат	0,15±0,006 ^a	0,16±0,005 ^a	0,26±0,009	0,29±0,011 ^b	0,29±0,012 ^b
1-пропанол	58,15±1,74 ^a	69,92±2,10 ^b	86,77±3,56	67,46±3,2 ^b	56,20±2,26 ^a
изобутанол	92,10±4,24 ^a	95,60±4,30 ^{ab}	97,25±4,67 ^{ab}	101,20±4,45 ^{ab}	105,40±5,17 ^b
1-бутанол	0,70±0,03 ^a	0,75±0,03 ^a	0,86±0,05 ^a	1,60±0,08 ^b	1,60±0,09 ^b
изоамилол	275,00±10,45 ^a	310,30±11,48 ^a	384,40±11,53	431,80±21,45	512,60±22,53
1-пентанол	0,60±0,02	1,02±0,05	0,36±0,01 ^a	0,40±0,01 ^a	0,80±0,04
этиллактат	0,50±0,02 ^a	0,60±0,03	0,50±0,02 ^a	0,40±0,02	0,50±0,02 ^a
гексанол	0,95±0,03 ^a	0,92±0,05 ^a	1,27±0,06 ^b	1,40±0,08 ^b	1,70±0,09
бензальдегид	9,30±0,38 ^a	9,40±0,48 ^a	23,02±1,04 ^b	28,50±1,14	25,30±1,01 ^b
бензалкоголь	0,30±0,01 ^a	0,34±0,02 ^a	0,32±0,02 ^a	0,40±0,02	0,50±0,03
фенилэтанол	35,25±1,41 ^a	36,37±1,73 ^a	39,48±1,37 ^a	47,07±2,16 ^b	51,90±2,33 ^b
этилкапрат	60,20±2,83 ^a	59,60±1,97 ^a	57,50±2,18 ^a	56,53±2,20 ^{ab}	50,04±1,75
Итого	689,51	730,70	825,53	860,97	894,29

Примечание: значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение. Различие значений в каждой строке, обозначенных одинаковыми буквенными индексами, статистически не значимо при $p < 0,05$.

23% по сравнению с аналогичными показателями в отгоне кукурузной бражки. При этом показано, что концентрация сопутствующих синтезу этанола летучих метаболитов изменялась в зависимости от содержания гречихи в сбраживаемом сусле (Таблица 4).

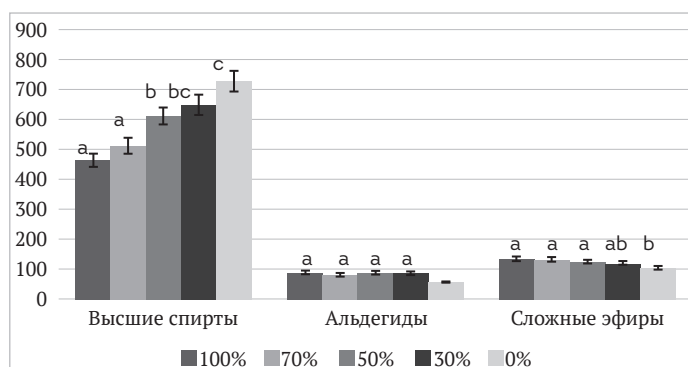
Сравнительный анализ состава метаболитов, синтезированных дрожжами *S. cerevisiae* 985-T, показал, что эти изменения происходили в основном за счет снижения синтеза высших спиртов (Рисунок 2). При этом установлено, что с увеличением количественного содержания гречихи в составе сбраживаемого сусла повышалась концентрация альдегидов и эфиров, которые могут оказывать существенное влияние на формирование сложного букета напитка и способствовать появлению оригинальных оттенков и тонов в аромате и вкусе дистиллятов [5,6,17]. Особенно в составе летучих примесей отгона кукурузно-гречишной бражки повысилось содержание ацетальдегида (более чем в 2 раза) и этилацетата (на 36%) (Таблица 4). Кроме того, несколько изменилась концентрация компонента энантового эфира, представленного в виде этилкапрата.

