

Влияние дозировки клетчатки топинамбура, продукта комплексной технологии спирта, на изменение свойств рисовых экструдатов

Мария В. Амелякина	¹	masha.am@mail.ru	 0000-0002-5138-6746
Виктор В. Иванов	¹	ivanov.v.v@li.ru	 0000-0002-6492-7070
Дарья В. Поливановская	¹	dashpol@mail.ru	 0000-0002-6078-9280
Антон Ю. Шариков	¹	charikov@yandex.ru	 0000-0001-9483-5209
Ирина М. Абрамова	¹	4953624495@mail.ru	 0000-0001-9297-0554

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, Самокатная улица, д.4 Б, г. Москва, 111033, Россия

Аннотация. В результате поиска новых источников сырья для спиртовой промышленности установлена перспективность использования топинамбура. Одним из вторичных сырьевых ресурсов комплексной переработки топинамбура на этанол является клетчатка топинамбура, дисперсная фракция, образуемая в результате ферментативного гидролиза и разделения гидролизата на фракции. Данный продукт ферментативного гидролиза топинамбура может быть востребован пищевой промышленностью как ингредиент с высоким содержанием пищевых волокон. Синергия использования клетчатки топинамбура может быть достигнута при производстве продуктов, совмещающих в себе традиционные пищевые качества и дополнительные функциональные свойства, что отвечает основным тенденциям развития пищевой промышленности. Среди такой продукции популярностью пользуются продукты, готовые к употреблению и произведенные по экструзионной технологии, например снеки и каши. Традиционно основным сырьем для экструдированных продуктов являются крахмалсодержащие ингредиенты благодаря особенностям их морфологической структуры и способности формировать пористую структуру в результате экструзионной переработки. Крахмалистое сырье после высокотехнологичной обработки содержит недостаточное количество биологически активных соединений и требует дополнительного обогащения путем добавления функциональных ингредиентов. В исследовании была изучена возможность включения клетчатки топинамбура, дисперсной фракции образуемой при его комплексной переработке на спирт, в состав экструдированных продуктов и его влияние на технологические свойства экструдатов. Объектами исследования были рисовые экструдаты с содержанием высушенной клетчатки топинамбура до 9%. Готовили смеси рисовой крупы с различным содержанием клетчатки, которые экструдировали на лабораторном двухшнековом экструдере Werner & Phleiderer Continua 37 при фиксированных режимных параметрах. По результатам проведения процесса оценивали изменение зависимых параметров экструзии, таких как крутящий момент, давление, температура. В экструдатах определяли структурно-механические свойства, коэффициент расширения, твердость, количество микроразломов, гидратационные свойства и изменение цветовых характеристик. Добавление и повышение содержания клетчатки топинамбура до 9% в экструдированных смесях не повлияли на изменение режимов экструзии и удельного расхода электроэнергии. Значение температуры изменялось в диапазоне 165–166 °С, давление 3,3–3,5 МПа. С увеличением содержания клетчатки топинамбура отмечены значимые изменения структурно-механических свойств. Квадратичный коэффициент расширения и твердость образцов снизились с 11,2 до 7,8 и 13,2 Н до 5,4 Н, соответственно, количество микроразломов, характеризующее пористость, увеличилось с 6,7 до 11,2. Гидратационные свойства образцов, влагоудерживающая способность, растворимость изменялись незначимо. Установлено увеличение набухаемости с 7 до 8,5 см³/г. Количественное содержание клетчатки в рецептурах оказало значительное влияние на цвет образцов, с увеличением ее дозировки цвет становился темнее и приобретал коричневый оттенок. Проведенные исследования показывают, что повышение содержания клетчатки топинамбура до 9 % в смеси оказывает влияние в большей части на структурно-механические свойства экструдатов, значимые при разработках снековой продукции. Гидратационные свойства, экструдатов, используемых как основа для готовых к употреблению каш, инстант-продуктов, от содержания дозировки клетчатки топинамбура не зависят.

Ключевые слова: топинамбур, экструдаты, комплексная переработка, клетчатка, спирт, ферментативный гидролиз, функциональные ингредиенты, рис.

