

УДК 664.785.86

ПОЛУЧЕНИЕ КОНЦЕНТРАТА В-ГЛЮКАНА ПРОРАЩИВАНИЕМ ОВСА

© *В.М. Гематдинова^{1*}, А.В. Канарский¹, З.А. Канарская¹, И.В. Кручина-Богданов²*

¹*Казанский национальный исследовательский технологический университет, К. Маркса, 68, Казань, Республика Татарстан, 420015 (Россия), e-mail: alb46@mail.ru*

²*ООО «АМТ», Новороссийская, 50, Санкт-Петербург, 194021 (Россия), e-mail: igogo011@gmail.com*

Значительные энергетические затраты и потеря ценных для питания человека компонентов в современных технологиях выделения β-глюкана из зерна овса делают актуальной задачу получения новых продуктов, содержащих β-глюкан. В частности, обсуждаемая технология солодоращения за счет снижения в овсе содержания крахмала позволяет получить концентрат β-глюкана, насыщенный ферментами, витаминами и другими биологически активными веществами.

Исследовано влияние продолжительности проращивания голозерного зерна овса на полисахаридный состав. Показано, что под действием комплекса амилалитических ферментов при проращивании голозерного зерна овса крахмал деградирует, и на 15-е сутки проращивания содержание крахмала в голозерном зерне овса снижается от 59.5 до 31%. Соответственно, при этом увеличивается содержание β-глюкана от 6.1 до 16.0%. Отмечено, что в ростках проросшего голозерного зерна овса синтезируется до 6% β-глюкана. Проращивание голозерного зерна овса сопровождается синтезом фермента эндо-β-1,3-глюканазы в алейроновом слое, максимальная ферментативная активность которой достигается на 6-е и 7-е сутки ращения. Этот фермент частично превращает β-глюкан в биополимер с меньшей молекулярной массой – β-глюканолигосахарид, содержание которого на 15-е сутки ращения составляет 6%.

Ключевые слова: овес, голозерный, проращивание, β-глюкан, β-глюканолигосахарид, эндо- и экзо-β-глюканазы.

Введение

Перспективность переработки в зерновые продукты питания голозерных сортов овса определяется диетическими и лечебно-профилактическими свойствами зерна этой культуры по сравнению с другими зерновыми, а также с пленчатыми сортами овса [1–12]. Голозерные сорта овса имеют ряд преимуществ по содержанию белка и жира, что определяет их продовольственную ценность. В белках голозерного овса преобладают глютелины, содержится меньшее количество спирторастворимых белков и, соответственно, они характеризуются более сбалансированным составом аминокислот. При изготовлении пищевых концентратов из овса голозерного упрощается производство, увеличивается выход готовой продукции на 20–25% и снижается ее себестоимость. Для боль-

ных целиакией людей особый интерес представляют продукты, изготовленные из безглютенового проросшего овса [13, 14].

В опубликованных работах технология проращивания зерна овса описана в обобщенном виде и обычно для ращения рекомендуются параметры, применяемые для производства солода из других зерновых культур. Однако можно полагать, что отсутствие пленок в голозерном зерне может изме-

Гематдинова Венера Маратовна – аспирант,
e-mail: venera.nas14@yandex.ru

Канарский Альберт Владимирович – профессор, доктор
технических наук, e-mail: alb46@mail.ru

Канарская Зоя Альбертовна – доцент кафедры ПищБТ,
кандидат технических наук,
e-mail: zosya_kanarskaya@mail.ru

Кручина-Богданов Игорь Вадимович – генеральный
директор, кандидат химических наук,
e-mail: igogo011@gmail.com

* Автор, с которым следует вести переписку.

нить процесс накопления ферментативной активности. Голозерное зерно прорастает быстрее, чем пленчатое, и, соответственно, цитолитическое и протеолитическое растворение будет более интенсивным. Известны технологии короткого ращения из ячменя с длительностью проращивания 3–4 суток, однако такой солод обладает низкой амилолитической активностью [15–19].