Полученные результаты подтвердили перспективность использования гречихи в качестве нетрадиционного сырья в технологиях оригинальных зерновых дистиллятов. Выявлено, что значимым фактором, влияющим как на процессы генерации дрожжей и спиртового брожения, так и на образование ценных ароматобразующих летучих компонентов, является соотношение гречихи и кукурузы в составе зернового сусла. Подобрано оптимальное соотношение кукурузы и гречихи в зерновой смеси (7:3), позволившее улучшить биохимические и технологические показатели зернового сусла, повысить эффективность процессов жизнедеятельности дрожжей и спиртового брожения.

4. Выводы

В результате исследований обоснована и экспериментально подтверждена возможность применения гречихи в технологиях зерновых дистиллятов, в которых одним из ключевых факторов является уровень выхода спирта.

Показано, что при разработке зерновых композиций для получения спиртовых дистиллятов целесообразно применение гречихи в качестве источника биополиценного белка, незаменимых аминокислот, флавоноидов и минеральных веществ совместно с кукурузой, содержащей высокий уровень крахмала и низкое количество некрахмальных полисахаридов. Установлено, что особенности биохимического состава исследуемых культур (гречихи и кукурузы) оказывают влияние на качественные показатели зернового сусла, на процессы генерации дрожжей и спиртового брожения. При этом гречиха обогащает сусло ассимилируемым дрожжами азотом, а кукуруза



Примечание: различие значений, обозначенных одинаковыми буквенными индексами на каждой диаграмме, статистически не достоверно при $p < 0,05$.

Рисунок 2. Состав летучих метаболитов, синтезированных дрожжами *S. cerevisiae* 985-T в результате сбраживания зернового сусла, содержащего различные количества гречихи

Figure 2. Composition of volatile metabolites synthesized by the yeast *S. cerevisiae* 985-T as a result of fermentation of grain wort containing various quantities of buckwheat

за способствует повышению концентрации сбраживаемых углеводов и улучшению реологических показателей.

