

## ПРИМЕНЕНИЕ АМИЛОЛИТИЧЕСКИХ И ПРОТЕОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ $\beta$ -ГЛЮКАНА ИЗ ЯЧМЕНЯ

**А.С. Саломатов**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

Представлена общая информация о глюканах, их молекулярной массе и конфигурации. Приведена классификация глюканов. Выполнен анализ отечественных и зарубежных источников, посвященных влиянию  $\beta$ -глюкана на организм человека. В частности, описана способность  $\beta$ -глюкана снижать гликемический индекс продуктов; оказывать иммуномодулирующее действие; снижать вероятность возникновения и развития опухолей; проявлять антиоксидантные свойства; положительно влиять на процессы регенерации через активацию кератиноцитов и фибробластов, а также оказывать противоаллергический эффект. Представлена информация о продуктах питания с добавлением  $\beta$ -глюкана. Анализ химического состава ячменя позволил обосновать выбор его в качестве объекта исследования.  $\beta$ -глюкан выделяли из ячменя сорта Челябинский 99. В работе использованы общепринятые методы исследования. Эксперименты по экстракции  $\beta$ -глюкана проведены согласно схеме. В экспериментах применялась термостабильная  $\alpha$ -амилаза и комплекс протеолитических ферментов. Последовательная обработка ячменной муки этанолом, гидроксидом натрия и ферментами амилолитического и протеолитического действия способствовала ослаблению межмолекулярного взаимодействия  $\beta$ -глюкана с другими компонентами растительных тканей, представленных преимущественно крахмалом и белками. В результате эксперимента были получены кристаллы  $\beta$ -глюкана. Цвет кристаллов – белый с желтым оттенком. Исследован химический состав кристаллов  $\beta$ -глюкана. Среди посторонних примесей, обнаруженных в кристаллах, наибольшая доля (4,88 %) приходится на белок. Основным компонентом исследуемых кристаллов являлись пищевые волокна, на долю которых приходится 91,4 % от общей массы образцов. Содержание растворимых волокон (преимущественно  $\beta$ -глюкана) в 5,6 раз превышало содержание нерастворимых. В результате применения ферментативного метода гидролиза, заключающегося в попеременной обработке подготовленного сырья ферментами, были получены кристаллы, содержащие растворимые волокна в количестве 77,6 % на сухое вещество.

**Ключевые слова:** ячмень, термостабильная  $\alpha$ -амилаза, протеолитические ферменты, экстракция,  $\beta$ -глюкан, химический состав.

### Введение

Глюканы, в зависимости от источника выделения, представляют собой полимеры, отличающиеся молекулярной массой и конфигурацией [1, 2]. В природе широко распространены  $\alpha$ -D-глюканы и  $\beta$ -D-глюканы, но также встречаются и смешанные  $\alpha$ , $\beta$ -D-глюканы [3]. Глюканы также классифицируют в зависимости от распределения гликозидных связей вдоль цепи; положения пиранозного кольца; ветвления и молекулярной массы. С помощью модификации возможно получение различных производных глюкана для применения в фармацевтической и пищевой промышленности [4].

В последние годы глюканы, а именно их  $\beta$ -форма, привлекли внимание ученых. По-

вышенный интерес к  $\beta$ -глюкану обусловлен его способностью снижать гликемический индекс продуктов путем образования в желудочно-кишечном тракте вязких гелей, замедляющих всасывание сахаров [5–8]. Кроме того, последние исследования выявили способность  $\beta$ -глюкана оказывать иммуномодулирующее действие, а также снижать вероятность возникновения и развития опухолей [9]. Следует также отметить антиоксидантные свойства  $\beta$ -глюкана, позволяющие использовать его в производстве продуктов питания с целью увеличения их срока хранения [10, 11]. Особого внимания заслуживает способность  $\beta$ -глюкана оказывать стимулирующее влияние на процессы регенерации через активацию кератиноцитов и фибробластов. Противоал-

лергические свойства  $\beta$ -глюкана позволяют использовать его в производстве продуктов питания для широкого круга потребителей [12, 13].

