

УДК 664.764:663.14.038.3

Влияние способа получения экстрактов из зерновых отрубей на ферментативную активность *Saccharomyces Cerevisiae* W-34/70

Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия

Л. В. Пермякова, И. Ю. Сергеева, И. А. Короткий, С. С. Лашицкий, Л. А. Рябоконева

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Короткий Игорь Алексеевич

E-mail: krot69@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования

доступны по запросу

у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Пермякова, Л.В., Сергеева, И.Ю., Короткий, И.А., Лашицкий, С.С., & Рябоконева, Л.А. (2023). Влияние способа получения экстрактов из зерновых отрубей на ферментативную активность *Saccharomyces Cerevisiae* W-34/70.

Хранение и переработка сельхозсырья, (2), 132-145. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.445>

ПОСТУПИЛА: 15.02.2023

ПРИНЯТА: 17.07.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.07.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-20102, <https://rscf.ru/project/22-26-20102/> (дата соглашения 25.03.2022) и Кемеровской области (Кузбасса).

АННОТАЦИЯ

Введение: Сокращение длительности ферментации среды, накопления биомассы — актуальная задача в производстве продуктов брожения. Интенсификация процесса сбраживания суслу напрямую связана с активностью дрожжей. Зерновые отруби — доступный источник биологически ценных для дрожжей веществ (азотистых, минеральных, витаминов), извлечение которых возможно различными приемами.

Цель: Изучить влияние экстрактов, полученных обработкой отрубей (пшеничных, ржаных, овсяных) ультразвуком (УЗ) и ферментными препаратами, на бродильную активность пивных дрожжей W-34/70.

Материалы и методы: Объекты — экстракты отрубей, производственные пивные дрожжи. Параметры обработки водно-отрубных суспензий УЗ: мощность 30–90 % от полной, длительность от 1 до 7 минут; ферментными препаратами (Termamyl 60 L, Ultraflo XL, Alkalase, Ondea pro) — температура 55 °С, время от 40 до 120 минут.

Результаты: Выявлен максимальный выход сухих веществ и азота аминокислот через 5 минут озвучивания при мощности УЗ 70 % в ржаном экстракте. Высокое накопление аминного азота в экстрактах обеспечили препараты Alkalase (в 1,4–2 раза по отношению к контролю — отруби без обработки), Ultraflo XL (в 1,1–2,5 раза), Ondea pro (в 1,2–2,3 раза), редуцирующих веществ — Termamyl (в 1,2–3 раза), Ondea pro (в 1,1–3,8 раза), Ultraflo XL (в 1,2–1,7 раза). По абсолютным значениям исследуемых показателей преимущество у ржаных и пшеничных экстрактов при любом способе получения. Бродильная активность дрожжей после 20 минут обработки УЗ экстрактами (ржаным/овсяным) в среднем на 40 % выше в сравнении с пшеничным экстрактом, после выдержки с ферментативными экстрактами (Termamyl и Ondea pro) — на 170 и 260 % больше контроля.

Выводы: Использование отрубных экстрактов повышает биокаталитическую активность пивных дрожжей W-34/70, что в дальнейшем интенсифицирует размножение культуры, азотистый обмен с целью получения биоактивных пептидов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

отруби зерновые, ультразвук, ферментные препараты, аминный азот, дрожжи пивные, бродильная активность



The Influence of the Method of Obtaining Extracts From Cereal Bran for the Enzymative Activity of *Saccharomyces Cerevisiae* W-34/70

Kemerovo State University, Moscow,
Russia

Larisa V. Permyakova, Irina Y. Sergeeva, Igor' A. Korotkiy,
Sergey S. Lashitsky, Larisa A. Ryabokoneva

CORRESPONDENCE:

Igor' A. Korotkiy

E-mail: krot69@mail.ru

FOR CITATIONS:

Permyakova, L.V., Sergeeva, I.Yu., Korotkiy, I.A., Lashitsky, S.S., & Ryabokoneva L.A. (2023). The Influence of the Method of Obtaining Extracts From Cereal Bran for the Enzymative Activity of *Saccharomyces Cerevisiae* W-34/70. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 132-145. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.445>

RECEIVED: 15.02.2023

ACCEPTED: 17.07.2023

PUBLISHED: 30.07.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation No. 22-26-20102, <https://rscf.ru/project/22-26-20102/> (date of agreement 03/25/2022) and the Kemerovo Region (Kuzbass).

ABSTRACT

Background: Reducing the duration of the fermentation of the medium, the accumulation of biomass is an urgent task in the production of fermentation products. The intensification of the must fermentation process is directly related to the activity of the yeast. Cereal bran is an affordable source of biologically valuable substances for yeast (nitrogenous, mineral, vitamins), the extraction of which is possible by various methods.

Purpose: To study the effect of extracts obtained by processing bran (wheat, rye, oat) with ultrasound (US) and enzyme preparations on the fermentation activity of brewer's yeast W-34/70

Materials and Methods: Processing parameters of aqueous bran suspensions US: power 30–90% of full, duration from 1 to 7 minutes; enzyme preparations (Termamyl 60 L, Ultraflo XL, Alkalase, Onda pro) - temperature 55 ° C, time from 40 to 120 minutes. The maximum yield of solids and nitrogen of amino acids was revealed after 5 minutes of sonication at an ultrasound power of 70% in rye extract.

Results: The maximum yield of solids and nitrogen of amino acids was revealed after 5 minutes of sonication at an ultrasound power of 70 % in rye extract. The high accumulation of amine nitrogen in the extracts was provided by Alkalase preparations (by 1.4–2 times in relation to the control bran without treatment), Ultraflo XL (by 1.1–2.5 times), Onda pro (by 1.2–2.3 times), reducing substances – Termamyl (by 1.2–3 times), Onda pro (by 1.1–3.8 times), Ultraflo XL (by 1.2–1.7 times). According to the absolute values of the studied parameters, rye and wheat extracts have an advantage for any method of obtaining. The fermentation activity of yeast after 20 minutes of treatment with ultrasonic extracts (rye/oatmeal) is on average 40% higher compared to wheat extract, after aging with enzymatic extracts (Termamyl and Onda pro) it is 170 % and 260 % higher than control.

Conclusion: The use of bran extracts increases the biocatalytic activity of brewer's yeast W-34/70, which further intensifies the propagation of the culture, nitrogen metabolism in order to obtain bioactive peptides.

KEYWORDS

grain bran, ultrasound, enzyme preparations, amine nitrogen, brewer's yeast, fermentation activity



ВВЕДЕНИЕ

Полноценность питательной среды — обязательное условие для нормального развития любого биологического объекта, в том числе дрожжей. В процессе культивирования дрожжей с целью получения как напитков брожения, спирта, так и биомассы клеток для извлечения биологически активных субстанций, в зависимости от концентрации растворенных веществ среды, принятых технологических режимов и используемого оборудования микробная культура может испытывать различного рода стрессы, ухудшающие размножение популяции, приводящие к ее дегенерации, торможению процесса ферментации среды, негативным изменениям в целом характеристик готового продукта (Annemuller et al., 2011; Меледина с соавт., 2013; Пермькова, 2016; Shiyan et al., 2017). Минимизация данных отклонений возможна разнообразными приемами, с использованием различных источников органических и неорганических веществ (Пермькова, 2016; Ковалева с соавт., 2021; Rimareva et al., 2022). Одним из таковых ресурсов являются отруби — вторичные продукты переработки мукомольного производства. Обычно отруби используют в качестве источника пищевых волокон в хлебопекарном и макаронном производстве, в кормах для животных и как важный компонент продуктов функционального назначения (Казаков & Карпиленко, 2005; Лукьянчикова с соавт., 2020; Nemes et al., 2022).