The influence of the dosage of Jerusalem artichoke fiber, a by-product of complex ethanol technology, on changes in the properties of rice extrudates

Для цитирования

Амелякина М.В., Иванов В.В., Поливановская Д.В., Шариков А.Ю., Абрамова И.М. Влияние дозировки клетчатки топинамбура, продукта комплексной технологии спирта, на изменение свойств рисовых экструдатов // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 20–27. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-20-27

For citation

Amelyakina M.V., Ivanov V.V., Polivanovskaya D.V., Sharikov A.Yu., Abramova I.M. The influence of the dosage of Jerusalem artichoke fiber, a by-product of complex ethanol technology, on changes in the properties of rice extrudates. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 20–27. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-20-27

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Maria V. Amelyakina	¹	masha.am@mail.ru	 0000-0002-5138-6746
Victor V. Ivanov	¹	ivanov.v.v@li.ru	 0000-0002-6492-7070
Daria V. Polivanovskaya	¹	dashpol@mail.ru	 0000-0002-6078-9280
Anton Yu. Sharikov	¹	charikov@yandex.ru	 0000-0001-9483-5209
Irina M. Abramova	¹	4953624495@mail.ru	 0000-0001-9297-0554

¹ All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Scooter Street, 4 B, Moscow, 111033, Russia.

Abstract. Jerusalem artichoke is a promising raw material for the alcohol industry. One of the by-products of the complex processing of Jerusalem artichoke into ethanol is dietary fibers, which is a dispersed fraction formed as a result of enzymatic hydrolysis and separation of the hydrolyzate into fractions. This product of enzymatic hydrolysis of Jerusalem artichoke can be in demand by the food industry as an ingredient with a high content of dietary fiber. The synergy of using Jerusalem artichoke fiber can be achieved in the production of products that combine traditional nutritional qualities and additional functional properties, which meets the main trends in the development of the food industry. Among such products, ready-to-eat products such as snacks and instant cereal products produced by extrusion technology are popular. Traditionally, the main raw materials for extruded products are starch-containing ingredients due to the peculiarities of their morphological structure and the ability to form a porous structure as a result of extrusion processing. Starchy raw materials after refining contain an insufficient amount of biologically active compounds and require additional enrichment by adding functional ingredients. The study examined the possibility of including Jerusalem artichoke fiber, the dispersed fraction formed during its complex processing of Jerusalem artichoke into alcohol, into the recipes of extruded products and its effect on the technological properties of the extrudates. The objects of the study were rice extrudates containing dried Jerusalem artichoke fiber up to 9%. Mixtures of rice cereals with different fiber content were prepared and extruded using Werner&Phleiderer Continua 37 laboratory twin-screw extruder under fixed operating parameters. Based on the results of the process, changes in dependent extrusion parameters such as torque, pressure, and temperature were assessed. The structural and mechanical properties, expansion coefficient, hardness, number of microfractures, hydration properties and changes in color characteristics were determined in the extrudates. Increasing the content of Jerusalem artichoke fiber up to 9% in extruded mixtures did not affect the change in extrusion modes and specific energy consumption. The temperature value varied in the range of 165-166 °C, pressure - 3.3-3.5 MPa. With an increase in the content of Jerusalem artichoke fiber, significant changes in the structural and mechanical properties were noted. The quadratic coefficient of expansion and hardness of the samples decreased from 11.2 to 7.8 and 13.2 N to 5.4 N, respectively. The number of microfractures characterizing porosity increased from 6.7 to 11.2. The hydration properties of the samples, water-holding capacity, solubility changed insignificantly. An increase from 7 to 8.5 sm³/g in swelling properties was found. Increasing the dosage of fibers significantly affected the change in the color of the samples: the color became darker and acquired a brown tint. The results of the study show that increasing the content of Jerusalem artichoke fiber to 9% in the mixture largely affects the structural and mechanical properties of extrudates, which are significant in the development of snack products. The hydration properties of extrudates used as the basis for ready-to-eat cereals do not depend on the content of Jerusalem artichoke hydrolyzate.

Keywords: Jerusalem artichoke, extrudates, complex processing, alcohol, fibers, enzymatic hydrolysis, functional ingredients, rice.

Введение

Технологические возможности пищевой экструзии позволяют разрабатывать многокомпонентные продукты, совмещающие в себе качество, безопасность, высокую пищевую ценность и удобство употребления. Для повышения биологической ценности экструдированных продуктов ведутся исследования по использованию в их составе различных функциональных ингредиентов как источников пищевых волокон, фенольных и других биологически активных веществ [1, 2].

Одним из перспективных ингредиентов, который можно использовать для дополнения и обогащения пищевых продуктов, является топинамбур. Благодаря своим свойствам (низкая влагоудерживающая способность, белый цвет и слабое влияние на вкусовые свойства) и составу, топинамбур используется во многих отраслях пищевой промышленности [3, 4]. В клубнях топинамбура накапливается большое количество фруктанов, инулина и фруктоолигосахаридов, в диапазоне от 16 до 20% по весу в свежем виде (Все компоненты топинамбура имеют высокие потребительские свойства. Особо ценным углеводным компонентом является инулин, он состоит из d-фруктозы, связанной β-(2–1) гликозидными связями различной длины. Такой состав позволяет

