

Алексей Сергеевич Саломатов^{1✉}, Анастасия Андреевна Рущиц²,
Юлия Александровна Снурникова³

^{1,2,3}Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

¹salomatovas@susu.ru

²rushchitcaa@susu.ru

³shalaginaya@susu.ru

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ β -ГЛЮКАНА ИЗ ЯЧМЕНЯ

Цель исследования – выявление оптимальных параметров ферментативной обработки сырья с целью извлечения β -глюкана и оценка потенциальной возможности применения в производстве взбивных кондитерских масс. Одним из ключевых моментов исследования является выделение и анализ химического состава кристаллов, содержащих β -глюкан. Ячмень был выбран как один из потенциальных источников этого полисахарида. Для проведения исследования был выбран сорт ячменя Челябинский 99 в связи с его широким применением в пищевой и пивоваренной промышленности. Применялись стандартные методы исследования для выделения β -глюкана. Устойчивые к нагреванию α -амилазы, использовали в комплексе с протеолитическими ферментами, что обеспечило «мягкую» экстракцию β -глюкана из ячменя. Полученные посредством обработки ферментами кристаллы β -глюкана имели белую окраску с оттенком желтого. Анализ химического состава кристаллов позволил выявить наличие посторонних примесей, преимущественно нерастворимых пищевых волокон (13,8 %), а также белкового компонента (4,88 %). Основа кристаллов – β -глюкан (77,6 %). Полученные кристаллы β -глюкана лишены запаха и обладают нейтральным вкусом, что открывает широкие перспективы для применения в технологии взбивных кондитерских масс. Однако следует отметить, что термин «растворимые пищевые волокна» охватывает широкий круг химических соединений, а не только β -глюкан. Для более точного определения содержания β -глюкана в полученных кристаллах потребуются дополнительные исследования, выходящие за рамки данного исследования. Это позволит более глубоко и детально изучить характеристики полученного продукта и его потенциальные применения в пищевой промышленности, а также определить возможные способы оптимизации процесса производства.

Ключевые слова: ячмень, α -амилаза, протеолитические ферменты, полисахарид, β -глюкан, кондитерские изделия, взбивные кондитерские массы, БАД, зерно ячменя

Для цитирования: Саломатов А.С., Рущиц А.А., Снурникова Ю.А. Ферментативная экстракция β -глюкана из ячменя // Вестник КрасГАУ. 2025. № 4. С. 237–246. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-237-246.

Alexey Sergeevich Salomatov^{1✉}, Anastasia Andreevna Ruschits²,
Yulia Aleksandrovna Snurnikova³

^{1,2,3}South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

¹salomatovas@susu.ru

²rushchitcaa@susu.ru

³shalaginaya@susu.ru

ENZYMATIC EXTRACTION OF β -GLUCAN FROM BARLEY

The aim of the study is to identify the optimal parameters of enzymatic processing of raw materials in order to extract β -glucan and to assess the potential for use in the production of whipped confectionery masses. One of the key points of the study is the isolation and analysis of the chemical composition of crystals containing β -glucan. Barley was chosen as one of the potential sources of this polysaccharide. The barley variety Chelyabinsky 99 was selected for the study due to its wide application in the food and brewing industries. Standard research methods were used to isolate β -glucan. Heat-resistant α -amylases were used in combination with proteolytic enzymes, which ensured "soft" extraction of β -glucan from barley. The β -glucan crystals obtained by enzyme treatment were white with a yellow tint. Analysis of the chemical composition of the crystals revealed the presence of foreign impurities, mainly insoluble dietary fiber (13.8 %), as well as a protein component (4.88 %). The basis of the crystals is β -glucan (77.6 %). The obtained β -glucan crystals are odorless and have a neutral taste, which opens up broad prospects for use in the technology of whipped confectionery masses. However, it should be noted that the term "soluble dietary fiber" covers a wide range of chemical compounds, and not just β -glucan. For a more accurate determination of the β -glucan content in the obtained crystals, additional studies beyond the scope of this study will be required. This will allow a more in-depth and detailed study of the characteristics of the obtained product and its potential applications in the food industry, as well as identify possible ways to optimize the production process.

Keywords: barley, α -amylase, proteolytic enzymes, polysaccharide, β -glucan, confectionery, whipped confectionery masses, dietary supplement, barley grain

For citation: Salomatov AS, Ruschits AA, Snurnikova YuA. Enzymatic extraction of β -glucan from barley. *Bulletin of KSAU*. 2025;(4):237-246. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-237-246.

