



Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

Исследование особенностей структурной организации инулина и анализ возможностей его применения

Василий А. Бызов¹, Владимир В. Литвяк¹, Николай Д. Лукин¹,
Валерий В. Шилов², Юрий Ф. Росляков^{3*}, Жылдыз К. Ирматова⁴

¹Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха»; ул. Некрасова, 11, пос. Красково, Люберецкий р-н, Московская обл., 140051, Российская Федерация

²Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета; ул. Долгобродская, 23/1, г. Минск, 220070, Республика Беларусь

³ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»; ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация

⁴Ошский технологический университет (ОшТУ); ул. Н. Исанова, 8, г. Ош, 723503, Кыргызская Республика

Аннотация. Исследование инулина и возможностей его использования является актуальной и важной научной и практической задачей. Цель – исследование особенностей структурной организации инулина и анализ возможностей его применения. Объект и методы исследования. Объектом исследования являлся инулин, полученный из корнеклубнеплодов топинамбура. Фотографирование (макросъемку) проводили с помощью фотоаппарата SONY NEX-5N (Таиланд). Микроструктура исследована с помощью светового микроскопа Olympus CX41RF (увеличение в 40, 100 и 400 раз), камера ALTRA 20 Soft Imaging Sistem (Япония). Спектры ИК-поглощения регистрировались на однолучевом Фурье-спектрометре модели Перкин Эльмер «Спектрум 1000» в спектральном диапазоне 400–4000 см⁻¹ с шириной спектральной щели 4 см⁻¹, время записи одного спектра около 2 мин. Поиск литературы по проблеме за последние годы осуществляли по базам данных РИНЦ, Google Scholar, ResearchGate, PubMed по ключевым словам и словосочетаниям: «инулин», «структура инулина», «свойства инулина», «применение инулина», «фруктоолигосахариды».

Результаты и их обсуждение. Анализ ИК-спектра подтверждает, что инулин – полисахарид, состоящий из остатков фруктозы. Исследования морфологии инулина при помощи световой микроскопии показывают, что инулин организован в виде псевдокристаллических образований. В среде 96%-го этилового спирта хорошо заметны центральные (в виде темной окружности) и периферические части (в виде полупрозрачной окружности, которая обволакивает центральную темную окружность), а также небольшие части инулина (в виде темных точек) отделяющиеся от основных псевдокристаллических образований. Существует большое разнообразие пищевых продуктов, обогащенных инулином. Установлено, что используемые для обогащения пищевых продуктов концентрации инулина широко варьируются в зависимости от вида пищевого продукта в пределах от 0,75 до 50%. Пребиотический эффект инулина доказан, но его взаимодействие с различными пищевыми матрицами является сложным процессом, и не всегда это технологически выгодно для продукта. В дополнение к сенсорным, физико-химическим и реологическим характеристикам, необходимо также проводить измерения таких характеристик как содержание пребиотиков в пищевых продуктах и определять пребиотическую активность *in vivo* и *in vitro*, а также оценивать потенциальные побочные реакции для того, чтобы определить научно обоснованные дозы инулина для потребителя.

Заключение. Полученный ИК-спектр подтверждает известное химическое строение инулина. Морфологические исследования инулина при помощи световой микроскопии свидетельствуют о создании инулином псевдокристаллических образований в среде глицерина и 96%-ого этилового спирта. Инулин может найти широкое применение в различных пищевых продуктах в качестве важного биологически активного вещества.

Ключевые слова: инулин, фруктоза, световая микроскопия, ИК-спектр, псевдокристаллические образования, метаболизм, пребиотический эффект, пищевая промышленность

Для цитирования: Бызов В.А., Литвяк В.В., Лукин Н.Д. и др. Исследование особенностей структурной организации инулина и анализ возможностей его применения. Новые технологии / *New technologies*. 2023; 19(4): 31-47. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-31-47>

Investigation of the features of the structural organization of inulin and analysis of the possibilities of its application

Vasily A. Byzov¹, Vladimir V. Litvyak¹, Nikolai D. Lukin¹,
Valery V. Shilov², Yuri F. Roslyakov^{3*}, Jyldyz K. Irmatova⁴

¹All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials –
a branch of Russian Potato Research Centre;

11 Nekrasov str., Kraskovo, the Luberetskiy district, the Moscow region, 140051, the Russian Federation

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University;

23/1 Dolgobrodskaya Str., Minsk, 220070, the Republic of Belarus

³FSBEI HE «Kuban State Technological University»;

2 Moskovskaya str., Krasnodar, 350072, the Russian Federation

⁴Osh Technological University (OshTU);

81 N. Isanov's str., Osh, 723503, the Kyrgyz Republic

Abstract. Investigation of inulin and the possibilities of its use is a relevant and important scientific and practical task. The goal is to study the features of the structural organization of inulin and analyze the possibilities of its use. The object and methods of the research. The object of the research was inulin obtained from Jerusalem artichoke roots. Photography (macro photography) was carried out using a SONY NEX-5N camera (Thailand). The microstructure was studied using an Olympus CX41RF light microscope (magnification 40, 100 and 400 times), ALTRA 20 Soft Imaging Sistem camera (Japan). IR absorption spectra were recorded on a Perkin Elmer Spectrum 1000 single-beam Fourier spectrometer in the spectral range of 400–4000 cm⁻¹ with a spectral slit width of 4 cm⁻¹; the recording time for one spectrum was about 2 min. The literature search on the problem was carried out in the databases of RSCI, Google Scholar, ResearchGate, PubMed using keywords and phrases: «inulin», «inulin structure», «inulin properties», «use of inulin», «fructo-oligosaccharides».

The results and their discussion. Analysis of the IR spectrum has confirmed that inulin is a polysaccharide consisting of fructose residues. Studies of the morphology of inulin using light microscopy have shown that inulin is organized in the form of pseudocrystalline formations. In a medium of 96% ethyl alcohol, the central (in the form of a dark circle) and peripheral parts (in the form of a translucent circle that envelops the central dark circle), as well as small parts of inulin (in the form of dark dots) separating from the main pseudocrystalline formations, are clearly visible. There is a wide variety of foods fortified with inulin. It has been established that inulin concentrations used for food fortification vary widely depending on the type of food product, ranging from 0.75 to 50%. The prebiotic effect of inulin has been proved, but its interaction with various food matrices is a complex process, and it is not always technologically beneficial for the product. In addition to sensory, physicochemical and rheological characteristics, it is also necessary to measure characteristics such as prebiotic content of foods and determine prebiotic activity *in vivo* and *in vitro*, as well as evaluate potential adverse reactions in order to determine scientifically based doses of inulin for consumers.

Conclusion. The obtained IR spectrum confirms the known chemical structure of inulin. Morphological studies of inulin using light microscopy indicate the creation of pseudocrystalline formations by inulin in a medium of glycerol and 96% ethyl alcohol. Inulin can be widely used in various foods as an important biologically active substance.

Keywords: inulin, fructose, light microscopy, IR spectrum, pseudocrystalline formations, metabolism, prebiotic effect, food industry

For citation: Byzov V.A., Litvyak V.V., Lukin N.D. et al. Investigation of the features of the structural organization of inulin and analysis of the possibilities of its application. *Novye tehnologii / New technologies*. 2023; 19(4): 31-47. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-31-47>

Введение. В настоящее время большой интерес в пищевой промышленности проявляют к фруктоолигосахариду (ФОС) – инулину. Инулин является основным запасным полисахаридом, прежде всего у топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) и у цикория (*Cichorium intybus* L.), а также у ряда других растений. Рассматривается инулин как один из перспективных пищевых ингредиентов, обладающий высокой и разнообразной биологической активностью [1, 4, 6–7].

Цель – исследование особенностей структурной организации инулина и анализ возможностей его применения.

Объект и методы исследования

Объектом исследований являлся инулин, полученный из корнеклубнеплодов топинамбура.

Фотографирование

Фотографирование (макросъемку) проводили с помощью фотоаппарата SONY NEX-5N (Таиланд).