Известно, что овес содержит β -глюкан – биологически активное вещество. При выделении β -глюкана используют химические и ферментативные методы [15–16, 20–21]. Значительные затраты энергоносителей, и прежде всего воды, на выделение β -глюкана и потеря всех ценных компонентов зерна овса для питания человека вызывают к жизни инновационные идеи в создании продуктов, содержащих β -глюкан. В частности, путем снижения в овсе содержания крахмала может быть увеличено содержание β -глюкана. Такая технология солодоращения позволит получить концентрат β -глюкана, насыщенный ферментами, витаминами и другими биологически активными веществами. Следует отметить, что в отличие от нашей задачи в пивоварении проращивание зерна проводят в условиях, предусматривающих максимальное сохранение крахмала и, соответственно, наименьший расход крахмала на дыхание и образование новых вегетативных органов [18–19, 22].

Цель настоящей работы – получение концентрата β -глюкана путем проращивания овса.

При выполнении исследований определяли влияние продолжительности проращивания на содержание β -глюкана и образование β -глюканолигосахаридов в овсе.

Экспериментальная часть

В исследованиях использовали голозерный овес (*Avena nudum*). Для проращивания овес предварительно сортировали, отделяя тяжелые примеси и поврежденные зерна. Овес замачивали в воде в емкости воздушно-водяным способом при температуре 18 ± 2 °С, удаляли всплывшие примеси и промывали водой. Продолжительность замачивания – 5 ч до влажности зерна 38–40%. Замоченное зерно проращивали на пневматической лабораторной солодовне. Температура проращивания 19 ± 20 °С регулировалась кондиционированным воздухом и перемешиванием вручную 2 раза в сутки. Влажность зерна поддерживали 44–45% поливом воды. Продолжительность проращивания варьировали от 1 до 15 суток. Для каждого варианта начальная масса овса составляла 50 г с влажностью 12.1%. Полученный солод высушивали при температуре 50 °С до воздушно-сухого состояния и отделяли ростки и корешки.

В голозерном и пророщенном овсе определяли: содержание клетчатки по ГОСТ 31675-2012; массовую долю жира по ГОСТ 13496.15-97; массовую долю сырого протеина по ГОСТ 13496.4-93; массовую долю белка по Барнштейну ГОСТ 20083-74; содержание золы ГОСТ Р 51411-99; содержание влаги по ГОСТ 31640-2012.

Содержание крахмала, крахмалистых олиго- и полисахаридов определяли ферментативным методом [23–25]. Потерю массы зерна при проращивании и количество образовавшихся ростков определяли гравиметрическим методом.

Обработывая пророщенное зерно овса гидроксидом натрия с последующим снижением рН до 6.5–7.0, β -глюкан переводили в растворимое состояние. Фракционирование полисахаридов в экстракте проводили путем осаждения ступенчатым градиентом от 20 до 30% сульфата аммония. Количество редуцирующих сахаров в конечном продукте определяли фотометрическим методом, указанным в работах [23–26].

Образовавшиеся редуцирующие вещества и β -глюканолигосахариды в пророщенном солоде извлекали двукратной экстракцией 50% этанолом при кипячении, с последующим отделением спиртового экстракта от нерастворившейся части солода. Затем в надосадочной жидкости определяли редуцирующие вещества. Далее проводили гидролиз 2 М серной кислотой в течение 30 мин. Увеличение содержания в гидролизате редуцирующих веществ соответствовало содержанию β -глюканолигосахаридов в солоде.

Безразмерный индекс β -глюканазы (BGI) определяли как разность между содержанием β -глюкана в овсе (г) и содержанием β -глюкана в солоде (г), отнесенную к содержанию β -глюкана в овсе и выраженную в процентах по следующей формуле:

$$BGI = [(\beta\text{-глюкан овса} - \beta\text{-глюкан солода})/\beta\text{-глюкан овса}] * 100, \%$$

Все расчеты производились от абсолютно сухой массы зерна. Статистическая обработка экспериментальных данных произведена программными обеспечениями, соответствующими проводимым экспериментам. Для построения графиков, диаграмм и таблиц по полученным результатам применялся пакет Microsoft Office Word и Microsoft Office Excel.