инулину относится к категории неперевариваемых углеводов, что дает возможность использовать топинамбур при производстве специализированных продуктов лечебного и профилактического назначения [5, 6]. Инулин обеспечивает всасывание кальция, магния и калия в пищеварительном тракте, оказывает гипогликемическое действие и антидиабетический эффект, кроме того он обладает противовоспалительными, антибактериальными, противораковыми и антиоксидантными свойствами [7]. Высокое содержание сбраживаемых углеводов, азотистых веществ, экологическая пластичность, высокая урожайность и широкая распространенность, вызвали повышенный интерес к топинамбуру, как к перспективному сырью для производства алкогольной продукции и биоэтанола [8, 9]. Оригинальный аромат этанола топинамбура позволяет его использовать для производства бренди во Франции и Германии, а также саке в Японии [10, 11]. В результате переработки топинамбура образуются побочные продукты с высоким содержанием пищевых волокон, которые могут использоваться в качестве функциональных ингредиентов для улучшения структурных и физических свойств при создании пищевых продуктов. [12–14]. Таким образом, разработка технологии получения

пищевых продуктов на основе использования вторичных сырьевых ресурсов переработки топинамбура на спирт является актуальной.

Цель работы – оценка возможности использования продукта биконверсии топинамбура в экструдированных продуктах, готовых к употреблению, и изучение влияния дозировки клетчатки топинамбура, образуемой при его переработке на спирт, на технологические свойства экструдатов.

Материалы и методы

Объекты исследования: экструдаты на основе рисовой крупы с различным содержанием клетчатки топинамбура.

Для приготовления экструдатов в качестве модельной основы для экструдатов использовали дробленную рисовую крупу (ГОСТ 6292–93) как отход крупяного производства. Вносимый в крупу ингредиент клетчатку получали из топинамбура сорта «Интерес», отобранную на стадии гидроизмельчения в технологии переработки корнеплода на спирт. Клетчатку добавляли в количестве 3–9% от массы смеси. Клубни топинамбура промывали, подвергали измельчению на роторном диспергаторе, проводили первую фазу водно-ферментативной обработки ферментным препаратом гемицеллюлазного действия Viscozyme HT FG в дозировке 0,25 ед. КС/г сухих веществ при гидромодуле 1:1. Далее осахаривали массу в течении 60 минут с применением инулазы Novozym 960 в дозировке 0,5 ед. INU/г инулина, полученное сусло центрифугированием разделяли на дисперсную и жидкую фазы. Жидкая фаза использовалась как субстрат спиртового брожения, а дисперсную фазу высушивали до постоянной влажности 5% при температуре 60 °С. В высушенном ингредиенте определяли содержание белка, жира, водорастворимых углеводов, пищевых волокон. Определение сырого протеина определяли методом Кьельдаля по ГОСТ Р 57221–2016 «Дрожжи кормовые. Методы испытаний», определение сырой золы проводили методом озоления по ГОСТ 32933–2014

(ISO 5984:2002) «Корма, комбикорма. Метод определения содержания сырой золы». Содержание жира определяли экстракцией жира с последующим гравиметрическим определением разности массы навески до и после экстракции по ГОСТ ISO 734–1–2016 «Жмыхи и шроты. Определение содержания сырого жира». Содержание пищевых волокон определяли методом ферментативного гидролиза с последующим удалением белковых и крахмалистых веществ по ГОСТ Р 54014–2010 «Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом».

В качестве контроля использовалась экструдированная дробленая рисовая крупа без добавления клетчатки топинамбура.

В таблице 1 представлены данные по оценке химического состава контрольной смеси и образцов с различным содержанием гидролизата. Пищевую ценность смесей оценивали расчетным способом, используя справочные данные [15] и результаты химического анализа гидролизата топинамбура. Экструзию осуществляли на лабораторном двухшнековом экструдере Werner&Phleiderer Continua 37. Для формования стренга экструдата была установлена фильера с двумя отверстиями круглого сечения диаметром 4 мм. Режимы экструзии были постоянными: производительность 20 кг/час, скорость вращения шнеков 240 об/мин.

Удельный расход электроэнергии рассчитывали по формуле [16]:

$$SME = n/(n_{\max} \cdot Kg) \cdot N \cdot M, \quad (1)$$

где SME – удельный расход энергии на экструдирование, кВт·ч/кг сырья; N – мощность двигателя экструдера, кВт; M – момент на валу редуктора; n и $n_{\max}$ – скорость вращения шнеков установленная и максимальная, соответственно, об/мин; Kg – производительность по сырью, кг/ч.

Таблица 1.

Оценка пищевой ценности экструдруемых смесей

Table 1.