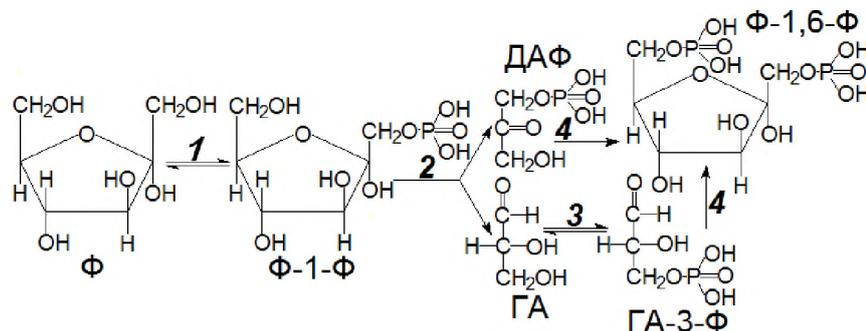
Световая микроскопия

Микроструктура исследована с помощью светового микроскопа Olympus CX41RF (увеличение в 40, 100 и 400 раз), камера ALTRA 20 Soft Imaging System (Япония). Препараты для исследований готовили с или без глицерина.

ИК-спектроскопия

Спектры ИК-поглощения регистрировались на однолучевом Фурье-спектрометре модели Перкин Эльмер «Спектрум 1000» в спектральном диапазоне 400–4000 см⁻¹ с шириной спектральной щели 4 см⁻¹, время записи одного спектра около 2 мин.

Приготовление образцов осуществлялось прессованием инулина в таблетку с КВг в соотношении 1:200 мг при давлении около 4,5·10⁸ Па.



представлены на рис. 2–4. На рис. 5 показан ИК-спектр инулина.

В результате анализа полученных нами экспериментальных данных установлено, что инулин является порошком белого цвета (рис. 1).

Положение максимумов полос, проявляющихся в виде перегибов (выступов) на контуре более сильных пиков, определено с погрешностью до 5 см⁻¹, остальные максимумы с точностью до 2 см⁻¹.

Расшифровка спектров проведена в соответствии с источниками [2, 3, 5].

Поиск литературы по проблеме

Поиск литературы по проблеме за последние годы осуществляли по базам данных РИНЦ, Google Scholar, ResearchGate, PubMed по ключевым словам и словосочетаниям: «инулин», «структура инулина», «свойства инулина», «применение инулина», «фруктоолигосахариды», «inulin», «structure of inulin», «properties of inulin», «application of inulin», «fructooligosaccharides».

Результаты и их обсуждение

Особенности структурной организации инулина

Основные характеристики инулина приведены в таблице 1 [7, 4, 10].

Основным мономером инулина является моносахарид фруктоза [7, 4, 10]. Характеристика (физико-химические свойства) фруктозы продемонстрирована в таблице 2 [64].

Метаболизм фруктозы протекает в основном в печени с участием фруктокиназы (1), альдозазы (2 и 4) и глицеральдегидфосфокиназы (3) и образованием метаболитов (Ф – фруктоза, Ф-1-Ф – фруктоза-1-фосфат, ГА – глицеральдегид, ДАФ – диоксиацетонфосфат, ГА-3-Ф – глицеральдегид-3-фосфат, Ф-1,6-Ф – фруктозо-1,6-фосфат) [64].

Результаты исследований внешнего вида инулина показаны на рис. 1, а микроструктуры с использованием светового микроскопа

Исследования морфологии инулина при помощи световой микроскопии (рис. 2–4) свидетельствуют, что инулин организован в виде псевдокристаллических образований. Ранее проведенные нами исследования структуры



Рис. 1. Фотографии внешнего вида инулина топинамбура

Fig. 1. Photos of the appearance of Jerusalem artichoke inulin

Основные характеристики инулина [7, 4, 10]

Таблица 1

Main characteristics of inulin [7, 4, 10]

Table 1

Показатели	Значение
Систематическое наименование	Инулин
Краткое определение	Органическое вещество из группы полисахаридов, полимер D-фруктозы (полифруктозан)
Эмпирическая химическая формула	$(C_6H_{10}O_5)_n$
Структурная химическая формула	
Молекулярная масса, г/моль	5000–6000
Состояние	Твердое
Внешний вид	Аморфный порошок или кристаллы
Цвет	Белый
Вкус	Сладкий
Растворимость в воде	Растворим в теплой воде с образованием коллоидных растворов и не растворим в холодной воде
Воздействие йода	С йодом не дает окрашивания
Влияние на фелингову жидкость	Не восстанавливает фелингову жидкость
Вращение плоскости поляризованного света	Растворы инулина вращают плоскость поляризованного света влево. Для безводного препарата удельное вращение $^{[a]}D_{20} = -39^\circ$.

Содержание	В растениях семейства сложно-цветных, колокольчиковых, лилейных, лобелиевых, фиалковых и др. Наибольшее количество содержится в клубнях и корнях георгина, нарцисса, гиацинта, клуберозы, одуванчика, цикория и земляной груши (топинамбура), скорцонера и овсяного корня.
Сопутствующие вещества	Псевдоинулин, инуленин, левулин, гелиантин, синистрин, иризин и др.
Значение	Запасной углеводов (полисахарид) растений

Таблица 2

Основные характеристики фруктозы [64]

Table 2

Main characteristics of fructose [64]

Показатели	Значение
Систематическое наименование	Фруктоза
Традиционные названия	Фруктовый сахар, левулеза, <i>D</i> -фруктофураноза
Эмпирическая химическая формула	$C_6H_{12}O_6$
Структурная химическая формула:	
Открытая форма	<p><i>D</i>-фруктоза</p>
Циклическая форма	<p>β-<i>D</i>-фруктофураноза</p>
Таутомерные превращения	<p>α-<i>D</i>-фруктофураноза α-<i>D</i>-фруктофураноза <i>D</i>-фруктоза β-<i>D</i>-фруктофураноза β-<i>D</i>-фруктофураноза</p>

Продолжение таблицы 2

Состояние	Твёрдое
Внешний вид	Порошок
Цвет	Белый
Молярная масса, г/моль	180,16
Плотность, г/см ³	1,695
Температура плавления, °С	103
Температура кипения, °С	440
Температура воспламенения, °С	219
Растворимость в воде	Хорошо растворима
Растворимость в органических растворителях	Заметно растворима в метаноле, этаноле, пиридине, ацетоне, ледяной уксусной кислоте