Совокупность полезного эффекта, оказываемого  $\beta$ -глюканом на здоровье человека при его регулярном потреблении, способствовало повышению интереса производителей пищевых продуктов к  $\beta$ -глюкану, как компоненту продуктов питания [14–16]. В частности, с недавнего времени компанией «Компани Жерве Данон» выпускается ферментированный молочный продукт с  $\beta$ -глюканом [15]. В свою очередь, компания «Тропикана продактс» разработала и выпустила линейку соков с  $\beta$ -глюканом [16].

$\beta$ -глюкан обнаружен как в сырье растительного происхождения (ячмень, овес, пшеница), так и микробного (клеточные стенки дрожжей). Из растительного сырья, в качестве источника  $\beta$ -глюкана, наибольший интерес представляет ячмень. Содержание  $\beta$ -глюкана в нем может достигать 20 %, причем в клеточных стенках эндосперма на его долю приходится до 75 % от общей массы веществ [12, 17, 18].

С целью применения в пищевой промышленности наибольший интерес представляет хорошо отчищенный  $\beta$ -глюкан. Наличие посторонних примесей в  $\beta$ -глюкане способно оказать негативное влияние на органолептические показатели продуктов питания, придавая им несвойственный вкус и аромат [9].

Целью данной работы является получение  $\beta$ -глюкана из ячменя посредством применения комплекса ферментов амилолитического и протеолитического действия и оценка его качества.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- выделить  $\beta$ -глюкан из ячменя с использованием комплекса ферментов;
- оценить качество полученного  $\beta$ -глюкана.

### Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследования был выбран ячмень сорта Челябинский 99. Сырье измельчали с использованием лабораторной мельницы ЛЗМ-1 и просеивали. Полученную ячменную муку кипятили в течение 6 часов в 80 %-ном растворе этилового спирта, десятикратно превышающим массу навески. Затем в полученную смесь вводили гидроксид натрия (1М) и выдерживали в течение 90 минут при

температуре 45 °С на плитке при непрерывном помешивании. Полученную смесь центрифугировали, рН надосадочной жидкости доводили до 7, а затем поочередно обрабатывали комплексом амилолитических и протеолитических ферментов. Качество  $\beta$ -глюкана оценивали по содержанию посторонних примесей с использованием общепринятых методов исследования: содержание крахмала методом Эверса по ГОСТ 10845–98; моно- и дисахариды – ГОСТ 15113.6–77; содержание жира экстракционно-весовым методом с использованием аппарата Сокслета – ГОСТ 29033–91; содержание общего азота с пересчетом на общий белок по коэффициенту 6,25 методом Къельдаля – ГОСТ 10846–91; определение золы гравиметрическим методом – ГОСТ 15113.3–77; определение нерастворимых и растворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом – ГОСТ Р 54014–2010.

Исследования проводились в лаборатории по контролю качества продуктов питания кафедры «Технология и организация питания» Южно-Уральского государственного университета (НИУ), в лаборатории ФГУ Центра химизации и с/х радиологии; в аккредитованном Испытательном лабораторном центре ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Челябинской области».

### Результаты и их обсуждение

Компоненты ячменя. Как правило, цельнозерновой ячмень состоит из примерно 70 % крахмала, 10–20 % белка, 5–10 %  $\beta$ -глюкана, 2–3 % липидов и около 2,5 % минеральных веществ [3–7].

Белок ячменя. Ячмень богат запасными белками – проламинами (hordeins). Они могут быть классифицированы в зависимости от их молекулярной массы и расположения. А-Hordeins имеют молекулярную массу 12–26 кДа; молекулярная масса В-Hordeins находится в пределах 36–45 кДа; С-Hordeins – в пределах 59–72 кДа; D-Hordeins – 100 кДа. В целом, белки ячменя не являются полноценными, но тем не менее, включают в себя ряд незаменимых и полузаменимых аминокислот: треонин, валин, лизин и аргинин [4].