Nutritional value of mixtures

Показатель, г/100 г Indicator, g/100 g	Дозировка клетчатки топинамбура Jerusalem artichoke fibers dosage, %			
	0	3	6	9
Углеводы Carbohydrates	74 ± 0,06	72,8 ± 0,04	71,7 ± 0,02	70,5 ± 0,03
Протеин Protein	7,0 ± 0,03	6,9 ± 0,11	6,9 ± 0,09	6,9 ± 0,08
Жир Fats	1,0 ± 0,04	1,0 ± 0,04	1,0 ± 0,05	1,0 ± 0,02
Пищевые волокна Dietary fibers	3,0 ± 0,05	4,5 ± 0,35	6 ± 0,49	7,4 ± 0,41

Структурно-механические свойства экструдированных продуктов оценивали по показателям коэффициента квадратического расширения, твердости и количеству микроразломов. Квадратичный коэффициент расширения рассчитывался

как соотношение площадей сечения экструдата и отверстия фильеры. Показатели текстуры образцов определяли на анализаторе структуры СТ 3 (Brookfield, США) с металлическим индентором диаметром 3 мм.

В аспекте разработки продуктов, готовых к употреблению, важными показателями являются гидратационные свойства продуктов. Набухаемость определяли объемным методом. В стеклянный стакан 100 см³ наливали воду и вносили 5 г измельченного экструдата с тонинной помола менее 400 мкм. Перемешивание осуществляли спиралевидной мешалкой до однородной консистенции со скоростью 500 об/мин и оставляли на 24 часа, затем отмечали границу раздела двух фаз: верхняя – прозрачная жидкая, нижняя – непрозрачная с набухшим продуктом. Набухаемость продукта в см³/г вычисляли отношением объема продукта после отстаивания к массе навески. Растворимость и влагоудерживающую способность определяли по массе осадка и содержанию растворимых сухих веществ в фугате после центрифугирования суспензии при 3000×g [17].

Цветовые показатели определяли колориметрическим методом с использованием анализатора CS -10 в системе CIE LAB, где L – координата светлоты, а – хроматический компонент, изменяется от зеленого до красного, b – хроматический компонент, от синего до желтого.

Достоверность различий средних оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа при $p < 0,05$ с использованием пакета Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

Смеси рисовой крупы с различным содержанием гидролизата топинамбура экструдировали на двухшнековом экструдере, полученные экструдаты оценивали по изменению структурно-механических и реологических свойств.

Данные по влиянию содержания гидролизата топинамбура в экструдированной смеси на режимные параметры экструзии представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Влияние дозировки гидролизата топинамбура на параметры экструзии

Table 2.

Effect of Jerusalem artichoke fibers dosage on extrusion parameters

Параметры экструзии Extrusion parameters	Дозировка клетчатки топинамбура, % Jerusalem artichoke fibers dosage, %			
	0	3	6	9
Момент сдвига, % Torgue, %	60 ± 4	61 ± 3	60 ± 4	59 ± 3
Давление, МПа Pressure, MPa	3,5 ± 0,2	3,5 ± 0,2	3,4 ± 0,1	3,3 ± 0,2
Температура, °C Temperature, °C	165 ± 4	165 ± 3	165 ± 3	166 ± 2
Удельный расход электроэнергии, кВт×час/кг Specific mechanic energy, kW×h/kg	0,133 ± 0,009	0,135 ± 0,007	0,133 ± 0,009	0,131 ± 0,007

В сравнении с контролем увеличение содержания гидролизата в смеси не оказало значимого влияния на параметры экструзии, в частности на температуру и давление. Показатели температуры составили 165 °C при обработке контроля и образцов с 3%, 6% гидролизата и 166 °C при добавлении 9% гидролизата. С увеличением дозировки гидролизата показатели удельного расхода электроэнергии и момента сдвига изменялись в диапазоне 0,131–0,135 кВт·ч/кг и 59–60% соответственно, статистически не зависели от изменения дозировки гидролизата топинамбура.

Фото полученных экструдатов представлено на рисунке 1.

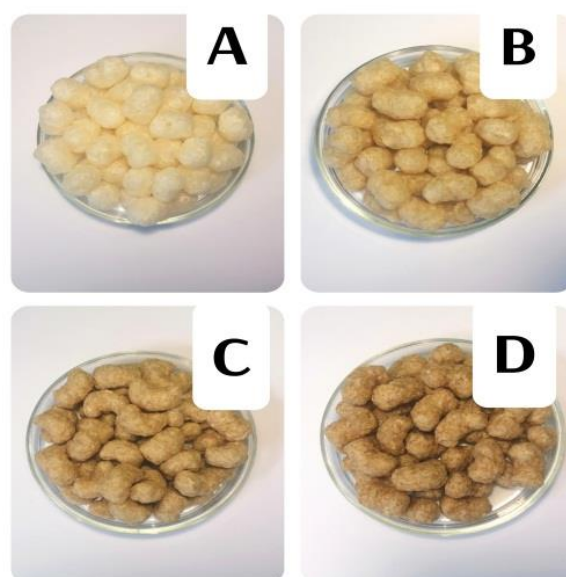


Рисунок 1. Образцы экструдатов с различным содержанием клетчатки топинамбура: А – 0%; В – 3%; С – 6%; D – 9%

