

ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ИНУЛИНА И ЕГО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Шаповалова П.Н.¹, Коннова О.И.²

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева¹

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»²

businesspollyg@gmail.com¹, okonnova88@gmail.com²

Инулин представляет собой водорастворимый полисахарид, который играет важную роль в поддержании здоровья пищеварительной системы человека. Он относится к группе фруктанов и не переваривается в желудочно-кишечном тракте человека, что делает его уникальным среди других углеводов. Инулин может использоваться для улучшения текстуры йогуртов, десертов и выпечки, придавая им кремообразность и сладость без добавления лишних калорий. Включение инулина в рацион может стать отличным шагом к улучшению общего самочувствия и профилактике многих заболеваний. В данной статье подробно рассматриваются основы его современного производства и какими физико-химическими свойствами он обладает.

Ключевые слова: пищевая промышленность, пищевые добавки, инулин, функциональные ингредиенты, физико-химические свойства.

Введение. Инулин, относящийся к полифруктозам и состоящий из цепочек фруктозы, является одним из наиболее распространенных полисахаридов в растительном мире. Его присутствие обнаружено более чем в 36000 видах растений и на протяжении столетий он был неотъемлемой частью рациона многих народов [1].

Впервые инулин был выделен и описан немецким ученым Валентином Розе в начале XIX века из корней девясила (*Inula helenium*). В 1817 году Томсон предложил для этого вещества название «инулин». Дальнейшие исследования, проведенные Юлиусом Саксом в 1864 году, подтвердили наличие инулина в виде характерных сферокристаллов в георгинах, топинамбуре (земляной груше) и снова в девяселе. Эти наблюдения заложили основу для понимания распространения инулина в растительном мире. Однако концентрация инулина значительно варьируется в зависимости от вида растения, времени сбора урожая и условий произрастания [2].

К наиболее богатым источникам инулина относятся корни цикория (наиболее распространённый коммерческий источник), топинамбур, клубни георгинов, корни якона, а также в меньшем количестве – спаржа, лук-порей, репчатый лук, бананы, пшеница и чеснок. Важно отметить, что содержание инулина в этих продуктах может изменяться в широком диапазоне. Например, содержание инулина в корнях цикория может достигать 65...70 % от сухого вещества, в то время как в бананах его значительно меньше (0,3–0,7 % от сырой массы) [3, 4]. Это нужно учитывать при использовании инулина в качестве пищевого ингредиента или при расчёте его потенциальной пользы для здоровья.

Помимо природных источников, инулин может быть получен синтетическим путём. В частности, синтетические фруктаны, структурно сходные с инулином, могут быть получены из сахарозы путем ферментативной полимеризации. Этот метод позволяет получать инулин с определенными характеристиками, например, с регулируемой длиной цепи фруктозы, что важно для различных применений в пищевой промышленности и фармацевтике [5].

Материалы и методы. Инулин играет значительную роль в пищевой промышленности благодаря своим функциональным свойствам. Он используется как пребиотик, стимулирующий рост полезной микрофлоры кишечника, как загуститель и стабилизатор текстуры в пищевых продуктах, а также как источник растворимой клетчатки. Его низкая калорийность и сладость делают инулин полезным ингредиентом в диетических продуктах.



Некоторые исследования также указывают на потенциальную роль инулина в снижении уровня холестерина и глюкозы в крови, хотя необходимы дальнейшие исследования для подтверждения этих эффектов.

Однако важно помнить, что избыточное потребление инулина может вызывать метеоризм и дискомфорт в кишечнике у некоторых людей. Поэтому необходимо вводить инулин в рацион постепенно, следя за реакцией организма [6, 7].

С химической точки зрения инулин представляет собой линейный полидисперсный фруктан со степенью полимеризации 2...60 или выше (максимум < 200), состоящий из молекул фруктозы, связанных β (2-1) – связями через метиленовую группу связями, с концевым глюкозным остатком, связанным с последней молекулой фруктозы α (1-2) связью [8, 9]. В природе встречается несколько типов инулина, которые различаются по степени полимеризации и молекулярной массе в зависимости от источника, времени сбора урожая и условий обработки.