Ячменный крахмал. Крахмал является основным компонентом эндосперма ячменя. Меньше всего крахмала содержится в алейроновом и субалейроновом слоях, а также в тканях зародыша [6].

Липиды ячменя. Неполярные липиды ячменя – триацилглицериды, состоят преимущественно из моно- и диацилглицерола, а также свободных жирных кислот, тогда как полярные липиды в основном представлены фосфолипидами. Линолевая кислота (50–60 %), пальмитиновая (20–30 %), олеиновая (10–15 %) и линоленовая кислоты (4–9 %) составляют основу липидов ячменя. Часть липидов находится внутри крахмальных гранул, расположенных в эндосперме ячменя. Другая их часть локализована в ядре зерна и представлена преимущественно пальмитиновой (46 %) и линолевой (34 %) кислотами [3, 6, 12].

Минералы ячменя. Зольность ячменя обычно находится в диапазоне 2–3 %. Минеральный состав ячменя представлен фосфором, калием и кальцием, в то время как хлор, магний, сера и натрий содержатся в меньших количествах. Самая высокая концентрация минералов обнаружена в зародыше, самая низкая – в эндосперме [8–13].

Пищевые волокна ячменя. Пищевые волокна классифицируются на растворимые и нерастворимые. Из анализа публикаций по данной теме, растворимые волокна можно обозначить как съедобные части растений или аналогичные углеводы, устойчивые к перевариванию и всасыванию в тонком кишечнике человека с полной или частичной ферментацией в толстом кишечнике. В отличие от растворимых, нерастворимые пищевые волокна проходят желудочно-кишечный тракт, не будучи переваренными и лишь способствуют нормализации функции кишечника [9–11].

$\beta$ -глюкан. В последние годы потенциал использования  $\beta$ -глюкана из ячменя и других источников в качестве функционального пищевого ингредиента привлек к себе внимание научного сообщества. Продукты питания с  $\beta$ -глюканом отнесены к функциональным. Являясь структурообразователем, он способен придавать продуктам желаемые свойства и консистенцию, оказывая влияние на текстуру конечного продукта.  $\beta$ -глюкан – это более общее название (1/3,1/4)- $\beta$ -D-глюканов.  $\beta$ -глюкан состоит из гомополимеров D-глюкопиранозильных остатков, обычно содержащих две (cellotriose) или три (cellotetraose)  $\beta$ -(1/4) связи, разделенные одной  $\beta$ -(1/3) связью. Молекулярная структура  $\beta$ -глюкана была изучена путем анализа олигомеров, полученных в результате расщепления  $\beta$ -глюкана с использованием специфиче-

ских ферментов, способных разрушать связи между D-глюкопиранозил единицами. Примерно 90–95 % от олигосахаридов, образованных в процессе пищеварения, являются трисахаридами (3-O- $\beta$ -D-cellobiosyl-D-glucose) и тетрасахаридами (3-O- $\beta$ -D-cellotriosyl-D-glucose), а остальные 5–10 % представлены преимущественно олигосахаридами.  $\beta$ -глюканы, выделенные из различных злаков, имеют примерно одинаковую молекулярную структуру, но отличаются соотношением  $\beta$ -(1/4)/ $\beta$ -(1/3) связей. Они также могут отличаться соотношением трисахарида/тетрасахарида, а также молекулярной массой. Ячмень обычно содержит 2–10 %  $\beta$ -глюкана, но в некоторых сортах его содержание может достигать 20 %. В клеточных стенках эндосперма ячменя на долю  $\beta$ -глюкана приходится 75 % общей массы полисахаридов. Остальные 25 % распределяются между arabinoxylans, целлюлозой, glucamannans и белками [4, 16].

Суть эксперимента сводилась к последовательной обработке ячменной муки этанолом, гидроксидом натрия и ферментами амилолитического и протеолитического действия, что способствовало ослаблению межмолекулярного взаимодействия  $\beta$ -глюкана с другими компонентами растительных тканей, представленных преимущественно крахмалом и белками (см. рисунок).