Введение. В последние годы ученые и представители бизнеса заинтересовались β -глюканами. β -глюканы – это тип полисахаридов, которые встречаются в клеточных стенках различных организмов, таких как высшие грибы, дрожжи, бактерии и некоторые виды злаковых растений, включая ячмень и овес. Эти уникальные соединения известны своими многочисленными благоприятными свойствами для здоровья. β -глюканы хорошо изучены. Результаты исследований указывают на их потенциал как функциональных ингредиентов пищи и добавок. Они способны снижать гликемический индекс продуктов за счет образования вязких гелей в пищеварительном тракте, что приводит к замедлению усвоения сахаров. Также β -глюканы обладают антиоксидантными свойствами, что позволяет использовать их для увеличения срока годности пищевых продуктов. Кроме того, последние исследования выявили иммуномодулирующие свойства β -глюканов и их потенциальную роль в профилактике опухолей. Они способствуют стимуляции процессов регенерации кожи и имеют противоаллергические свойства, что делает их привлекательными для использования в пищевой промышленности [1, 2].

В природе можно выделить два основных типа глюканов – α -D-глюканы и β -D-глюканы, но

также встречаются и их гибридные формы – α,β -D-глюканы. Полимеры глюканов, получаемые различными методами извлечения, обладают разнообразными структурами, которые характеризуются уникальными молекулярными массами и формами. Их можно классифицировать по нескольким характеристикам, таким как распределение гликозидных связей, расположение пиранового кольца, степень ветвления и молекулярная масса. Изменение указанных характеристик путем различных модификаций позволяет получать различные типы глюканов, которые находят широкое применение в различных областях, включая фармацевтическую и пищевую промышленность. Такие модификации могут включать в себя химические или ферментативные процессы, направленные на изменение структуры глюканов с целью улучшения их функциональных свойств или создания продуктов с определенными характеристиками, соответствующими установленным критериям [3–5].

Различные растительные и микробные источники, такие как ячмень, овес и клеточные стенки дрожжей, содержат β -глюканы. Однако наибольший интерес для пищевой промышленности представляет хорошо очищенный β -глюкан, используемый в качестве добавки для обогащения продуктов питания. Наличие примесей

может негативно сказаться на вкусовых качествах продуктов, поэтому степень очистки определяет возможность применения β -глюкана в технологии продуктов питания [2, 6].

Выделение β -глюкана из ячменя и других природных источников вызвало значительный интерес научного сообщества как важному функциональному пищевому компоненту. Этот полисахарид привлекает внимание не только своей потенциальной пользой для здоровья, но и влиянием на органолептические свойства и текстуру пищевых продуктов. β -глюкан играет ключевую роль в формировании структуры продуктов, обеспечивая желаемую консистенцию и текстуру. Этот полисахарид состоит из гомополимеров D-глюкопиранозильных остатков и обычно имеет две или три β -(1/4) связи, разделенные одной β -(1/3) связью. В ячмене содержится от 2 до 10 % β -глюкана, причем до 75 % от общей массы полисахаридов приходится на него в клеточных стенках эндосперма. Это означает, что ячмень является одним из перспективных источников β -глюкана, что делает его привлекательным объектом для исследований и промышленного применения в пищевой промышленности [1, 7].

В ходе исследования мы рассмотрим различные аспекты β -глюканов, начиная с их химической структуры и классификации, затем перейдем к их пользе для здоровья человека, включая иммуномодулирующие, антиоксидантные и противовоспалительные свойства, а также обсудим их потенциальное применение в лечении различных заболеваний и улучшении функции организма в целом.

Цель исследования – выявление оптимальных параметров ферментативной обработки сырья с целью извлечения β -глюкана и оценка потенциальной возможности применения в производстве взбивных кондитерских масс.

Объекты и методы. Для проведения исследования был выбран сорт ячменя «Челябинский 99» в связи с его широким применением в пищевой и пивоваренной промышленности. Сырье подготавливали путем измельчения. После полученную ячменную муку просеивали для удаления крупных частиц и примесей. Далее навеску муки кипятили в растворе этилового спирта. К полученной смеси добавляли гидроксид натрия, чтобы создать оптимальные условия для последующих процессов. Смесь выдерживалась на плите с непрерывным помешиванием. После

нейтрализовали щелочь. Смесь центрифугировали, затем надосадочную жидкость последовательно обрабатывали комплексом ферментов. Качество β -глюкана оценивали по содержанию посторонних примесей с использованием стандартных методов исследования: ГОСТ 10845-98 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала»; ГОСТ 15113.6-77 «Концентраты пищевые. Методы определения сахарозы»; ГОСТ 29033-91 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира»; ГОСТ 10846-91 «Зерно и продукты его переработки. Методы определения белка»; ГОСТ 15113.3-77 «Концентраты пищевые. Методы определения органолептических показателей, готовности концентратов к употреблению и оценки дисперсности суспензии»; ГОСТ Р 54014–2010 «Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом».