Разработанная зерновая композиция (оптимальное соотношение кукурузы и гречихи составило 7:3) позволила улучшить биохимические и технологические показатели зернового сусла, обеспечить нормативные показатели бражки, интенсифицировать процесс генерации дрожжей, повысить выход спирта, сократить образование побочных метаболитов и изменить их состав в сторону увеличения доли альдегидов и эфиров, что может оказывать влияние на аромат и аналитические показатели дистиллята. В дальнейшем могут быть разработаны спиртные напитки, обладающие своеобразными оттенками и тонами в их аромате и вкусе, что будет способствовать расширению ассортимента отечественной продукции.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ: АС — амилотическая активность; ГлС — глюкоамилазная активность; КС — ксиланазная активность; β-ГлС — β-глюкоаназная активность; ПС — протеолитическая активность; РВ — редуцирующие вещества; ОРВ — общие редуцирующие вещества; РСВ — растворимые сухие вещества; ФП — ферментный препарат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Оганесянц, Л. А., Кобелев, К. В., Крикунова, Л. Н., Песчанская, В. А. (2014). Технично-экономическое обоснование выбора сырья для производства зерновых дистиллятов. *Пиво и напитки*, 2, 10–13.
- Волкова, С. В., Яковлева, О. В. (2019). Оценка качества дистиллятов для производства виски из некоторых видов зернового сырья местной селекции. *Вестник Могилевского Государственного университета продовольствия*, 1(26), 77–83.
- Rimareva, L. V., Serba, E. M., Overchenko, M. B., Shelekhova, N. V., Ignatova, N. I., Pavlova, A. A. (2022). Enzyme complexes for activating yeast generation and ethanol fermentation. *Foods and Raw Materials*, 10(1), 127–136. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-127-136>
- Franitz, L., Granvogl, M., Schieberle, P. (2016). Influence of the production process on the key aroma compounds of rum: From molasses to the spirit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(47), 9041–9053. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04046>
- Абрамова, И. М., Медриш, М. Э., Савельева, В. Б., Романова, А. Г., Гаврилова, Д. А. (2018). Исследование летучих примесей в спиртных напитках, изготовленных из выдержанных зерновых дистиллятов. *Пищевая промышленность*, 7, 74–76.
- Егорова, Е. Ю., Мороженко, Ю. В. (2018). Методические подходы к разработке и оценке качества новых напитков группы «дистилляты». Часть 2. Выбор сырья. *Ползуновский вестник*, 2, 17–21. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.02.004>
- Rimareva, L. V., Кривова, А. Ю., Шелехова, Н. В., Оверченко, М. Б., Серба, Е. М. (2019). Каталитические особенности протеаз и фитаз при переработке полимеров тритикалевого сусла в производстве спирта. *Актуальные вопросы индустрии напитков*, 3, 184–190. <http://doi.org/10.21323/978-5-6043128-4-1-2019-3-184-190>
- Серба, Е. М., Римарева, Л. В., Чан, В. Т., Оверченко, М. Б., Игнатова, Н. И., Павлова, А. А. и др. (2022). Влияние особенностей состава зерна сорго на эффективность его микробной конверсии в этанол и лизин. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*, 15(3), 347–362.
- Крикунова, Л. Н., Песчанская, В. А., Дубинина, Е. В. (2017). Некоторые аспекты производства дистиллята из клубней топинамбура. Часть 1. Динамика
- распределения летучих компонентов при дистилляции сброженного сусла. *Техника и технология пищевых производств*, 1(44), 17–25.
- Oganesyants, L. A., Peschanskaya, V. A., Krikunova, L. N., Dubinina, E. V. (2019). Research of technological parameters and criteria for evaluating distillate production from dried jerusalem artichoke. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 11(2), 185–196. <https://doi.org/10.34302/crpfjst/2019.11.2.15>
- Крикунова, Л. Н., Дубинина, Е. В., Ободеева, О. Н. (2022). Возвратные отходы хлебопекарного производства — новый вид сырья для производства дистиллятов (Часть IV. Спиртной напиток). *Пищевые системы*, 5(1), 4–9. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-4-9>
- Крикунова, Л. Н., Дубинина, Е. В., Макаров, С. Ю. (2021). Возвратные отходы хлебопекарного производства — новый вид сырья для производства дистиллятов (Часть III. Стадия дистилляции). *Пищевые системы*, 4(2), 89–96. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-4-2-89-96>
- Троценко, А. С., Танашкина, Т. В., Корчагин, В. П., Клыков, А. Г. (2010). Проблемы и перспективы использования гречихи в пищевой биотехнологии. *Вестник Тихоокеанского Государственного экономического университета*, 2(54), 104–114.
- Серба, Е. М., Римарева, Л. В., Оверченко, М. Б., Игнатова, Н. И., Микуляк, А. А., Иванов, В. В. (2023). Обоснование перспективы использования гречихи в производстве оригинальных спиртных напитков. *Пищевая промышленность*, 5, 45–47. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.012>
- Deželak, M., Zarnkow, M., Becker, T., Košir, I. J. (2014). Processing of bottom-fermented gluten-free beer-like beverages based on buckwheat and quinoa malt with chemical and sensory characterization. *Journal of the Institute of Brewing*, 120(4), 360–370. <https://doi.org/10.1002/jib.166>
- Арафонов, Г. В., Чусова, А. Е., Ковальчук, Н. С., Зуева, Н. В. (2018). Возможность применения гречихи в технологии ферментированного солода. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 80(4), 170–176. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-1202-4-170-176>
- Серба, Е. М., Римарева, Л. В., Оверченко, М. Б., Игнатова, Н. И., Крючкова, Е. Р., Крыщенко, Ф. И. и др. (2023). Биотехнологические аспекты использования гречихи в производстве оригинальных спиртных напитков. *Биотехнология*, 39(2), 10–16. <https://doi.org/10.56304/S0234275823020114>

