

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2572>
<https://elibrary.ru/VQRVZG>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Влияние состава гречишно-кукурузного сусла на динамику генерации дрожжей и синтез этанола



Е. М. Серба*^{ORCID}, Л. В. Римарева^{ORCID}, Е. Р. Крючкова^{ORCID},
М. Б. Оверченко^{ORCID}, Н. И. Игнатова^{ORCID}, Н. В. Матросова^{ORCID}

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии^{ORCID}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 24.07.2024

Принята после рецензирования: 02.09.2024

Принята к публикации: 01.04.2025

*Е. М. Серба: serbae@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-1660-2634>

Л. В. Римарева: <https://orcid.org/0000-0003-3097-0836>

Е. Р. Крючкова: <https://orcid.org/0000-0001-8012-0907>

М. Б. Оверченко: <https://orcid.org/0000-0003-0191-5897>

Н. И. Игнатова: <https://orcid.org/0000-0002-8416-7478>

Н. В. Матросова: <https://orcid.org/0000-0002-6320-4567>

© Е. М. Серба, Л. В. Римарева, Е. Р. Крючкова, М. Б. Оверченко,
Н. И. Игнатова, Н. В. Матросова, 2025



Аннотация.

В последнее время отмечается повышенный интерес к использованию гречихи как нетрадиционного сырья в производстве продуктов брожения с оригинальными органолептическими свойствами. Однако возможность применения гречихи в технологиях спиртных дистиллятов практически не исследована, не подобраны условия переработки данной культуры в смеси с традиционным зерновым сырьем. Цель работы – изучить влияние состава гречишно-кукурузного сусла на динамику процессов генерации дрожжей, потребления углеводов и азотистых веществ, а также на синтез этанола и образование побочных продуктов брожения.

Объекты исследования – зерно гречихи, кукурузы и пшеницы; ферментные препараты; дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* расы 985-Т. В ходе исследования применены биотехнологические и аналитические методы приготовления и сбраживания зерно-гречишного сусла, контроля процессов синтеза этанола и побочных метаболитов.

Определен состав зерно-гречишного сусла в зависимости от различных количеств гречихи. Обосновано преимущество использования гречихи в сочетании с кукурузой. Добавление гречихи в сусло на начальном этапе брожения способствовало увеличению роста дрожжей в 1,5 раза и синтезу этанола в 1,4 раза. При этом через 42 ч брожения концентрация этанола и выход спирта в гречишно-кукурузной и кукурузной бражках практически сравнялись. При исследовании динамики синтеза летучих метаболитов установлено, что их состав и количество зависели от стадии брожения и содержания гречихи в сусле: на 20 ч максимальное образование метаболитов (309,6 мг/дм³) наблюдалось в гречишной бражке, на 70 ч максимальная концентрация (506,4 мг/дм³) – в кукурузной. Гречишная и гречишно-кукурузная бражки характеризовались более низким содержанием высших спиртов и высоким – сложных эфиров, что может повлиять на возникновение оригинальных оттенков в аромате и вкусе спиртных напитков, по сравнению с традиционными зерновыми дистиллятами.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности направленного регулирования состава и концентрации компонентов зернового сусла, способствующих формированию физико-химических и органолептических характеристик спиртных напитков.

Ключевые слова. Гречиха, кукуруза, дрожжи, брожение, нетрадиционное сырье, зерновые дистилляты, метаболиты

Финансирование. Работа проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания № FGMP-2025-0012.

Для цитирования: Серба Е. М., Римарева Л. В., Крючкова Е. Р., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И. и др. Влияние состава гречишно-кукурузного сусла на динамику генерации дрожжей и синтез этанола. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 244–256. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2572>

Effect of Buckwheat-Corn Wort Mix on Yeast Generation and Ethanol Synthesis

Elena M. Serba*^{ORCID}, Lyubov V. Rimareva^{ORCID},
Elizaveta R. Kryuchkova^{ORCID}, Marina B. Overchenko^{ORCID},
Nadezhda I. Ignatova^{ORCID}, Natalia V. Matrosova^{ORCID}

All-Russian Research Institute of Food Biotechnology^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 24.07.2024
Revised: 02.09.2024
Accepted: 01.04.2025

*Elena M. Serba: serbae@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-1660-2634>
Lyubov V. Rimareva: <https://orcid.org/0000-0003-3097-0836>
Elizaveta R. Kryuchkova: <https://orcid.org/0000-0001-8012-0907>
Marina B. Overchenko: <https://orcid.org/0000-0003-0191-5897>
Nadezhda I. Ignatova: <https://orcid.org/0000-0002-8416-7478>
Natalia V. Matrosova: <https://orcid.org/0000-0002-6320-4567>

© E.M. Serba, L.V. Rimareva, E.R. Kryuchkova, M.B. Overchenko,
N.I. Ignatova, N.V. Matrosova, 2025



Abstract.

Buckwheat and its mixes with grain have good prospects as an alternative raw material for fermented beverages with unconventional sensory properties. However, the use of buckwheat in alcoholic distillates remains understudied. The article describes the effect of different compositions of buckwheat-corn wort mixes on yeast generation, carbohydrate and nitrogen consumption, ethanol synthesis, and fermentation by-products.

The research featured buckwheat, corn, wheat grain, enzyme preparations, and yeast *Saccharomyces cerevisiae* 985-T. A set of standard biotechnological and analytical methods was used to prepare the grain-buckwheat wort and control the ethanol synthesis processes and side metabolites.

The grain-buckwheat wort samples had different shares of buckwheat. Adding buckwheat to the wort early during fermentation catalyzed the yeast growth by 1.5 times and ethanol synthesis by 1.4 times. However, the ethanol concentration and alcohol yield in the buckwheat-corn and corn mashes were almost equal after 42 h of fermentation. As for volatile metabolites, their composition and quantity depended on the fermentation stage and the buckwheat content in the wort. The maximum metabolites (309.6 mg/dm³) in the buckwheat mash occurred after 20 h of fermentation; the maximum metabolites (506.4 mg/dm³) in the corn mash developed after 70 h of fermentation. The buckwheat and buckwheat-corn mashes had a low content of higher alcohols and a high content of esters, which can affect the olfactive profile and taste of traditional alcoholic beverages.

In this research, the targeted composition and concentration of grain wort components made it possible to obtain alcoholic beverages with alternative physicochemical and sensory profiles.

Keywords. Buckwheat, corn, yeast, fermentation, non-traditional raw materials, grain distillates, metabolites

Funding. The research was part of State Assignment No. FGMF-2025-0012.

For citation: Serba EM, Rimareva LV, Kryuchkova ER, Overchenko MB, Ignatova NI, *et al.* Effect of Buckwheat-Corn Wort Mix on Yeast Generation and Ethanol Synthesis. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):244–256. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2572>

Введение

В последнее время проводятся активные исследования в области изучения растительных ресурсов России с целью подбора перспективных видов зерновых культур, обладающих биотехнологическим потенциалом для использования в бродильных производствах [1–3]. Современная литература в основном сконцентрирована на выявлении вероятных направлений применения нетрадиционного растительного

сырья при получении специальных солодов и пива с функциональными свойствами [4–6], слабоалкогольных и пробиотических напитков [7–9], кваса [10, 11]. Физико-химические и органолептические характеристики напитков на основе злаков зависят от вида и состава технологически важных полимеров зерна, степени их биотрансформации в процессе приготовления сула и физиологических особенностей штамма дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, участвующих в бро-

жении [12–14]. В настоящее время это направление имеет особое значение для расширения ассортимента крепких спиртных напитков, пользующихся высоким спросом у потребителей [15–17]. Внедрение нетрадиционных зерновых культур и биотехнологических способов их переработки с дальнейшей дистилляцией или брагоректификацией с селективным отбором примесей позволит получить зерновые дистилляты заданного состава с новыми вкусовыми и органолептическими характеристиками [18, 19]. Разработка конкурентоспособной алкогольной продукции из российского сырья послужит инструментом для эффективного импортозамещения.