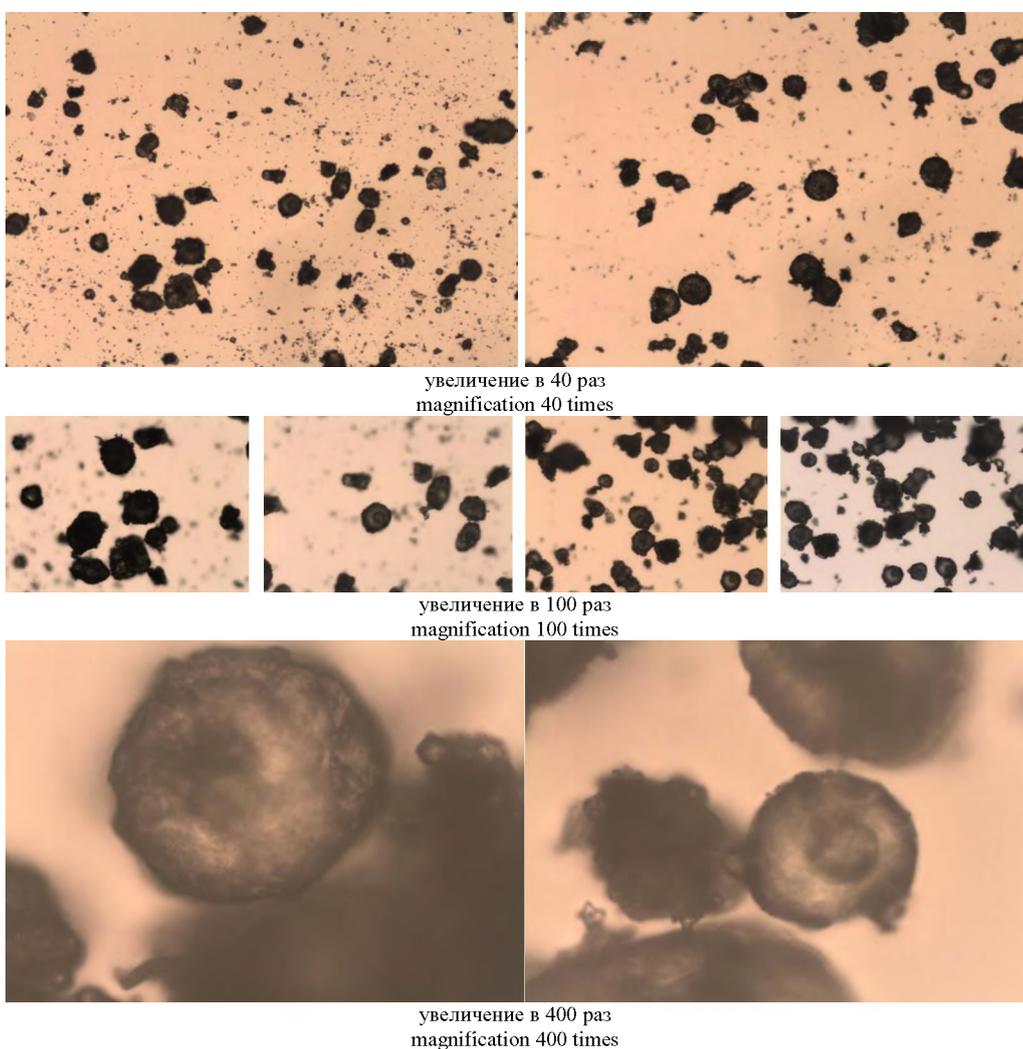


Рис. 2. Микрофотографии инулина, полученные на световом микроскопе

Fig. 2. Microphotographs of inulin obtained with a light microscope

инулина [7] экспериментально доказали, что инулин является аморфным галлом и не содержит кристаллических образований. Данные образования можно также наблюдать, если поместить инулин в среду глицерина (рис. 3) или 96%-го этилового спирта (рис. 3 и 4). Наиболее интересные данные, на наш взгляд, получены при наблюдениях за инулином, помещенным в среду этилового спирта (рис. 3 и 4). В среде этилового спирта хорошо заметны центральные (в виде центральной темной окружности) и периферические части (в виде полупрозрачной окружности, которая обволакивает центральную темную окружность) псевдокристаллических образований, а также небольшие части инулина (виде темных точек) отделяющиеся от основных псевдокристаллических образований (рис. 3 и 4). Полученные нами данным могут свидетельствовать о том, что инулин способен

вступать в определенные взаимодействия с этиловым спиртом.

Анализ ИК-спектра (рис. 5) подтверждает имеющиеся данные о химическом строении инулина (табл. 1 и 2).

По-видимому, именно особенности структурной организации инулина обуславливают возможности его использования в пищевой отрасли, медицине и т.д.

Анализ возможностей применения инулина

Известно, что пребиотики – это неперевариваемые пищевые ингредиенты, которые благотворно влияют на организм хозяина, избирательно стимулируя рост и/или активность одного или ограниченного числа бактерий в толстой кишке и, таким образом, улучшают здоровье человека [73]. В 2008 г. Международная научная ассоциация по пробиотикам и