По сравнению с нативным сырьем содержание крахмала в отрубях ниже в 2,5–3 раза, однако количество некрахмальных полисахаридов, белковых и минеральных компонентов на порядок больше. В состав отрубей входят биологически активные компоненты, такие как полифенолы, водорастворимая клетчатка (β -глюкан, арабиноксилан), устойчивый крахмал, обладающие антиоксидантной и пребиотической активностью, жирорастворимые и водорастворимые витамины (Казаков & Карпиленко, 2005; Chalamacharla et al., 2018; Nemes et al., 2022). По содержанию минеральных веществ в отрубях среди множества макроэлементов лидируют калий, фосфор, магний и кальций (Крикунова с соавт., 2021). Наличие широкого набора аминокислот позволяет использовать отруби в качестве дополнительного источника азотистого питания для микробной культуры, что отмечено рядом авторов при получении дистиллятов (Крикунова & Дубинина 2022; Крикунова с соавт., 2022), культивиро-

вании микроорганизмов (Капрельянц & Журлова, 2015; Иштуганова & Гаричева, 2021; Шарова с соавт., 2023). Учитывая это, зерновые отруби можно рассматривать как альтернативный ресурс факторов роста и питания для пивных дрожжей.

Для интенсификации извлечения необходимых компонентов из сырья можно применять разнообразные методы воздействия: химические, биохимические, физические (Pasha et al., 2020; Ковалева с соавт., 2021; Крикунова с соавт., 2021; Витол, 2022; Krikunova et al., 2023; Pogorelova & Gavrilova, 2023). С этой точки зрения интерес представляет использование ультразвука (УЗ), как одного из наиболее изученного, доступного и экологичного с точки зрения снижения нагрузки на сам продукт и окружающую среду физического фактора (Верещагин & Хмелева, 2010; Chemat et al., 2011; Калужина с соавт., 2020; Пономарёва с соавт., 2020; Gavahian et al., 2022). Биологический эффект УЗ зависит от свойств объекта, мощности и длительности действия. При малой и кратковременной интенсивности УЗ наблюдается положительное воздействие на биологический объект без его разрушения, в противном случае — происходят необратимые разноуровневые (тканевые, клеточные, молекулярные) повреждения. Основной механизм УЗ определяется эффектом кавитации в жидких средах, а также изменением проницаемости клеточных стенок и мембран, скорости физиолого-биохимических процессов, температурным воздействием (Верещагин & Хмелева, 2010; Chemat et al., 2011).

В ряде работ показано использование УЗ обработки с целью интенсификации экстракции белка, арабиноксилана, фенольных веществ, деградации клеточных стенок, повышения окислительной стабильности, изменения структурно-функциональных свойств растительных объектов, в том числе зерновых и бобовых (пшеницы и сои) (Моргунова, 2022), корня *Polyscias fruticosa* (L.) Harms (Quoc & Anh, 2023), подсолнечного жмыха в смеси с молочной сывороткой (Волончук с соавт., 2022), отрубей пшеничных (Wang et al., 2014; Habuš et al., 2021), рисовых (Wang et al., 2021), кунжутных (Görgüç et al., 2020), овсяных (Зяйнитдинов с соавт., 2020). При этом применяли ультразвуковые установки различных производителей, параметры воздействия отличались частотой (от 18–20 кГц до 35 кГц), мощностью (от 100 Вт до 550 Вт), длительностью озвучивания (в большинстве случаев от 10 до 30 мин).

Другим способом повышения выхода ценных веществ из сырья является ферментативный, позволяющий в различной степени осуществить деградацию биополимеров исходного сырья (Погорелова с соавт., 2020; Pasha et al., 2020; Ковалева с соавт., 2021; Сербс с соавт., 2022; Rimareva et al., 2022; Krikunova et al., 2023). Спектр биокатализаторов характеризуется производителями (отечественными и зарубежными), наличием активности ферментов (одного или нескольких), оптимальными условиями действия.

Целью данной статьи являлось исследование возможности применения зерновых отрубей в виде водных экстрактов, полученных с использованием УЗ либо биокатализаторов, для стимуляции биохимических свойств пивных дрожжей *S. cerevisiae* W-34/70. При этом решались следующие задачи: (1) определение рациональных параметров получения экстрактов из отрубей в результате воздействия УЗ или ферментных препаратов, (2) оценка бродительной активности дрожжевой культуры после обработки экстрактами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Объекты изучения — водные экстракты зерновых отрубей и производственные пивные дрожжи низового брожения *S. cerevisiae* W-34/70 (ООО «ТД «Золотая сова», г. Кемерово).

Для получения экстрактов использовали отруби: пшеничные, овсяные (ООО «Эверест», С-Петербург), ржаные (ООО «Эль-Про», Тульская область, г. Узловая). Дрожжи расы W-34/70 были выбраны с учетом их широкого использования для ферментации сусла на отечественных пивоваренных заводах.

Оборудование

Отруби измельчали на лабораторной мельнице (модель ЛЗМ-1), рассевали на ситах (с диаметром отверстий $d_1 = 1,0$ мм, $d_2 = 0,50$ мм).

Для обработки отрубей УЗ использовали установку «Волна» УЗТА-0,63/22-ОМ (г. Бийск). Основные

технические характеристики: полная мощность 630 ВА, регуляция выходной мощности (30–100 %), частота механических колебаний $22 \pm 1,65$ кГц, интенсивность ультразвукового воздействия не менее 10 Вт/см². В условиях эксперимента длительность воздействия варьировалась от 1 до 7 минут.

Методы

Эффективность процесса экстрагирования оценивали общепринятыми методами: по количеству сухих веществ — рефрактометрическим способом, аминного азота — «медным» способом, редуцирующих веществ — йодометрическим методом в пересчете на мальтозу. В дрожжах до и после обработки определяли бродительную активность экспресс-методом по количеству выделившегося CO₂ за 1 час (Давыденко, 2012).

Процедура исследования

С учетом влияния размера частиц зернового сырья на содержание отдельных групп веществ и выход их в раствор (Аманжол с соавт., 2019; Ульянова с соавт., 2020; Крикунова & Дубинина 2022; Крикунова с соавт., 2022) в работе применяли фракцию, являющуюся сходом с сита $d_2 = 0,50$ мм.

Извлечение экстрактивных веществ осуществляли следующим образом: отруби смешивали с дистиллированной водой (гидромодуль 1:10) и подвергали ультразвуковому или ферментативному воздействию.

Воздействие на отруби биокатализаторов изучали на примере ферментных препаратов «Novozymes» (Дания): Termamyl 60 L, Ultraflo XL, Alkalase, Ondea pro (Таблица 1). В водно-отрубные суспензии вносили ферментные препараты в виде 1%-х растворов и помещали в водяную баню лабораторного шейкера. Параметры проведения гидролиза: температура 55 °С, длительность инкубации смеси при заданной температуре 40, 60, 90 и 120 минут, скорость перемешивания 50 мин⁻¹. Периодически отбирали пробы для оценки глубины гидролиза. Для инактивации ферментов растворы выдерживали в водяной бане при температуре 85 °С в течение 5 минут. Контролем служили водно-отрубные суспензии без экзогенного ферментативного воздействия, но с тем-

Таблица 1

Характеристика ферментных препаратов

Препарат	Основная активность
Termamyl	Термостабильная α -амилаза
Alkalase	Кислая эндопротеаза
Ultraflo XL	Целлюлоза, β -глюканаза, ксиланаза, α -амилаза
Ondea Pro	Термостабильная α -амилаза, протеаза, липаза, ксиланаза, β -глюканаза, пуллуланаза

пературной и временной выдержкой, аналогичной опытным образцам. Режимы обработки зерновых отрубей препаратами (доза, температура) соответствовали рекомендациям производителя.

Экстракты, полученные любым способом, центрифугировали при 3500 мин⁻¹ в течение 10 минут и применяли для активации дрожжевой культуры. Производственные пивные дрожжи смешивали с отрубными экстрактами в соотношении 1:1, выдерживали в диапазоне от 20 до 60 минут при температуре 24–25 °С. Контролем служила водно-дрожжевая суспензия (1:1) без обработки.