18. Zhu, F. (2021). Buckwheat proteins and peptides: Biological functions and food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 110, 155–167. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.081>
19. Giménez-Bastida, J.A., Zieliński, H. (2015). Buckwheat as a Functional Food and Its Effects on Health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(36), 7896–7913. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02498>
20. Zieliński, H., Ciesarová, Z., Kukurová, K., Zielinska D., Szawara-Nowak D., Starowicz M. et al. (2017). Effect of fermented and unfermented buckwheat flour on functional properties of gluten-free muffins. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 1425–1432. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-017-2561-4>
21. Yilmaz, H. Ö., Ayhan, N. Y., Meriç, Ç. S. (2020). Buckwheat: A useful food and its effects on human health. *Current Nutrition and Food Science*, 16(1), 29–34. <http://doi.org/10.2174/1573401314666180910140021>
22. Горькова, И. В., Павловская, Н. Е., Даниленко, А. Н. (2016). Экстракты гречихи посевной и софоры японской как сырьевые источники биологически активных веществ. *Пищевая промышленность*, 2, 30–32.
23. Горькова, И. В. (2016). Применение гречневой муки в производстве функциональных продуктов. *Проблемы развития АПК региона*, 25(1–1(25)), 188–191.
24. Танашкина, Т. В., Перегедова, А. А., Семенюта, А. А., Боярова, Д. А. (2020). Безглютеновые гречишные квасы с добавлением пряно-ароматического сырья. *Техника и технология пищевых производств*, 50(1), 70–78. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-70-78>
25. Танашкина, Т. В., Семенюта, А. А., Троценко, А. С., Клыков, А. Г. (2017). Безглютеновые слабоалкогольные напитки из светлого и темного гречишного солода. *Техника и технология пищевых производств*, 45(2), 74–80. <https://doi.org/10.21179/2074-9414-2017-2-74-80>
26. Новикова, И. В., Калаев, В. Н., Агафонов, Г. В., Коротких, Е. А., Мальцева, О. Ю., Гуреев, А. П. (2015). Оценка интенсивности биосинтетических процессов у дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* при культивировании на средах с добавлением порошкообразного гречишного солодового экстракта. *Вестник Воронежского Государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*, 2, 73–79.
27. МСХ РФ (2007). Инструкция по теххимическому и микробиологическому контролю спиртового производства. Москва, ДеЛи принт, 2007.
28. Фармакопея РФ. ОФС.1.2.3.0022.15 Определение аминного азота методами формольного и йодометрического титрования. Электронный ресурс <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-2-3-0022-15-opredelenie-aminnogo-azota-metodami-formolnogo-i-jodometricheskogo-titrovaniya/?amp=1> Дата доступа 10.09.2023
29. Абрамова, И. М., Медриш, М. Э., Савельева, В. Б., Приёмухова, Н. В., Романова, А. Г., Преснякова, О. П. (2018). Сравнительный анализ методов исследования примесей в дистиллятах и спиртных напитках на их основе. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 2, 14–19.
30. Starowicz, M., Koutsidis, G., Zielinski, H. (2018). Sensory analysis and aroma compounds of buckwheat containing products — a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(11), 1767–1779. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1284742>