В результате эксперимента были получены кристаллы  $\beta$ -глюкана. Цвет кристаллов – белый с желтым оттенком. Проведены исследования химического состава  $\beta$ -глюкана, полученного путем поочередной обработки подготовленного сырья комплексом амилолитических и протеолитических ферментов. Эксперименты проведены в трехкратной повторности с вычислением среднего арифметического значения трех параллельных экспериментов. Результаты исследования химического состава кристаллов  $\beta$ -глюкана представлены в таблице. Расчет показателей выполнен на сухое вещество.

Среди посторонних примесей, обнаруженных в кристаллах  $\beta$ -глюкана, наибольшая доля (4,88 %) приходится на белок. Следует отметить, что содержание белка в исследуемых образцах превышает сумму крахмала, моно- и дисахаридов, сырого жира и золы вместе взятых. Содержание крахмала и золы в образцах примерно одинаково. Основным компонентом исследуемых кристаллов являлись пищевые волокна, на долю которых при-

ходится 91,4 % от общей массы образцов. Содержание растворимых волокон, преимущественно  $\beta$ -глюкана, в 5,6 раз превышает содержание нерастворимых.

Относительно невысокое содержание посторонних примесей в исследуемых кристаллах  $\beta$ -глюкана обусловлено применением термостабильной  $\alpha$ -амилазы в комплексе с ферментами протеолитического действия.