Все этапы модификации сырья выполняли в специализированной химической лаборатории по контролю качества продуктов питания кафедры «Технология и организация общественного питания» Южно-Уральского государственного университета (НИУ).

Результаты и их обсуждение. Взбивные кондитерские массы используются для создания легких, воздушных текстур в различных десертах, начиная от пирожных и кремов и заканчивая тортами. Они обычно создаются путем взбивания ингредиентов, таких как сливки, яйца или белки, с сахаром или другими добавками.

Типы взбивных кондитерских масс [8]

Сливки. Сливки взбивают до образования мягких или жестких пиков в зависимости от рецепта и поставленной задачи. Они могут быть использованы как основа для многих десертов или как украшение.

Яичные белки. Белки взбивают до образования жестких пиков, что добавляет воздушность и легкость тортам, пирожным и меренге.

Яичные желтки. Желтки взбивают с сахаром для создания кремовой текстуры, используемой в кремах и начинках.

Масляные массы. Масло взбивают с сахаром или другими ингредиентами для создания пышных или масляных кремов для тортов и пирожных.

Комбинированные массы. Иногда используются комбинации различных ингредиентов, например сливки с яичными желтками, чтобы создать более насыщенные и кремовые текстуры.

Взбивные кондитерские массы играют важную роль в кондитерском производстве, добавляя не только текстуру, но и вкус и аромат к десертам. Взбивные кондитерские изделия пользуются стабильным спросом, поэтому их обогащение β -глюканом благотворно скажется на здоровье населения [9, 10].

Химическая структура β -глюканов

β -глюканы представляют собой полимеры D-глюкозы, объединенные бета-гликозидными связями. Они могут быть различной длины и конфигурации, что влияет на их свойства. Главным образом они классифицируются в зависимости от расположения β -гликозидных связей в цепочке. Например, β -глюканы из дрожжей имеют β -1,3/1,6 связи, тогда как β -глюканы из овса обладают более сложной структурой с наличием разветвленных цепей [11].

Иммуномодулирующие свойства

Одним из наиболее изученных аспектов β -глюканов являются их иммуномодулирующие свойства. Они могут стимулировать иммунную систему, усиливая защитные реакции организма против инфекций и болезней. Исследования показывают, что β -глюканы способны активировать различные клетки иммунной системы, такие как макрофаги, нейтрофилы и естественные убийцы (*natural killers*), что может повысить эффективность иммунного ответа [5, 12].

Антиоксидантные свойства

β -глюканы обладают антиоксидантными свойствами, что означает, что они способны защищать клетки организма от вредного воздействия свободных радикалов. Свободные радикалы могут наносить ущерб клеткам и ДНК, что может привести к преждевременному старению и развитию различных заболеваний, таких как рак и сердечно-сосудистые заболевания [1].

Противовоспалительные свойства

Воспаление – это естественный процесс защиты организма от инфекций и травм. При этом хроническое воспаление может быть связано с развитием многих заболеваний, включая болезни сердца, диабет и аутоиммунные заболевания. β -глюканы могут помочь снизить воспаление, регулируя активность воспалительных сигнальных путей в организме [7, 13].

Потенциальное применение в лечении заболеваний

Благодаря своим уникальным свойствам β -глюканы привлекают внимание как потенциальные лекарственные препараты или добав-

ки к лечению различных заболеваний. Например, исследования показывают, что они могут быть полезны в лечении инфекций, аллергий, аутоиммунных заболеваний и даже рака [3, 14].

Польза β -глюканов для здоровья

Помимо специфических свойств, β -глюканы также могут оказывать общую пользу для здоровья. Они способны снижать холестерин в крови, регулировать уровень сахара, поддерживать здоровье кожи и улучшать пищеварение [15].

Итак, β -глюканы представляют собой уникальные соединения с многочисленными благоприятными свойствами для здоровья человека. Иммуномодулирующие, антиоксидантные и противовоспалительные свойства делают их ценными добавками к рациону питания, а также потенциальными кандидатами для разработки новых пищевых продуктов с добавлением β -глюканов. Дальнейшие исследования в этой области могут помочь раскрыть еще больший потенциал β -глюканов для поддержания здоровья и борьбы с различными заболеваниями. Тем не менее значение имеет способ получения β -глюканов. Наибольший интерес для применения в кондитерской промышленности представляют хорошо очищенные β -глюканы. С этой целью исходное сырье подвергают щелочному, кислотному или ферментативному гидролизу [16].