REFERENCES

1. Ogenesyants, L. A., Kobelev, K. V., Krikunova, L. N., Peschanskaya, V. A. (2014). Feasibility study on the selection of raw materials or the production of grain distillate. *Beer and Beverages*, 2, 10–13. (In Russian)
2. Volkova, S. V., Yakovleva, O. V. (2019). Assessment of the quality of distillates for the production of whisky from certain types of grain raw materials of local selection. *Bulletin of Mogilev State University of Food Technologies*, 1(26), 77–83. (In Russian)
3. Rimareva, L. V., Serba, E. M., Overchenko, M. B., Shelekhova, N. V., Ignatova, N. I., Pavlova, A. A. (2022). Enzyme complexes for activating yeast generation and ethanol fermentation. *Foods and Raw Materials*, 10(1), 127–136. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-127-136>
4. Frantiza, L., Granvogl, M., Schieberle, P. (2016). Influence of the production process on the key aroma compounds of rum: From molasses to the spirit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(47), 9041–9053. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04046>
5. Abramova, I. M., Medrish, M. E., Savel'eva, V. B., Romanova, A. G., Gavrilova D. A. (2018). Study of volatile impurities in alcoholic beverages made from aged grain distillates. *Food Industry*, 7, 74–76. (In Russian)
6. Egorova, E. Yu., Morozhenko, Yu. V. (2018). Methodological approaches to the development and quality assessment of new beverages of the group “distillates”. Part 2. Selection of raw materials. *Polzunovskiy Vestnik*, 2, 17–21. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.02.004> (In Russian)
7. Rimareva, L. V., Krivova, A. Y., Shelekhova, N. V., Overchenko, M. B., Serba, E. M. (2019). Catalytic features of protease and fitaz when processing politicals of the tritital-without in manufacture of alcohol. *Current Issues of the Beverage Industry*, 3, 184–190. <http://doi.org/10.21323/978-5-6043128-4-1-2019-3-184-190> (In Russian)
8. Serba, E. M., Rimareva, L. V., Tran, V. Ch., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., Pavlova, A. A. et al. (2022). The influence of the sorghum grain composition on the efficiency of its microbial conversion to ethanol and lysine. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 15(3), 347–362. (In Russian)
9. Krikunova, L. N., Peschanskaya, V. A., Dubinina, E. V. (2017). Some aspects of distillate production from jerusalem artichoke tubers. Part 1. Dynamic of distribution of volatile components by distillation of fermented wort. *Food Processing: Techniques and Technology*, 1(44), 17–23. (In Russian)
10. Ogenesyants, L. A., Peschanskaya, V. A., Krikunova, L. N., Dubinina, E. V. (2019). Research of technological parameters and criteria for evaluating distillate production from dried jerusalem artichoke. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 11(2), 185–196. <https://doi.org/10.34302/crpfjst/2019.11.2.15>
11. Krikunova, L. N., Dubinina, E. V., Obodeeva, O. N. (2022). Returnable baking waste — a new type of raw materials for distillates production (Part IV. Spirit drink). *Food Systems*, 5(1), 4–9. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-4-9> (In Russian)
12. Krikunova, L. N., Dubinina, E. V., Makarov, S. Yu. (2021). Returnable baking waste — a new type of raw materials for distillates production (Part III. Distillation stage). *Food Systems*, 4(2), 89–96. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-4-2-89-96> (In Russian)
13. Trotsenko, A. S., Tanashkina, T. V., Korchagin, V. P., Klykov, A. G. (2010). Problems and perspectives of usage of buck weed (*Fagopyrum esculentum*) in food biotechnology. *Bulletin of the Pacific State Economic University*, 54(2), 104–114. (In Russian)
14. Serba, E. M., Rimareva, L. V., Overchenko, M. B., Ignatova N. I., Mikulyak, A. A., Ivanov, V. V. (2023). Substantiation of the prospects of using buckwheat in the production of original alcoholic beverages. *Food Industry*, 5, 45–47. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.012> (In Russian)
15. Deželak, M., Zarnkow, M., Becker, T., Košir, I. J. (2014). Processing of bottom-fermented gluten-free beer-like beverages based on buckwheat and quinoa malt with chemical and sensory characterization. *Journal of the Institute of Brewing*, 120(4), 360–370. <https://doi.org/10.1002/jib.166>
16. Agafonov, G. V., Chusova, A. E., Kovalchuk, N. S., Zuyeva, N. V. (2018). The possibility of buckwheat application in the fermented malt technology. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 80(4), 170–176. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-170-176> (In Russian)
17. Serba, E. M., Rimareva, L. V., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., Kryuchkova, E. R., Kryshchenko, F. I. et al. (2023). Biotechnological aspects of the use of buckwheat in the production of original alcoholic beverages. *Biotechnology*, 39(2), 10–16. <https://doi.org/10.56304/S0234275823020114> (In Russian)
18. Zhu, F. (2021). Buckwheat proteins and peptides: Biological functions and food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 110, 155–167. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.081>
19. Giménez-Bastida, J.A., Zieliński, H. (2015). Buckwheat as a Functional Food and Its Effects on Health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(36), 7896–7913. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02498>
20. Zieliński, H., Ciesarová, Z., Kukurová, K., Zielinska D., Szawara-Nowak D., Starowicz M. et al. (2017). Effect of fermented and unfermented buckwheat flour on functional properties of gluten-free muffins. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 1425–1432. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-017-2561-4>
21. Yilmaz, H. Ö., Ayhan, N. Y., Meriç, Ç. S. (2020). Buckwheat: A useful food and its effects on human health. *Current Nutrition and Food Science*, 16 (1), 29–34. <http://doi.org/10.2174/1573401314666180910140021>