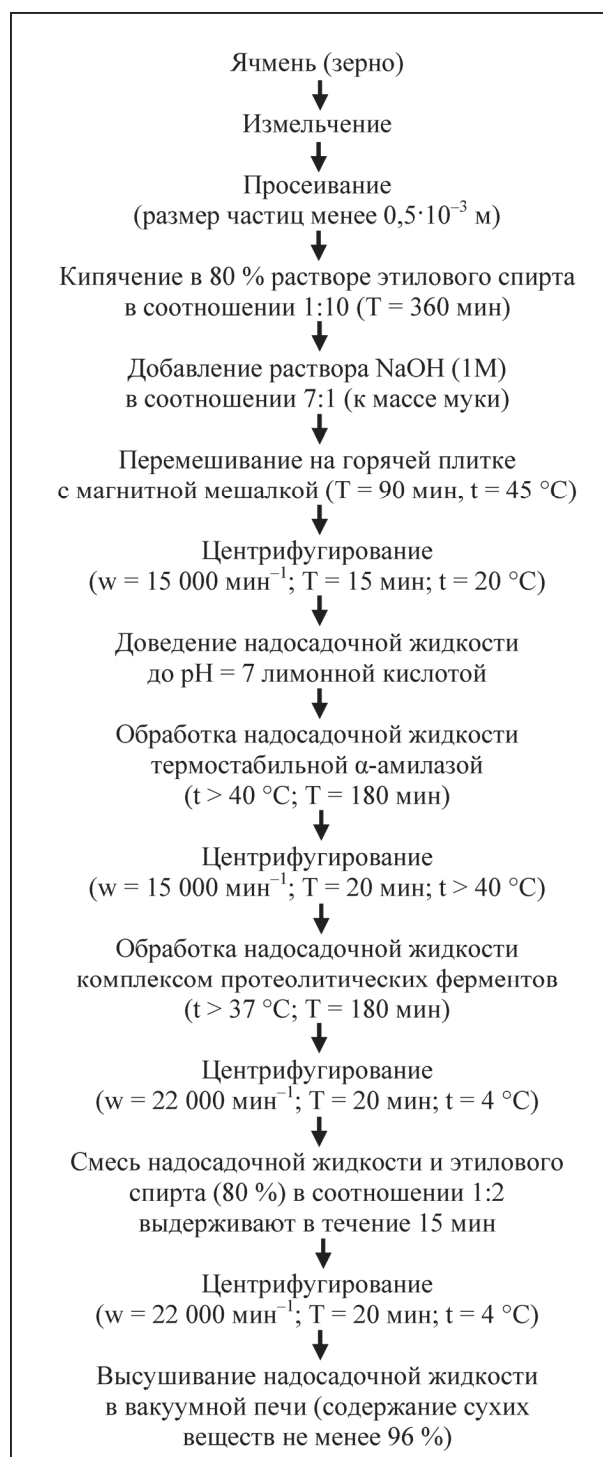


Схема проведения эксперимента

Показатели качества кристаллов  $\beta$ -глюкана

Химический состав, %	Значение показателя качества
Углеводы:	2,12 ± 0,02
крахмал	1,47 ± 0,02
моно- и дисахариды	0,65 ± 0,02
Пищевые волокна:	91,4 ± 0,04
растворимые (в том числе $\beta$ -глюкан)	77,6 ± 0,04
нерастворимые	13,8 ± 0,04
Сырой жир	0,36 ± 0,01
Белки	4,88 ± 0,02
Зола	1,24 ± 0,01

### Заключение

Таким образом, в результате применения ферментативного метода гидролиза, заключающегося в попеременной обработке подготовленного сырья амилазой и комплексом протеолитических ферментов, были получены кристаллы с содержанием растворимых пищевых волокон, преимущественно  $\beta$ -глюкана, 77,6 % на сухое вещество.

Известно, что термин «растворимые пищевые волокна» включает целый ряд химических соединений. Для определения точного количества  $\beta$ -глюкана необходимо проведение дополнительных исследований, выходящих за рамки данной работы.

### Литература

1. Ahmad, A. Extraction and characterization of  $\beta$ -d-glucan from oat for industrial utilization // A. Ahmad, F. Muhammad Anjum, T. Zahoor, H. Nawaz, Z. Ahmed / *International Journal of Biological Macromolecules*, V. 46, Is. 3, 2010, P. 304-309.

2. Новый вид сырья из перловой крупы для применения в технологии кондитерских изделий / А.С. Саломатов, А.Д. Тошев, В.А. Васюкина, Г.Н. Горячева // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. – 2015. – Т. 3, № 1. – С. 24–35.

3. Mitsou, E.K. Prebiotic potential of barley derived  $\beta$ -glucan at low intake levels: a randomised, double-blinded, placebocontrolled clinical study // M.K. Mitsou, N. Panopoulou, K. Turunen, V. Spiliotis, A. Kyriacou / *Food Research International*, 2010, V. 43(4), P. 1086–1092.