Обсуждение результатов

Как следует из полученных результатов (табл. 1), с увеличением продолжительности проращивания голозерного зерна овса происходит закономерное и характерное для солодоращения снижение содержания крахмала. На 15-е сутки проращивания в голозерном зерне овса содержание крахмала снижается на треть.

По мере проращивания зерна голозерного овса параллельно снижению содержания крахмала происходит увеличение содержания сырого жира в проросшем зерне в 1.3 раза, сырого протеина – в 1.1 раза, белка по Барнштейну – в 1.2 раза, зольных элементов – в 1.4 раза.

Исследования показали, что под действием комплекса собственных и синтезируемых при проращивании амилолитических ферментов голозерного зерна овса крахмал деградирует, и на 15-е сутки проращивания в проросшем голозерном зерне овса остается 31% крахмала (табл. 2). При этом масса голозерного зерна овса снижается на 48.4%. Взаимосвязи содержания редуцирующих веществ с временем проращивания голозерного зерна овса не наблюдается и их содержание незначительно.

Снижению содержания в проросшем голозерном зерне овса крахмала соответствует увеличение доли в зерне овса содержания β -глобулина до 16% (рис. 1). Вместе с тем следует обратить внимание и на солодовые ростки, которые отделяют от проросшего голозерного зерна овса после сушки и являются своего рода вторичным ресурсом при переработке зерновых культур методом проращивания. Начиная с 7-х и до 15-х суток проращивания наблюдается увеличение в ростках содержания β -глобулина практически в 10 раз (рис. 2). Установленный факт о синтезе β -глобулина в ростках при проращивании голозерного зерна овса имеет научное и практическое значение, так как подтверждает биологическую ценность ростков проросшего голозерного зерна овса и позволяет рекомендовать их для питания человека и кормления животных.

Проращивание голозерного зерна овса сопровождается синтезом фермента эндо- β -1,3-глобулиназы в алейроновом слое. В непроросшем голозерном зерне овса этот фермент не был обнаружен. Активность эндо- β -1,3-глобулиназы максимальна на 6-е и 7-е сутки рашения, о чем можно судить по значению индекса β -глобулиназы, как представлено на рисунке 3. Этот фермент частично превращает β -глобулин в биополимер с меньшей молекулярной массой – β -глобулинолигосахарид. Содержание β -глобулинолигосахарида на 15-е сутки рашения голозерного зерна овса составляет 6% (рис. 4).

Таблица 1. Состав пророщенного голозерного зерна овса

Состав, %	Исходное зерно	Продолжительность проращивания, сутки									
		1	2	3	4	5	7	9	11	13	15
Крахмал*	54.0	52.9	52.4	52.2	52.0	51.8	51.6	47.0	41.3	40.8	36.7
Сырой жир*	4.4	4.4	4.6	4.3	4.5	5.4	5.0	5.3	5.5	5.7	5.7
Сырой протеин *	12.9	12.9	13.0	13.1	13.2	13.4	13.4	13.5	13.8	14.4	14.4
Белок по Барнштейну*	11.8	11.8	12.0	12.4	12.5	12.5	12.6	12.6	12.8	13.7	13.7
Зола*	2.9	3.2	3.3	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.3
Сырая клетчатка (по остатку от с.в.)	2.6	2.7	3.0	3.5	3.6	8.1	9.1	9.0	9.0	10.3	11.5

* В расчете на абсолютно сухое вещество, относительная погрешность $\pm 5\%$.