Ферментативный гидролиз, а также щелочной и кислотный методы гидролиза представляют собой различные подходы к разложению биологического материала на его составные части. Методы имеют преимущества и недостатки, и выбор между ними зависит от целей процесса, типа сырья и требований к конечному продукту. Рассмотрим подробно преимущества ферментативного гидролиза перед щелочным и кислотным методами [2, 3]:

1. *«Мягкость» процесса.* Ферменты работают при мягких условиях, что делает ферментативный гидролиз более щадящим по сравнению с щелочным или кислотным гидролизом. Это позволяет сохранить биологически активные соединения и минимизировать негативное воздействие на качество конечного продукта.

2. *Селективность.* Ферменты обладают специфичностью к субстрату, что означает, что они могут разлагать определенные типы биомолекул, не затрагивая другие. Это позволяет точно контролировать процесс гидролиза и избежать разрушения β -глюканов.

3. *Поддержание низкой температуры.* Ферментативный гидролиз может проводиться при комнатной температуре или незначительно повышенной, что позволяет сохранить теплочувствительные компоненты и избежать образования нежелательных продуктов термической деградациии.

4. *Экологическая безопасность.* Ферментативный гидролиз использует натуральные ферменты, которые обычно производятся микроорганизмами в биореакторах. Это экологически чистый процесс, который не требует использования агрессивных химических веществ.

5. *Высокая специфичность.* Благодаря селективности ферментов продукты ферментативного гидролиза часто имеют высокую степень чистоты и специфичности, что делает их наиболее привлекательными для использования в пищевой промышленности.

6. *Биодоступность.* Ферментативный гидролиз может улучшить биодоступность биологически активных соединений путем разрушения клеточных стенок и других барьеров, что позволяет эффективнее использовать ресурсы сырья.

7. *Контролируемая скорость реакции.* С помощью ферментативного гидролиза можно легко контролировать скорость реакции путем регулирования концентрации фермента, pH и температуры, что позволяет достичь желаемой степени гидролиза.

8. *Меньшее количество побочных продуктов.* Ферментативный гидролиз часто дает меньшее количество нежелательных побочных продуктов, таких как токсичные соединения, чем щелочной или кислотный гидролиз, что упрощает последующую очистку и обработку продукта.

9. *Сохранение питательной ценности.* Во многих случаях ферментативный гидролиз помогает сохранить питательную ценность сырья, так как не разрушает важные питательные вещества и биологически активные соединения.

10. *Биокомпатибельность.* Продукты ферментативного гидролиза часто более биокомпатибельны с организмом человека, что делает их более предпочтительными для использования в пищевых системах.

Ячмень (*Hordeum vulgare*) является зерновым растением, богатым питательными веществами. Его химический состав включает различные компоненты, такие как углеводы, белки, жиры, витамины и минералы. Ячмень содержит значительное количество углеводов, в основном

в форме крахмала. Эти углеводы служат основным источником энергии для организма. Белки в ячмене составляют важную часть его питательной ценности. Они содержатся в эндосперме (внутренняя часть зерна). Белки ячменя обладают высокой биологической ценностью благодаря наличию незаменимых аминокислот, необходимых для поддержания здоровья. Белки ячменя преимущественно запасные – проламины (гордеины). Жир содержится в ячмене в небольших количествах, преимущественно в форме ненасыщенных жирных кислот, таких как линолевая кислота. Жиры в зерне ячменя играют роль в поддержании здоровья кожи, волос и общего обмена веществ. Ячмень содержит разнообразные витамины группы В. Стоит выделить В₁, В₂, В₃, В₅ и В₆, которые жизненно важны для нормального функционирования ферментных систем организма. Также отметим наличие в ячмене минералов. Например, кальций, содержащийся в ячмене, обеспечивает здоровье костей и зубов, магний способствует правильной работе мышц и нервов, фосфор участвует в образовании костей и клеточной структуры, а калий помогает поддерживать нормальное давление крови. Также стоит упомянуть о наличии в ячмене железа и цинка, первый из которых необходим для транспортировки кислорода в организме, тогда как второй играет важную роль в иммунной системе и процессах заживления ран. Ячмень также содержит фитохимические соединения, такие как антиоксиданты, в том числе полифенолы и флавоноиды, которые могут помогать в защите клеток от повреждений, вызванных свободными радикалами. В целом ячмень представляет собой зерновое растение, которое стоит рассматривать в качестве ценного источника питательных веществ для человека [17, 18].

Ячмень, как правило, содержит примерно 70 % крахмала, 10–20 белка, 2–3 липидов и около 2,5 % минеральных веществ. Пищевые волокна ячменя классифицируются на растворимые и нерастворимые. Растворимые волокна улучшают функцию кишечника и уменьшают гликемический индекс, в то время как нерастворимые способствуют нормализации кишечной перистальтики. Тем не менее в качестве объекта исследования ячмень был выбран благодаря наличию в его составе растворимых пищевых волокон β-глюкана. Содержание β-глюкана в яч-

мене составляет по разным оценкам от 2 до 10 % [17–19].