Гречиха (*Fagopyrum esculentum* Moench) может быть источником технологически значимых компонентов (крахмала, белка и некрахмальных полисахаридов) в производстве продуктов брожения [20–22]. По содержанию крахмала гречиха сопоставима с широко распространенными в спиртовом производстве пшеницей и рожью, но уступает кукурузе [22]. Особенно высоко содержание в гречихе белка, по сравнению с белками злаковых культур, является высокое содержание альбуминовых и глобулиновых фракций. Они хорошо поддаются ферментативному гидролизу с образованием в сусле повышенного количества аминного азота [23, 24]. Белки гречишной культуры обладают более высокой биологической ценностью, в них присутствуют все незаменимые аминокислоты, по содержанию триптофана, изолейцина, лизина, метионина и цистеина они превосходят количество белка в пшенице и ржи [21, 22]. Особенно важным компонентом в ее составе являются полифенолы, которые способны повлиять на вкус и аромат готовой продукции, что определяет перспективность применения данной культуры в технологиях оригинальных спиртных напитков [24–26].

Ранее проведенные исследования подтверждают целесообразность использования гречихи в качестве сырья в технологиях функциональных [24, 27, 28] и обогащенных [25, 29, 30] продуктов, а также ферментированного солода, безглютенового кваса и пива [31–33]. Продукция, полученная на основе данной культуры, содержала комплекс биологически активных веществ и отличалась приятными сенсорными характеристиками и новыми функциональными свойствами [29, 34, 35]. Гречиха, выступая в роли нетрадиционного субстрата, оказывает стимулирующее воздействие на процессы генерации дрожжей *S. cerevisiae* и пробиотических микроорганизмов в бродильных производствах [24, 36, 37]. Брожение гречишного сула дрожжами приводило к изменению состава и снижению общего количества вторичных метаболитов, сопутствующих синтезу этанола. Это может обусловить формирование уникальных ароматических и вкусовых характеристик, отличающих напитки на основе гречихи от традиционных зерновых дистиллятов [24, 38]. Высокое содержание клетчатки и гемицеллюлозы

в составе культуры снижает ее технологический потенциал как альтернативного сырья в спиртовом производстве, т. к. повышенная вязкость гречишного сула не позволяет достичь нормативных показателей выхода спирта [22, 24, 38].

Для приготовления зернового сула рационально использовать гречиху совместно с широко применяемыми зерновыми культурами, которые отличаются более высоким содержанием крахмала и низким – гемицеллюлоз, например с пшеницей или кукурузой [24]. Несмотря на наличие в гречихе, помимо углеводов и белков, ароматических и биологически ценных компонентов, исследования, обосновывающие возможность ее использования для производства оригинальных спиртных напитков, проводились в недостаточном объеме. Оптимальные условия и технологические параметры для приготовления сула из гречихи в смеси с традиционным зерновым сырьем практически не подобраны и не подтверждены экспериментальным путем. Недостаточно изучены процессы биотрансформации полимеров сырья на различных стадиях производства (замес → суло → бражка), а также динамика сбраживания и образования этанола. Это ограничивает возможности по регулированию состава и концентрации летучих компонентов, определяющих физико-химические и органолептические характеристики конечного продукта.

Цель работы – изучить влияние состава гречишно-кукурузного сула на динамику процессов генерации дрожжей, потребления углеводов и азотистых веществ, а также на синтез этанола и образование побочных продуктов брожения.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили:

- зерно гречихи, кукурузы и пшеницы, измельченное до размера частиц 40–120 мкм при помощи мультифункциональной дробилки Вилитек VLM-6 (ООО «Вилитек», Россия);
- ферментные препараты: источники термостабильной α -амилазы – Неозим AA 180 (Hunan Hong Ying Xiang Biochemistry Industry Co., LTD, КНР), глюкоамилазы – Биозим 800L (Shandong Longda Bio-products Co., КНР), ксиланазы и β -глюканызы – Висколаза 150L (Shandong Longda Bio-products Co., LTD, КНР) и протеаз – ФПКП (ВНИИПБТ, РФ);
- дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* расы 985-Т (с термотолерантными и осмофильными свойствами) для сбраживания зернового сула [24, 38, 39].

В соответствии с результатами ранее проведенных исследований [24, 38], для приготовления кукурузного, пшеничного и гречишного сула применялись ферментные препараты (ФП) амилолитического, ксиланазного, β -глюканызного и протеолитического действия (табл. 1).

Согласно существующим стандартизированным методикам [38, 40], проводили определение амилолити-

Таблица 1. Характеристика ферментных препаратов по уровню активности основных ферментов

Table 1. Enzyme preparations by activity of the main enzymes

Наименование	Основные ферменты	Активность, ед./см ³
Неозим АА 180	Термостабильная α -амилаза (АС)	1790,0 \pm 81,5
Биозим 800L	Глюкоамилаза (ГлС)	13100,0 \pm 610,0
Висколаза 150L	Ксиланаза (КС) β -глюканаза (β -ГКС)	5900,0 \pm 231,0 1025,0 \pm 50,5
ФПКП	Протеазы (ПС)	670,0 \pm 30,5

Примечание: Значения представлены в виде средних \pm стандартное отклонение.

Note: The values are given as mean \pm standard deviation.

Таблица 2. Дозировка ферментных препаратов по уровню активности основных ферментов

Table 2. Shares of enzyme preparations by activity

Наименование	Дозировка
Неозим АА 180	0,6 ед. АС/г крахмала
Биозим 800L	10,0 ед. ГлС/г крахмала
Висколаза 150L	0,6 ед. КС/г сырья 0,1 ед. β -ГКС/г сырья
ФПКП	0,3 ед. ПС/г сырья

ческой, глюкоамилазной, ксиланазной, β -глюканазной и общей протеолитической активности.

За единицу амилолитической активности (АС) принимали количество фермента, катализирующее гидролиз 1 г растворимого крахмала до декстринов различной молекулярной массы в стандартных условиях –30 °С, рН 6,0, 10 мин (ГОСТ 34440-2018).

За единицу глюкоамилазной активности (ГлС) – количество фермента, которое катализирует гидролиз крахмала при 30 °С и рН 4,7 с высвобождением за 1 мин 1 мкмоль глюкозы (ГОСТ 34440-2018).

За единицу ксиланазной активности (КС) принимали количество фермента, действующего на ксилан из березы с высвобождением 1 мкмоль восстанавливающих сахаров (в глюкозном эквиваленте), образующихся за 1 мин в стандартных условиях при 50 °С и рН 5,0 (ГОСТ Р 55302-2012).

За единицу β -глюканазной активности (β -ГКС) – количество фермента, действующего на β -глюкан из ячменя с высвобождением 1 мкмоль восстанавливающих сахаров (в глюкозном эквиваленте), образующихся за 1 мин в стандартных условиях (50 °С и рН 5,0) (ГОСТ Р 53973-2010).

За единицу общей протеолитической активности (ПС) принимали такое количество фермента, которое за 1 мин при температуре 30 °С и рН 5,3 приводит гемоглобин в не осаждаемое ТХУ состояние в количестве, соответствующем 1 мкмоль тирозина (ГОСТ 34430-2018).

Осуществлялся анализ содержания основных полимеров зернового сырья: крахмала и гемицеллюлозы – согласно инструкции [41]; белка – по ГОСТ 10846-91 на автоматической установке Turbotherm для разложения по методу Кьельдаля с дистиллятором Varo-dest; клетчатки – по ГОСТ 31675-2021.

При приготовлении зернового суслу использовали схему ферментативно-гидролитической обработки зерна [24, 38, 39] на водяной бане ПЭ-4300 (Экрос, Россия) в колбах Эрленмейера объемом 750 см³, в которые помещали измельченное зерно и воду (гидро модуль 1:3). В водно-зерновую суспензию (замес) добавляли термостабильную α -амилазу и выдерживали при температуре 40–60 °С в течение 30 мин. Далее проводили приготовление замеса при 85–90 °С в течение 120 мин при периодическом перемешивании. После содержимое колб охлаждали до 58–60 °С и 60 мин инкубировали в присутствии ферментов. Для получения зернового суслу проводили осахаривание крахмала и гидролиз некрахмальных полисахаридов с использованием ферментных препаратов – источниками глюкоамилазы и гемицеллюлазы (ксиланазы и β -глюканазы); гидролиз белковых веществ – ферментным препаратом, содержащим комплекс грибных протеаз. Расход ферментных препаратов соответствовал дозировкам, представленным в таблице 2 [38].