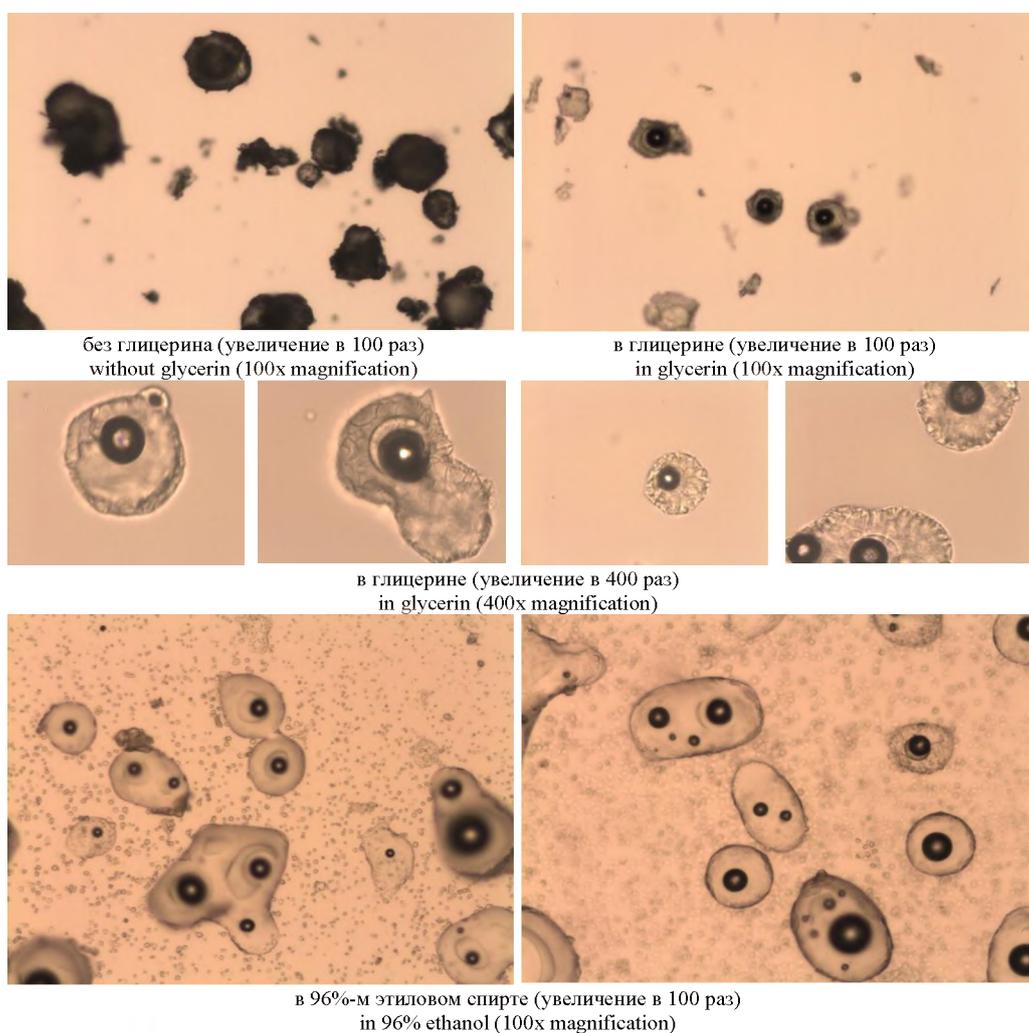


Рис. 3. Микрофотографии инулина, полученные на световом микроскопе

Fig. 3. Microphotographs of inulin obtained with a light microscope

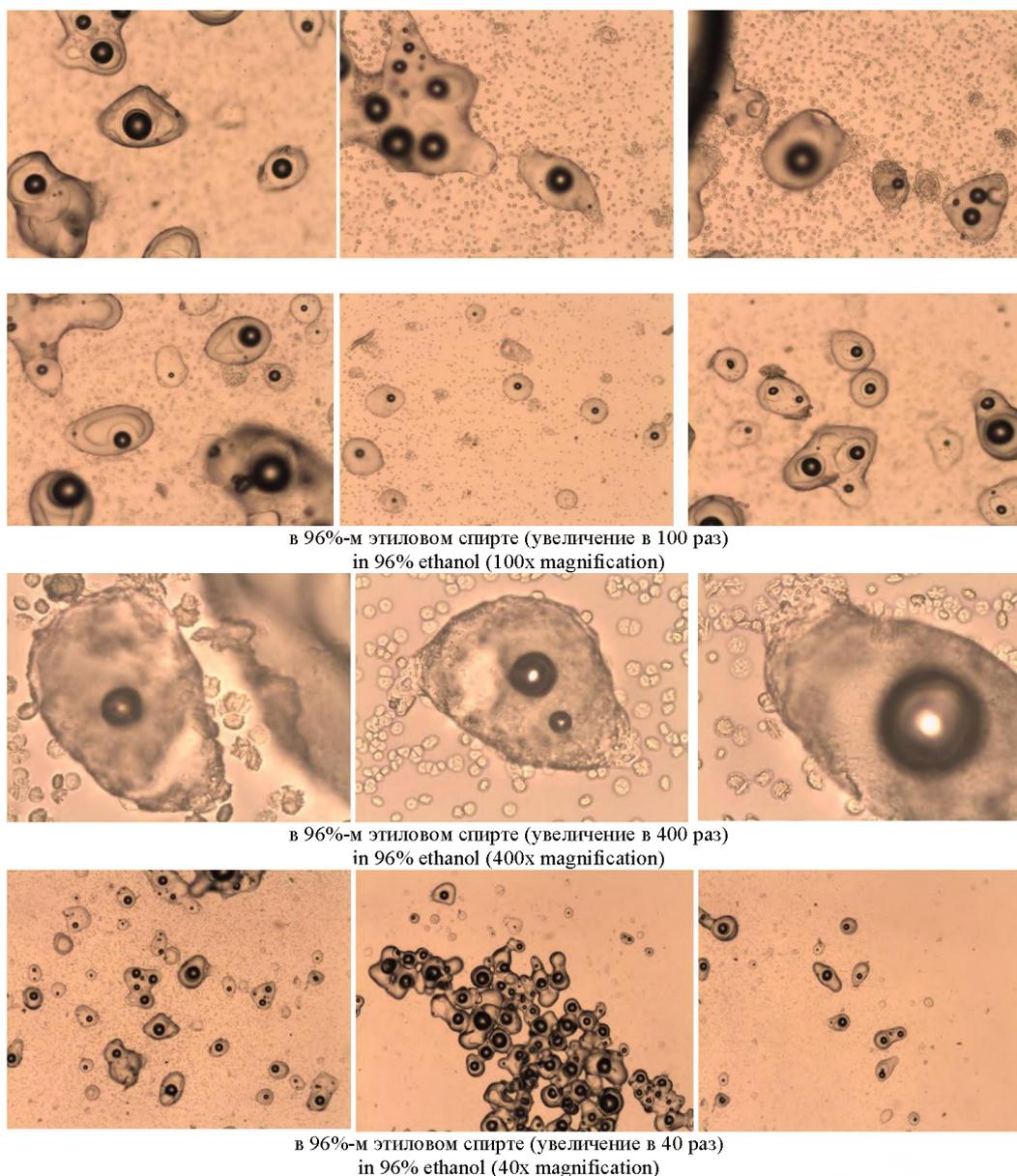


Рис. 4. Микрофотографии инулина, полученные на световом микроскопе
Fig. 4. Microphotographs of inulin obtained with a light microscope

пребиотикам (ISAPP) с учетом существующих исследований в этой области дало определение пребиотика. Это избирательно ферментированный ингредиент, который приводит к специфическим изменениям в составе и/или активности микробиоты желудочно-кишечного тракта, таким образом оказывая благотворное влияние на здоровье хозяина [70]. Требованиями, которым должен соответствовать ингредиент для того, чтобы он считался пребиотиком являются: а) он должен быть устойчивым к кислотности желудочного сока, гидролизу и всасыванию в

желудочно-кишечном тракте, б) обладать способностью ферментироваться желудочно-кишечной микрофлорой в) способностью избирательно стимулировать рост и/или активность полезных кишечных бактерий, связанных со здоровьем человека [70]. Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН и Всемирной организацией здравоохранения в 2001–2002 годах было определено, что пребиотики следует рассматривать как «живые микроорганизмы, вводимые в организм хозяина в адекватных количествах, которые приносят

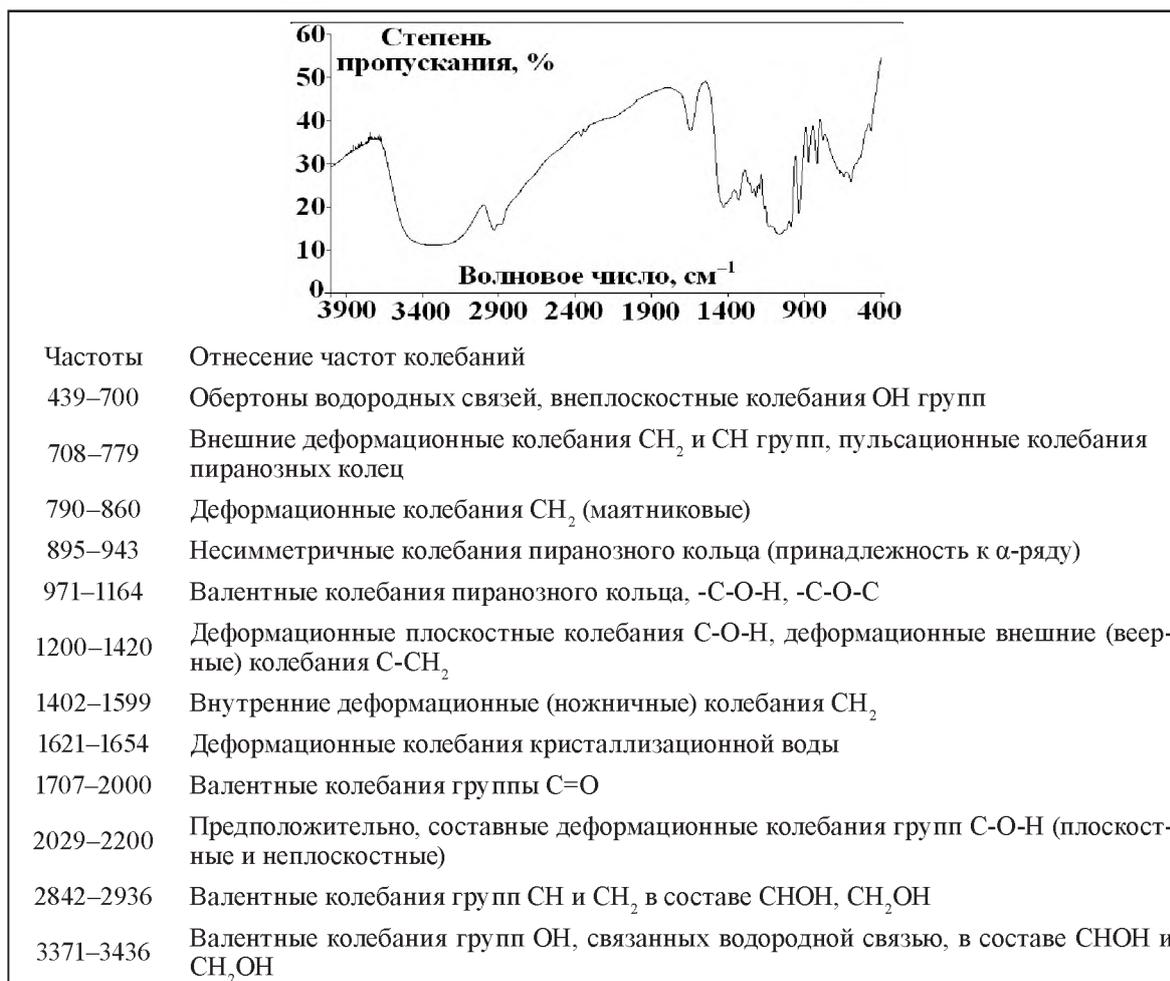


Рис. 5. Характеристика инулина

Fig. 5. Characterization of inulin

пользу для его здоровья» [46]. Синбиотик – термин, используемый для того, чтобы описать продукт, содержащий комбинацию пребиотиков и пробиотиков, которые вместе способствуют росту полезной микробной популяции в кишечнике [65]. Примерами таких комбинаций являются бифидобактерии и фруктоолигосахариды, *Lactobacillus*, бифидобактерии и инулин. Синбиотики действуют двумя способами: а) повышают жизнеспособность пробиотиков и б) обеспечивают конкретные преимущества для здоровья [77]. Поскольку исследований синбиотиков имеется недостаточное количество, до конца не выяснено, есть ли преимущества у каждого ингредиента, которые складываются вместе и как возникает синергетический эффект [29, 56].