Анализ данных

Результаты работы обрабатывали статистически и выражали в средних значениях со стандартным отклонением. Различия считали достоверными при уровне вероятности $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

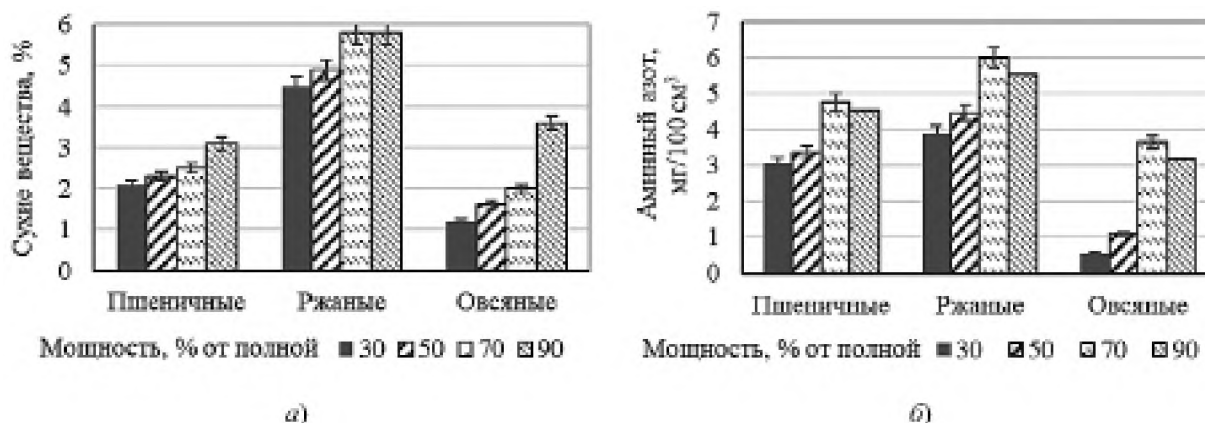
Получение экстрактов воздействием ультразвука

На первом этапе исследований определяли влияние обработки водно-отрубных суспензий УЗ в диапазоне 30–90 % от полной мощности при однотипной длительности воздействия (3 мин) на выход сухих веществ и содержание аминного азота. Полученные данные, представленные на Рисунке 1, свидетельствуют о возрастании сухих веществ в экстрактах с увеличением мощности УЗ воздействия. В исследуемом интервале мощности наибольший прирост сухих веществ наблюдается в овсяных экстрактах (при мощности 90 % увеличение в 3 раза в сравнении с мощностью 30 %, в то время как в пшеничных — в 1,5 раза, в ржаных в 1,3 раза). Однако абсолютные значения сухих веществ в экстрактах ржаных отрубей в среднем в 2,3 раза больше в сравнении с овсяными и пшеничными экстрактами.

Изменение содержания аминного азота имеет схожий характер, но при мощности 90 % происходит некоторое снижение величины данного показателя. Максимальное значение азота аминокислот при мощности УЗ 70 % в ржаном экстракте на 36 и 64 % выше, чем соответственно в экстрактах из пшеничных и овсяных отрубей. Приоритет ржаных отрубей по содержанию растворимого белка, аминного азота перед иными видами (пшеничными, тритикалевыми) отмечается в работах и других авторов (Ульянова с соавт., 2020; Крикунова с соавт.,

Рисунок 1

Содержание в экстрактах: а) сухих веществ, б) аминного азота в зависимости от мощности УЗ обработки отрубей



2022). В указанных исследованиях количество азота аминокислот в экстрактах ржаных отрубей фракции 0,56 мм было на 10–14 % больше, чем в пшеничных, при этом экстрагирование осуществляли методом настаивания в интервале от 5 до 30 минут при температуре 20–25 °С. Использование УЗ воздействия (в диапазоне мощности 30–90 % от полной) на зерновое сырье аналогичной фракции позволило нам существенно увеличить выход низкомолекулярных азотистых соединений из ржаных отрубей в сравнении с пшеничными — в среднем на 27 %.

С учетом выявленных тенденций определяли рациональное время обработки водных суспензий отрубей УЗ при мощности 70 % и 90 %, контролируя накопление аминного азота. Наибольший выход низкомолекулярных азотистых веществ был достигнут через 5 минут озвучивания при мощности 70 % (Рисунок 2). Величина этого показателя в ржаном экстракте в среднем в 1,4 раза выше в сравнении с пшеничным и овсяным экстрактами. Аналогичный характер изменений наблюдается при мощности 90 %, однако содержание аминного азота во всех образцах в среднем на 23 % ниже, чем при мощности 70 %. Дальнейшее увеличение длительности озвучивания при любой мощности приводит к снижению выхода данной группы веществ.

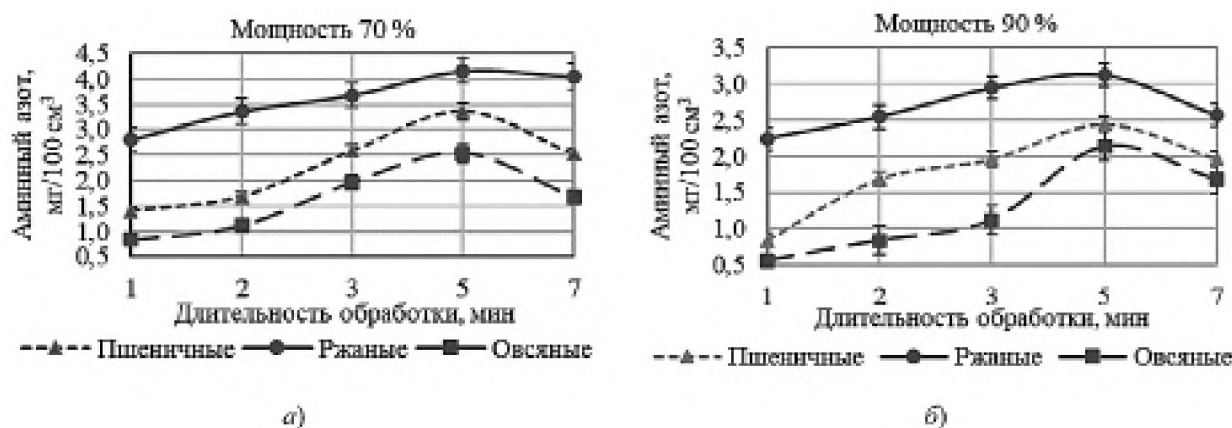
Причина этого связана, возможно, с клейстеризацией крахмала, денатурацией и коагуляцией белков частиц эндосперма и алевронового слоя отрубей за счет высокой температуры (в эксперименте 68–82 °С) при действии УЗ. В результате происходит

забивка каналов для выхода в среду веществ, в том числе аминокислот. Кроме того, аминокислоты могут участвовать в реакции меланоидинообразования, фактором интенсификации которой является повышенная температура обрабатываемой среды.

Изменения в составе отрубных экстрактов обусловлены также явлениями, лежащими в основе действия УЗ, в первую очередь, кавитационными процессами, тепловыми эффектами (повышением температуры), диспергированием частиц сырья, механическим разрушением клеток (Верещагин & Хмелева, 2010; Chemat et al., 2011). В отличие от извлечения экстрактивных веществ методом настаивания (Ульянова с соавт., 2020; Крикунова с соавт., 2022), создаваемые УЗ гидродинамические пульсирующие микропотоки способствуют интенсивной механической деструкции отрубей и активируют процесс влагопоглощения клетками сырья. За счет разрыва молекулярных связей при воздействии УЗ происходит деградация клеточных компонентов — высокомолекулярных углеводов и азотистых веществ. Подтверждением этого в эксперименте является не только увеличение в экстрактах азота аминокислот, но и трансформация окраски растворов в присутствии йода. С увеличением длительности УЗ обработки цвет изменялся от темно-фиолетовой к буро-фиолетовой, и далее бурой, что, очевидно, связано с высвобождением из клеток крахмала и его возможным частичным расщеплением с участием имеющихся эндогенных ферментов (Vitol et al., 2019, Krikunova et al., 2022) до декстринов различной молекулярной массы и сахаров.