Таблица 2. Влияние продолжительности проращивания на потерю массы, содержание редуцирующих веществ и крахмала в голозерном зерне овса

Продолжительность проращивания овса, сутки	Потеря массы зерна при проращивании, %*	Содержание редуцирующих веществ, %*	Содержание крахмала, крахмалистых олиго- и полисахаридов, %*
Исходное зерно	0	0	59.5
1	4.7	0.6	57.2
2	6.0	0.3	56.1
3	10.1	0.4	54.6
4	12.0	0.3	52.5
5	15.3	0.4	50.2
7	24.6	0.8	48.1
9	26.8	0.6	45.3
11	37.0	0.7	38.2
13	47.2	0.5	33.9
15	48.4	0.4	31.0

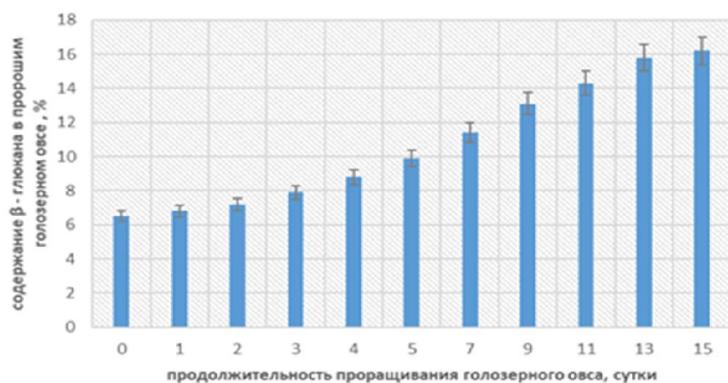


Рис. 1. Влияние продолжительности проращивания голозерного зерна овса на содержание β -глюкана в концентрате

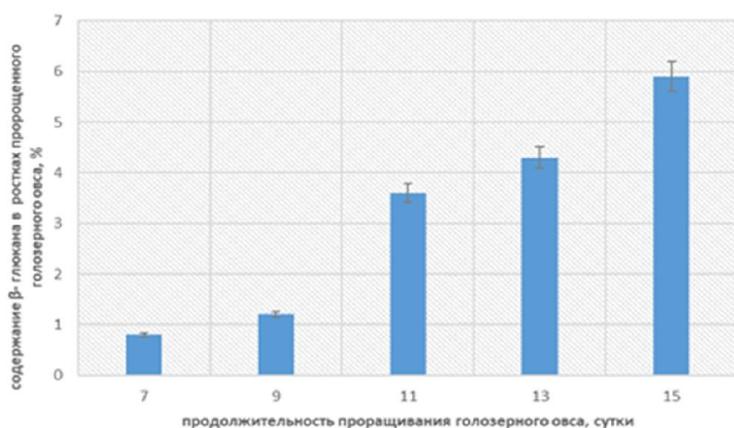


Рис. 2. Влияние продолжительности проращивания голозерного зерна овса на содержание β -глюкана в ростках