Воздействие на муку, полученную из ячменя, химическими реагентами и далее ферментными препаратами, с целью извлечения β -глюкана, представляет краткое изложение сути эксперимента. Сначала муку обрабатывали этанолом, затем гидроксидом натрия, а после добавляли ферменты амилалитического и протеолитического действия. Процесс направлен на ослабление межмолекулярного взаимодействия β -глюкана с другими компонентами растительных тканей, такими как крахмал и белки. Предполагается, что такая последовательность обработки способствует «мягкому» выделению β -глюкана и не оказывает влияния на его нативную структуру. Экстракцию β -глюкана проводили в следующей последовательности: Ячмень (зерно) → Измельчение → Просеивание (> 5 мкм) → Кипячение в 80 %-м C_2H_5OH (соотношение 1 : 10; $t = 360$ мин) → Добавление $NaOH$ (соотношение 7 : 1 к массе муки; концентрация 1М) → Перемешивание ($t = 90$ мин; $T = 45$ °C) → Центрифугирование ($15\,000\text{ мин}^{-1}$; $t = 15$ мин; $T = 20$ °C) → Нейтрализация лимонной кислотой ($pH = 7$) → Обработка α -амилазой ($t = 180$ мин, $T > 40$ °C) → Центрифугирование ($15\,000\text{ мин}^{-1}$; $t = 20$ мин;

$T > 40$ °C) → Обработка протеолитическими ферментами ($t = 180$ мин, $T > 37$ °C) → Центрифугирование ($22\,000\text{ мин}^{-1}$; $t = 20$ мин; $T = 4$ °C) → Выдерживание смеси надосадочной жидкости и этилового спирта (80 %) в соотношении 1 : 2 ($t = 15$ мин) → Центрифугирование ($22\,000\text{ мин}^{-1}$; $t = 20$ мин; $T = 4$ °C) → Высушивание надосадочной жидкости (содержание сухих веществ ≤ 96 %).

Полученные кристаллы β -глюкана имеют белый цвет с небольшим желтым оттенком, что может указывать на наличие примесей и характеризовать кристаллическую структуру. Исследования химического состава проводили в трехкратном повторении для повышения достоверности результатов. Полученные данные пересчитывали на сухое вещество, что является стандартной практикой при анализе химического состава пищевых продуктов/ингредиентов. В таблице представлены основные показатели химического состава кристаллов β -глюкана, такие как содержание углеводов (крахмал, моно- и дисахариды, растворимые и нерастворимые пищевые волокна), жира, белка и золы. Стандартное отклонение указывает на степень вариации результатов в трехкратном повторении и позволяет оценить их точность.

Показатели качества кристаллов β -глюкана, %
Quality indicators of β -glucan crystals, %

Показатель	Значение показателя качества
Углеводы:	2,12 $\pm$ 0,02
крахмал	1,47 $\pm$ 0,02
моно- и дисахариды	0,65 $\pm$ 0,02
Пищевые волокна:	91,4 $\pm$ 0,04
растворимые (в т. ч. β -глюкан)	77,6 $\pm$ 0,04
нерастворимые	13,8 $\pm$ 0,04
Жиры	0,36 $\pm$ 0,01
Белки	4,88 $\pm$ 0,02
Зола	1,24 $\pm$ 0,01

В соответствии с данными таблицы, кристаллы β -глюкана содержат значительную долю белка в сравнении с другими примесями, составляющую 4,88 %. Полученные результаты представляют значимость, учитывая, что количество белка в образцах кристаллов превышает сумму содержания крахмала, моно- и дисахари-

дов, сырого жира и золы, вместе взятых. Это может быть интересным с точки зрения потенциального влияния на качество взбивных кондитерских масс. Стоит отметить, что уровень крахмала и золы в образцах приблизительно одинаков. Основной компонент кристаллов – пищевые волокна, составляющие 91,4 % от об-

щей массы исследуемых образцов. Содержание растворимых волокон, в основном β -глюкана, составило 77,6 %. Низкое содержание посторонних примесей в исследуемых кристаллах β -глюкана объясняется использованием термостабильной α -амилазы в комплексе с ферментами протеолитического действия. Высокая чистота и качество полученных кристаллов является важным фактором при их применении в производстве взбивных кондитерских масс. Полученные кристаллы β -глюкана не имеют запаха и обладают нейтральным вкусом, что делает их привлекательным ингредиентом для использования в кондитерской промышленности. Введение в технологию и рецептуру β -глюкана открывает широкие перспективы для создания новых продуктов с улучшенными пищевыми свойствами и повышенной биологической ценностью.