4. Buckeridge, M.S. Insight into the multi-site mechanism of glycosyl transfer in (1/4)-*b*-D-glycans provided by the cereal mixed-linkage (1/3),(1/4)-*b*-D-glucans synthase / M.S. Buckeridge, C.E Vergara, N. Carpita // *Phytochemistry*, 2001, V. 57, Iss. 7, P. 1045–1053.
5. Brennan, C.S. Utilisation glucagel in the beglucan enrichment of breads: a physiochemical and nutritional evaluation // C.S. Brenna, L.J. Cleary / *Food Research International*, 2007, V. 40, P. 291–296.
6. Ostman, E. Glucose and insulin responses in healthy men to barley bread with different levels of (1/3;1/4)-*b*-glucans; predictions using fluidity measurements of in vitro enzyme digests // E. Ostman, E. Rossi, H. Larsson, F. Brighenri, I. Bjorck / *Journal of Cereal Science*, 2006, V. 43. – P. 230–235.
7. Васькина, В.А. Проектирование оптимальных рецептур мучных кондитерских изделий на примере пряников / В.А. Васькина, Ш.А. Мухамедиев // *Хлебопекарное производство*. – 2011. – № 9. – С. 27–28.
8. Иунихина, В.С. Продукты на зерновой основе: возможности расширения ассортимента на современном этапе / В.С. Иунихина // *Хлебопродукты*. – 2012. – № 10. – С. 10–11.
9. Sullivan, P. The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods // P. Sullivan, E. Arendt, E. Gallagher / *Trends in Food Science & Technology*, V. 29, Is. 2, 2013, P. 124–134.
10. Andersson, A.A.M. Molecular weight and structure units of (1→3, 1→4)- $\beta$ -glucans in dough and bread made from hull-less barley milling fractions / A.A.M. Andersson, E. Armö, E. Grangeon, H. Fredriksson, R. Andersson, P. Åman // *Journal of Cereal Science*, 2004, V. 40, Is. 3, P. 195–204.
11. Buckeridge, M.S. Mixed linkage (1/3),(1/4)-*b*-D-glycans of grasses / M.S. Buckeridge, C. Rayon, B. Urbanowicz, M.A.S. Tine, N. Carpita // *Cereal Chemistry*, 2004, V. 81, Iss. 7, P. 115–127.
12. Tiwari, U. Dietary exposure assessment of  $\beta$ -glucan in a barley and oat based bread // U. Tiwari, E. Cummins / *LWT - Food Science and Technology*, V. 47, Is. 2, 2012, P. 413–420.
13. Tong, Li-Tao. Effects of dietary hull-less barley  $\beta$ -glucan on the cholesterol metabolism of hypercholesterolemic hamsters // Li-Tao Tong, K. Zhong, L. Liu, X. Zhou, J. Qiu, S. Zhou / *Food Chemistry*, V. 169, 2014, P. 344–349.
14. Пат. 2372786 Российская Федерация, МПК А23G3/52. Способ производства зефира. Васькина В.А., Горячева Г.Н., Мухамедиев Ш.А., Сидоренко М. Ю., Сидоренко Ю.И., Соловьева С.Ю., Туманова А.Е., Шеховцова Т.Г.; заявитель и патентообладатель Васькина Валентина Андреевна. – № 2008122362/13; заявл. 04.06.2008; опубл. 20.11.2009.
15. Пат. 2490919 Российская Федерация, МПК А23С9/137, А23L1/308. Полужидкий пищевой продукт, содержащий волокна бета-глюканов и гуаровую смолу, и его применение в качестве функционального пищевого продукта. Винуа С., Стелер Т., Рондо П.; заявитель и патентообладатель Компани Жерве Данон. – 2009134727/10; заявл. 19.02.2008; опубл. 24.08.2013.
16. Пат. 2469608 Российская Федерация, МПК А23L2/02. Натурально подслащенные соковые продукты с бета-глюканом. Ривера Т., Эстерлинг Д.; заявитель и патентообладатель Тропикана Продактс, ИНК. – 2011111726/13; заявл. 28.07.2009; опубл. 20.12.2012.
17. Marklinder, I. Sour dough fermentation of barley flours with varied content of mixed-linked (1/3),(1/4) *b*-D-glycans // I. Marklinder, L. Johansson /. *Food Microbiology*, 1995, V. 12, P. 363–371.
18. Mikkelsen, M.S. New insights from a  $\beta$ -glucan human intervention study using NMR metabolomics // M.S. Mikkelsen, F. Savorani, M. A. Rasmussen, B.M. Jespersen, M. Kristensen, S.B. Engelsen / *Food Research International*, V. 63, Part B, 2014, P. 210–217.

**Саломатов Алексей Сергеевич.** Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации питания, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), salomatovas@mail.ru

Поступила в редакцию 15 апреля 2016 г.