Химическую структуру инулина можно определить с помощью хроматографических методов, таких как высокоэффективная ионообменная хроматография с импульсным амперометрическим детектированием (HPLC-PAD) [10]. При этом отметим, что наличие альдегидов, кетонов и множества гидроксильных групп в химической структуре углеводов делает их относительно привлекательными электрохимическими анализируемыми веществами, позволяя использовать импульсный амперометрический детектор для обнаружения олигосахаридов на очень низких уровнях при использовании пектиновых смол. [11, 12]. Полимеры инулина с высокой степенью разветвления обладают большей растворимостью и в присутствии воды способны образовывать гелеобразную массу, тем самым изменяя текстуру продукта и придавая ему жирную консистенцию [13], в то время как короткоцепочечные молекулы усиливают вкус, сладость и используются, в том числе, и для частичной замены сахарозы [14].

Инулин, будучи уникальным пищевым ингредиентом, обладает множеством важных полезных свойств, а также некоторыми характеристиками, позволяющими широко использовать его в пищевой промышленности. Инулин из цикория представляет собой белый порошок с мелкими частицами, обладающими большей прозрачностью (рис. 1). Хотя инулин с длинной цепью не является сладким, обычный инулин из цикория по сравнению с сахарозой имеет уровень сладости около 10 %. Инулин ведёт себя так же, как и разрыхлители, и в сочетании с высоким содержанием искусственных подсластителей, таких как аспартам и ацесульфам К, он обеспечивает приятное ощущение во рту с небольшим послевкусием [15].



Рисунок 1 – Инулин, внешний вид [16]

Инулин из цикория умеренно растворим в воде (почти 10 % при 25 °С), что позволяет добавлять его в водную среду без образования осадка. Для приготовления раствора инулина рекомендуется использовать нагретую до 50...100 °С воду. Растворы инулина из цикория

имеют относительно низкую вязкость, например, для 5 %-ного раствора – 1,65 мПа.с при 10 °С, а для 30 %-ного раствора – 100 мПа.с. Инулин в небольшой степени влияет на температуру замерзания и кипения воды (например, 15 % инулина из цикория снижает температуру замерзания на 0,5 °С). Низкий уровень pH, высокая температура и меньшее содержание сухого вещества являются критическими параметрами для гидролиза инулина. Кроме того, β - (2-1) связи между фрагментами фруктозы могут быть (частично) гидролизованы в сильноокислой среде [17].

Инулин обладает гелеобразующими свойствами на высоком уровне (для стандартного инулина из цикория > 25 %, а для длинноцепочечного инулина > 15 %) и образует гелеобразную структуру после измельчения. Когда инулин полностью растворяется в воде или любой другой водной среде с помощью режущего инструмента, такого как роторно-статорный миксер или гомогенизатор, образуется белая кремообразная структура, которую можно легко добавлять в продукты в качестве заменителя жира [18].

В промышленных масштабах большая часть инулина производится из цикория, однако георгины и топинамбур также считаются хорошими источниками для промышленного производства в регионах с умеренным климатом. Производство инулина проходит в два этапа. На первом этапе происходит экстракция и первичная очистка сиропа-сырца, который затем перерабатывается для получения товарного продукта (более 99,5 %) на втором этапе обработки [19].

Некоторые передовые технологии, такие как сверхкритический углекислый газ (CO₂) [20], ультразвук, одновременное ультразвуковое/микроволновое воздействие [21], импульсное электрическое поле [22], также используются в процессе экстракции инулина для получения более высокого выхода очищенного конечного продукта при меньших затратах энергии. Но в классическом процессе очистки для удаления примесей из выжатого сока осветление требует нескольких этапов (предварительное известкование, известкование и карбонизация) при относительно высокой температуре (80...90 °С), как показано на рисунке 2. Однако, это может привести к гидролизу молекул инулина в экстрагированном соке, а также к появлению дополнительных ионов кальция в осветленном соке, что требует дальнейшей очистки [23].