Содержание растворимых редуцирующих (РВ) и общих углеводов (ОРВ) в зерновом сусле определяли колориметрически [41], а концентрацию аминного азота – методом йодометрического титрования [42]. Вязкость подготовленного к сбраживанию суслу измеряли на вискозиметре SV-10 (Япония). Растворимые сухие вещества (РСВ) суслу фиксировали на рефрактометре Rochet PAL-S (АТАГО, Япония). Значение рН суслу измеряли на рН-метре / ионометре (Mettler-Toledo SevenCompact™, Швейцария).

Процесс сбраживания суслу, подготовленного с использованием смеси кукурузы и гречихи в различных соотношениях, проводили в одинаковых анаэробных условиях: температура – 30 °С, продолжительность – 70 ч. Для сбраживания была подготовлена водная суспензия дрожжей *S. cerevisiae* 985-Т, которую внесли в зерновое сусло, обеспечивая концентрацию 10 млн клеток/см³ суслу.

Тестирование состава и содержания летучих метаболитов, синтезируемых дрожжами, проводили с помощью газового хроматографа серии HP Agilent 6890 (США) [43]. Концентрацию этанола в бражке определяли на анализаторе относительной плотности спирта Densimat-Alcomat 2 (Gibertini, Италия).

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

Результаты и их обсуждение

Дрожжевые клетки практически не синтезируют внеклеточные ферменты, поэтому биокаталитический распад высокомолекулярных соединений питательной среды – крахмала, белков и гемицеллюлоз – происходит без их участия. Для генерации спиртовых дрожжей необходимы простые соединения: моно- и дисахариды, аминокислоты, ди- и трипептиды и др., которые, проникая в цитоплазму, распадаются на низкомолекулярные образования для участия в процессах метаболизма. Поэтому приготовление сусла осуществляли на основе подобранных ранее мультиэнзимных систем с учетом содержания белковых и полисахаридных веществ в исследуемом зерновом сырье (гречихе – нетрадиционном сырьевом источнике) и широко применяемых в спиртовом производстве (пшенице и кукурузе) (табл. 2, 3) [24, 38].

Результаты сравнительных исследований биохимического состава сусла (табл. 4) показали, что гречишное сусло отличалось более высокой концентрацией аминного азота, которая превосходила аналогичные показатели в кукурузном сусле в 1,8 раза и пшеничном – в 1,5 раза. Кукурузное сусло отличалось высоким содержанием растворимых редуцирующих и общих углеводов. Оно обладало хорошими реологическими свойствами: динамическая вязкость была в 2,9 раза ниже, чем у гречишного сусла.

Частичная замена традиционного зернового сырья на гречишное изменила физико-химические и биохимические характеристики сусла. Наилучшие показатели были достигнуты при использовании гречишно-кукурузного сусла. Введение гречихи в различных соотношениях с кукурузой в состав зерновой смеси способствовало повышению концентрации аминного азота на 19,0–54,5 %, в зависимости от ее долевого содержания, а использование кукурузы – увеличению количе-

ства общих и растворимых редуцирующих углеводов, снижению вязкости сусла на 47,6–62,3 % (табл. 4). Качественные показатели сусла, приготовленного с применением смеси пшеницы и гречихи, были ниже, что связано с особенностями биохимического состава пшеницы, которая в отличие от кукурузы характеризовалась более высоким содержанием гемицеллюлоз (табл. 3). Поэтому дальнейшие исследования проводили на основе гречишно-кукурузного сусла.

В таблице 5 представлены экспериментальные данные по составу сбраживаемых углеводов (глюкозы, мальтозы и фруктозы) в сусле, приготовленном с использованием смеси кукурузной и гречишной культуры в различных соотношениях. В гречишном сусле наблюдалось более высокое содержание глюкозы (13,5 %), а в кукурузном – мальтозы (5,9 %). Наиболее высокая концентрация моно- и дисахаридов отмечена в гречишно-кукурузном сусле, в котором доля гречихи была равной 20 и 30 %. Повышение доли гречихи до 50 % в зерновой смеси не повлияло на увеличение содержания сбраживаемых углеводов, что было связано с ростом динамической

Таблица 3. Состав основных полимеров в зерне гречихи, кукурузы и пшеницы, %

Table 3. Polymer composition in buckwheat, corn, and wheat, %

Показатели	Кукуруза	Пшеница	Гречиха
Крахмал	64,5 ± 2,8	56,7 ± 2,3	54,5 ± 2,1
Белок	9,8 ± 0,3	12,5 ± 0,5	14,2 ± 0,6
Клетчатка	3,0 ± 0,1	3,1 ± 0,1	7,5 ± 0,3
Гемицеллюлоза	2,2 ± 0,1	4,1 ± 0,1	4,5 ± 0,1

Примечание: Значения представлены в виде средних значений ± стандартное отклонение.

Note: The values are given as mean ± standard deviation.

Таблица 4. Характеристика зернового сусла, приготовленного с использованием кукурузы, пшеницы и гречихи

Table 4. Grain wort with corn, wheat, and buckwheat

Вариант сусла, % используемого зерна			PCB, %	pH	PB, %	OPB, %	Аминный азот, мг/100 г	Динамическая вязкость сусла, мПа·с
Кукуруза	Пшеница	Гречиха						
–	–	100	20,2 ± 0,8	5,96 ± 0,10	16,0 ± 0,6	16,9 ± 0,7	39,7 ± 1,6	23,1 ± 0,9
–	100	–	21,5 ± 0,8	6,20 ± 0,20	18,1 ± 0,7	19,6 ± 0,8	26,4 ± 1,1	14,0 ± 0,5
100	–	–	22,2 ± 0,9	5,77 ± 0,10	19,2 ± 0,8	21,0 ± 0,8	21,5 ± 0,8	8,1 ± 0,2
–	80	20	21,4 ± 0,9	6,15 ± 0,20	18,0 ± 0,7	19,5 ± 0,8	27,7 ± 1,1	17,4 ± 0,6
–	70	30	21,7 ± 0,9	6,11 ± 0,20	17,8 ± 0,7	19,2 ± 0,8	29,8 ± 1,2	18,6 ± 0,7
–	50	50	20,5 ± 0,8	6,10 ± 0,20	17,1 ± 0,7	17,7 ± 0,7	32,0 ± 1,3	20,5 ± 0,8
80	–	20	21,9 ± 0,9	5,80 ± 0,10	19,2 ± 0,8	20,5 ± 0,8	24,6 ± 0,9	8,7 ± 0,2
70	–	30	21,4 ± 0,9	5,85 ± 0,10	18,8 ± 0,8	19,8 ± 0,8	27,4 ± 1,1	9,0 ± 0,3
50	–	50	21,0 ± 0,8	5,92 ± 0,10	18,1 ± 0,7	18,9 ± 0,8	29,1 ± 1,2	12,1 ± 0,4

Примечание: PCB – растворимые сухие вещества; PB – редуцирующие углеводы; OPB – общие углеводы. Значения представлены в виде средних значений ± стандартное отклонение.

Note: PCB – soluble solids; PB – reducing carbohydrates; OPB – total carbohydrates.

The values are given as mean ± standard deviation.

Таблица 5. Состав сбраживаемых углеводов в гречишно-кукурузном сусле

Table 5. Composition of fermentable carbohydrates in buckwheat-corn wort

Состав сусла, %		Сбраживаемые углеводы, %		
Кукуруза	Гречиха	Глюкоза	Мальтоза	Фруктоза
100	–	9,2 ± 0,3	5,9 ± 0,1	0,200 ± 0,002
–	100	13,5 ± 0,5	2,9 ± 0,1	0
80	20	11,9 ± 0,4	5,2 ± 0,1	0,200 ± 0,002
70	30	11,8 ± 0,4	5,1 ± 0,1	0,150 ± 0,002
50	50	9,9 ± 0,3	4,3 ± 0,1	0,120 ± 0,001

Примечание: Значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение.