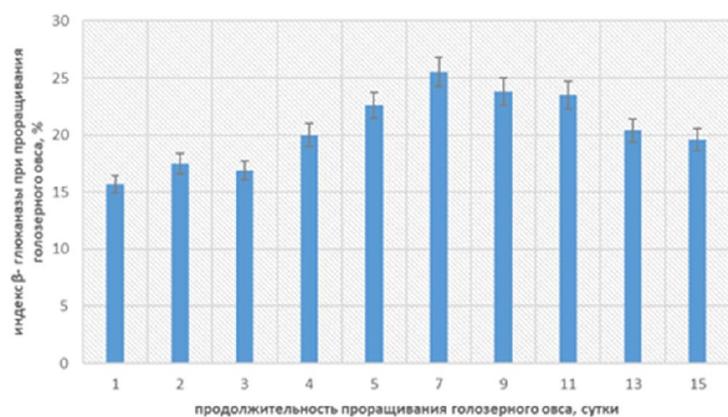


Рис. 3. Изменение индекса β -глюканазы при проращивании голозерного зерна овса

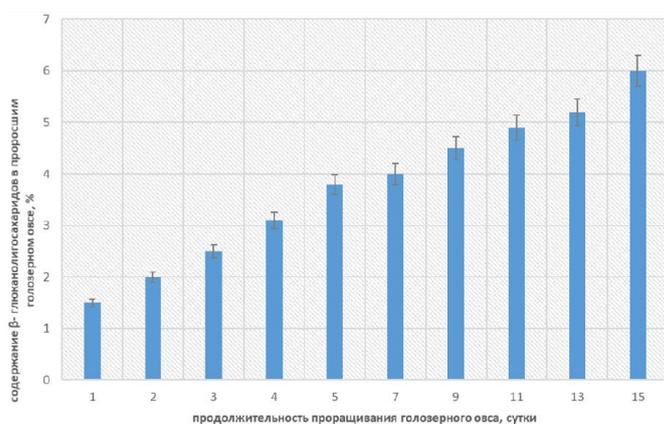


Рис. 4. Влияние продолжительности проращивания голозерного зерна овса на содержание β -глюканлигосахаридов

Таким образом, при проращивании голозерного зерна овса возможно получение концентрата с общим содержанием β -гликозидов 22%. Учитывая, что в полученном концентрате β -гликозидов содержатся другие биологически активные вещества, которые важны для питания человека, в виде белков, ферментов, жиров, витаминов, микро- и макроэлементов. Таким образом, полученный концентрат β -гликозидов можно отнести к перспективным компонентам для создания пищевых функциональных продуктов.

Выводы

Показано, что при проращивании зерна овса в течение 15 суток происходит увеличение содержания в овсе β -гликозидов. При проращивании голозерного зерна овса под воздействием фермента эндо- β -1,3-гликозидазы частично β -гликозид превращается в β -гликозидполисахарид. В ростках проросшего зерна овса синтезируется β -гликозид. Проращиванием голозерного зерна овса возможно получение концентратов β -гликозидов с содержанием 22%.