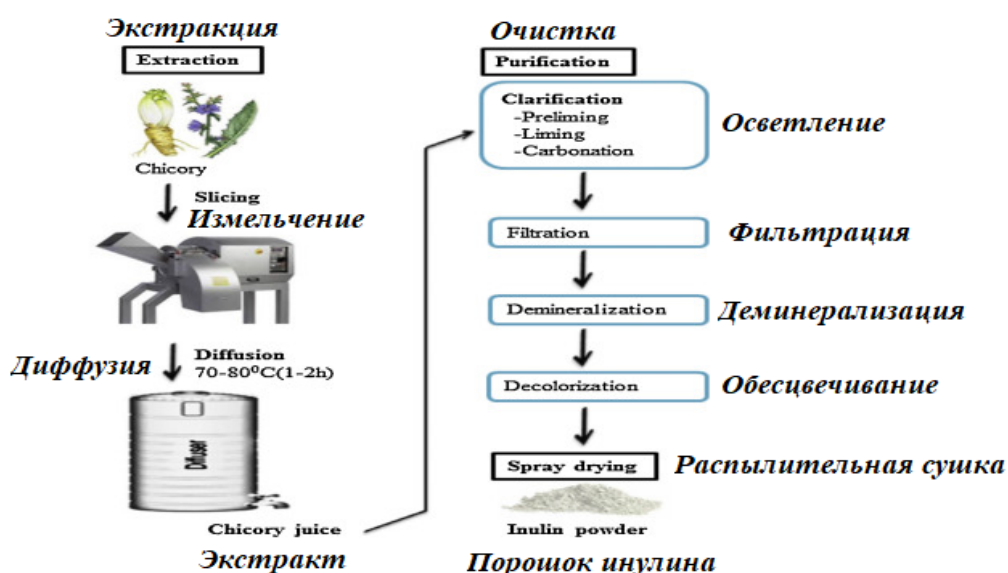


Рисунок 2 – Технология получения инулина [24]

Сообщается также, что мембранные технологии, такие как микрофильтрация и ультрафильтрация, облегчают выполнение этих трудоемких и отнимающих много времени этапов. Полученный в результате инулин со степенью полимеризации в диапазоне от 3 до 60 имитирует исходную, присутствующую в цикории. Также можно получить высококачественный длинноцепочечный инулин с со степенью полимеризации более 23 [25].

Результаты и обсуждения. В современную эпоху исследования дают глубокое представление о роли недавно открытых биологически активных компонентов в разработке



функциональных продуктов. Было отмечено, в частности, что инулин оказывает огромное влияние на улучшение здоровья людей и кроме того, он может быть хорошей заменой углеводам и жирам, а также хорошим источником клетчатки для обогащения различных продуктов питания.

Закключение. Таким образом, необходимо предпринимать шаги по совершенствованию технологий производства инулина, в том числе и с целью повышения конкурентоспособности отечественного продукта и возможности выхода на рынок отечественного инулина. Это достигается за счёт интенсификации наиболее энерго- и ресурсоёмких стадий производства, таких как экстракция из измельчённого сырья, очистка экстракта, выделение инулина из экстрактного раствора. Также совершенствование технологий позволяет повысить качественные показатели готового продукта, т.к. инулин используется в малых количествах. Контролировать и корректировать эти показатели необходимо на протяжении всего технологического процесса.