Фруктоолигосахариды (ФОС) представляют собой олигосахариды, которые состоят из звеньев D-фруктозы, связанных β 2-1

положении. Они не гидролизуются пищеварительными ферментами человека и могут присутствовать в природе в различных растениях, таких как топинамбур, лук-порей, лук, чеснок, спаржа, якон и цикорий [22, 26]. Исследования показывают, что эти важные соединения удовлетворяют требованиям, предъявляемым к классу пребиотиков. Они стимулируют рост бифидобактерий, чем приносят большую пользу здоровью хозяина, и, кроме того, сладость ФОС делает их хорошим заменителем сахарозы [82]. Три категории ФОС следует учитывать, нативный инулин цикория (со степенью полимеризации от 2 до 60 единиц фруктозы, и 12 в среднем), олигофруктоза (с степенью полимеризации от 2 до 8 единиц фруктозы и в среднем 4) фруктозильные цепи разной длины, имеющие на концах молекулы фруктозы и глюкозы [78]. Третья категория состоит из короткоцепочечных ФОС, представляющих собой смеси фруктозильных

цепей с концевым глюкозным звеном, не более 5 единиц [76, 82]. ФОС также получают гидролизом инулина с помощью ферментов (эндоинулиназа) или проведением ферментативной реакции трансфруктозилирования остатков сахарозы с помощью фермента фруктофуранозидазы [24, 68]. В пищевой промышленности потребление ФОС небольшое. Они производятся с использованием ферментов в основном грибкового происхождения, таких как *Aspergillus niger* или *Aureobasidium sp* [19, 52, 83]. Польза для здоровья ФОС включает: а) увеличение всасывания Са, Mg, Р и Fe; б) снижение содержания липидов и/или холестерина; в) профилактика остеопороза г) снижение риска ожирения [23, 26, 35]. Среди основных конечных продуктов ФОС выделяют: ферменты, короткоцепочечные жирные кислоты, ацетат (который метаболизируется в мышцах, а также почках, сердце и печени благотворно влияет на их функцию) пропионат (подавляющий синтез холестерина и глюкогенного предшественника), бутират (метаболизируется в толстой кишке и регулирует рост эпителия и дифференцировку клеток) [42, 73].

Инулин – это общий термин, который включает все продукты с прямой цепью, состоящие из фруктозильных звеньев, связанных β -D-(2-1) связью. [27, 58]. Наряду с фруктоолигосахаридами лактулоза и олигосахариды это наиболее изученные соединения, пребиотический эффект которых доказан с помощью тестов *in vitro* и *in vivo* [75]. Инулин – соединение, которое является углеводным резервом многих растений, был впервые извлечен из корня *Inula helenium* в 1804 г. и позже был назван инулином в 1918 г. [13]. Инулин относится к так называемым фруктанам и присутствует во многих фруктах и овощах. Наиболее распространенными источниками его являются топинамбур, пшеница, лук, бананы, спаржа, цикорий, чеснок и лук-порей. Инулин был испытан в высоких дозах на животных, при этом не было выявлено его токсичных эффектов [60].

Инулин представляет собой природный неструктурный запасной углевод, содержащийся в топинамбуре (*Helianthus tuberosus*), луке-порее, луке, пшенице, спарже (*Asparagus officinalis*), чесноке и цикории (*Cichorium intybus*) корень. Он содержится в 36000 видов растений самых разных родов, которые запасают инулин в качестве источника энергии или в качестве осморегулятора для обеспечения морозостойкости. Два вида растений, которые используются в настоящее время в производстве инулина это: топинамбур (*Helianthus tuberosus*) и цикорий (*Cichorium intybus*). Инулин официально признан как натуральный пищевой ингредиент во всем ЕС и имеет подтвержденный

статус общепризнанного безопасного ингредиента (GRAS) в США.

Пребиотический потенциал можно оценить с помощью сбраживания бифидобактериями и популяций лактобацилл, обитающих в толстой кишке. Это проявляется изменением кишечной флоры, снижением патогенных бактерий и его метаболической активности для производства полезных для здоровья метаболитов [11, 12]. Активность инулина как пребиотика широко доказана многочисленными исследованиями, в которых сообщается об его избирательной ферментации бифидогенными бактериями [62]. Среди показателей, которые оцениваются чаще и связаны с пребиотическим потенциалом – это изменения, происходящие в составе микробной популяции, а именно образование короткоцепочечных жирных кислот (пропионата, бутирата, ацетата) [49, 81].

В качестве пребиотического ингредиента инулин прошел обширное тестирование на его устойчивость в верхних отделах кишечника тракта и на его специфическую сбраживаемость бифидобактериями. В исследованиях *in vitro* с использованием анаэробных культур с человеческими фекалиями, где в качестве источника углерода использовалась фруктоза, инулин, крахмал и олигофруктоза, инулин и олигофруктоза показали значительное увеличение количества бифидобактерий после 12 часов инкубации [75]. Rossi M. и др. провели исследования инулина и фруктоолигосахаридов в качестве источника углерода для ферментации в культуре с использованием чистых штаммов бифидобактерий [50]. Было обнаружено, что бутират является основным продуктом ферментации инулина в культуре фекального ила. Под влиянием инулина значительно увеличилось количество бифидобактерий и значительно увеличилось количество бутирата и пропионата [11]. Исследования *in vivo*, проведенные на пациентах, получавших инулин при илеостоме показали, что у 86% обследуемых происходило восстановление терминального отдела подвздошной кишки [45]. Анализ фекалий группы мышей, получавших инулин, соевые олигосахариды и фруктоолигосахариды, с последующим введением пробиотических бактериальных культур (*Lactobacillus acidophilus*, *L. casei* и *Bifidobacterium lactis*), выявили, что ФОС, инулин и соевые олигосахариды увеличивали время удерживания и выживаемость этих трех пробиотиков [48]. Инулин также широко используется в качестве контроля для оценки новых ингредиентов. При изучении пребиотического эффекта фруктанов выделенных из *Agave angustifolia* было обнаружено увеличение популяции бифидобактерий и продукции

короткоцепочечных жирных кислот. Причем оказалось, что фруктаны агавы более эффективны чем некоторые коммерческие инулины. [59]. Однако исследования с использованием фруктанов агавы в качестве пребиотиков появились недавно, и вопросы, связанные с исследованиями *in vivo* все еще появляются. Во многих других исследованиях доказано, что пища с добавлением инулина обладает не только пребиотическим потенциалом, но и способностью улучшать сенсорные и физико-химические свойства продуктов.

Инулин классифицируется как низкокалорийный пищевой ингредиент, поскольку он содержит менее половины калорийности легкоусвояемых углеводов, обеспечивающих калорийность 1,0–2,0 ккал/г [38]. Поэтому инулин можно использовать в качестве подходящего заменителя пищевых ингредиентов для снижения общей калорийности суточного рациона, особенно для тучных людей. Кроме того, исследования на животных *in vivo* показали, что добавление в рацион инулина уменьшает pH в слепой кишке за счет производства КЦЖК (конечные продукты ферментации инулина в толстой кишке) и увеличивает толщину стенки тонкой и слепой кишки, что приводит к увеличению кровотока [63].

Запор часто является многофакторным заболеванием. Чаще всего он встречается у пожилых людей. Причины запора могут быть разные. Способствуют развитию запоров такие факторы как старение, прием лекарственных препаратов, недостаточное потребление жидкости, отсутствие в ежедневном рационе продуктов, содержащих клетчатку, неадекватная физическая активность и снижение перистальтики кишечника. Проведенные клинические исследования предположили, что ферментация углеводов стимулируют моторику толстой кишки и поэтому введение олигофруктозы и инулина может снизить абдоминальный дискомфорт и участить стул [54, 57]. Hidaka H. и др. заметили, что прием инулина облегчает запоры в 90% случаев [30]. При этом дискомфорт в животе, в основном метеоризм, наблюдался редко и только у нескольких пациентов. Отмечалось значительное увеличение частоты стула у здоровых добровольцев за счет включения в рацион инулина, у которых стул был один раз в 2–3 дней [34].

Некоторые исследования показали, что цикорий инулин может увеличить усвоение организмом кальция, улучшить минеральную плотность костной ткани и снизить риск развитие остеопороза. Исследования показали, что крысы, которых кормили инулином, поглощали больше кальция и магния по сравнению с

контрольной группой, несмотря на увеличение общей фекальной массы. Поглощение может быть связано с его повышенной биодоступностью кальция при его переходе из тонкой кишки в толстую. Осмотическое действие инулина, приносящего воду в толстую кишку, позволяет ей иметь более жидкое содержимое [38]. Улучшение всасывания было связано со снижением pH в подвздошной, слепой и толстой кишках, что привело к увеличению концентрации ионизированных минералов. Ohta A. и др. сообщили, что прием внутрь инулина улучшает усвоение кальция и магния у нормальных крыс [71]. Эффект брожения в слепой кишке был особенно важен для усвоения ионов кальция. Другое исследование, проведенное Coudray C. и др., показывает, что инулин улучшает всасывание кальция, но не магния, железа и цинка в организме человека [9].