Заключение. В исследовании был применен ферментативный метод гидролиза, который является щадящим способом обработки сырья с целью извлечения ценного компонента – β -глюкана. Сначала происходила предварительная подготовка сырья, полученного из ячменя. Затем сырье подвергалось воздействию амилазы и комплекса протеолитических ферментов. Амилаза является ферментом, способным разрушать амилопектин, полисахарид, который содержится в клеточной стенке ячменя, что упрощает доступ к β -глюкану. Протеолитические ферменты, в свою очередь, разрушают белковую часть клеточной структуры, что также способствует выделению β -глюкана. В результате

этого процесса происходило образование кристаллов, содержащих высокую концентрацию растворимых пищевых волокон, в основном β -глюкана. Важно отметить, что содержание β -глюкана в полученных кристаллах достигло 77,6 % на сухое вещество, что свидетельствует о высокой эффективности ферментативного гидролиза в извлечении β -глюкана из ячменя.

Полученные кристаллы β -глюкана обладают рядом привлекательных характеристик, делающих их перспективными для применения в различных областях пищевой промышленности, в том числе в кондитерской промышленности при производстве взбивных кондитерских масс. В частности, они бесцветны, не имеют запаха и обладают нейтральным вкусом, что делает их идеальным кандидатом для использования в технологии взбивных кондитерских масс. Эти свойства открывают широкие возможности для создания новых продуктов и улучшения уже существующих.

Однако следует отметить, что термин «растворимые пищевые волокна» охватывает широкий круг химических соединений, а не только β -глюкан. Для более точного определения содержания β -глюкана в полученных кристаллах потребуются дополнительные исследования, выходящие за рамки данной работы. Это позволит более глубоко и детально изучить характеристики полученного продукта и его потенциальное применение в пищевой промышленности, а также определить возможные способы оптимизации процесса производства.

Список источников

1. Саломатов А.С. Применение амилазных и протеолитических ферментов для получения β -глюкана из ячменя // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2016. Т. 4, № 2. С. 13–19. DOI: 10.14529/food160202. EDN: WCNMYV.
2. Чугунова О.В., Пастушкова Е.В., Плиса О.В., и др. Ферментативное получение концентратов β -глюканов из вторичных пищевых ресурсов // Вестник КрасГАУ. 2023. № 8. С. 184–193. DOI: 10.36718/18194036-2023-8-184-193. EDN: ENTJIR.
3. Захарова Ю.В., Котова Т.В., Соболева О.М., и др. Биогенные свойства экстрактов проростков ячменя // Индустрия питания. 2022. Т. 7, № 1. С. 54–62. DOI: 10.29141/2500-1922-2022-7-1-7. EDN: GFNTMW.
4. Sun Y., Zhang S., He H., et al. Comprehensive evaluation of the prebiotic properties of *Dendrobium officinale* polysaccharides, β -glucan, and inulin during in vitro fermentation via multi-omics analysis. International Journal of Biological Macromolecules. 2023. Vol. 253, Part 7. P. 127326. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127326. EDN: KPUZXP.