Литература

1. Shoaib M., Shehzad A., Omar M. et al. Inulin: Properties, health benefits and food applications // Carbohydrate polymers. – 2016. – Is. 147. – P. 444–454.
2. Birmani M.W., Nawab A., Ghani M.W. et al. A review: role of inulin in animal nutrition // Journal of Food Technology Research. – 2019. – Is. 6. – Vol. 1. – P. 18–27.
3. Bornet F.R.J. Fructo-oligosaccharides and other fructans: chemistry, structure and nutritional effects // Advanced dietary fibre technology. – 2000. – P. 480–493.
4. Roberfroid M.B. Inulin-type fructans: functional food ingredients // The Journal of Nutrition. – 2007. – Vol. 37 (11). – P. 2493–2502.
5. Cooper P.D., Rajapaksha K.H., Barclay T.G. et al. Inulin crystal initiation via a glucose-fructose cross-link of adjacent polymer chains: Atomic force microscopy and static molecular modelling // Carbohydrate polymers. – 2015. – Is. 117. – P. 964–972.
6. Надежкина М.С., Сагина О.А. Инулин: свойства, применение. Мировой рынок инулина // Modern Science. – 2020. – № 1–2. – С. 76–80.
7. Ладнова О.Л., Меркулова Е.Г. Применение инулина и стевии при разработке рецептур продуктов нового поколения // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 2. – С. 33–34.
8. Roberfroid M., Gibson G.R., Delzenne N. The biochemistry of oligofructose, a nondigestible fiber: an approach to calculate its caloric value // Nutrition reviews. – 1993. – Is. 51. – Vol. 5. – P. 137–146.
9. Rocklin R.D., Pohl C.A. Determination of carbohydrates by anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection // Journal of Liquid Chromatography. – 1983. – Is. 6. – Vol. 9. – P. 1577–1590.
10. Урьяш В.Ф., Кокурина Н.Ю., Ларина В.Н. и др. Влияние воды на физико-химические свойства олигомерного полисахарида инулина // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. – 2016. – Т. 57. – № 5. – С. 321–329.
11. Tungland B.C., Meyer D. Nondigestible oligo- and polysaccharides (Dietary Fiber): their physiology and role in human health and food // Comprehensive reviews in food science and food safety. – 2002. – Is. 1. – Vol. 3. – P. 90–109.
12. De Castro F.P., Cunha T.M., Barreto P.L.M. et al. Effect of oligofructose incorporation on the properties of fermented probiotic lactic beverages // International Journal of Dairy Technology. – 2009. – Is. 62. – Vol. 1. – P. 68–74.
13. Roberfroid M.B. Introducing inulin-type fructans // British journal of nutrition. – 2005. – Is. 93. – Vol. 1. – P. 13–25.
14. Насриддинов А.С., Ашуров А.И., Холов Ш.Е. и др. Самоагрегирующие свойства инулина в разбавленном растворе // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2022. – Т. 12. – № 1 (40). – С. 38–49.

15. Лукин А.А., Рогозина Ю.В. Промышленная применимость, физико-химические и терапевтические свойства инулина // Промышленность и сельское хозяйство. – 2020. – № 11. – С. 6–11.
16. Инулин, внешний вид [Электронный ресурс]. URL: <https://mos-konditer.ru/product/inulin/> (дата обращения: 09.01.2025).
17. Криворук В.Н., Калинин К.А., Шульц М.О. Физико-химические и функционально-технологические свойства инулина с топинамбура // Молодой ученый. – 2015. – № 12-1. – С. 52–55.
18. Zimeri J.E., Kokini J.L. The effect of moisture content on the crystallinity and glass transition temperature of inulin // Carbohydrate Polymers. – 2002. – Т. 48. – № 3. – С. 299–304.
19. Лисовой В.В., Першакова Т.В. Купин А.Г. и др. Современные способы производства инулина из растительного сырья // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – №. 118. – С. 1363–1376.
20. Бызов В.А. Системный анализ состояния и перспективы развития производства инулина (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – Т. 23. – № 6. – С. 757–776.
21. Mendes M.F., Cataldo L.F., Da Silva C.F. et al. Extraction of the inuline from chicory roots // 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering. – 2005. – P. 1–8.
22. Зокиров Б.У., Исмоилова М.Р.К., Равшанов С.С. Производство кристаллической фруктозы из клубней *Helianthus tuberosus* // Universum: химия и биология. – 2021. – № 7–1 (85). – С. 30–35.
23. Lou Z., Wang H., Wang D. et al. Preparation of inulin and phenols-rich dietary fibre powder from burdock root // Carbohydrate polymers. – 2009. – Is. 78. – Vol. 4. – P. 666–671.
24. Franck A., Bosscher D. Inulin // Fiber Ingredients. – CRC Press, 2009. – P. 55–74.
25. Cho S. S., Samuel P. (ed.). Fiber ingredients: food applications and health benefits. – CRC press, 2009.

INDUSTRIAL PRODUCTION OF INULIN AND ITS PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Shapovalova P.N., Konnova O.I.

Inulin is a water-soluble polysaccharide that plays an important role in maintaining the health of the human digestive system. It belongs to the fructan group and is not digested in the human gastrointestinal tract, making it unique among other carbohydrates. Inulin can be used to improve the texture of yogurts, desserts and baked goods, giving them creaminess and sweetness without adding calories. Incorporating inulin into your diet can be a great step toward improving your overall health and preventing many diseases. This article describes the basics of its modern production and its physical and chemical properties.

Key words: food industry, food additives, inulin, functional ingredients, physical and chemical properties.