Влияние инулина и олигофруктозы на гликемию и инсулинемию еще не полностью изучены и существующие данные достаточно противоречивы. [38]. Oku T. и др. обнаружили 17% и 26% снижение постпрандиальной гликемии и инсулинемии у крыс после кормления рационом, содержащим 10% короткоцепочечных фруктоолигосахаридов (ФОС) в течение 30 дней [66]. Снижение гликемического ответа на сахарозу или мальтозу, возможно из-за восстановления дисахаридазной активности в желудочно-кишечном тракте. Luo J. и др. подтвердили предыдущие результаты и показали, прием пищи, содержащей 20% олигофруктоза диабетическими крысами в течение 2 мес. снижает гликемию, несмотря на отсутствие модификации гликемического или инсулинемического ответ на сахарозу или мальтозную нагрузку [40]. Однако результаты некоторых других исследований не согласуются с приведенными выше исследованиями. Например, Yaeshima T. и др. показали, что у больных диабетом прием 8 г ФОС в день в течение 14 дней приводит к снижению уровня глюкозы в крови натощак [28]. При приеме 10 г инулина, который добавляли к 50 г пшенично-крахмальной муки гликемическая реакция крови у здоровых людей была ниже, несмотря на отсутствие явного влияния инулина на усвоение крахмала [51]. Тесты показали, что при кормлении крыс 10% и 20% ФОС в течение 6 недель время перехода пищи изо рта в задний проход сократилось на 25 и 50%, соответственно. Это сокращение времени в пути движения пищи подтверждает дозозависимый эффект [66]. Инулин и олигофруктоза влияют на всасывание макронутриентов, особенно углеводов. Boillot J. и др. продемонстрировали снижение глюконеогенеза в печени,

вызванного приемом инулина [51]. Этот эффект может опосредоваться короткоцепочечными жирными кислотами, особенно пропионатом. У крыс прием инулина в течение 4 недель снижал уровень глюкозы в крови натощак и ингибировал глюконеогенез в изолированных гепатоцитах, вероятно, путем его метаболического превращения в метилмалонил-коэнзим А (КоА) и сукцинил-КоА. Оба соединения являются специфическими ингибиторами пируваткарбокксилазы. Кроме того, пропионат может также влиять на метаболизм глюкозы в печени опосредованно за счет снижения концентрации жирных кислот, который, как известно, тесно связан с глюконеогенезом [53].

Оку Т. и др. показали, что при включении инулина в рацион крыс, которых кормили насыщенными жирами, значительно снижалось изначально высокое содержание триглицеридов в крови и печени [66]. Они предположили, что уменьшение секреции липопротеинов очень низкой плотности (ЛПОНП)-ТГ в печени происходит в результате снижения активности липогенных ферментов, а также посредством модификации экспрессии липогенного гена в случае синтазы жирных кислот [74]. Олигофруктоза снижала ТГ в сыворотке, когда она была включена в рацион крыс без клетчатки или с высоким содержанием жиров. В диете богатой углеводами олигофруктоза снижает синтез жирных кислот в печени *de novo* [72, 74]. У крыс, получавших олигофруктозу, концентрация фосфатов была значительно выше по сравнению с контрольной группой. Увеличение содержания глицерин-3-фосфата в печени может быть связано с уменьшением его использования при этерификации жирных кислот [17].

Инулин является диетическим ингредиентом, широко используемым в дизайне новых функциональных продуктов. Тем не менее, пребиотический потенциал пищи или пребиотическое содержимое после ее обработки не всегда оценивается [33]. Потому необходима правильная маркировка пищевых продуктов для их адекватного потребления. Во многие продукты инулин добавляется только с целью улучшения технологических характеристик. Однако нельзя исключать возможности его потенциала с учетом его пребиотических свойств.

Шоколад является одним из продуктов, к которым был добавлен инулин. Golob Т. и др. соавторы разработали шоколадную формулу где заменили сахарозу инулином, количество которого не сообщается. При этом была также проведена его оценка, которая показала высокие потребительские свойства шоколада с инулином [47]. Кроме уровня сладости и растворимости, существенных различий между новым и

оригинальным продуктом не было [47]. Подобный эксперимент с использованием шоколада был проведен путем приготовления составов, в которых сахароза была заменена на инулин, полидекстрозу и мальтодекстрин [39]. Физико-химические (рН), и механические испытания (твердость), а также тестирование органолептических свойств показали, что образцы продуктов с инулином и полидекстрозой имели самые высокие оценки, хотя образцы с высоким содержанием мальтодекстрина и полидекстрозы были мягче. В случае когда в шоколадном молоке сахар был заменен изомальтом и мальтитом с добавлением 9% инулина, было установлено, что мальтит был более подходящим заменителем, чем изомальт. При замене сахара в темном шоколаде с добавлением инулина и полидекстрозы в различной концентрации, оказалась что оптимальный состав 75,4% полидекстрозы и 24,6% инулина [37]. Aragon-Alegro, L.C и др. разработали синбиотический шоколад с добавлением *Lactobacillus paracasei subsp. Paracasei* и инулина. При этом срок хранения продукта был свыше 28 дней, а инулин не влиял на органолептические свойства шоколада [31]. Было изучено также действие инулина на здоровых добровольцах после ежедневного потребления в дозе 5 и 8 г/сут. в виде шоколадного напитка в течение двух недель, при этом наблюдался бифидогенный пребиотический эффект, и он был выше при потреблении более высокой дозы инулина. Однако, большинство опубликованных исследований шоколада с инулином в основном были направлены на улучшение физико-химических или органолептических свойства пищевых продуктов.

Молочный сектор является одной из областей, где инулин широко используется из-за его пребиотических свойств, а также из-за способности создавать текстуру, похожую на сливочное масло [21]. Так, например, когда инулин добавлялся в различных концентрациях к детской молочной смеси, он показал положительный результат при анализе кала. Во всех исследованных концентрациях наблюдалось снижение количества бактерий рода *Clostridium*. Концентрация 1,25 г/сут. вызвало увеличение количества бифидобактерий и уменьшение грамположительных кокков, в то время как колиформные бактерии также присутствовали [79]. Casiraghi M.C. и др. приготовили симбиотическое обезжиренное молоко 2% жирности с добавлением *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis* и 2% инулина. Также были проведены исследования с участием 26 здоровых добровольцев, которые показали положительный эффект инулина при потреблении пробиотического молока [41].

Allgeyer L.C. и др. провели эксперименты посредством описательного анализа о приемлемости для потребителей йогурта с добавлением различных комбинаций инулина с добавлением 1,24 и 2,48% и растворимого кукурузного волокна (полидекстрозы) и двух пробиотиков-ацидофильных лактобактерий и бифидобактерий лактис [20]. Потребительские предпочтения склонялись к продуктам, содержащим дополнительные пробиотики и те, которые содержали инулин и полидекстрозу. Эти продукты имели высокую вязкость и средний уровень сладости. Еще один йогурт с низким содержанием жира с добавлением инулина в концентрации 1 и 2%. был предметом исследований. Его органолептические свойства, а также физико-химические микробиологические характеристики оценивали после 1, 7 и 14 суток хранения [44]. Эти свойства не зависели от наличия инулина, при этом жизнеспособность бактерий увеличилась во время хранения. Для оценки влияния инулина в концентрации 4% и двух пробиотиков: *Lactobacillus bulgaricus* и *Streptococcus thermophilus*, их добавляли в обезжиренный йогурт и оценивали реологические свойства и текстуру при хранении при 40°C в течение 28 дней [16]. Результаты этих исследований свидетельствуют о хорошей выживаемости пробиотиков после добавления инулина.

Akalin A.S. и Erisir D. [14] сообщают об исследовании, проведенном с целью сравнения действия инулина и олигофруктозы, применяемых в концентрации 4% на реологические свойства обычного мороженого с низким содержанием жира и мороженого с пробиотиками. Оценивали выживаемость бактерий *Lactobacillus acidophilus* и *Bifidobacterium animalis* через 30, 60 и 90 дней после хранения. Более благоприятные текстурные характеристики (твердость и плавление) были получены с инулином, в то время как выживаемость бактерий была выше при использовании олигофруктозы. В другом исследовании изучали симбиотической крем с 3% инулином с целью оценки его влияния на выживаемость пробиотика *Lactobacillus acidophilus* [15]. Результаты показали, что после 7 и 15 дней хранения при экстремальной температуре выживаемость *L. acidophilus* увеличивалась с применением инулина, в то время как органолептические свойства продукта не изменились. El-Nagar G. и др. обнаружили положительные отношения между сенсорными свойствами, изменениями текстуры и реологическими характеристиками, полученными при добавлении инулина в концентрации 5, 7 и 9% к замороженному йогурту [43]. Было показано, что свойства смеси улучшаются

по мере увеличения процентного содержания инулина. Добавление инулина в мороженое обычно улучшает текстуру продукта за счет увеличения твердости и сокращение времени плавления, а также увеличивает выживаемость пробиотиков. При разработке симбиотического мороженого инулин заменяет жир без изменения органолептических свойств продукта.