Рисунок 2

Влияние длительности обработки отрубей УЗ на содержание аминного азота в экстрактах



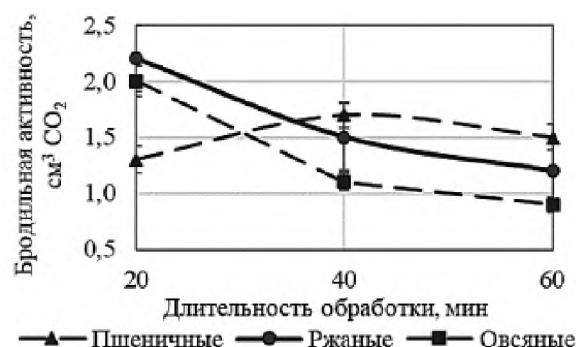
Полученные данные по характеру изменения контролируемых показателей согласуются с результатами других авторов, но осуществлявших эксперимент в иных условиях, чем в представленной работе. Например, для получения кормовой добавки с повышенной усвояемостью из подсолнечного жмыха и молочной сыворотки применяли облучение УЗ с частотой 22 кГц и мощностью 200 Вт в течение 20 минут при температуре $60 \pm 5^\circ\text{C}$ (Волончук с соавт., 2022). Для извлечения полифенолов и улучшения в последующем ферментативного катализа овсяных отрубей использовали УЗ воздействие при частоте 35 кГц в течение 30 минут (Зяйнитдинов с соавт., 2020). В случае пшеничных отрубей для экстрагирования некрахмальных полисахаридов озвучивание осуществляли при мощности 180 Вт (Wang et al., 2014), для повышения устойчивости сырья к окислительным процессам — 400 Вт в течение 15 мин (Nabuš et al., 2021). Изменение структуры и свойств белка рисовых отрубей наблюдалось после 10 минут действия УЗ при мощности 200 Вт (Wang et al., 2021). В сравнении с приведенными работами в данном исследовании параметры УЗ обработки отрубей при близких значениях частоты и температуры отличаются большей интенсивностью озвучивания (10 Вт/см^2) и мощностью (440 Вт и 570 Вт соответственно при 70% и 90% мощности от полной), что обеспечило высокий выход растворимых усвояемых компонентов отрубей при значительно меньшей длительности воздействия (5–7 минут).

Экстракты с максимальным накоплением аминного азота (мощность УЗ 70%, длительность воздействия 5 минут) использовали для обработки дрожжей с целью изучения влияния на ферментативный потенциал культуры. Бродильная активность — технологически важный показатель дрожжей, косвенно характеризующий активность ферментов гликолиза и его подготовительной стадии.

Определение оптимального времени обработки дрожжей полученными экстрактами показало (Рисунок 3) увеличение в значительной степени бродильной активности через 20 минут выдержки клеточной биомассы с экстрактами из овсяных и ржаных отрубей, из пшеничных отрубей — через 40 мин. При этом ферментативная активность дрожжей, суспендированных в овсяном и ржаном экстракте, за весь период обработки в среднем на 35 и 40% выше, чем в пшеничном. Бродильная

Рисунок 3

Влияние длительности обработки дрожжей отрубными экстрактами на бродильную активность



активность дрожжевой культуры после выдержки с отрубными экстрактами, полученными при мощности УЗ 90%, была в среднем на 56% меньше, чем извлеченными при 70%.

Несмотря на то, что овсяные экстракты по абсолютной величине выхода сухих веществ и содержания азота аминокислот уступают экстрактам из других отрубей, они обеспечивают достаточно высокий биокаталитический потенциал дрожжей. Это связано с химическим составом исходного сырья. В сравнении с пшеницей белок овса характеризуется значительным содержанием незаменимых (в частности, лейцина, изолейцина, валина) и серосодержащих (метионина и цистеина) аминокислот, наличием жирных кислот (моно- и полиненасыщенных), высоким содержанием β -глюкана, витаминов группы В (особенно тиамина, ниацина), микроэлементов (преимущественно кремния) (Казаков & Карпиленко, 2005; Chalamacharla et al., 2018; Nemes et al., 2022), что важно с точки зрения стимуляции роста и ферментативной активности дрожжевой культуры (Меледина с соавт., 2013).

Ржаные отруби в отличие от пшеничных содержат повышенное количество фосфора — основного энергетического компонента синтеза микробной массы (Казаков & Карпиленко, 2005; Крикунова с соавт., 2021). Наряду с другими веществами достаточность фосфора в среде культивирования — обязательное условие высокой эффективности размножения дрожжей (Annemuller et al., 2011).

Полученные нами данные по использованию УЗ воздействия для извлечения ценных компонентов

из зерновых отрубей позволяют говорить об эффективности данного способа, что подтверждается значительным накоплением в водных экстрактах усвояемых азотистых соединений за относительно короткий промежуток времени и высокой активностью биокатализаторов дрожжевой культуры после обработки биостимуляторами.

Использование биокатализа для получения экстрактов

Другим приемом извлечения экстрактивных веществ отрубей является биокаталитическое воздействие на сложные компоненты сырья. Водно-отрубные суспензии обрабатывали ферментными препаратами в виде 1%-х растворов в диапазоне от 40 до 120 минут с периодическим отбором проб.

Оценку эффективности процесса вели по количеству редуцирующих веществ (РВ), аминного азота и сухих веществ.

Значимое изменение анализируемых показателей происходит в диапазоне 60–120 минут обработки водно-отрубных суспензий всеми исследуемыми ферментными препаратами (Рисунок 4). Наибольший выход сухих веществ в сравнении с контролем обеспечили препараты Termamyl (в 1,1–4,8 раза) и Ondea pro (в 1,3–6,7 раза) в зависимости от используемых отрубей.

На примере экстракта ржаных отрубей видно (Рисунок 5), что количество аминного азота и редуцирующих веществ возрастает с увеличением времени субстрат-ферментного взаимодействия. Подобная тенденция прослеживается и для других

Рисунок 4

Влияние обработки отрубей ферментными препаратами на выход сухих веществ

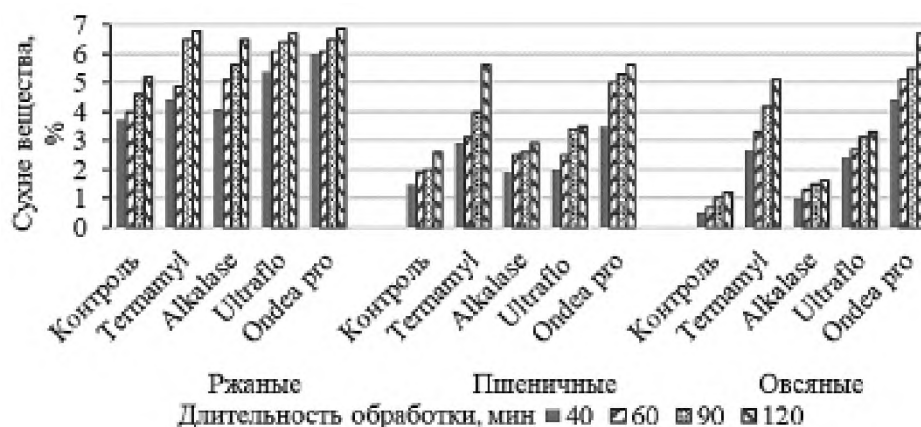


Рисунок 5

Изменение а) аминного азота и б) редуцирующих веществ в ржаных экстрактах в зависимости от длительности обработки ферментными препаратами