Список литературы

1. Prasad R., Alok J., Latha S., Arvind K., Unnikrishnan V.S. Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods – a review // *J. Food Sci. Technol.* 2015. Vol. 52, no. 2. Pp. 662–675. DOI: 10.1007/s13197-013-1072-1.
2. Nelson K., Stojanovska L., Vasiljevic T., Mathai M. Germinated grains: a superior whole grain functional food // *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. 2015. Vol. 91, no. 6. Pp. 429–441. DOI: 10.1139/cjpp-2012-0351.
3. Sternaa V., Zuteb S., Brunavaa L. Oat grain composition and its nutrition benefice // *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2016. Vol. 8. Pp. 252–256. DOI: 10.1016/j.aaspro.2016.02.100.
4. Beloshapka A.N., Buff P.R., Fahey G.C., Swanson K.S. Compositional Analysis of Whole Grains, Processed Grains, Grain Co-Products, and Other Carbohydrate Sources with Applicability to Pet Animal Nutrition // *J. Foods* 2016. Vol. 5. Pp. 1–16. DOI: 10.3390/foods5020023.
5. Zdunczyk Z., Flis M., Zielinski H., Wroblewska M., Antoszkiewicz Z., Juskiewicz J. In vitro antioxidant activities of barley, husked oat, naked oat, triticale, and buckwheat wastes and their influence on the growth and biomarkers of antioxidant status in rats // *J. Agric. Food Chem.* 2006. Vol. 54. Pp. 4168–4175. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b05164.
6. Tiwar P.K., Sahu R.K., Sandey K.K., Tiwar R.K. Importance of Oats in Human Diet: A Review // *J. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*. 2017. Vol. 7, no. 1. Pp. 125–130.
7. Blandino A.A., Aseeri M.E., Pandiella S.S., Cantero D., Webb C. Cereal based fermented foods and beverages // *Food Res. Int.* 2003. Vol. 36. Pp. 527–543. DOI: 10.1016/S0963-9969(03)00009-7.
8. Gupta S., Cox S., Abu-Ghannam N. Process optimization for the development of a functional beverage based on lactic acid fermentation of oats // *Biochem. Eng. J.* 2010. Vol. 52. Pp. 199–204. DOI: 10.1016/j.bej.2010.08.008.
9. Чекина М., Баталова Г. Овес в качестве безглютенового сырья в напитках функционального назначения // *Индустрия напитков*. 2014. №7. С. 16–21.
10. Sytar O., Bosko P., Živcák M., Brestic M., Smetanska I. Bioactive Phytochemicals and Antioxidant Properties of the Grains and Sprouts of Colored Wheat Genotypes // *J. Molecules*. 2018. Vol. 23. Pp. 2282–2293. DOI: 10.3390/molecules23092282.
11. Guillon F., Bouchet B., Jamme F., Robert P., Quemener B., Barron C., Larre C., Dumas P., Saulnier L. *Brachypodium distachyon* grain: characterization of endosperm cell walls // *J. Exp. Bot.* 2011. Vol. 62. Pp. 1001–1015. DOI: 10.1007/s00425-010-1306-7.
12. Pritchard J., Larroque O., Rahman S. A survey of β -glucan and arabinoxylan content in wheat // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2011. Vol. 91, no. 7. Pp. 1298–1303. DOI: 10.1002/jsfa.4316.
13. Баталова Г.А. Перспективы и результаты селекции голозерного овса // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2014. №2. С. 64–69.
14. Tian B., Shi J., Deng Q. Physicochemical changes of oat seeds during germination // *J. Food Chemistry*. 2010. Vol. 119. Pp. 1195–1200. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.08.035.
15. Hosseini E., Kadivar M., Shahedi M. Optimization of Enzymatic Activities in Malting of Oat // *International Journal of Nutrition and Food Engineering*. 2010. Vol. 4, no. 7. Pp. 452–457.
16. Guglielminetti L., Yamaguchi J., Perata P., Alpi A. Amylolytic Activities in Cereal Seeds under Aerobic and Anaerobic Conditions // *Plant Physiol.* 1995. Vol. 109, no. 3. Pp. 1069–1076. DOI: 10.1104/pp.109.3.1069.
17. Schreiber M., Wright F., MacKenzie K., Hedley P.E., Schwerdt J.G., Little A., Burton R.A., Fincher G.B., Marshall D., Waugh R., Halpin C. The barley genome sequence assembly reveals three additional members of the CslF (1,3;1,4)- β -glucan synthase gene family // *PloS One*. 2014. Vol. 3. Pp. 1105–1115. DOI: 10.1371/journal.pone.0090888.
18. Hoover R., Senanayake P.J.N. Composition and physicochemical properties of oat starches // *Food Res Int.* 1996. Vol. 29, no. 1. Pp. 15–26. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.09.001.
19. Peterson D.M. Malting oats: effects on chemical composition of hullless and hulled genotypes // *Cereal Chem.* 1998. Vol. 75. Pp. 230–234. DOI: 10.4314/sajas.v44i2.12.
20. Ryan L., Thondre P.S., Henry C.J.K. Oat-based breakfast cereals are a rich source of polyphenols and high in antioxidant potential // *J. Food Compos. Anal.* 2011. Vol. 24. Pp. 929–934. DOI: 10.1515/nbec-2015-0007.

21. Vetvicka V., Vetvickova J. Glucans and Cancer: Comparison of Commercially Available β -glucans – Part IV // J. Anti-cancer research. 2018. Vol. 38, no. 3. Pp. 1327–1333. DOI: 10.21873/anticancerres.12355.
22. Maheshwari G., Sowrirajan S., Joseph B. Extraction and Isolation of β -Glucan from Grain Sources-A Review // Journal of Food Science. 2017. Vol. 82, no. 9. Pp. 1238–1245. DOI: 10.1111/1750-3841.13765.
23. Zielke C., Kosik O., Ainalem M.-L., Lovegrove A., Stradner A., Nilsson L. Characterization of cereal β -glucan extracts from oat and barley and quantification of proteinaceous matter // PLoS One. 2017. Vol. 12, no. 2. Pp. 175–180. DOI: 10.1371/journal.pone.0172034.
24. Хабаров Ю.Г., Камакина Н.Д., Вешняков В.А. Фотометрический метод количественного определения редуцирующих сахаров в растворах // Известия вузов. Лесной журнал. 2008. №5. С. 129–133.
25. Capouchova I., Petr J., Krejcirova L. Protein composition of sorghum and oat grain and their suitability for gluten-free diet // Agriculture. 2006. Vol. 93, no. 4. Pp. 271–284. DOI: 10.1007/s13197-013-1072-1.
26. Robert L.S., Nozzolillo C., Altosaar I. Characterization of oat (*Avena sativa* L.) residual proteins // Cereal Chem. 1985. Vol. 62. Pp. 276–279.