Note: The values are given as mean ± standard deviation.

Таблица 6. Динамика роста и развития дрожжей *S. cerevisiae* 985-T при сбраживании гречишно-кукурузного суслаTable 6. Growth and development of *S. cerevisiae* 985-T during fermentation of buckwheat-corn wort

Состав сусла, %		Дрожжи, млн клеток/см ³			Почкующиеся (мертвые) клетки, %		
Кукуруза	Гречиха	20 ч	42 ч	70 ч	20 ч	42 ч	70 ч
100	–	97	117	80	5 (2)	3 (5)	0 (15)
–	100	158	152	123	8 (0)	2 (1)	1 (5)
80	20	142	141	118	9 (1)	2 (2)	0 (10)
70	30	149	139	120	8 (0)	3 (1)	1 (7)
50	50	140	134	129	9 (0)	5 (0)	1 (5)

вязкости сусла и снижением в нем общего количества редуцирующих углеводов (табл. 4, 5).

Состав зернового сусла, приготовленного с использованием кукурузы и гречихи в различных соотношениях, влиял на процесс генерации дрожжей и спиртового брожения. Наиболее высокая концентрация дрожжевых клеток (158 млн клеток/см³) зафиксирована через 20 ч при сбраживании гречишного сусла, содержащего повышенное количество легко ассимилируемого аминного азота (39,7 мг/100 г), что в 1,5 раза превысило показатели кукурузной бражки (табл. 4, 6). На кукурузном сусле, в котором концентрация аминного азота составляла 21,5 мг/100 г, рост дрожжей происходил медленнее и максимальная концентрация клеток (117 млн клеток/см³) наблюдалась только к 42 ч (табл. 6). При использовании гречишно-кукурузного сусла количество дрожжевых клеток соответствовало 140–149 млн клеток/см³, в зависимости от доли гречихи в составе сырьевых компонентов сусла.

Анализ процесса генерации дрожжей подтвердил, что полноценный белок и другие биологически активные компоненты в гречихе стимулировали интенсификацию развития дрожжей *S. cerevisiae*, увеличило число почкующихся клеток и снизило концентрацию мертвых, даже на среде, в составе которой содержание гречихи – только 20 и 30 % от общего объема зерновой смеси (табл. 6). Продолжительная генерация дрожжей *S. cerevisiae* приводила к ослаблению культуры к концу брожения и частичному апоптозу клеток, особенно при ферментации на кукурузном сусле, в котором количество остаточных клеток дрож-

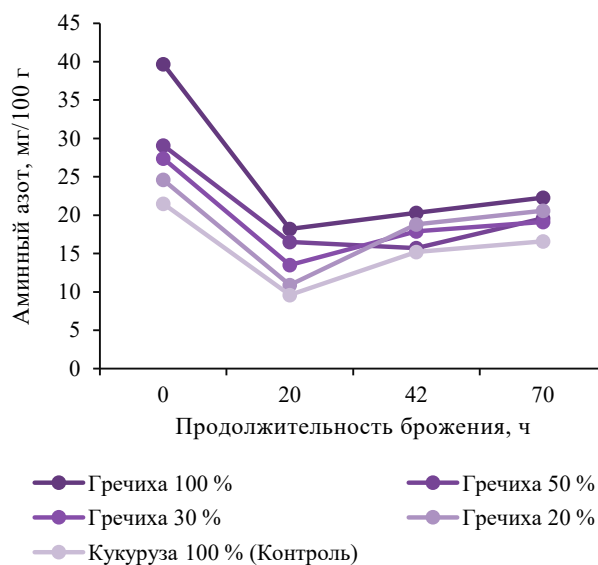


Рисунок 1. Динамика изменения концентрации аминного азота, в зависимости от содержания гречихи в сусле при генерации дрожжей *S. cerevisiae* 985-T

Figure 1. Amino nitrogen concentration vs. buckwheat content in the wort during yeast generation

жей снизилось до 80 млн клеток/см³, а концентрация мертвых клеток – 15 %.

Рост и развитие дрожжей на гречишном и гречишно-кукурузном сусле сопровождались интенсивным потреблением редуцирующих углеводов и аминного азота, особенно на первой логарифмической фазе (рис. 1,

Таблица 7. Динамика потребления углеводов при сбраживании гречишно-кукурузного сусла дрожжами *S. cerevisiae* 985-TTable 7. Carbohydrate consumption during fermentation of buckwheat-corn wort with *S. cerevisiae* 985-T

Состав сусла, %		Содержание углеводов в бражке, мг/см ³		
Кукуруза	Гречиха	20 ч	42 ч	70 ч
100	–	101,10 ± 2,90	15,30 ± 0,30	2,90 ± 0,06
–	100	35,00 ± 0,90	8,20 ± 0,20	5,70 ± 0,11
80	20	71,20 ± 1,80	8,80 ± 0,20	4,00 ± 0,08
70	30	81,90 ± 2,10	10,20 ± 0,20	4,20 ± 0,08
50	50	96,30 ± 2,70	12,30 ± 0,30	6,50 ± 0,13

Примечание: Значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение.

Note: The values are given as mean ± standard deviation.

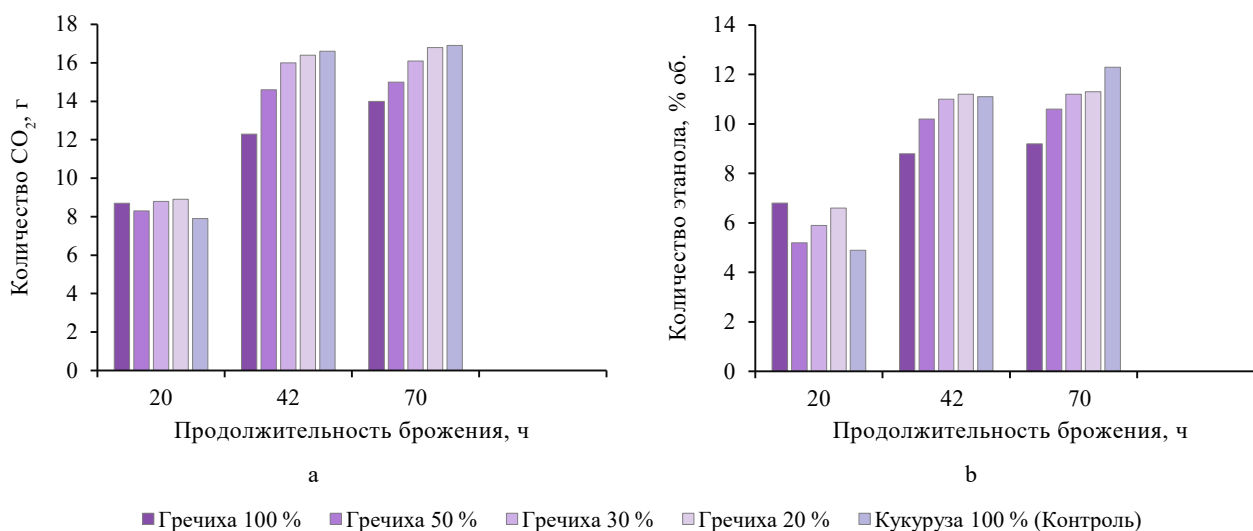


Рисунок 2. Динамика образования углекислого газа (а) и синтеза этанола (б) дрожжами *S. cerevisiae* 985-T, в зависимости от содержания гречихи в сбраживаемом гречишно-кукурузном сусле

Figure 2. Carbon dioxide formation (a) and ethanol synthesis (b) by *S. cerevisiae* 985-T vs. buckwheat content in fermented buckwheat-corn wort

табл. 7). Во время фазы активного роста дрожжей отмечено значительное уменьшение содержания аминного азота в 2 раза (рис. 1). К 42 ч рост дрожжей останавливался, доля почкующихся клеток снижалась до 2–5%. При этом немного увеличилась концентрация аминного азота. Это связано с продолжающимся протеолизом белковых веществ сусла и с возможными аутолитическими процессами в дрожжевых клетках.