При использовании комбинации инулина, олигофруктозы и меда (10%) с двумя пробиотиками (*Lactobacillus acidophilus* и *Bifidobacterium lactis*) был приготовлен симбиотический сыр [36]. Агаџо Е.А. и др. разработали творог путем смешивания 8% инулина с пробиотическим штаммом *Lactobacillus delbrueckii* [32]. Симбиотический продукт обладал приемлемыми сенсорными характеристиками. Определение инулина свидетельствует о том, что содержания (2,5/порция 50 г) достаточно, чтобы считать его пребиотиком с учетом его пробиотических свойств. Buriti F.C.A. и др. разработали симбиотический сливочный сыр с использованием инулина в концентрации 8% и *Lactobacillus paracasei*, смешанных со *Streptococcus thermophilus* [69]. Количественное определение инулина через 21 день хранения не обнаруживало значительных изменений в содержании инулина, в то время как количество пробиотических бактерий было одинаковым у свежего сыра и сыра после хранения. Эти результаты показывают, что разрабатываемые продукты имеют симбиотический потенциал. Однако для того, чтобы рассматривать эти продукты как имеющие потенциал в качестве продуктов функционального питания, необходимо дополнить их результатами исследований *in vivo* для оценки показателей, подтверждающих их потребительских преимуществ.

Röbke C. и др. оценили эффект инулина и олигофруктозы как заменителя жира при приготовлении булочек [55]. Эксперименты показали, что при смешивании маргарина (3,5%), олигофруктозы (10%), сахарной пудры (0,5%) и инулина (5,9%) можно получить продукт, аналогичный контролю, при одновременном снижении содержания жира и сахара. Было также оценено влияние добавления инулина в концентрациях 50%, 75% и 100% на текстуру и органолептические свойства кексов в качестве заменителя жира. Результаты этого исследования показали, при концентрации инулина в смеси до 50% можно получить продукт [67], аналогичный контрольным образцам [67]. Nempel S. и др. использовали инулин (инулиновый сироп из клубней топинамбура) в качестве пребиотического ингредиента в вафлях и крекерах [18]. При изготовлении вафель использовали различные виды муки (пшеничную, спельтовую, рисовую и

их смеси). Установлено, что инулиновый сироп из клубней топинамбура предотвращает образование соединений, влияющих на цвет пластин. Стало также ясно, что для поддержания органолептических качеств и физических характеристик продукта, необходимо поддерживать баланс между инулином и заменителями муки. Инулин используется в качестве жирового заменителя в большинстве хлебобулочных изделий и печенья, и в большей концентрации, чем в других пищевых продуктах. Почти во всех случаях сообщают, что твердость увеличивается с процентом увеличения инулина.

Готовые к употреблению хлопья для завтрака были приготовлены с содержанием 18%. Инулин давали 12 добровольцам, которые потребляли 50 г в день в течение четырех недель подряд [25]. Результаты этого исследования показали отрицательную корреляцию между изменениями в уровне липидов крови и увеличением бифидобактерий. В то же время наблюдались положительные эффекты с точки зрения вторичной экскреция желчных кислот и снижении количества факультативно-анаэробных микроорганизмов. У испытуемых не было болей в животе, а инулин не оказывал влияния на массу фекального материала или на количество перистальтических движений.

Инулин также применяется в качестве функциональной добавки в мясные продукты. Segielka A. и Tambor K. [80] добавили инулин в куриные бургеры в концентрации 1, 2 и 3%, а затем проанализированы их физико-химические и органолептические свойства. Все разработанные составы были сенсорно приемлемыми, с самыми высокими значениями для продукта при концентрации инулина 1%. Был также проанализирован их функциональный потенциал и установлено, что продукты с инулином оказывают не только благотворное влияние на здоровье путем снижения измеряемой дозы потребляемых липидов, но и не имеют побочных эффектов.

Инулин и олигофруктоза обладают ценными питательными и функциональными свойствами, поэтому их используют в качестве добавок в качестве растворимой клетчатки или заменителей макронутриентов [83].

Заключение

Инулин является перспективным биологически активным ингредиентом для пищевой промышленности.

Анализ ИК-спектра подтверждает, что инулин – полисахарид, состоящий из остатков фруктозы.

Исследования морфологии инулина при помощи световой микроскопии показывают, что инулин организован в виде псевдокристаллических образований. В среде глицерина и в среде 96%-го этилового спирта хорошо заметны центральные (в виде темной окружности) и периферические части (в виде полупрозрачной окружности, которая обволакивает центральную темную окружность), а также небольшие части инулина (виде темных точек) отделяющиеся от основных псевдокристаллических образований.

Установлено, что применение инулина в пищевых продуктах увеличилось за последние годы как для пребиотических, так и для технологических целей. Разнообразие пищевых продуктов, обогащенных инулином большое, а используемые концентрации широко варьируются в зависимости от вида продуктов питания от 0,75 до 50%. Пребиотический эффект инулина доказан, но взаимодействие с различными пищевыми матрицами является сложным, и не всегда технологически положителен для продукта. В дополнение к сенсорным, физико-химическим и реологическим характеристикам, необходимо проводить измерения таких характеристик как содержание пребиотиков и определять пребиотическую активность *in vivo* и *in vitro*, а также оценивать потенциальные побочные реакции для того, чтобы определить подходящие дозы для потребителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Авраменко В.Н., Ельсон М.П., Зайка А.А. Инфракрасные спектры пищевых продуктов. М.: Пищ. пром-ть; 1974.
2. Жбанков Р.Г. Инфракрасные спектры и структура углеводов. Минск: Наука и техника; 1972.
3. Иоффе Б.В., Костиков Р.Р., Разин В.В. Физические методы определения строения органических соединений. М.: Высш. шк.; 1984.
4. Кайшев В.Г., Лукин Н.Д., Серегин С.Н., Корниенко А.В. Рынок инулина в России: возможности развития сырьевой базы и необходимые ресурсы для создания современного отечественного производства. Пищевая промышленность. 2018; 5: 8-17.
5. Кахана Б.М., Арасимович В.В. Биохимия топинамбура. Кишинев; 1974.
6. 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: 1363-1376.

7. Литвяк В.В., Лукин Н.Д., Михайленко А.А. и др. Морфологические, структурные и дегидратационные свойства инулина «Raftilin gr». Вестник Казанского технологического университета. 2015; 94-99.
8. Aidoo R.P., Afoakwa E.O., Dewettinck K. Optimization of Inulin and Polydextrose Mixtures as Sucrose Replacers during Sugar-free Chocolate Manufacture – Rheological, Microstructure and Physical Quality Characteristics. Journal of Food Engineering. 2013; 126: 35-42.
9. Akalin A.S., Erisir D. Effects of inulin and oligofructose on the rheological characteristics and probiotic culture survival in low-fat probiotic ice cream. Journal of Food Science. 2008. 73(4): 184-188.
10. Cardarelli H.R., Saad S.M.I., Gibson G.R. et al. Functional petit-suisse cheese: Measure of the prebiotic effect. *Anaerobe*. 2007; 13(5/6): 200-207.
11. Collins M., Rastall R. Oligosaccharides in Food and Agriculture, Fraser-Reid B., Tatsuta K., Thiem J. Glycoscience. Fraser-Reid B, Tatsuta K, Thiem J. SpringerVerlag, Berlin Heidelberg. 2008: 1185-1204.
12. Coudray C., Bellanger J., Castiglia-Delavaud C. et al. Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. European Journal of Clinical Nutrition. 1997; 51(6): 375-380.
13. Madrigal L., Sangronis E. Inulin and derivatives as key ingredients in functional foods. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 2007; 57(4): 387-396.
14. Pandiyan C., Annal V.R., Kumaresan G. et al. Effect of incorporation of inulin on the survivability of *Lactobacillus acidophilus* in synbiotic ice cream. International Food Research Journal. 2012; 19(4): 1729-1732.
15. Roberfroid M., Gobson G.R., Hoyles L. et al. Prebiotic effects: Metabolic and health benefits. Br. J. Nutr. 2011; 104: S1-S63.
16. Santiago-García P.A., López M.G. Prebiotic effect of agave fructans and mixtures of different degrees of polymerization from *Agave angustifolia* Haw. Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology. 2009; 3: 52-58.
17. Singh S.B., Jairath S. Prebiotics, probiotics and synbiotics: An overview. Journal Pharmaceutical Education Research. 2010; 1(2): 13-36.
18. Van de Wiele T., Boon L., Possemiers S. et al. Inulin-type fructans of longer degree of polymerization exert more pronounced *in vitro* prebiotic effects. Journal of Applied Microbiology. 2006. 102: 452-460.
19. Yaeshima T., Takahashi S., Matsumoto N. et al. Effect of yogurt containing *Bifidobacterium longum* BB536 on the intestinal environment, fecal characteristics and defecation frequency: A comparison with standard yogurt. Bioscience Microflora. 1997; 16: 73-77. Copyright © IJAIR, All right reserved 97 International Journal of Agriculture Innovations and Research. 2016; 5(1): 2319-1473.
20. Zahn S., Pepke F., Rohm H. Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins. International Journal of Food Science and Technology. 2010; 45: 2531-2537.