Figure 1. Samples of extrudates with different contents of Jerusalem artichoke fibers: A – 0%; B – 3%; C – 6%; D – 9%

Исследования структуры полученных экспериментальных образцов (таблица 3) показали, что с добавлением и увеличением содержания гидролизата топинамбура уменьшаются показатели квадратичного коэффициента расширения с 11,2 до 7,5, что свидетельствует об незначительном увеличении плотности структуры экспериментальных образцов. При этом значимых отличий в показателях насыпной плотности отмечено не было. Феномен влияния пищевых волокон на изменение структурно-механических свойств экструдатов крахмалсодержащего сырья достаточно подробно описан в литературе [6]. Экспериментальные данные подтверждают общие тенденции, снижение коэффициента расширения с увеличением содержания пищевых волокон [18–20].

Отмечено, что с увеличением дозировки гидролизата топинамбура твердость экструдата уменьшается с 13,2 до 5,4 Н и возрастает количество микроразломов почти в 2 раза с 6,7 до 11,5. Увеличение количества микроразломов может быть следствием более интенсивного испарения воды вокруг частичек клетчатки гидролизата топинамбура, выполняющих роль центров парообразования [18]. Это приводит образованию повышенного количества воздушных полостей в продукте, и он становится более пористым

и хрустким, при этом необходимо отметить отсутствие значимого влияния содержания клетчатки топинамбура в смеси на насыпную плотность экструдатов. Это может быть связано с двумя компенсирующими друг друга тенденциями: с повышением содержания клетчатки снижается квадратичный коэффициент расширения, т. е. гранулы становятся меньше, но при этом растет пористость, т. е. гранулы становятся воздушней.

Таблица 3.

Структурно-механические свойства экструдатов

Table 3.

Structural and mechanical properties of extrudates

Показатель Parameter	Дозировка клетчатки топинамбура, % Jerusalem artichoke fibers dosage, %			
	0	3	6	9
Квадратичный коэффициент расширения Quadratic expansion index	11,2 ± 0,9	9,6 ± 0,6	7,8 ± 0,7	7,5 ± 0,8
Насыпная плотность, г/дм ³ Bulk density, g/dm ³	104,5 ± 2,1	104,0 ± 2,8	104,2 ± 4,4	104,5 ± 4,9
Твердость, Н Hardness, N	13,2 ± 3,6	10,3 ± 2,5	8,9 ± 0,8	5,4 ± 1,0
Количество микроразломов Number of microfractures	6,7 ± 1,3	9,0 ± 1,3	10 ± 1,0	11,5 ± 1,7

Гидратационные свойства показывают возможность экструдата связывать воду и растворяться в ней, отвечают за степень усвояемости и сроки годности. Их изменение важно при проектировании продуктов быстрого приготовления, каш, пюре. Основные показатели гидратационных свойств это влагоудерживающая способность, растворимость, набухаемость, влажность. Данные по влиянию содержания клетчатки топинамбура в экструдате на гидратационные свойства экструдатов, которые могут использоваться как ингредиенты при конструировании инстант-продуктов представлены в таблице 4. Результаты

исследования показали, что увеличение дозировки клетчатки топинамбура оказало значимое влияние на набухаемость экструдата и его равновесную влажность. Показатель набухаемости значимо вырос с 7 до 8,5 см³/г. Влажность образцов снизилась с 8,8 до 8,2%. Значимых изменений показателей растворимости и влагоудерживающей способности отмечено не было. Контрольное значение растворимости составило 85%, а при добавлении 3–9% клетчатки составило 81–85%. Наблюдалось незначимое увеличение влагоудерживающей способности с 4,2 контрольного образца до 4,5 при 9% гидролизата.

Таблица 4.

Гидратационные свойства экструдатов

Table 4.