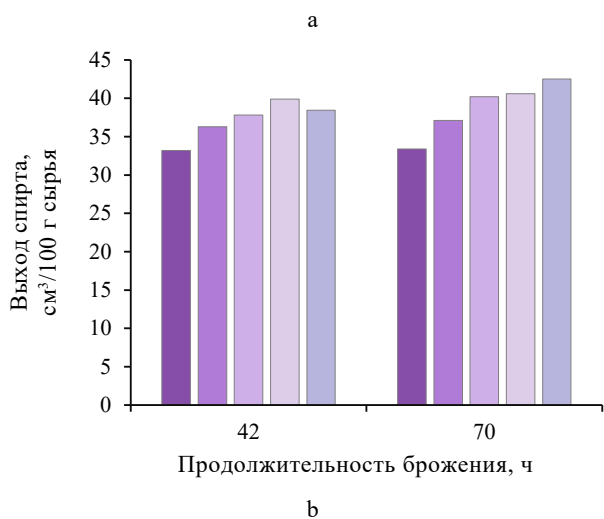
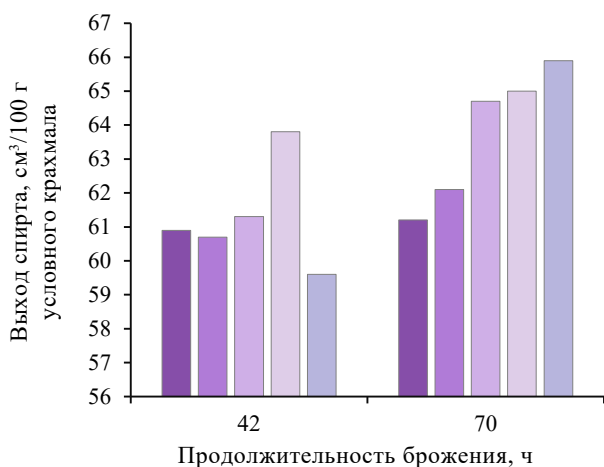
К концу брожения наиболее высокая степень сбраживания была достигнута на кукурузном сусле: содержание остаточных несброженных углеводов составляло 2,90 мг/см³, в то время как в гречишной бражке этот показатель был в 2 раза выше (табл. 7). В результате сбраживания гречишно-кукурузного сусла, в котором доля гречихи составляла 20 и 30%, содержание редуцирующих веществ было 4,0 и 4,2 мг/см³ соответственно. Вероятно, высокое содержание остаточных углеводов в этих бражках объясняется тем, что гречиха содержит много трудногидролизуемых не-

крахмальных полисахаридов, биокаталитическая конверсия которых проходит практически в течение всего процесса брожения [24, 38, 44].

В первые сутки более высокий уровень образования углекислого газа и этанола, сопровождаемый активным потреблением углеводов, наблюдался при сбраживании гречишного и гречишно-кукурузного сусла, в котором доля гречихи составляла 20 и 30% (табл. 7, рис. 2). На 20 ч брожения концентрация этилового спирта в гречишной бражке в 1,4 раза превосходила кукурузную. На 70 ч наиболее высокая концентрация этанола была выявлена в кукурузной бражке (12,3% об.), а в гречишной бражке данный показатель был ниже в 1,3 раза (рис. 2).

Присутствие кукурузы в составе зерновой смеси с гречихой способствовало увеличению концентрации этанола в бражке, что связано с повышением концентрации в сусле растворимых углеводов и снижением его вязкости (табл. 4).

Расчет выхода спирта показал, что использование в составе суслу зерновой смеси из кукурузы и гречихи позволило повысить эффективность процесса спиртового брожения, по сравнению с показателями только гречишной бражки (рис. 3). Через 42 ч наиболее высокий выход спирта зафиксирован в гречишно-кукурузных смесях (рис. 2). При сбраживании суслу, в составе которого доля гречихи составляла 20 и 30 % от общего содержания сырья, наблюдался практически равный показатель по выходу спирта, как и при сбраживании кукурузного суслу (65,9 см³/100 г крахмала). Выход спирта соответствовал нормативному – 65,0 и 64,7 см³/100 г крахмала [41], который значи-



■ Гречиха 100 %
 ■ Гречиха 50 %
 ■ Гречиха 30 %
 ■ Гречиха 20 %
 ■ Кукуруза 100 % (Контроль)

Рисунок 3. Выход спирта при сбраживании зернового суслу, содержащего различное количество гречихи: а – в см³/100 г условного крахмала; б – в см³/100 г сырья

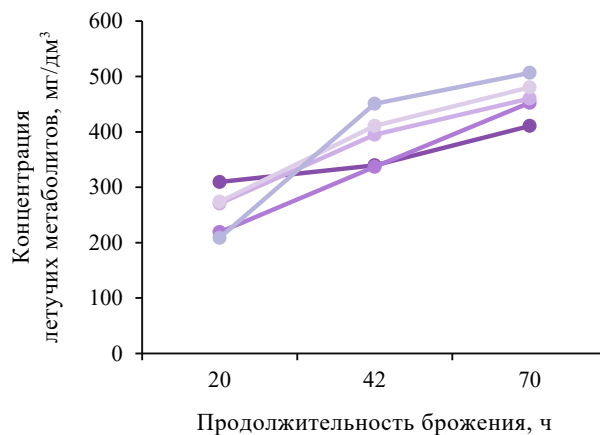
Figure 3. Alcohol yield during grain wort fermentation with different buckwheat shares: a – per cm³/100 g conventional starch; b – per cm³/100 g raw material

тельно превышался при сбраживании гречишного суслу – 61,2 см³/100 г крахмала.

Как показали результаты предварительных исследований [24, 38], введение гречихи в состав сырьевых компонентов суслу оказывало некоторое влияние на метаболизм дрожжевых клеток, что приводило к изменению в составе вторичных метаболитов, сопутствующих синтезу этанола, и снижению их общего количества.

Сравнительный анализ динамики синтеза летучих метаболитов дрожжами *S. cerevisiae* 985-T в процессе сбраживания кукурузного, гречишного и гречишно-кукурузного суслу подтвердил, что использование гречихи отразилось как на уровне образования общего количества побочных продуктов брожения, так и на их составе (рис. 4, 5). Концентрация зависела от стадии брожения и содержания гречихи в сусле (рис. 5). На 20 ч сбраживания гречишного суслу сформировалось основное количество летучих метаболитов (309,6 мг/дм³), образующихся при синтезе этанола. Их концентрация была в 1,5 раза выше, чем в кукурузной бражке. Полученные данные коррелируют с уровнем образования этанола за этот период, концентрация которого составила 6,8 % об. (рис. 2b), что значительно превысило аналогичные показатели кукурузной бражки – 4,9 % об.

Более интенсивное образование побочных метаболитов выявлено при сбраживании кукурузного и гречишно-кукурузного суслу (рис. 4). Их максимальная концентрация (506,4 мг/дм³) отмечена в кукурузной



● Гречиха 100 %
 ● Гречиха 50 %
 ● Гречиха 30 %
 ● Гречиха 20 %
 ● Кукуруза 100 % (Контроль)

Рисунок 4. Динамика образования летучих метаболитов дрожжами *S. cerevisiae* 985-T при сбраживании зернового суслу, содержащего разное количество гречихи

Figure 4. Formation of volatile metabolites by *S. cerevisiae* 985-T during grain wort fermentation with different buckwheat shares