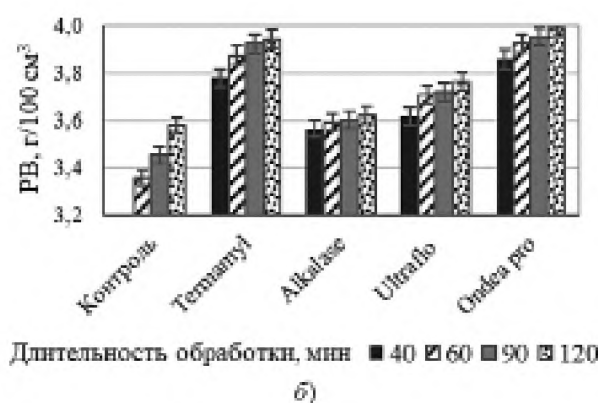
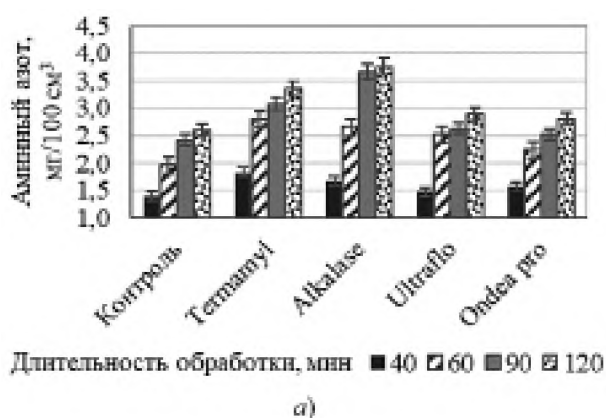
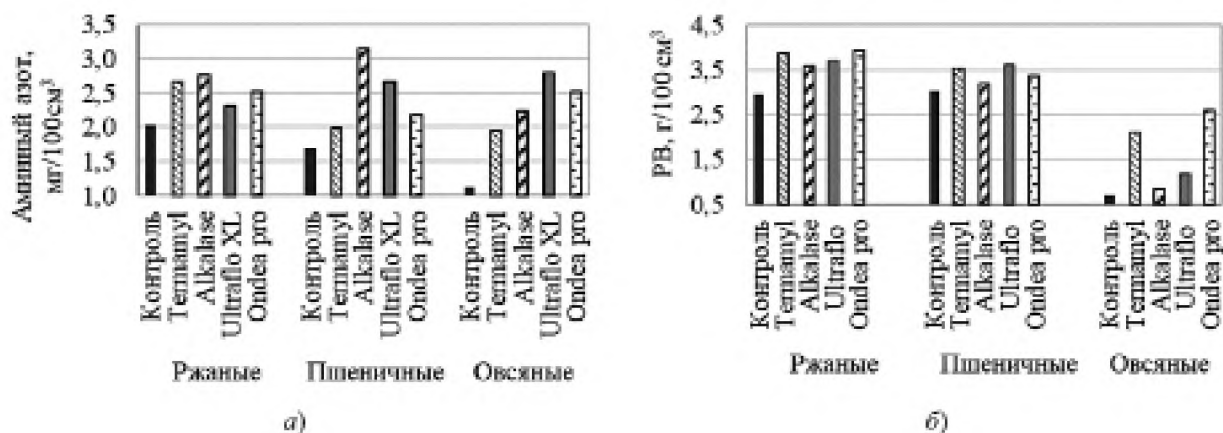


Рисунок 6

Средние значения а) аминного азота и б) редуцирующих веществ в отрубных экстрактах после воздействия ферментными препаратами



видов зерновых отрубей (на Рисунке 6 представлены средние значения показателей за весь период ферментативной обработки). Как и в случае применения физического воздействия (УЗ) на отруби, по абсолютной величине оцениваемых характеристик преимущество у экстрактов ржаных и пшеничных, но по величине прироста к контролю — у овсяных экстрактов.

Большее накопление азота аминокислот в заданных условиях по отношению к контрольному образцу в зависимости от зерновых отрубей обеспечили препараты Alkalase (на 136–200%), Ultraflo XL (на 114–250%), Ondea pro (на 124–225%), редуцирующих веществ — Termamyl (на 117–306%), Ondea pro (на 111–375%), Ultraflo XL (на 120–171%).

Наблюдаемые изменения обусловлены действием соответствующих ферментов. Использование для получения гидролизатов пшеничных и ржаных отрубей мультиэнзимной композиции, включающей, в частности, активности целлюлаз (препарат Агроксил Премиум), протеазы (Нейтраза 0,8L) и фитазы (Агрофит), в течение 4 часов при 50 °С способствовало увеличению концентрации свободных аминокислот в среднем в 1,5–2,0 раза (Krikunova et al., 2023). В настоящем исследовании ферментные препараты способствовали примерно такому же по величине приросту аминного азота за более короткий промежуток времени (90–120 минут), отличаясь при этом индивидуальным применением и составом биокатализаторов. Препараты, содержащие комплекс ферментов разнонаправленного

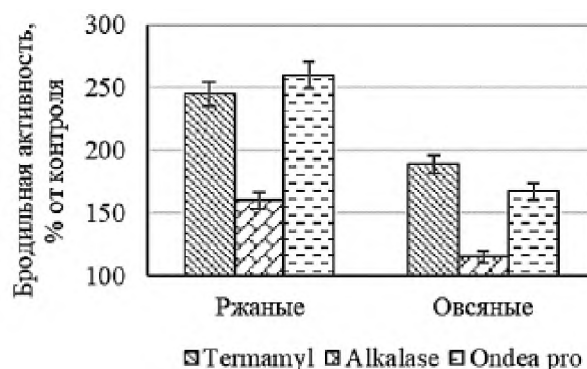
действия (амилолитического, протеолитического, цитолитического), обеспечили большой выход экстракта и его отдельных составляющих.

С учетом вышеприведенных результатов, ржаные и овсяные экстракты, полученные биоконверсией препаратами Alkalase, Termamyl, Ondea pro в течение 90 минут, использовали для оценки влияния на бродную активность дрожжевой культуры. Длительность выдержки дрожжей с экстрактами 30 минут при температуре 24–26 °С. Контроль — дрожжи без обработки.

Как видно из данных Рисунка 7, более значимый прирост ферментативной активности дрожжей (в среднем в 1,5 раза) обеспечили ржаные экстрак-

Рисунок 7

Влияние экстрактов зерновых отрубей на бродную активность дрожжей



ты, чем овсяные, при всех прочих равных условиях. Экстракты отрубей после воздействия амилазой Termamyl и комплексом гидролаз Ondea pro существенно увеличили (в 1,7–2,6 раза по отношению к контролю) бродильную активность дрожжевых клеток за счет наличия в достаточном количестве как усвояемых углеводов, так и азотистых соединений. В то же время экстракты, полученные обработкой зернового сырья протеазой препарата Alkalase, с относительно низким содержанием аминного азота показали меньший стимулирующий эффект (в 1,2–1,6 раза) на микробную культуру.

Положительная динамика в изменении бродильной активности дрожжевой культуры обусловлена комплексом веществ, извлеченных разными приемами и вносимых с отрубными экстрактами. Наличие в отрубях биологически активных компонентов (витаминов, минеральных, азотистых веществ), часто являющихся коферментами отдельных биокатализаторов, оказывает благоприятное влияние на различные стороны клеточного метаболизма и жизнеспособность дрожжей. Дополнительное азотистое питание позволяет поддерживать высокую ферментативную активность дрожжевых клеток.

Для активизация физиолого-биохимических функций дрожжевой культуры, компенсации недостатка необходимых клеткам веществ добавление биостимуляторов общепринято в среду ферментации перед введением инокулята (Меледина с соавт., 2013; Пермякова, 2016). В работе (Ковалева с соавт., 2019) на примере использования в производстве спирта нейтральной протеазы (препарат «Пролайв BS Ликвид») и фитазы (препарат «Кингфос»), вносимых на этапе сбраживания зернового сусла, показано увеличение выхода клеточной биомассы, повышение бродильной активности дрожжей в 1,2 раза в сравнении с контролем (без ферментных препаратов). В технологии фруктовых дистиллятов введенные в сусло гидролизаты пшеничных и ржаных отрубей могут служить альтернативным источником азотного и фосфорного питания дрожжей (Krikunova et al., 2023). Нами предложена обработка инокулята экстрактами из зерновых отрубей на этапе предферментационной подготовки, что значительно повысило биокаталитическую активность дрожжевой культуры. Кроме того, необходимо учитывать экономическую целесообразность данного приема: с учетом объема вносимой на брожение разводки дрожжей, требуемое количество биости-

муляторов существенно меньше в сравнении с объемом обогащаемого ферментируемого сусла.