Hydration properties of extrudates

Показатель Parameter	Дозировка клетчатки топинамбура, % Jerusalem artichoke fibers dosage, %			
	0	3	6	9
Набухаемость, см ³ /г Swelling capacity, cm ³ /g	7 ± 0,2	7,5 ± 0,3	8,7 ± 0,3	8,5 ± 0,2
Влагоудерживающая способность, г/г Water holding capacity, g/g	4,2 ± 0,1	4,0 ± 0,1	4,2 ± 0,2	4,5 ± 0,2
Растворимость, % Solubility, %	85 ± 4	84 ± 5	81 ± 4	83 ± 5
Влажность, % Moisture, %	8,8 ± 0,2	8,7 ± 0,1	8,5 ± 0,2	8,2 ± 0,2

Количество вносимой клетчатки топинамбура значимо изменяло цвет экструдатов. С увеличением ее дозировки цвет становился темнее и приобретал коричневый оттенок. Данные колориметрической оценки экструдатов представлены в таблице 5. Показатель светлоты L по шкале переходит в более темный диапазон, приобретая коричневый оттенок. Имеет слабую насыщенность цвета. Шкала «а» от зеленого

до красного показывает тренд на переход цвета образцов в красный оттенок, шкала «b» от синего до желтого показывает переход цвета образцов в сторону желтого оттенка. Согласно данным конвертора системы LAB контролю соответствует молочный цвет, образцу с содержанием 3% клетчатки топинамбура – бежевый, 6% – бледно-коричневый, 9% – светло-коричневый.

Таблица 5.

Цветовые характеристики экструдатов

Table 5.

Color characteristics of extrudates

Показатель Parameter	Дозировка клетчатки топинамбура, % Jerusalem artichoke fibers dosage, %			
	0	3	6	9
L	89,5 ± 1,3	83,9 ± 0,4	76,0 ± 1,1	70,7 ± 1,0
a	2,6 ± 0,8	2,4 ± 0,3	3,3 ± 0,2	4,3 ± 0,3
b	7,8 ± 0,3	17,6 ± 0,3	21,9 ± 0,6	24,0 ± 0,4

Заключение

Внесение 6% и более высушенной клетчатки топинамбура в экструдированную дробленую рисовую крупу, образуемую при шлифовании риса, позволяет получать продукт с содержанием пищевых волокон более 6 г на 100 г продукта. В соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 022/2011 отличительный признак такой продукции может маркироваться как продукт с высоким содержанием пищевых волокон.

Анализ результатов исследования показывает, что внесение клетчатки топинамбура, продукта его переработки на спирт, до 9% не оказывает отрицательного влияния на режимы экструзии, они остаются стабильными и значимо не изменяются. Температура экструдирования составляла 165–166 °С, давление 3,3–3,5 МПа, момент сдвига 59–60%, удельный расход электроэнергии 0,131–0,133 кВт·час/кг. Структура экструдатов с увеличением дозировки становится более пористой и хрусткой,

менее твердой, но при этом значимо снижается размер гранул. Цвет экструдатов приобретает коричневый оттенок. С увеличением дозировки гидролизата не изменяются показатели растворимости и влагоудерживающей способности, при этом значимо увеличивается набухаемость.

Установленные тенденции изменения функционально-технологических свойств могут быть положены в основу экструзионных продуктов, в том числе специализированного назначения. При этом содержание клетчатки топинамбура может быть фактором управления не только пищевой ценностью продукта, но и органолептическими характеристиками в аспекте структуры и реологии. Например, получении продуктов в заданном диапазоне твердости или пористости для снеков, сухих завтраков, хлебцев, или набухаемости для каш быстрого приготовления.

Финансирование

Работа выполнена в рамках Гранта № 22-16-00159 <https://rscf.ru/project/22-16-00159/>

Литература

- 1 Бахарев В.В., Воронина М.С., Гуляева А.Н., Нафикова О.А. и др. Исследование физико-химических показателей свекольных выжимок после их дегидратации с последующей экструзией // Индустрия питания. 2022. Т. 7, № 3. С. 25–31. doi: 10.29141/2500-1922-2022-7-3-3
- 2 Шариков А.Ю., Соколова Е.Н., Волкова Г.С., Куксова Е.В. и др. Процессы биокатализа и термопластической экструзии в технологии готовых к употреблению продуктов с использованием жмыхов плодово-ягодного сырья // Биотехнология. 2022. Т. 38. № 4. С. 67–71. doi: 10.56304/S0234275822040135
- 3 Скиданова М.А., Цветкова Е.Э., Биньковская О.В. Значение топинамбура в пищевой промышленности // Новое слово в науке: перспективы развития. 2016. № 3. С. 59–60. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26508274>
- 4 Junko T., Toshio N. Preparation of dried chips from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers and analysis of their functional properties // Food Chemistry. 2011. V. 1263. P.922–926. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.11.080
- 5 Сербяева Э.Р., Якупова А.Б., Магасумова Ю.Р., Фархутдинова К.А. и др. Инулин: природные источники, особенности метаболизма в растениях и практическое применение // Биомика. 2020. Т. 12(1). С. 57–79. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2020-5 ISSN 2221-6197
- 6 Newlove A.A. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) dietary fiber powder functionality // Heliyon. 2022. V. 812. e12426. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12426
- 7 Ceylan H., Bilgiçli N., Cankurtaran, T. Improvement of functional cake formulation using Jerusalem artichoke flour as inulin source and resistant starch (RS4) // LWT – Food Science and Technology. 2021. V. 145. P. 111301. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111301
- 8 Ободеева О.Н., Крикунова Л.Н. Изучение динамики трансформации летучих компонентов дистиллятов из топинамбура в процессе их выдержки (отдыха) // Актуальные вопросы индустрии напитков. 2018. № 2. С. 87–89. doi: 10.21323/978-5-6041190-3-7-2018-2-87-89
- 9 Туршатов М.В., Соловьев А.О., Волкова Г.С., Никитенко В.Д. Комплексная переработка топинамбура с получением пищевых функциональных продуктов // Актуальная биотехнология. 2022. № 1. С. 255.
- 10 Yang L., He Q., Corscadden K., Udenigwe C. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production // Biotechnology Reports. 2015. V. 5. P. 77–88. doi: 10.1016/j.btre.2014.12.004
- 11 Hu J.F., Qiu S.Y. Research process in ethanol production by the fermentation of Jerusalem artichoke // Liq. Mark. Sci Technol. 2009. V. 182. P. 100–104.