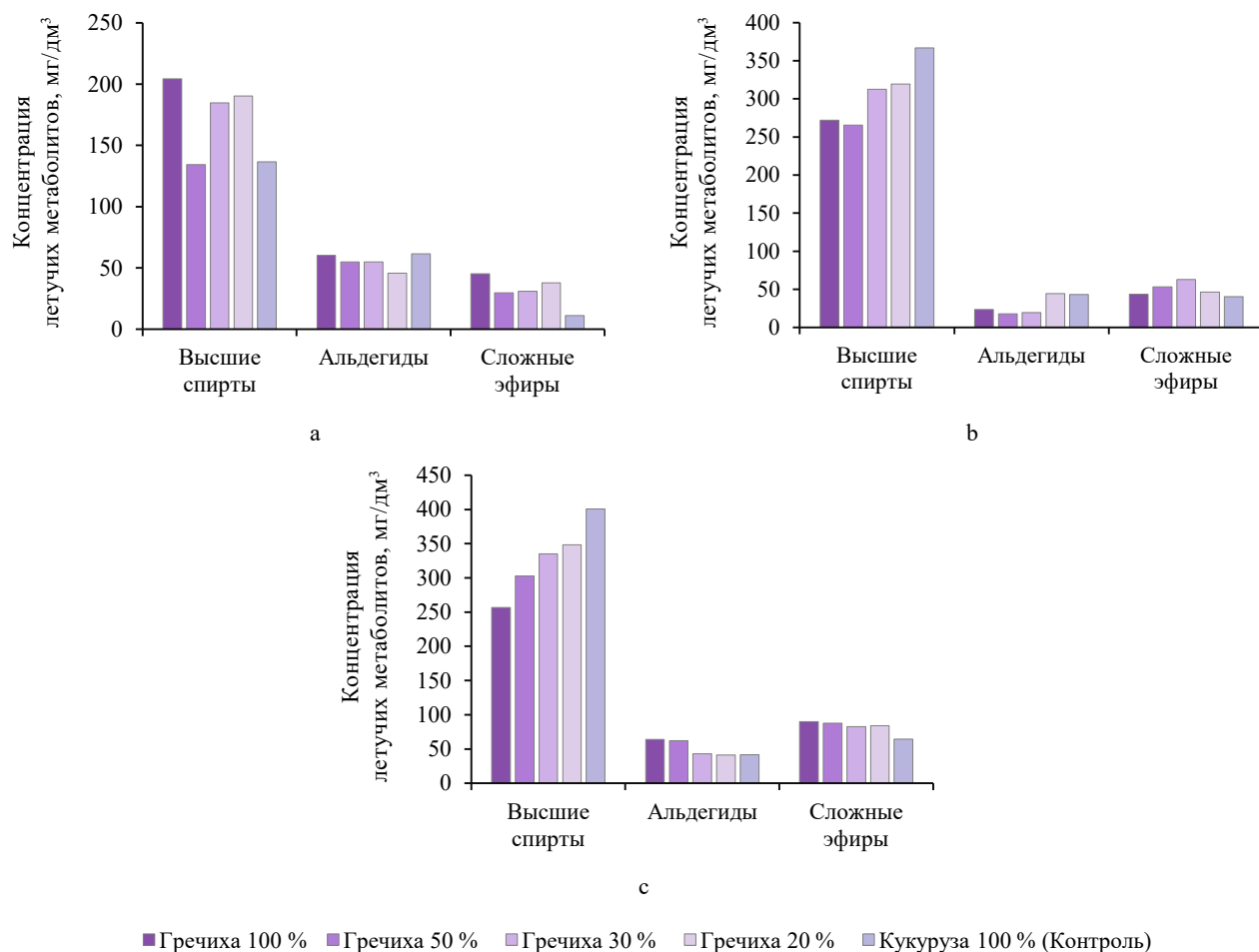


Рисунок 5. Изменение состава летучих метаболитов, синтезированных дрожжами *S. cerevisiae* 985-T в процессе сбраживания зернового сусла, содержащего различное количество гречихи: а – на 20 ч брожения; б – на 42 ч брожения; с – на 70 ч брожения

Figure 5. Composition of volatile metabolites synthesized by *S. cerevisiae* 985-T during grain wort fermentation with different buckwheat shares: a – after 20 h of fermentation; b – after 42 h of fermentation; c – after 70 h of fermentation

бражке на 70 ч брожения. Основная доля в составе метаболитов приходилась на высшие спирты, концентрация которых на 60 % превосходила показатели в гречишной бражке и на 15–30 % – в гречишно-кукурузной (рис. 5с).

Гречишная и гречишно-кукурузные бражки характеризовались более высоким содержанием сложных эфиров, чем кукурузная (рис. 5). Присутствие этих компонентов в составе летучих метаболитов может повлиять на возникновение оригинальных оттенков в аромате и вкусе спиртных напитков, по сравнению с зерновыми дистиллятами, полученными при сбраживании традиционных зерновых культур.

Выводы

Добавление гречишного сырья в зерновое сусло оказывает значительное влияние на ряд ключевых процессов: динамику роста дрожжей *S. cerevisiae* 985-T, потребление азота и углеводов, синтез этанола и побочных про-

дуктов брожения, а также на состав летучих метаболитов в бражке. Продемонстрированы преимущества в использовании гречихи в смеси с традиционно применяемой культурой в спиртовом производстве – кукурузе.

Введение гречихи в состав сырьевых компонентов сусла стимулировало интенсификацию процессов генерации дрожжей и спиртового брожения на первой стадии: к 20 ч концентрация клеток возросла в 1,5 раза, этанола – в 1,4 раза, по сравнению с кукурузной бражкой. После 42 ч брожения синтез этилового спирта замедлился, а концентрация этанола в гречишно-кукурузных (20 и 30 % гречихи) и кукурузной бражках становилась практически одинаковой, при этом выход спирта соответствовал установленным нормам.

Сравнительный анализ динамики синтеза летучих метаболитов дрожжами *S. cerevisiae* 985-T позволил сделать вывод, что их концентрация и состав зависят как от стадии брожения, так и от содержания гречихи в сусле. Через 20 ч сбраживания гречишного сусла

сформировалось основное количество летучих метаболитов (309,6 мг/дм³), сопутствующих выделению этанола, концентрация которых была выше в 1,5 раза, чем в кукурузном. Более интенсивное образование этих метаболитов происходило при сбраживании кукурузного и гречишно-кукурузного суслу. Максимальная концентрация (506,4 мг/дм³) была зафиксирована в кукурузной бражке на 70 ч брожения. Основную часть метаболитов составляли высшие спирты, концентрация которых на 60 % превышала показатели гречишной бражки и на 15–30 % – гречишно-кукурузной. Гречишная и гречишно-кукурузные бражки характеризовались более высоким содержанием сложных эфиров, что может оказать влияние на возникновение оригинальных оттенков в аромате и вкусе спиртных напитков, по сравнению с зерновыми дистиллятами, полученными в результате сбраживания традиционных зерновых культур.

Полученные на примере гречиши результаты свидетельствуют о возможности использования нетрадиционного сырья для направленного регулирования состава и концентрации компонентов зернового суслу, способствующих формированию физико-химических и органолептических характеристик зерновых дистиллятов и спиртных напитков.

Критерии авторства

Е. М. Серба, Л. В. Римарева проводили разработку концепции и дизайна исследования, анализ и интерпретацию литературных данных, осуществляли написание статьи и ее редактирование, подготовку статьи к публикации. Е. Р. Крючкова, М. Б. Оверченко, Н. И. Игнатова, Н. В. Матросова – сбор и анализ литературных и экспериментальных данных, обработка рисунков и таблиц.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