## APPLICATION OF AMYLOLYTIC AND PROTEOLYTIC ENZYMES WITH A RESULTING $\beta$ -GLUCAN OUT OF BARLEY

A.S. Salomatov

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

General information about glucans, their molecular weight and configuration is presented. The classification of glucans is given. The analysis of national and foreign literature dedicated to  $\beta$ -glucan effect on the human body is conducted. In particular, the following abilities of  $\beta$ -glucan are described: the ability to reduce the glycemic index of foods, exert immunomodulatory effects, reduce the possibility of tumor genesis and growth, exhibit antioxidant properties, have a positive impact on the process of regeneration through the activation of keratinocytes and fibroblasts, as well as to provide anti-allergic effect. The information on food products with the addition of  $\beta$ -glucan is presented. Analysis of the chemical composition of barley allows justifying its selection as an object of study.  $\beta$ -glucan is extracted from Chelyabinsk 99 barley variety. The conventional methods are used in the paper. Experiments on the extraction of  $\beta$ -glucan are performed according to the scheme. A thermostable  $\alpha$ -amylase and the complex of proteolytic enzymes are used in the experiments. The sequential processing of barley flour with ethanol, sodium hydroxide, and enzymes of amylolytic and proteolytic activities contributes to the reduction of intermolecular interaction of  $\beta$ -glucan with other components of plant tissues, mainly represented by starch and proteins. Crystals of  $\beta$ -glucan are obtained as the result of the experiment. Color of crystals are white with a yellow tinge. The chemical composition of crystals of  $\beta$ -glucan is studied. Among the impurities found in crystals, the largest share (4.88 %) accrues to protein. The main components of the studied crystals are dietary fibers, which account for 91.4 % of the total weight of the samples. The content of soluble fibers (of  $\beta$ -glucan predominantly) exceeds the content of insoluble fibers by 5,6 times. As a result of the hydrolysis enzymatic method, consisting in alternating processing of prepared raw material with enzymes, the crystals containing soluble fiber in an amount of 77.6 % per dry substance are obtained.

**Keywords:** barley, thermostable  $\alpha$ -amylase, proteolytic enzymes, extraction,  $\beta$ -glucan, chemical composition.

### References

1. Ahmad, A. Extraction and characterization of  $\beta$ -d-glucan from oat for industrial utilization // A. Ahmad, F. Muhammad Anjum, T. Zahoor, H. Nawaz, Z. Ahmed / *International Journal of Biological Macromolecules*, 2010, vol. 46, iss. 3, pp. 304–309. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2010.01.002
2. Salomatov A.S., Toshev A.D., Vaskina V.A., Goryacheva G.N. New kind of material made from pearl barley for use in confectionery technology. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2015, vol. 3, no. 1 pp. 24–35. (in Russ.)
3. Mitsou E.K., Panopoulou N., Turunen K., Spiliotis V., Kyriacou A. Prebiotic potential of barley derived  $\beta$ -glucan at low intake levels: a randomised, double-blinded, placebocontrolled clinical study. *Food Research International*, 2010, vol. 43(4), pp. 1086–1092. DOI: 10.1016/j.foodres.2010.01.020
4. Buckeridge M.S., Vergara C.E., Carpita N. Insight into the multi-site mechanism of glycosyl transfer in (1/4)- $\beta$ -D-glycans provided by the cereal mixed-linkage (1/3),(1/4)- $\beta$ -Dglucans synthase. *Phytochemistry*, 2001, vol. 57, iss. 7, pp. 1045–1053. DOI: 10.1016/s0031-9422(01)00110-8
5. Brennan C.S., Cleary L.J. Utilisation glucagel in the  $\beta$ -glucan enrichment of breads: a physiochemical and nutritional evaluation. *Food Research International*, 2007, vol. 40, pp. 291–296. DOI: 10.1016/j.foodres.2006.09.014
6. Ostman E., Rossi E., Larsson H., Brighenri F., Bjorck I. Glucose and insulin responses in healthy men to barley bread with different levels of (1/3;1/4)- $\beta$ -glucans; predictions using fluidity measurements of in vitro enzyme digests. *Journal of Cereal Science*, 2006, vol. 43, pp. 230–235. DOI: 10.1016/j.jcs.2005.11.001
7. Vas'kina V.A., Mukhamediev Sh.A. [Design of optimal formulations of flour confectionery products using the example of spice cakes]. *Khlebopekarnoe proizvodstvo* [Breadmaking], 2011, no. 9, pp. 27–28. (in Russ.)
8. Iunikhina V.S. [Cereal based products: the possibility of expanding the range at the present stage]. *Khleboprodukt* [Bakery products], 2012, no. 10, pp. 10–11. (in Russ.)