- 12 Дерканосова Н.М., Шеламова С.А., Василенко О.А., Пальчикова С.С. Изучение потенциала продуктов переработки топинамбура как обогащающих пищевых ингредиентов // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2022. № 1(18). С. 5–11. doi: 10.53914/issn2311-6870_2022_1_5
- 13 Соловьев А.О. Изучение реологических свойств замеса при получении спирта из топинамбура // Пищевая промышленность. 2023. № 5. С. 39–41. doi: 10.52653/PPI.2023.5.5.010
- 14 Li L., Li L., Wang Y., Du Y., Qin S. Biorefinery products from the inulin containing crop Jerusalem artichoke // *Biotechnology Letters*. 2013. V. 35. P. 471–477.
- 15 Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских продуктов питания. ДеЛи принт, 2002. 236 с.
- 16 Ainsworth P., İbanoğlu Ş., Plunkett A., İbanoğlu E. et al. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack // *Journal of Food Engineering*. 2007. V. 81. № 4. P. 702709. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004
- 17 Stojceska V., Ainsworth P., Plunkett A., İbanoğlu S. The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten free products // *Food Chemistry*. 2010. V. 121. P. 156–164 doi: 10.1016/j.foodchem.2009.12.024
- 18 Moraru C.I., Kokini J.L. Nucleation and Expansion During Extrusion and Microwave Heating of Cereal // *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2003. V. 2. P. 120–138.
- 19 Afoakwa N.A. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) dietary-fiber powder functionality // *Heliyon*. 2022. V. 8. №. 12.
- 20 Manokhina A.A., Dorokhov A.S., Kobozeva T.P., Fomina T.N. et al. Jerusalem artichoke as a strategic crop for solving food problems // *Agronomy*. 2022. V. 12. №. 2. P. 465.