Поступила в редакцию 3 июля 2018 г.

После переработки 22 января 2019 г.

Принята к публикации 25 января 2019 г.

Для цитирования: Гематдинова В.М., Канарский А.В., Канарская З.А., Кручина-Богданов И.В. Получение концентрата β -глюкана проращиванием овса // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 231–237. DOI: 10.14258/jcrpm.2019024251.

Gematdinova V.M.^{1}, Kanarskiy A.V.¹, Kanarskaya Z.A.¹, Kruchina-Bogdanov I.V.²* PRODUCTION OF B-GLUCAN CONCENTRATE BY OAT GERMINATION

¹Kazan National Research Technological University, K. Marksa, 68, Kazan, Republic of Tatarstan, 420015 (Russia), e-mail: alb46@mail.ru

²AMT LLC, Novorossiyskaya Str. 50, St. Petersburg, 194021 (Russia), e-mail: igogo011@gmail.com

Today industrial processes manufacturing functional food with elevated β -glucan fraction are vulnerable due to heavy losses in energy and valuable human nutrients, and that calls for new technological solutions. Oat malting is discussed as an approach to obtain β -glucan concentrates rich with protein, vitamins, enzymes by reducing starch level.

Hulless (or naked) oat malting duration was evaluated to control polysaccharide composition in grains. Amylolytic enzymes complex was demonstrated to degrade starch in 15 days from 59.5% to 31%, with β -glucan level rising correspondingly from 6.1% to 16.0%. It was noted that up to 6% of β -glucan can be synthesized in sprouts. Simultaneously, sprouting was accompanied by activation of endo- β -1,3-glucanase in aleuronic layer, and the maximal activity was observed on the 6th to 7th days of malting. This enzyme converts β -glucans to oligomers with lower molecular mass — β -glucan oligosaccharides, with concentration of the latter reaching 6% on the 15th day of malting.

Keywords: hulless oats, malting, β -glucan, oligosaccharides, endo- and exo- β -1,3-glucanase.

* Corresponding author.