5. Полонский В.И., Герасимов С.А., Сумина А.В. Пластичность и стабильность образцов пленчатого ячменя по содержанию β -глюканов в зерне и его крупности в условиях Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2022. № 4 (181). С. 53–61. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-53-61. EDN: MKORHC.
6. Nanta P., Buachan P., Pinket W., et al. β -Glucan fragmentation by microfluidization and TNF- α -immunostimulating activity of fragmented β -glucans // Heliyon. 2024. Vol. 10, Is. 8. P. e29444. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29444. EDN: WIVRPZ.
7. Гематдинова, В.М. Технология β -глюкансодержащих пищевых добавок из вторичных ресурсов переработки овса: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2018. 161 с. EDN: LIEZMV.
8. Васькина В.А., Машкова И.А., Быков А.А., и др. Влияние инкапсулированного подсолнечного масла в оболочках из гидроколлоидов на качество и структуру овсяного печенья // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. 2024. Т. 62, № 1. С. 68–81. DOI: 10.29235/1817-7204-2024-62-1-68-81. EDN: WEIUNL.
9. Харламова Л.Н., Синельникова М.Ю., Матвеева Д.Ю. Бета-глюкан и его роль в напитках из овса // Пищевая промышленность. 2023. № 12. С. 61–63. DOI: 10.52653/PPI.2023.12.12.012. EDN: KEKEQD.
10. Liu X., Sui J., Li C., et al. The preparation and therapeutic effects of β -glucan-specific nanobodies and nanobody-natamycin conjugates in fungal keratitis // Acta Biomaterialia. 2023. Vol. 169. P. 398–409. DOI: 10.1016/j.actbio.2023.08.019. EDN: DQKDJE.
11. Вафин Р.Р., Михайлова И.Ю., Агейкина И.И., и др. Моделирование ДНК-технологии видовой идентификации сырьевого состава напитков на растительной основе // Пищевая промышленность. 2022. № 8. С. 107–111. DOI: 10.52653/PPI.2023.8.8.020. EDN: FOXPTR.
12. Васькина В.А., Еркин М.И., Бабаева Д.С., Соколова Н.Д., Саломатов А.С., Щербакова Е.И., Новожилова Е.С., Машкова И.А. Сахарное печенье на растительных маслах. Патент 2711961 Российская Федерация. 23.01.2020. Бюл. № 3. Доступно по: <https://patents.google.com/patent/RU2711961C1/ru>. Ссылка активна на 03.05.2024. EDN: SGTJSW.
13. Cui Y., Han X., Hu X., et al. Distinctions in structure, rheology, antioxidation, and α -glucosidase inhibitory activity of β -glucans from different species // International Journal of Biological Macromolecules. 2023. Vol. 253, Part 8. P. 127684. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127684. EDN: BTOXZC.
14. Setyawan R.H., Ardiansyah A., Solihat N.N., et al. Chemical structure characterization of edible mushroom-extracted beta-glucan and its bioactivity // Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre. 2024. Vol. 31. P. 100411. DOI: 10.1016/j.bcdf.2024.100411. EDN: XJOKMJ.
15. Xie Y., Liu Q., Liu H., et al. Effect of various thermal processing on the structural and in vitro prebiotic characteristics of β -glucan from Hulless Barley // Food Hydrocolloids. 2023. Vol. 142. P. 108818. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.108818. EDN: PLJSWB.
16. Рущиц А.А., Щербакова Е.И., Саломатов А.С. Влияние СВЧ-обработки на качество зерна ячменного солода // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2023. № 5–6 (394). С. 55–60. DOI: 10.26297/0579-3009.2023.5-6.8. EDN: KNXSUA.
17. Sousa P., Tavares-Valente D., Amorim M., et al. β -Glucan extracts as high-value multifunctional ingredients for skin health: A review // Carbohydrate Polymers. 2023. Vol. 322. DOI: 10.1016/j.carbpol.2023.121329. EDN: MAPEYK.
18. Tirunavalli S.K., Pramatha S., Eedara A.Ch., et al. Protective effect of β -glucan on Poly(I:C)-induced acute lung injury/inflammation: Therapeutic implications of viral infections in the respiratory system // Life Sciences. 2023. Vol. 330. P. 122027. DOI: 10.1016/j.lfs.2023.122027. EDN: EXCFFQ.
19. Dong Q-Q., Wu Q., Lu Y., et al. Exploring β -glucan as a micro-nano system for oral delivery targeted the colon // International Journal of Biological Macromolecules. 2023. Vol. 253, Part 6. P. 127360. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127360. EDN: TQYXUS.