E.M. Serba and L.V. Rimareva developed the research concept and designed the study, wrote the review, drafted the manuscript, and proofread the final version. E.R. Kryuchkova, M.B. Overchenko, N.I. Ignatova, and N.V. Matrosova collected, analyzed, and processed the experimental data.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Tokpohozin SE, Fischer S, Becker T. Optimization of malting conditions for two landraces of West African sorghum and influence of mash bio-acidification on saccharification improvement. *Journal of Cereal Science*. 2019;85:192–198. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.12.011>
2. Танашкина Т. В., Перегоедова А. А., Семенюта А. А., Боярова М. Д. Безглютеновые гречишные квасы с добавлением пряно-ароматического сырья. *Техника и технология пищевых производств*. 2020. Т. 50. № 1. С. 70–78. [Tanashkina TV, Peregoedova AA, Semenyuta AA, Boyarova MD. Gluten-free buckwheat kvass with aromatic raw materials. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(1):70–78. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-70-78>
3. Серба Е. М., Римарева Л. В., Чан В. Т., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И. и др. Влияние особенностей состава зерна сорго на эффективность его микробной конверсии в этанол и лизин. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*. 2022. Т. 15. № 3. С. 347–362. [Serba EM, Rimareva LV, Tran VC, Overchenko MB, Ignatova NI, et al. The influence of the sorghum grain composition on the efficiency of its microbial conversion to ethanol and lysine. *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2022;15(3):347–362. (In Russ.)] <https://www.elibrary.ru/NXFKUH>
4. Хоконова М. Б., Прохорская Т. А. Разработка технологии производства пива функционального назначения. Перспективные разработки и прорывные технологии в АПК: Сборник материалов Нац. науч.-практич. конф. Тюмень, 2020. С. 57–61. [Khokonova MB, Prokhorskaya TA. Development of technology for the production of functional beer. *Advanced developments and breakthrough technologies in the agro-industrial complex. National Sci. Conf. Tyumen*; 2020:57–61. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ATCNKV>
5. Бурак Л. Ч. Перспективы производства пива с функциональными свойствами. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 2. С. 79–88. [Burak LCh. Prospects for the production of beer with functional properties. *Technologies for the food and processing industry of AIC – Healthy food*. 2021;(2):79–88. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-2-79-88>
6. Семенюта А. А., Танашкина Т. В., Семенюта В. Н. Получение и оценка качества специального гречишного солода. *Индустрия питания*. 2023. Т. 8. № 1. С. 54–63. [Semenyuta AA, Tanashkina TV, Semenyuta VN. Special buckwheat malt obtaining and quality evaluating. *Food Industry*. 2023;8(1):54–63. (In Russ.)] <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-1-6>
7. Кобелев К. В., Гернет М. В., Хурушудян С. А. Тритикале – перспективная зерновая культура для натуральных напитков брожения. *Пиво и напитки*. 2016. № 3. С. 26–29. [Kobelev KV, Gernet MV, Hurushudjan SA. Triticale – a promising crops for natural fermented beverages. *Beer and beverages*. 2016;(3):26–29. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WFKCNH>

8. Сулейманова П. А., Халенгинова Д. А. Разработка технологии слабоалкогольного напитка брожения из нетрадиционного сырья. Вестник науки. 2022. Т. 4. № 12. С. 465–469. [Suleymanova PA, Khalenginova DA. Development of technology of low-alcoholic fermented beverage from non-traditional raw materials. Bulletin of Science. 2022;4(12):465–469. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/JNLEDW>
9. Попова Н. В., Гаврилова К. С., Науменко Е. Е. Использование пророщенного зерна *Fagopyrum esculentum* в технологии пробиотических напитков. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2022. Т. 10. № 4. С. 18–25. [Popova NV, Gavrilova KS, Naumenko EE. Evaluation of the possibility of using sprouted green buckwheat in the technology of probiotic drinks. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology. 2022;10(4):18–25. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/KSSEIQ>
10. Каменская Е. П., Обрезкова М. В., Вагнер В. А. Перспективы использования полисолодовых экстрактов в технологии производства квасов брожения. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2019. № 3. С. 19–25. [Kamenskaya EP, Obrezkova MV, Vagner VA. Prospective of polymalt extract use in production of kvass fermentation. Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff. 2019;(3):19–25. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/JDGGIV>
11. Миллер Ю. Ю., Помозова В. А., Киселева Т. Ф. Оценка пригодности высокобелковых сортов злаковых культур к использованию в производстве ферментированных зерновых напитков. Пиво и напитки. 2024. № 1. С. 4–9. [Miller YuYu, Pomozova VA, Kiseleva TF. Assessment of the suitability of high-protein varieties of cereals for use in the production of fermented grain drinks. Beer and beverages. 2024;(1):4–9. (In Russ.)] <https://doi.org/10.52653/PIN.2024.01.02>
12. Franitz L, Granvogl M, Schieberle P. Influence of the production process on the key aroma compounds of rum: From molasses to the spirit. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2016;64(47):9041–9053. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04046>
13. Никитина С. Ю., Гордиенко А. С., Зуева Н. В., Яковлев А. Н. К вопросу о получении зерновых дистиллятов из ферментированного сырья. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2024. Т. 86. № 1. С. 89–96. [Nikitina SYu, Gordienko AS, Zueva NV, Yakovlev AN. On the issue of obtaining grain distillates from fermented raw materials. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2024;86(1):89–96. (In Russ.)] <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-1-89-96>
14. Ravelo RCM, Gastl M, Becker T. Characterization of molar mass and conformation of relevant (non-)starch polysaccharides in cereal-based beverages. International Journal of Biological Macromolecules. 2024;261(Part 2):129942. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129942>
15. Абрамова И. М., Медриш М. Э., Савельева В. Б., Романова А. Г., Гаврилова Д. А. Исследование летучих примесей в спиртных напитках, изготовленных из выдержанных зерновых дистиллятов. Пищевая промышленность. 2018. № 7. С. 74–76. [Abramova IM, Medrish ME, Savel'eva VB, Romanova AG, Gavrilova DA. Study of volatile impurities in alcoholic beverages made from aged grain distillates. Food Industry. 2018;(7):74–76. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XUOBF>
16. Волкова С. В., Яковлева О. В. Оценка качества дистиллятов для производства виски из некоторых видов зернового сырья местной селекции. Вестник Могилевского Государственного университета продовольствия. 2019. № 1. С. 77–83. [Volkova SV, Yakovleva OV. 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. 2019;(1):77–84. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/GFFGFP>
17. Абрамова И. М., Туршатов М. В., Соловьев А. О., Никитенко В. Д., Леденев В. П. и др. О производстве этилового спирта и дистиллятов с использованием фруктового сырья совместно с зерновым. Пищевая промышленность. 2023. № 5. С. 67–69. [Abramova IM, Turshatov MV, Solov'ev AO, Nikitenko VD, Ledenev VP, et al. On the production of ethyl alcohol and distillates using fruit raw materials together with grain. Food Industry. 2023;(5):67–69. (In Russ.)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.019>
18. Кириллов Е. А., Кононенко В. В., Грунин Е. А., Соловьев А. О., Алексеев А. Н. Производство зернового дистиллята на брагоректификационных установках из крахмалсодержащего сырья. Пиво и напитки. – 2016. № 3. С. 23–24. [Kirillov EA, Kononenko VV, Grunin EA, Solovyov AO, Alekseev AN. Production of grain distillates of starch-containing raw material at the rectification installation. Beer and beverages. 2016;(3):23–24. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WFKCMX>
19. Oganesyants LA, Peschanskaya VA, Krikunova LN, Dubinina EV. Research of technological parameters and criteria for evaluating distillate production from dried jerusalem artichoke. Carpathian Journal of Food Science and Technology. 2019;11(2):185–196. <https://doi.org/10.34302/crpfjst/2019.11.2.15>
20. Deželak M, Zarnkow M, Becker T, Košir IJ. 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. 2014;120(4):360–370. <https://doi.org/10.1002/jib.166>
21. Агафонов Г. В., Чусова А. Е., Ковальчук Н. С., Зуева Н. В. Возможность применения гречихи в технологии ферментированного солода. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 4. С. 170–176. [Agafonov GV, Chusova AE, Kovalchuk NS, Zuyeva NV. The possibility of buckwheat application in the fermented malt technology. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2018;80(4):170–176. (In Russ.)] <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-170-176>