Потребность в пищевых дрожжевых подкормках в различных отраслях бродильной промышленности достаточно высока, и в настоящее время в основном обеспечивается препаратами (причем химического, синтетического происхождения) импортного производства (Пермякова, 2016). Полученные результаты представленного научного исследования по использованию растительного, естественного источника (зерновых отрубей) ценных, биологически важных для дрожжевой культуры соединений даже с необходимостью их извлечения предлагаемыми приемами (УЗ, биокатализаторами) позволят решить проблему импортозамещения данного вида вспомогательных материалов, а также расширить область применения вторичных материальных ресурсов (зерновых отрубей). Установленные рациональные параметры получения экстрактов из пшеничных, ржаных и овсяных отрубей обеспечивают высокий выход компонентов сырья с одновременной интенсификацией процесса.

ВЫВОДЫ

Экстракты зерновых отрубей (предпочтительно ржаных), полученные с применением УЗ (мощность 70 %, длительность 5 минут) или ферментных препаратов (Termamyl, Ondea pro, Alkalase, при обработке сырья в течение 60–120 минут), могут использоваться как стимулирующая добавка в среду инкубации или культивирования пивных дрожжей расы W-34/70 с целью повышения биокаталитической активности микробной культуры. Выдержка дрожжей с экстрактами в диапазоне от 20 до 40 минут обеспечивает прирост бродильной активности в 1,3–2,6 раза в зависимости от вида отрубей и способа экстрагирования.

Предферментационная обработка отрубными экстрактами как технологический прием регуляции физиолого-биохимических процессов дрожжей *S. cerevisiae* W-34/70 в дальнейшем должна положительно отразиться на интенсификации азотистого обмена и протеолизе белка. Активированная таким воздействием дрожжевая культура является субстанцией для получения пептидов, обладающих различной биологической активностью.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Пермякова Лариса Викторовна: руководство исследованием, создание рукописи и ее редактирование.

Сергеева Ирина Юрьевна: руководство исследованием, методология.

Короткий Игорь Алексеевич: обеспечение приборной базы.

Лашицкий Сергей Сергеевич: проведение исследования, обработка и верификация данных.

Рябоконева Лариса Алексеевна: проведение исследования, создание черновика рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Аманжол, Б., Саидов, А. М., Жангабылова, Н. Д., & Альсеитов, К. С. (2019). Обоснование использования отрубей тонкого помола для повышения питательной ценности пшеничной муки. *Механика и Технологии*, (1), 44–53.
- Верещагин, А. Л., & Хмелева, А. Н. (2010). *Влияние ультразвукового облучения и регуляторов роста на ризогенную активность растительных объектов*. Бийск: Алтайский государственный технический университет.
- Витол, И. С. (2022). Структурно-модифицированные отруби — инновационный продукт глубокой переработки зерна. *Пищевая промышленность*, (5), 27–29. <http://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.008>
- Волончук, С. К., Нициевская, К. Н., & Станкевич, С. В. (2022). Обоснование технологических параметров получения белковых эмульсий из ядра семян подсолнечника. *Ползуновский вестник*, (3), 88–94. <http://doi.org/10.25712/ASTU.2072–8921.2022.03.012>
- Давыденко, С. Г. (2012). Создание и применение нового экспресс-метода оценки качества семенных дрожжей. *Пиво и напитки*, (5), 20–24.
- Зяйнитдинов, Д. Р., Евтеев, А. В., & Банникова, А. В. (2020). Исследование иммобилизации полифенолов овсяных отрубей в комплексные коацерваты сывороточного белка и мальтодекстрина. *Техника и технология пищевых производств*, (3), 460–469. <https://doi.org/10.21603/2074–9414-2020–3-460-469>
- Иштуганова, К. В., & Гаричева, А. В. (2021). Гидролитическая активность микроорганизмов пшеничных отрубей и соевого жмыха. *Пищевые системы*, 4(3), 93–97. <http://doi.org/10.21323/2618–9771-2021–4-3S-93–97>
- Казаков, Е. Д., & Карпиленко, Г. П. (2005). *Биохимия зерна и хлебопродуктов*. С-Петербург: ГИОРД.
- Калужина, О. Ю., Яковлева, К. С., Кашапова, Р. А., Черненко, Е. Н., Черненко, А. А., & Бодров, А. Ю. (2020). Влияние ультразвука на пивоваренные дрожжи. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 82(1), 103–109. <http://doi.org/10.20914/2310–1202-2020–1-103–109>
- Капрельянц, Л. В., & Журлова, Е. Д. (2015). Ферментированные пищевые волокна отрубей — стимулятор роста пробиотических культур. *Зерновые продукты и комбикорма*, (1), 24–28. <https://doi.org/10.15673/2313–478x.60/2015.57227>
- Ковалева, Т. С., Яковлев, А. Н., Агафонов, Г. В., & Яковлева, С. Ф. (2021). Влияние ферментного препарата фитазы на физиологическое состояние дрожжей *S. cerevisiae* в производстве спирта. *Актуальная биотехнология*, (1), 83.
- Крикунова, Л. Н., Дубинина, Е. В., Захаров, М. А., & Лазарева, И. В. (2021). К вопросу оценки минерального состава зерновых отрубей. *Ползуновский вестник*, (2), 27–35. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072–8921.2021.02.004>
- Крикунова, Л. Н., & Дубинина, Е. В. (2022). Инновационное направление использования зерновых отрубей в технологии дистиллятов. *Пищевая промышленность*, (5), 20–22. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.005>
- Крикунова, Л. Н., Дубинина, Е. В., Песчанская, В. А., & Ульянова, Е. В. (2022). Новый вид азотсодержащего сырья для использования в технологии дистиллятов. *Техника и технология пищевых производств*, 52(1), 123–132. <https://doi.org/10.21603/2074–9414-2022–1-123–132>
- Лукьянчикова, Н. Л., Скрябин, В. А., & Табанюхов, К. А. (2020). Особенности состава отрубей пшеницы и ржи и их роль в профилактике хронических заболеваний человека. *Инновации и продовольственная безопасность*, (4), 41–58. <https://doi.org/10.31677/2072–6724-2020–30-4-41-58>
- Меледина, Т. В., Васильева, Л. М., & Давыденко, С. Г. (2013). *Физиологическое состояние дрожжей*. СПб.: НИУ ИТМО.
- Моргунова, Н. Л. (2022). Ультразвуковая технология обработки зерновых и зернобобовых культур. *Аграрный научный журнал*, (12), 86–88. <http://doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp86–88>
- Пермякова, Л. В. (2016). Классификация стимуляторов жизненной активности дрожжей. *Техника и технология пищевых производств*, 42(3), 46–55.
- Погорелова, Н. А., Гаврилова, Н. Б., Рогачев, Е. А., & Щетинина, Е. М. (2020). Определение эффективности способов конверсии пшеничных отрубей для использования их в технологии продуктов питания. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 48–57. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.228>
- Пономарёва, Е. И., Алёхина, Н. Н., & Скворцова, О. Б. (2020). Изменение пищевой ценности зерна гречихи при проращивании с использованием обработанной ультразвуком воды. *Известия вузов. Пищевая технология*, (1), 30–32. <https://doi.org/26297/0579–3009.2020.1.8>