References

1. Salomatov AS. Application of amylolytic and proteolytic enzymes for obtaining β -glucan from barley. *Bulletin of SUSU. Series "Food and Biotechnology"*. 2016;4(2):13-19. (In Russ.). DOI: 10.14529/food160202. EDN: WCNMYV.
2. Chugunova OV, Pastushkova EV, Pliska OV, et al. Enzymatic production of β -glucan concentrates from secondary food resources. *Bulletin of KSAU*. 2023;(8):184-193. (In Russ.). DOI: 10.36718/18194036-2023-8-184-193. EDN: ENTJIR.
3. Zakharova YuV, Kotova TV, Soboleva OM, et al. Bifidogenic properties of barley sprout extracts. *Food Industry*. 2022;7(1):54-62. (In Russ.). DOI 10.29141/2500-1922-2022-7-1-7.
4. Sun Y, Zhang S, He H, et al. Comprehensive evaluation of the prebiotic properties of *Dendrobium officinale* polysaccharides, β -glucan, and inulin during in vitro fermentation via multi-omics. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023;253(7):127326. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127326. EDN: KPUZXP.
5. Polonsky VI, Gerasimov SA, Sumina AV. Plasticity and stability of film-covered barley samples by the content of β -glucans in grain and its size under the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. *Bulletin of KSAU*. 2022;(4):53-61. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-53-61. EDN: MKORHC.
6. Nanta P, Buachan P, Pinket W, et al. β -Glucan fragmentation by microfluidization and TNF- α -immunostimulating activity of fragmented β -glucans. *Heliyon*. 2024;10(8):e29444. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29444. EDN: WIVRPZ.
7. Gematdinova VM. *Tekhnologiya β -glyukansoderzhashchih pishchevyh dobavok iz vtorichnyh resursov pererabotki ovsa* [dissertation]. Kazan, 2018. 161 p. (In Russ.). EDN: LIEZMV.
8. Vaskina VA, Mashkova IA, Bykov AA, et al. The effect of encapsulated sunflower oil in hydrocolloids shells on the quality and structure of oatmeal cookies. *Vesci Nacyânal'naj akademii navuk Belarusi. Seryâ agrarnykh navuk*. 2024;62(1):68-81. (In Russ.). DOI: 10.29235/1817-7204-2024-62-1-68-81. EDN: WEIUNL.
9. Kharlamova LN, Sinelnikova MYu, Matveeva DYU. Beta-glucan and its role in oat. *Food Industry*. 2023;(12):61-63. (In Russ.). DOI: 10.52653/PPI.2023.12.12.012. EDN: KEKEQD.
10. Liu X, Sui J, Li C, et al. The preparation and therapeutic effects of β -glucan-specific nanobodies and nanobody-natamycin conjugates in fungal keratitis. *Acta Biomaterialia*. 2023;169:398-409. DOI: 10.1016/j.actbio.2023.08.019. EDN: DQKDJE.
11. Vafin RR, Mikhaylova IYu, Ageykina II, et al. Modeling of dna technology for species identification of the raw composition of plant-based beverages. *Food industry*. 2022;(8):107-111. (In Russ.). DOI: 10.52653/PPI.2023.8.8.020. EDN: FOXPTR.
12. Vas'kina VA, Erkin MI, Babaeva DS, Sokolova ND, Salomatov AS, Shcherbakova EI, Novozhilova ES, Mashkova IA. Saharnoe pechen'e na rastitel'nykh maslah. Patent 2711961 RUS. 23.01.2020. Byul. № 3. Available at: <https://patents.google.com/patent/RU2711961C1/ru>. Accessed: 03.05.2024. (In Russ.). EDN: SGTJSW.
13. Cui Y, Han X, Hu X, et al. Distinctions in structure, rheology, antioxidation, and α -glucosidase inhibitory activity of β -glucans from different species. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023;253(8):127684. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127684. EDN: BTOXZC.
14. Setyawan RH, Ardiansyah A, Solihat NN, et al. Chemical structure characterization of edible mushroom-extracted beta-glucan and its bioactivity. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2024;31:100411. DOI: 10.1016/j.bcdf.2024.100411. EDN: XJOKMJ.
15. Xie Y, Liu Q, Liu H, et al. Effect of various thermal processing on the structural and in vitro prebiotic characteristics of β -glucan from Hulless Barley. *Food Hydrocolloids*. 2023;142:108818. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.108818. EDN: PLJSWB.
16. Rushits AA, Shcherbakova EI, Salomatov AS. The influence of microwave processing on grain quality of barley malt. *Izvestiya vuzov. Food technology*. 2023;(5-6):55-60. (In Russ.). DOI: 10.26297/0579-3009.2023.5-6.8. EDN: KNXSUA.

17. Sousa P, Tavares-Valente D, Amorim M, et al. β -Glucan extracts as high-value multifunctional ingredients for skin health: A review. *Carbohydrate Polymers*. 2023;322:121329. DOI: 10.1016/j.carbpol.2023.121329. EDN: MAPEYK.
18. Tirunavalli SK, Pramatha S, Eedara ACh, et al. Protective effect of β -glucan on Poly(I:C)-induced acute lung injury/inflammation: Therapeutic implications of viral infections in the respiratory system. *Life Sciences*. 2023;330:122027. DOI: 10.1016/j.lfs.2023.122027. EDN: EXCFFQ.
19. Dong Q-Q, Wu Q, Lu Y, et al. Exploring β -glucan as a micro-nano system for oral delivery targeted the colon. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023;253(6):127360. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127360. EDN: TQYXUS.

Статья принята к публикации 06.03.2025 / The article accepted for publication 06.03.2025.

Информация об авторах:

Алексей Сергеевич Саломатов¹, доцент кафедры технологии и организации общественного питания, кандидат технических наук

Анастасия Андреевна Рушиц², доцент кафедры технологии и организации общественного питания, кандидат технических наук

Юлия Александровна Снурникова³, доцент кафедры технологии и организации общественного питания, кандидат технических наук

Information about the authors:

Alexey Sergeevich Salomatov¹, Associate Professor at the Department of Technology and Organization of Public Catering, Candidate of Technical Sciences

Anastasia Andreevna Ruschits², Associate Professor at the Department of Technology and Organization of Public Catering, Candidate of Technical Sciences

Yulia Aleksandrovna Snurnikova³, Associate Professor at the Department of Technology and Organization of Public Catering, Candidate of Technical Sciences