References

1. Prasad R., Alok J., Latha S., Arvind K., Unnikrishnan V.S. *J. Food Sci. Technol.*, 2015, vol. 52, no. 2, pp. 662–675. DOI: 10.1007/s13197-013-1072-1.
2. Nelson K., Stojanovska L., Vasiljevic T., Mathai M. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 2015, vol. 91, no. 6, pp. 429–441. DOI: 10.1139/cjpp-2012-0351.
3. Sternaa V., Zuteb S., Brunavaa L. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2016, vol. 8, pp. 252–256. DOI: 10.1016/j.aaspro.2016.02.100.
4. Beloshapka A.N., Buff P.R., Fahey G.C., Swanson K.S. *J. Foods*, 2016, vol. 5, pp. 1–16. DOI: 10.3390/foods5020023.
5. Zdunczyk Z., Flis M., Zielinski H., Wroblewska M., Antoszkiewicz Z., Juszkiewicz J. *J. Agric. Food Chem.*, 2006, vol. 54, pp. 4168–4175. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b05164.
6. Tiwar P.K., Sahu R.K., Sandey K.K., Tiwar R.K. *J. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 2017, vol. 7, no. 1, pp. 125–130.
7. Blandino A.A., Aseeri M.E., Pandiella S.S., Cantero D., Webb C. *Food Res. Int.*, 2003, vol. 36, pp. 527–543. DOI: 10.1016/S0963-9969(03)00009-7.
8. Gupta S., Cox S., Abu-Ghannam N. *Biochem. Eng. J.*, 2010, vol. 52, pp. 199–204. DOI: 10.1016/j.bej.2010.08.008.
9. Chekina M., Batalova G. *Industriya napitkov*, 2014, no. 7, pp. 16–21. (in Russ.).
10. Sytar O., Bosko P., Živčák M., Brestic M., Smetanska I. *J. Molecules*, 2018, vol. 23, pp. 2282–2293. DOI: 10.3390/molecules23092282.
11. Guillon F., Bouchet B., Jamme F., Robert P., Quemener B., Barron C., Larre C., Dumas P., Saulnier L. *J. Exp. Bot.*, 2011, vol. 62, pp. 1001–1015. DOI: 10.1007/s00425-010-1306-7.
12. Pritchard J., Larroque O., Rahman S. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, vol. 91, no. 7, pp. 1298–1303. DOI: 10.1002/jsfa.4316.
13. Batalova G.A. *Zernobovyye i krupyanyye kul'tury*, 2014, no. 2, pp. 64–69. (in Russ.).
14. Tian B., Shi J., Deng Q. *J. Food Chemistry*, 2010, vol. 119, pp. 1195–1200. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.08.035.
15. Hosseini E., Kadivar M., Shahedi M. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 2010, vol. 4, no. 7, pp. 452–457.
16. Guglielminetti L., Yamaguchi J., Perata P., Alpi A. *Plant Physiol.*, 1995, vol. 109, no. 3, pp. 1069–1076. DOI: 10.1104/pp.109.3.1069.
17. Schreiber M., Wright F., MacKenzie K., Hedley P.E., Schwerdt J.G., Little A., Burton R.A., Fincher G.B., Marshall D., Waugh R., Halpin C. *PLoS One*, 2014, vol. 3, pp. 1105–1115. DOI: 10.1371/journal.pone.0090888.
18. Hoover R., Senanayake P.J.N. *Food Res. Int.*, 1996, vol. 29, no. 1, pp. 15–26. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.09.001.
19. Peterson D.M. *Cereal Chem.*, 1998, vol. 75, pp. 230–234. DOI: 10.4314/sajas.v44i2.12.
20. Ryan L., Thondre P.S., Henry C.J.K. *J. Food Compos. Anal.*, 2011, vol. 24, pp. 929–934. DOI: 10.1515/nbec-2015-0007.
21. Vetvicka V., Vetvickova J. *J. Anticancer research*, 2018, vol. 38, no. 3, pp. 1327–1333. DOI: 10.21873/anticancer.12355.
22. Maheshwari G., Sowrirajan S., Joseph B. *Journal of Food Science*, 2017, vol. 82, no. 9, pp. 1238–1245. DOI: 10.1111/1750-3841.13765.
23. Zielke C., Kosik O., Ainalem M.-L., Lovegrove A., Stradner A., Nilsson L. *PLoS One*, 2017, vol. 12, no. 2, pp. 175–180. DOI: 10.1371/journal.pone.0172034.
24. Khabarov YU.G., Kamakina N.D., Veshnyakov V.A. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 5, pp. 129–133. (in Russ.).
25. Capouchova I., Petr J., Krejcirova L. *Agriculture*, 2006, vol. 93, no. 4, pp. 271–284. DOI: 10.1007/s13197-013-1072-1.
26. Robert L.S., Nozzolillo C., Altosaar I. *Cereal Chem.*, 1985, vol. 62, pp. 276–279.

Received July 3, 2018

Revised January 22, 2019

Accepted January 24, 2019

For citing: Gematdinova V.M., Kanarskiy A.V., Kanarskaya Z.A., Kruchina-Bogdanov I.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 231–237. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019024251.