REFERENCES:

1. Avramenko V.N., Elson M.P., Zaika A.A. Infrared spectra of food products. M.: Pishch. prom-ty; 1974. (in Russian).
2. Zhbakov R.G. Infrared spectra and structure of carbohydrates. Minsk: Science and technology; 1972. (in Russian).
3. Ioffe B.V., Kostikov R.R., Razin V.V. Physical methods for determining the structure of organic compounds. M.: Higher. School; 1984. (in Russian).
4. Kaishev V.G., Lukin N.D., Seregin S.N. et al. Inulin Market in Russia: Opportunities for Development of the Raw Material Base and Necessary Resources for the Creation of Modern Domestic Production. Food industry. 2018; 5: 8-17. (in Russian).
5. Kakhana B.M., Arasimovich V.V. Biochemistry of Jerusalem artichoke. Kishinev; 1974. (in Russian).
6. Lisovoi V.V., Pershakova T.V., Kupin A.G. et al. Modern methods of inulin production from vegetable raw materials. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2016; 118: 1363-1376. (in Russian).
7. Litvyak V.V., Lukin N.D., Mikhailenko A.A. et al. Morphological, structural and dehydration properties of inulin «Raftilin gr». Bulletin of the Kazan Technological University. 2015: 94-99. (in Russian).
8. Aidoo R.P., Afoakwa E.O., Dewettinck K. Optimization of Inulin and Polydextrose Mixtures as Sucrose Replacers during Sugar-free Chocolate Manufacture – Rheological, Microstructure and Physical Quality Characteristics. Journal of Food Engineering. 2013; 126: 35–42.
9. Akalin A.S., Erisir D. Effects of inulin and oligofructose on the rheological characteristics and probiotic culture survival in low-fat probiotic ice cream. Journal of Food Science. 2008; 73(4): 184-188.

10. Cardarelli H.R., Saad S.M.I., Gibson G.R. et al. Functional petit-suisse cheese: Measure of the prebiotic effect. *Anaerobe*. 2007; 13(5/6): 200-207.
11. Collins M., Rastall R. Oligosaccharides in Food and Agriculture, Fraser-Reid B., Tatsuta K., Thiem J. *Glycoscience*. Fraser-Reid B, Tatsuta K, Thiem J. SpringerVerlag, Berlin Heidelberg. 2008; 1185-1204.
12. Coudray C., Bellanger J., Castiglia-Delavaud C. et al. Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *European Journal of Clinical Nutrition*. 1997; 51(6): 375-380.
13. Madrigal L., Sangronis E. Inulin and derivatives as key ingredients in functional foods. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2007; 57(4): 387-396.
14. Pandiyan C., Annal V.R., Kumaresan G. et al. Effect of incorporation of inulin on the survivability of *Lactobacillus acidophilus* in synbiotic ice cream. *International Food Research Journal*. 2012. 19(4): 1729-1732.
15. Roberfroid M., Gobson G.R., Hoyles L. et al. Prebiotic effects: Metabolic and health benefits. *Br. J. Nutr.* 2011; 104: S1-S63.
16. Santiago-García P.A., López M.G. Prebiotic effect of agave fructans and mixtures of different degrees of polymerization from *Agave angustifolia* Haw. *Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology*. 2009; 3: 52-58.
17. Singh S.B., Jairath S. Prebiotics, probiotics and synbiotics: An overview. *Journal Pharmaceutical Education Research*. 2010; 1(2): 13-36.
18. Van de Wiele T., Boon L., Possemiers S. et al. Inulin-type fructans of longer degree of polymerization exert more pronounced *in vitro* prebiotic effects. *Journal of Applied Microbiology*. 2006. 102: 452-460.
19. Yaeshima T., Takahashi S., Matsumoto N. et al. Effect of yogurt containing *Bifidobacterium longum* BB536 on the intestinal environment, fecal characteristics and defecation frequency: A comparison with standard yogurt. *Bioscience Microflora*. 1997; 16: 73-77. Copyright © IJAIR, All right reserved 97 *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 2016; 5(1): 2319-1473.
20. Zahn S., Pepke F., Rohm H. Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins. *International Journal of Food Science and Technology*. 2010; 45: 2531-2537.

Информация об авторах / Information about the authors

Василий Аркадьевич Бызов, директор, кандидат сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха»

byzov1966@yandex.ru

Владимир Владимирович Литвяк, ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, кандидат химических наук, доцент, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха»

besserk1974@mail.ru

Николай Дмитриевич Лукин, заместитель директора по научной работе, доктор технических наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха»

vniik@arrisp.ru

Валерий Викентьевич Шилов, доцент кафедры, кандидат биологических наук, Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета

Vasily A. Byzov, director, Ph.D. (Agriculture), All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials – a branch of Russian Potato Research Centre named after A.G. Lorkh

byzov1966@yandex.ru

Vladimir V. Litvyak, Leading Researcher, D.Sc. (Engineering), Ph.D. (Chemistry), Associate Professor, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials – a branch of Russian Potato Research Centre named after A.G. Lorkh

besserk1974@mail.ru

Nikolai D. Lukin, Deputy Director for Research, D.Sc. (Engineering), Professor, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials – a branch of Russian Potato Research Centre named after A.G. Lorkh

vniik@arrisp.ru

Valery V. Shilov, Associate Professor, Ph.D. (Biology), International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University

valery.shilov@gmail.com

valery.shilov@gmail.com

Юрий Фёдорович Росляков, профессор кафедры, доктор технических наук, профессор, Кубанский государственный технологический университет

lizaveta_ros@mail.ru

Жылдыз Камилловна Ирматова, заведующая кафедрой, кандидат технических наук, доцент, Ошский технологический университет (ОшТУ), Кыргызская Республика

julduz75@mail.ru

Yuri F. Roslyakov, Professor, D.Sci. (Engineering), Kuban State Technological University

lizaveta_ros@mail.ru

Jyldyz K. Irmatova, Head of the Department, PhD (Engineering), Assistant professor, Osh Technological University (OshTU), the Kyrgyz Republic

julduz75@mail.ru

Заявленный вклад соавторов

Концепция и дизайн исследования – Бызова В.А., Литвяка В.В. и Лукина Н.Д. Экспериментальные исследования проведены Бызовым В.А. и Литвяком В.В. Литературный обзор подготовлен Шиловым В.В., Росляковым Ю.Ф. и Ирматово Ж.К. Техническое редактирование выполнил Росляков Ю.Ф. Редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Claimed contribution of co-authors

The concept and design of the research by Byzov V.A., Litvyak V.V. and Lukin N.D. The experimental research was carried out by V.A. Byzov and Litvyak V.V. The literature review was prepared by V.V. Shilov, Yu.F. Roslyakov and Irmatova Zh.K. Technical editing was performed by Roslyakov Yu.F. Editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article was performed all authors.

Поступила в редакцию 06.10.2023; поступила после рецензирования 08.11.2023; принята к публикации 09.11.2023

Received 06.10.2023; Revised 08.11.2023; Accepted 09.11.2023