- Серба, Е. М., Римарева, Л. В., Оверченко, М. Б., Игнатова, Н. И., & Погоржельская, Н. С. (2022). Роль биокатализа в технологиях переработки зернового сырья. *Пищевая промышленность*, (5), 13–15. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.003>
- Ульянова, Е. В., Созинова, М. С., & Селина, И. В. (2020). Распределение растворимых форм белковых компонентов зерновых отрубей по фракциям. В *Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства* (вып. 22, с. 86–88). Йошкар-Ола: Марийский государственный университет.
- Шарова, Н. Ю., Гаричева, А. В., Свердлов, О. П., Принцева, А. А., Сорокоумов, П. Н., Кулишова, К. Е., & Дзюбенко, В. В. (2023). Изменение липазной активности *Acinetobacter radioresistens* при культивировании на пшеничных отрубях. *Научный журнал Национального исследовательского университета Института точной механики и оптики. Процессы и аппараты пищевых производств*, 55(1), 29–36. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2023-16-1-29-36>
- Annemuller, G., Manger, H.-J., & Lietz, P. (2011). *The yeast in the brewery*. Berlin: VLB.
- Chalamacharla, R. B., Harsha, K., Sheik, K. B., & Viswanatha, C. K. (2018). Wheat bran-composition and nutritional quality: A review. *Advances in Biotechnology and Microbiology*, 9(1), 21–28. <https://doi.org/10.19080/AIBM.2018.09.555754>
- Chemat, F., Zill-e-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonic Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Gavahian, M., Manyatsi, T. S., Morata, A., & Tiwari, B. K. (2022). Ultrasound-assisted production of alcoholic beverages: From fermentation and sterilization to extraction and aging. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, Advance Online Publication*, 21(6), 5243–5271. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13043>
- Görgüç, A., Özer, P., & Yılmaz, F. M. (2020). Simultaneous effect of vacuum and ultrasound assisted enzymatic extraction on the recovery of plant protein and bioactive compounds from sesame bran. *Journal of Food Composition and Analysis*, 87, Article 103424. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103424>
- Habuš, M., Novotni, D., Gregov, M., Mustač, N. C., Voučko, B., & Čurić, D. (2021). High-intensity ultrasound treatment for prolongation of wheat bran oxidative stability. *LWT – Food Science and Technology*, 151, Article 112110. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112110>
- Krikunova, L. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Dubinina, E. V., & Obodeeva, O. N. (2023). Grain bran hydrolysates in the production of fruit distillates. *Foods and Raw Materials*, 11(1), 35–42. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-550>
- Nemes, S. A., Călinoiu, L. F., Dulf, F. V., Fărcaș, A. C., & Vodnar, D. C. (2022). Integrated Technology for Cereal Bran Valorization: Perspectives for a Sustainable Industrial Approach. *Antioxidants*, 11(11), Article 2159. <https://doi.org/10.3390/antiox11112159>
- Pasha, I., Ahmad, F., Siddique, Z., & Iqbal, F. (2020). Probing the effect of physical modifications on cereal bran chemistry and antioxidant potential. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 1909–1918. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00438-9>
- Pogorelova, N. A., & Gavrilova, N. B. (2023). Conversion of Wheat Bran into Target Biosynthetic Products. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(1), 49–59. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2414>
- Quoc, L. P. T., & Anh, H. N. Q. (2023). Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Polyscias fruticosa* (L.) Harms root. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 165(1), 58–67. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.1.58-67>
- 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>
- Shiyan, P., Mudrak, T., Kyrylenko, R., & Kovalchuk, S. (2017). Effect of nitrogen and mineral composition of the high-concentrated wort made from starch-containing raw materials on the cultivation of yeast. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(11), 72–77. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.117357>
- Vitol, I. S., Igoryanova, N. A., & Meleshkina, E. P. (2019). Bioconversion of secondary products of processing of grain cereals crops. *Food systems*, 2(4), 18–24. <http://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-4-18-24>
- Wang, J., Sun, B., Liu, Y., & Zhang, H. (2014). Optimisation of ultrasound-assisted enzymatic extraction of arabinoxylan from wheat bran. *Food Chemistry*, 150, 482–488. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.121>
- Wang, T., Chen, X., Wang, W., Wang, L., Jiang, L., Yu, D., & Xie, F. (2021). Effect of ultrasound on the properties of rice bran protein and its chlorogenic acid complex. *Ultrasonics Sonochemistry*, 79, Article 105758. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105758>

REFERENCES

- Amanzhol, B., Saidov, A. M., Zhangabylova, N. D., & Al'seitov, K. S. (2019). Obosnovanie ispol'zovaniya otrubei tonkogo pomola dlya povysheniya pitatel'noi tsennosti pshenichnoi muki [Substantiation of the use of fine-grounded wheat bran for improving the food value of flour]. *Mekhanika i Tekhnologii* [Mechanics and Technologies], (1), 44–53.
- Davydenko, S. G. (2012). Sozdanie i primeneniye novogo ekspress-metoda otsenki kachestva semennykh drozhzhei [The creation and application of a new rapid method of assessing the quality of the seed yeast]. *Pivo i napitki* [Beer and Drinks], (5), 20–24.
- Ishuganova, K. V., & Garicheva, A. V. (2021). Gidroliticheskaya aktivnost' mikroorganizmov pshenichnykh otrubei i soevogo zhmykha [Hydrolytic activity of microorganisms of wheat bran and soybean meal]. *Pishchevye sistemy* [Food Systems], 4(3), 93–97. <http://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-93-97>
- Kaluzhina, O. Yu., Yakovleva, K. S., Kashapova, R. A., Chernenkov, E. N., Chernenkova, A. A., & Bodrov, A. Yu. (2020). Vliyaniye ul'trazvuka na pivovarennyye drozhzhi [The effect of ultrasound on brewing yeast]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 82(1), 103–109. <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-103-109>
- Kaprel'yants, L. V., & Zhurlova, E. D. (2015). Fermentirovannyye pishchevye volokna otrubei — stimulyator rosta probioticheskikh kul'tur [Fermented dietary fibers of bran — a growth stimulator of probiotic crops]. *Zernovyye produkty i kombikorma* [Grain Products and Animal Feed], (1), 24–28. <https://doi.org/10.15673/2313-478x.60/2015.57227>
- Kazakov, E. D., & Karpilenko, G. P. (2005). *Biokhimiya zerna i khleboproduktov* [Biochemistry of grain and bread products]. S-Petersburg: GIOR.
- Kovaleva, T. S., Yakovlev, A. N., Agafonov, G. V., & Yakovleva, S. F. (2021). Vliyaniye fermentnogo preparata fitazy na fiziologicheskoye sostoyaniye drozhzhei *S. cerevisiae* v proizvodstve spirita [Effect of the phytase enzyme preparation on the physiological state of the yeast *S. cerevisiae* in the production of alcohol]. *Aktual'naya biotekhnologiya* [Actual Biotechnology], (1), 83.
- Krikunova, L. N., & Dubinina, E. V. (2022). Innovatsionnoye napravleniye ispol'zovaniya zernovykh otrubei v tekhnologii distillyatov [Innovative direction of using grain bran in distillate technology]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], (5), 20–22. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.005>
- Krikunova, L. N., Dubinina, E. V., Peschanskaya, V. A., & Ul'yanova, E. V. (2022). Novyy vid azotsoderzhashchego syr'ya dlya ispol'zovaniya v tekhnologii distillyatov [New Nitrogen-Containing Raw Materials in Distillate Technology]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 52(1), 123–132. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-123-132>
- Krikunova, L. N., Dubinina, E. V., Zakharov, M. A., & Lazareva, I. V. (2021). K voprosu otsenki mineral'nogo sostava zernovykh otrubei [To the question of the grain bran mineral composition evaluation]. *Polzunovskii vestnik* [Polzunovsky Bulletin], (2), 27–35. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.004>
- Luk'yanchikova, N. L., Skryabin, V. A., & Tabanyukhov, K. A. (2020). Osobennosti sostava otrubei pshenitsy i rzhi i ikh rol' v profilaktike khronicheskikh zabolevaniy cheloveka [Peculiarities of the composition of wheat and rye bran and their role in the prevention of chronic diseases of human review]. *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'* [Innovations and Food Safety], (4), 41–58. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-30-4-41-58>
- Meledina, T. V., Vasil'eva, L. M., & Davydenko, S. G. (2013). *Fiziologicheskoye sostoyaniye drozhzhei* [Physiological state of yeast]. S-Petersburg: NIU ITMO.
- Morgunova, N. L. (2022). Ul'trazvukovaya tekhnologiya obrabotki zernovykh i zernobobovykh kul'tur [Ultrasonic technology processing of grain and leguminous crops]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], (12), 86–88. <http://doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp86-88>
- Permyakova, L. V. (2016). Klassifikatsiya stimulyatorov zhiznennoy aktivnosti drozhzhei [Classification of preparations to promote yeast vital activity]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 42(3), 46–55.
- Pogorelova, N. A., Gavrilova, N. B., Rogachev, E. A., & Shchetinina E. M. (2020). Opredeleniye effektivnosti sposobov konversii pshenichnykh otrubei dlya ispol'zovaniya ikh v tekhnologii produktov pitaniya [Determining the effectiveness of wheat bran conversion methods for use in food technology]. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (1), 48–57. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.228>
- Ponomareva, E. I., Alekhina, N. N., & Skvortsova, O. B. (2020). Izmeneniye pishchevoy tsennosti zerna grechikhi pri prorashchivaniy s ispol'zovaniem obrabotannoy ul'trazvukom vody [Changing the nutritional value of buckwheat grains when germination with using ultrasound-treated water]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [News of Higher Educational Institutions. Food Technology], (1), 30–32. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.1.8>
- Serba, E. M., Rimareva, L. V., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., & Pogorzhe'skaya, N. S. (2022). Rol' biokataliza v tekhnologiyakh pererabotki zernovogo syr'ya [The role of biocatalysis in grain processing technologies]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], (5), 13–15. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.003>
- Sharova, N. Yu., Garicheva, A. V., Sverdlova, O. P., Printseva, A. A., Sorokoumov, P. N., Kulishova, K. E., & Dzyubenko, V. V. (2023). Izmeneniye lipaznoy aktivnosti *Acinetobacter radioresistens* pri kul'tivirovaniy na pshenichnykh otrubakh [Changes in lipase activity of *Acinetobacter radioresistens* during cultivation on wheat bran]. *Nauchnyy zhurnal Natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta Instituta tochnoy mekhaniki i optiki. Protssessy i apparaty pishchevykh proizvodstv* [Scientific Journal of the