References

- 1 Bakharev V.V., Voronina M.S., Gulyaeva A.N., Nafikova O.A. Dehydration of Beet Bagasse with Subsequent Extrusion and Their Physico-Chemical Parameters Comparison. The food industry. 2022. vol. 7. no. 3. pp. 25–31. doi: 10.29141/2500-1922-2022-7-3-3 (in Russian)
- 2 Sharikov A.Yu., Sokolova E.N., Volkova G.S., Kuksova E.V. et al. Biocatalysis and Thermoplastic Extrusion in Obtaining of Ready-to-Eat Products using Fruit and Berry Pomaces. *Biotechnology*. 2022. vol. 38. no. 4. pp. 67–71. doi: 10.56304/S0234275822040135 (in Russian).
- 3 Skidanova M.A., Tsvetkova E.E., Binkovskaya O.V. The importance of jerusalem artichoke in the food. A new word in science: development prospects. 2016. no. 3–9. pp. 59–60. (in Russian)
- 4 Junko T., Toshio N. Preparation of dried chips from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers and analysis of their functional properties. *Food Chemistry*. 2011. vol. 1263. pp. 922–926. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.11.080
- 5 Serbaeva E.R., Yakupova A.B., Magasumova Yu.R., Farkhutdinova K.A. et al. Inulin: natural sources, peculiarities of metabolism in plants and practical application. *Biomika*. 2020. vol. 12(1). pp. 57–79. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2020-5 (in Russian).
- 6 Newlove A.A. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) dietary fiber powder functionality. *Heliyon*. 2022. vol. 812. e12426. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12426
- 7 Ceylan H., Bilgiçli N., Cankurtaran, T. Improvement of functional cake formulation using Jerusalem artichoke flour as inulin source and resistant starch (RS4). *LWT – Food Science and Technology*. 2021. vol. 145. pp. 111301. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111301
- 8 Obodeeva O.N., Krikunova L.N. Studying the dynamics of transformation of volatile components of jerusalem artichoke distillates during their aging (rest). *Topical issues of the beverage industry*. 2018. no. 2. pp. 87–89. doi: 10.21323/978-5-6041190-3-7-2018-2-87-89 (in Russian).
- 9 Turshatov M.V., Solovyov A.O., Volkova G.S., Nikitenko V.D. Complex processing of jerusalem artichoke to obtain functional food products. *Current biotechnology*. 2022. no. 1. pp. 25. doi: 10.20914/2304-4691-2022-1-255 (in Russian).
- 10 Yang L., He Q., Corscadden K., Udenigwe C. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. *Biotechnology Reports*. 2015. vol. 5. pp. 77–88. doi: 10.1016/j.btre.2014.12.004
- 11 Hu J.F., Qiu S.Y. Research process in ethanol production by the fermentation of Jerusalem artichoke. *Liq. Mark. Sci Technol*. 2009. vol. 182. pp. 100–104.
- 12 Derkanosova N.M., Shelamova S.A., Vasilenko O.A., Palchikova S.S. Studying the potential of Jerusalem artichoke processing products as enriching food ingredients. *Technology and commodity science of agricultural products*. 2022. no. 1(18). pp. 5–11. doi: 10.53914/issn2311-6870_2022_1_5 (in Russian).
- 13 Solovyov A.O. The study of the rheological properties of the batch when obtaining alcohol from jerusalem artichoke. *Food processing industry*. 2023. no. 5. pp. 39–41. doi: 10.52653/PPI.2023.5.5.010 (in Russian).
- 14 Li L., Li L., Wang Y., Du Y. et al. Biorefinery products from the inulin containing crop Jerusalem artichoke. *Biotechnology Letters*. 2013. vol. 35. pp. 471–477.
- 15 Skurikhin I.M., Tutelyan V.A. Chemical composition of Russian food products. 2002. (in Russian).
- 16 Ainsworth P., İbanoğlu Ş., Plunkett A., İbanoğlu E., Stojceska V. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*. 2007. vol. 81. no. 4. pp. 702709. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004
- 17 Stojceska V., Ainsworth P., Plunkett A., İbanoğlu S. The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten free products. *Food Chemistry*. 2010. vol. 121. pp. 156–164 doi: 10.1016/j.foodchem.2009.12.024
- 18 Moraru C.I., Kokini J.L. Nucleation and Expansion During Extrusion and Microwave Heating of Cereal. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2003. vol. 2. pp. 120–138.
- 19 Afoakwa N.A. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) dietary-fiber powder functionality. *Heliyon*. 2022. vol. 8. no. 12.
- 20 Manokhina A.A., Dorokhov A.S., Kobozeva T.P., Fomina T.N. et al. Jerusalem artichoke as a strategic crop for solving food problems. *Agronomy*. 2022. vol. 12. no. 2. pp. 465.

Сведения об авторах

Мария В. Амелякина к.т.н., ст. научн. сотрудник, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, masha.am@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>

Виктор В. Иванов к.т.н., вед. науч. сотрудник, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, ivanov.v.v@li.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

Дарья В. Поливановская мл. научн. сотрудник, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, dashpol@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6078-9280>

Антон Ю. Шариков к.т.н., зав. отделом, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, charikov@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

Ирина М. Абрамова д.т.н., директор, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, 4953624495@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Maria V. Amelyakina Cand. Sci. (Engin.), senior researcher, food production equipment and membrane technologies department, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya Str., 4B Moscow, 111033, Russia, masha.am@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>

Victor V. Ivanov Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, food production equipment and membrane technologies department, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya Str., 4B Moscow, 111033, Russia, ivanov.v.v@li.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

Daria V. Polivanovskaya junior researcher, food production equipment and membrane technologies department, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya Str., 4B Moscow, 111033, Russia, dashpol@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6078-9280>

Anton Yu. Sharikov Cand. Sci. (Engin.), head of the department, food production equipment and membrane technologies department, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya Str., 4B Moscow, 111033, Russia, charikov@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

Irina M. Abramova Dr. Sci. (Engin.), director, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya Str., 4B Moscow, 111033, Russia, 4953624495@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/09/2023	После редакции 02/11/2023	Принята в печать 20/11/2023
Received 21/09/2023	Accepted in revised 02/11/2023	Accepted 20/11/2023