9. Sullivan P., Arendt E., Gallagher E. The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 29, iss. 2, 2013, pp. 124–134. DOI: 10.1016/j.tifs.2012.10.005
10. Andersson A.A.M., Armö E., Grangeon E., Fredriksson H., Andersson R., Åman P. Molecular weight and structure units of (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucans in dough and bread made from hull-less barley milling fractions. *Journal of Cereal Science*, 2004, vol. 40, iss. 3, pp. 195–204. DOI: 10.1016/j.jcs.2004.07.001
11. Buckeridge M.S., Rayon C., Urbanowicz B., Tine M.A.S., Carpita N. Mixed linkage (1/3),(1/4)-b-D-glucans of grasses. *Cereal Chemistry*, 2004, vol. 81, iss. 7, pp. 115–127. DOI: 10.1094/cchem.2004.81.1.115
12. Tiwari U., Cummins E. Dietary exposure assessment of  $\beta$ -glucan in a barley and oat based bread. *LWT – Food Science and Technology*, 2012, vol. 47, iss. 2, pp. 413–420. DOI: 10.1016/j.lwt.2012.02.002
13. Tong Li-Tao, Zhong K., Liu L., Zhou X., Qiu J., Zhou S. Effects of dietary hull-less barley  $\beta$ -glucan on the cholesterol metabolism of hypercholesterolemic hamsters. *Food Chemistry*, 2014, vol. 169, pp. 344–349. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.07.157
14. Vas'kina V.A., Goryacheva G.N., Mukhamediev Sh.A., Sidorenko M. Yu., Sidorenko Yu.I., Solov'eva S.Yu., Tumanova A.E., Shekhovtsova T.G. *Pat. 2372786 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A23G3/52. Sposob proizvodstva zefira* [Pat. 2372786 Russian Federation, IPC A23G3/52. The method of production of marshmallow]. № 2008122362/13; appl. of 04.06.2008; publ. on 20.11.2009.
15. Vinua S., Steler T., Rondo P. *Pat. 2490919 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A23C9/137, A23L1/308. Poluzhidkiy pishchevoy produkt, sodержashchiy volokna beta-glyukanov i guarovuyu smolu, i ego primeneniye v kachestve funktsional'nogo pishchevogo produkta* [Pat. 2490919 Russian Federation, IPC A23C9/137, A23L1/308. The semi-solid food product comprising fibers of beta-glucans and guar gum and its use as a functional food]. – 2009134727/10; appl. of 19.02.2008; publ. on 24.08.2013.
16. Rivera T., Esterling D. *Pat. 2469608 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A23L2/02. Natural'no podslashchennyye sokovyye produkty s beta-glyukanom* [Pat. 2469608 Russian Federation, IPC A23L2/02. Naturally sweetened juice products with beta-glucan]. 2011111726/13; appl. of 28.07.2009; publ. on 20.12.2012.
17. Marklinder I., Johansson L. Sour dough fermentation of barley flours with varied content of mixed-linked (1/3),(1/4) b-D-glucans. *Food Microbiology*, 1995, vol. 12, pp. 363–371. DOI: 10.1016/s0740-0020(95)80117-0
18. Mikkelsen M.S., Savorani F., Rasmussen M.A., Jespersen B.M., Kristensen M., Engelsen S.B. New insights from a  $\beta$ -glucan human intervention study using NMR metabolomics. *Food Research International*, 2014, vol. 63, part B, pp. 210–217. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.01.026

**Aleksey S. Salomatov.** Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Nutrition Technology and Catering, South Ural State University (Chelyabinsk), salomatovas@mail.ru

*Received 15 April 2016*

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Саломатов, А.С. Применение амилолитических и протеолитических ферментов для получения  $\beta$ -глюкана из ячменя / А.С. Саломатов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2016. – Т. 4, № 2. – С. 13–19. DOI: 10.14529/food160202

#### FOR CITATION

Salomatov A.S. Application of Amylolytic and Proteolytic Enzymes with a Resulting  $\beta$ -glucan out of Barley. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2016, vol. 4, no. 2, pp. 13–19. (in Russ.) DOI: 10.14529/food160202