- National Research University Institute of Precision Mechanics and Optics. Processes and devices of food production], 55(1), 29–36. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2023-16-1-29-36>
- Ul'yanova, E. V., Sozinova, M. S., & Selina, I. V. (2020). Raspreделение rastvorimyykh form belkovykh komponentov zernovykh otrubei po fraktsiyam [Distribution of soluble forms of protein components of grain bran by fractions]. In *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktov sel'skogo khozyaystva* [Actual issues of improving the technology of production and processing of agricultural products]. (vol. 22, pp. 86–88). Ioshkar-Ola: Mariiskii gosudarstvennyi universitet.
- Vereshchagin, A. L., & Khmeleva, A. N. (2010). Vliyaniye ul'trazvukovogo oblucheniya i regulatorov rosta na rizogennuyu aktivnost' rastitel'nykh ob"ektov [Effect of ultrasonic irradiation and growth regulators on the rhizogene activity of plant objects]. Biisk: Altaiskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet.
- Vitol, I. S. (2022). Strukturno-modifitsirovannyye otrubi — innovatsionnyi produkt glubokoi pererabotki zerna [Structurally modified bran is an innovative product of deep grain processing]. *Pishcheyaya promyshlennost'* [Food Industry], (5), 27–29. <http://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.008>
- Volonchuk, S. K., Nitsievskaya, K. N., & Stankevich, S. V. (2022). Obosnovaniye tekhnologicheskikh parametrov polucheniya belkovykh emul'sii iz yadra semyan podsolnechnika [Effect of ultrasonic exposure on biochemical composition of sunflower cake and whey suspension]. *Polzunovskiy vestnik* [Polzunovsky Bulletin], (3), 88–94. <http://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.012>
- Zyainitdinov, D. R., Evteev, A. V., & Bannikova, A. V. (2020). Issledovaniye immobilizatsii polifenolov ovsyanykh otrubei v kompleksnye koatservaty syvorotochnogo belka i mal'todekstrina [Immobilization of Oat Bran Polyphenols in Complex Coacervates of Whey Protein and Maltodextrin]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], (3), 460–469. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-460-469>
- Annemuller, G., Manger, H.-J., & Lietz, P. (2011). *The yeast in the brewery*. Berlin: VLB.
- Chalamacharla, R. B., Harsha, K., Sheik, K. B., & Viswanatha, C. K. (2018). Wheat bran-composition and nutritional quality: A review. *Advances in Biotechnology and Microbiology*, 9(1), 21–28. <https://doi.org/10.19080/AIBM.2018.09.555754>
- Chemat, F., Zill-e-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonic Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Gavahian, M., Manyatsi, T. S., Morata, A., & Tiwari, B. K. (2022). Ultrasound-assisted production of alcoholic beverages: From fermentation and sterilization to extraction and aging. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, Advance Online Publication*, 21(6), 5243–5271. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13043>
- Görgüç, A., Özer, P., & Yılmaz, F. M. (2020). Simultaneous effect of vacuum and ultrasound assisted enzymatic extraction on the recovery of plant protein and bioactive compounds from sesame bran. *Journal of Food Composition and Analysis*, 87, Article 103424. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103424>
- Habuš, M., Novotni, D., Gregov, M., Mustač, N. C., Voučko, B., & Ćurić, D. (2021). High-intensity ultrasound treatment for prolongation of wheat bran oxidative stability. *LWT — Food Science and Technology*, 151, Article 112110. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112110>
- Krikunova, L. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Dubinina, E. V., & Obodeeva, O. N. (2023). Grain bran hydrolysates in the production of fruit distillates. *Foods and Raw Materials*, 11(1), 35–42. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-550>
- Nemes, S. A., Călinoiu, L. F., Dulf, F. V., Fărcaș, A. C., & Vodnar, D. C. (2022). Integrated Technology for Cereal Bran Valorization: Perspectives for a Sustainable Industrial Approach. *Antioxidants*, 11(11), Article 2159. <https://doi.org/10.3390/antiox11112159>
- Pasha, I., Ahmad, F., Siddique, Z., & Iqbal, F. (2020). Probing the effect of physical modifications on cereal bran chemistry and antioxidant potential. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 1909–1918. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00438-9>
- Pogorelova, N. A., & Gavrilova, N. B. (2023). Conversion of Wheat Bran into Target Biosynthetic Products. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(1), 49–59. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2414>
- Quoc, L. P. T., & Anh, H. N. Q. (2023). Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Polyscias fruticosa* (L.) Harms root. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 165(1), 58–67. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.1.58-67>
- 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>
- Shiyan, P., Mudrak, T., Kyrylenko, R., & Kovalchuk, S. (2017). Effect of nitrogen and mineral composition of the high-concentrated wort made from starch-containing raw materials on the cultivation of yeast. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(11), 72–77. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.117357>
- Vitol, I. S., Igoryanova, N. A., & Meleshkina, E. P. (2019). Bioconversion of secondary products of processing of grain cereals crops. *Food systems*, 2(4), 18–24. <http://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-4-18-24>
- Wang, J., Sun, B., Liu, Y., & Zhang, H. (2014). Optimisation of ultrasound-assisted enzymatic extraction of arabinoxylan from wheat bran. *Food Chemistry*, 150, 482–488. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.121>
- Wang, T., Chen, X., Wang, W., Wang, L., Jiang, L., Yu, D., & Xie, F. (2021). Effect of ultrasound on the properties of rice bran protein and its chlorogenic acid complex. *Ultrasonics Sonochemistry*, 79, Article 105758. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105758>