22. Gorkova, I. V., Pavlovskaya, N. E., Danilenko, A. N. (2016). Extracts of buckwheat and sophora japonica as a raw source of biologically active substances. *Food Industry*, 2, 30–32. (In Russian)
23. Gorkova, I. V. (2016). Using buckwheat in functional food production. *Development Problems of Regional Agro-Industrial Complex*, 25(1–1(25)), 188–191. (In Russian)
24. Tanashkina, T. V., Peregodedova, A. A., Semenyuta, A. A., Boyarova, M. D. (2020). Gluten-free buckwheat kvass with aromatic raw materials. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(1), 70–78. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-70-78> (In Russian)
25. Tanashkina, T. V., Semenyuta, A. A., Trotsenko, A. S., Klykov, A. G. (2017). Gluten-free low-alcohol beverages fermented from light and scalding buckwheat malt. *Food Processing: Techniques and Technology*, 45(2), 74–80. <https://doi.org/10.21179/2074-9414-2017-2-74-80> (In Russian)
26. Novikova, I. V., Kalaev, V. N., Agafonov, G. V., Korotkikh, E. A., Maltseva, O. Yu., Gureev A. P. (2015). Estimate the intensity of biosynthetic processes yeast *Saccharomyces cerevisiae* when cultured on a medium with the addition of powdered malt extract buckwheat. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2, 73–79. (In Russian)
27. Ministry of Agriculture of the Russian Federation (2007). Instruction on technological and microbiological control of alcohol production. Moscow, DeLi print, 2007. (In Russian)
28. Russian Pharmacopoeia. OFS.1.2.3.0022.15 Determination of amino nitrogen by the methods of formol and iodometric titration. Retrieved from <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-2-3-0022-15-opredelenie-aminnogo-azota-metodami-formolnogo-i-jodometricheskogo-titrovaniya/?amp=1> Accessed September 10, 2023 (In Russian)
29. Abramova, I. M., Medrish, M. E., Savel'eva, V. B., Priemukhova, N. V., Romanova, A. G., Presnyakova, O. P. (2018). Comparative analysis of methods for studying impurities in distillates and alcoholic drinks based on them. *Storage and Processing of Farm Products*, 2, 14–19. (In Russian)
30. Starowicz, M., Koutsidis, G., Zielinski, H. (2018). Sensory analysis and aroma compounds of buckwheat containing products — a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(11), 1767–1779. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1284742>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Серба Елена Михайловна — доктор биологических наук, доцент, профессор РАН, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи 111033, Москва, Самокатная ул. 4-Б Тел.: +7-916-515-92-73 E-mail: serbae@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1660-2634 * автор для контактов	Elena M. Serba, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Research, Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety 4-B Samokatnaya str., 111033, Moscow, Russia Tel.: +7-916-515-92-73 E-mail: serbae@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1660-2634 * corresponding author
Крючкова Елизавета Романовна — инженер-технолог, отдел биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи 111033, Москва, Самокатная ул. 4-Б Тел.: +7-495-362-46-78 E-mail: kruchkovaer@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8012-0907	Elizaveta R. Kryuchkova, Process Engineer, Department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements, Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety 4-B Samokatnaya str., 111033, Moscow, Russia Tel.: +7-495-362-46-78 E-mail: kruchkovaer@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8012-0907
Римарева Любовь Вячеславовна — доктор технических наук, профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки, главный научный сотрудник, отдел биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи 111033, Москва, Самокатная ул. 4-Б Тел.: +7-495-362-46-78 E-mail: lrimareva@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3097-0836	Lyubov V. Rimareva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist, Chief Researcher, department of biotechnology of enzymes, yeast, organic acids and dietary supplements, Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety 4-B Samokatnaya str., 111033, Moscow, Russia Tel.: +7-495-362-46-78 E-mail: lrimareva@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3097-0836
Оверченко Марина Борисовна — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, отдел биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи 111033, Москва, Самокатная ул. 4-Б Тел.: +7-495-362-46-78 E-mail: mb_over@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0191-5897	Marina B. Overchenko, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements, Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety 4-B Samokatnaya str., 111033, Moscow, Russia Tel.: +7-495-362-46-78 E-mail: mb_over@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0191-5897
Игнатова Надежда Иосифовна — научный сотрудник, отдел биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи 111033, Москва, Самокатная ул. 4-Б Тел.: +7-495-3624678 E-mail: ignatova59@list.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8416-7478	Nadezhda I. Ignatova, Research Assistant, Department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements, Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety 4-B Samokatnaya str., 111033, Moscow, Russia Tel.: +7-495-362-46-78 E-mail: ignatova59@list.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8416-7478
Павленко Светлана Владимировна — младший научный сотрудник испытательной лаборатории, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи 111033, Москва, Самокатная ул. 4-Б Тел.: +7-495-362-43-51 E-mail: tehnohimkontrol@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4060-6325	Svetlana V. Pavlenko, Junior Researcher of Testing Laboratory, Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety 4-B Samokatnaya str., 111033, Moscow, Russia Tel.: +7-495-362-43-51 E-mail: tehnohimkontrol@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4060-6325
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.