22. Серба Е. М., Римарева Л. В., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И., Микуляк А. А. и др. Обоснование перспективы использования гречихи в производстве оригинальных спиртных напитков. Пищевая промышленность. 2023. № 5. С. 45–47. [Serba EM, Rimareva LV, Overchenko MB, Ignatova NI, Mikulyak AA, *et al.* Substantiation of the prospects of using buckwheat in the production of original alcoholic beverages. Food Industry. 2023;(5):45–47. (In Russ.)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.012>
23. Zhu F. Buckwheat proteins and peptides: Biological functions and food applications. Trends in Food Science and Technology. 2021;110:155–167. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.081>
24. Серба Е. М., Римарева Л. В., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И., Крючкова Е. Р. и др. Биотехнологические аспекты использования гречихи в производстве оригинальных спиртных напитков Биотехнология. 2023. Т. 39. № 2. С. 10–16. [Serba EM, Rimareva LV, Overchenko MB, Ignatova NI, Kryuchkova ER, *et al.* Biotechnological aspects of the use of buckwheat in the production of original alcoholic beverages. Biotechnology. 2023;39(2):10–16. (In Russ.)] <https://doi.org/10.56304/S0234275823020114>
25. Yilmaz HÖ, Ayhan NY, Meriç ÇS. Buckwheat: A useful food and its effects on human health. Current Nutrition and Food Science. 2020;16(1):29–34. <http://doi.org/10.2174/1573401314666180910140021>
26. Танашкина Т. В., Осипенко Э. Ю., Танашкин А. С., Семенюта А. А., Лях В. А. Содержание полифенольных соединений в траве гречихи посевной в зависимости от агротехнических и абиотических факторов и оценка возможности ее использования в пищевых технологиях. Аграрная наука. 2023. № 9. С. 166–170. [Tanashkina TV, Osipenko EYu, Tanashkin AS, Semenyuta AA, Lyakh VA. The content of polyphenolic compounds in buckwheat grass depending on agro-technical and abiotic factors and the assessment of the possibility of its use in food technologies. Agrarian science. 2023;(9):166–170. (In Russ.)] <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-166-170>
27. Giménez-Bastida JA, Zieliński H. Buckwheat as a functional food and its effects on health. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2015;63(36):7896–7913. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02498>
28. Zieliński H, Ciesarová Z, Kukurová K, Zielinska D, Szawara-Nowak D, *et al.* Effect of fermented and unfermented buckwheat flour on functional properties of gluten-free muffins. Journal of Food Science and Technology. 2017;54:1425–1432. <http://doi.org/10.1007/s13197-017-2561-4>
29. Hussein AMS, Abd El-Aal HA, Morsy NM, Hassona MM. Chemical, rheological, and sensory properties of wheat biscuits fortified with local buckwheat. Foods and Raw Materials. 2024;12(1):156–167. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-1-597>
30. Зенькова М. Л., Мельникова Л. А., Тимофеева В. Н. Безалкогольные напитки из пророщенной гречихи: технологические аспекты и пищевая ценность. Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 316–325. [Zenkova ML, Melnikova LA, Timofeeva VN. Non-alcoholic beverages from sprouted buckwheat: Technology and nutritional value. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):316–325. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2435>
31. Танашкина Т. В., Семенюта А. А., Троценко А. С., Клыков А. Г. Безглютеновые слабоалкогольные напитки из светлого и томленного гречишного солода. Техника и технология пищевых производств. 2017. Т. 45. № 2. С. 74–80. [Tanashkina TV, Semenyuta AA, Trotsenko AS, Klykov AG. Gluten-free low-alcohol beverages fermented from light and scalding buckwheat malt. Food Processing: Techniques and Technology. 2017;45(2):74–80. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21179/2074-9414-2017-2-74-80>
32. Зенькова М. Л., Мельникова Л. А. Микробиологическая оценка процесса прорастивания зерна пшеницы и гречихи. Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 4. С. 795–804. [Zenkova ML, Melnikova LA. Microbiological assessment of wheat and buckwheat sprouting process. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(4):795–804. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-795-804>
33. Грушин Р. В., Колесниченко М. Н., Дворяткина И. Б. Повышение качественных характеристик светлого пива при использовании несоложенной обжаренной гречихи. Ползуновский вестник. 2022. № 2. С. 74–81. [Gruschin RV, Kolesnichenko MN, Dvoryatkina IB. Improving the quality characteristics of light beer when using molt-free roasted buckwheat. Polzunovskiy vestnik. 2022;(2):74–81. (In Russ.)] <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.010>
34. Горькова И. В., Павловская Н. Е., Даниленко А. Н. Экстракты гречихи посевной и софоры японской как сырьевые источники биологически активных веществ. Пищевая промышленность. 2016. № 2. С. 30–32. [Gorkova IV, Pavlovskaya NE, Danilenko AN. Extracts of buckwheat and sophora japonica as a raw source of biologically active substances. Food Industry. 2016;(2):30–32. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WBAHRH>
35. Starowicz M, Koutsidis G, Zielinski H. Sensory analysis and aroma compounds of buckwheat containing products—a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2018;58(11):1767–1779. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1284742>
36. Новикова И. В., Калаев В. Н., Агафонов Г. В., Коротких Е. А., Мальцева О. Ю. и др. 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. 2015. № 2. С. 73–79. [Novikova IV, Kalaev VN, Agafonov GV, Korotkikh EA, Maltseva OYu, *et al.*

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. 2015;(2):73–79. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TTUHAJ>

37. Deželak M, Gebremariam MM, Zarnkow M, Becker T, Košir IJ. Part III: The influence of serial repitching of *Saccharomyces Pastorianus* on the production dynamics of some important aroma compounds during the fermentation of barley and gluten-free buckwheat and quinoa wort. Journal of the Institute of Brewing. 2015;121(3):387–399. <https://doi.org/10.1002/jib.243>

38. Серба Е. М., Крючкова Е. Р., Римарева Л. В., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И. и др. Исследование процессов метаболизма спиртовых дрожжей при сбраживании гречишно-кукурузного сусла. Пищевые системы. 2024. Т. 7. № 1. С. 77–83. [Serba EM, Kryuchkova ER, Rimareva LV, Overchenko MB, Ignatova NI, Pavlenko SV, et al. Investigation of metabolic processes of alcohol yeast during the fermentation of buckwheat-corn wort. Food systems. 2024;7(1):77–83. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-77-83>

39. Rimareva LV, Serba EM, Overchenko MB, Shelekhova NV, Ignatova NI, et al. Enzyme complexes for activating yeast generation and ethanol fermentation. Foods and Raw Materials. 2022;10(1):127–136. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-127-136>

40. Костылева Е. В., Середа А. С., Великорецкая И. А., Игнатова Н. И., Цурикова Н. В. и др. Интенсификация получения ферментных препаратов глюкоамилазы и ксиланазы для производства спирта из зернового сырья. Пищевая промышленность. 2020. № 4. С. 39–42. [Kostyleva EV, Sereda AS, Velikoretskaya IA, Ignatova NI, Tsurikova NV, et al. Intensification of the production of glucoamylase and xylanase enzyme preparations for ethanol production from grain raw materials. Food Industry. 2020;(4):39–42. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YOGELV>

41. Поляков В. А., Абрамова И. М., Полыгалина Г. В., Римарева Л. В., Корчагина Г. Т. и др. Инструкция по технохимическому и микробиологическому контролю спиртового производства. М.: ДеЛи принт, 2007. 480 с. [Polyakov VA, Abramova IM, Polygalina GV, Rimareva LV, Korchagina GT, et al. Instructions for technochemical and microbiological control of alcohol production. Moscow: DeLi print; 2007. 480 p. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PWWGGD>

42. ОФС.1.2.3.0022.15 Определение аминного азота методами формольного и йодометрического титрования. Фармакопей.рф. [OFS.1.2.3.0022.15 Determination of amine nitrogen by formol and iodometric titration methods. Pharmacopoeia.rf. [cited 2023 Sept 10]. (In Russ.)] Available from: <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-2-3-0022-15-opredelenie-aminного-azota-metodami-formolного-i-jodometricheskogo-titrovaniya/?amp=1>

43. Абрамова И. М., Медриш М. Э., Савельева В. Б., Приёмухова Н. В., Романова А. Г. и др. Сравнительный анализ методов исследования примесей в дистиллятах и спиртных напитках на их основе. Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 2. С. 14–19. [Abramova IM, Medrish MJ, Savel'eva VB, Prijomuhova NV, Romanova AG, et al. Comparative analysis of impurity measurement methods in distillates and alcoholic beverages. Storage and Processing of Farm Products. 2018;(2):14–19. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/UVIZKA>

44. Короткова О. Г., Рожкова А. М., Кислицин В. Ю., Сеницына О. А., Денисенко Ю. А. и др. Новые кормовые ферментные препараты для деструкции некрахмальных полисахаридов и фитатов. Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2023. Т. 64. № 2. С. 178–186. [Korotkova OG, Rozhkova AM, Kislitsin VYu, Sinitsyna OA, Denisenko YuA, et al. New feed enzyme preparations for the destruction of non-starch polysaccharides and phytates. Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 2. Chemistry. 2023;64(2):178–186. (In Russ.)] <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9384-2-2023-64-2-178-186>