

УДК 612.396.144

Перспективы использования инулина и его модификаций в пищевой, косметической и фармацевтической отраслях промышленности

А. С. Скородумов, Е. Д. Нестеров*, Д. С. Горн, А. В. Барканов, Е. Ф. Шаненко

*Общество с ограниченной ответственностью "Бавар+", Москва, Россия;
e-mail: eg0r.nesterov@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3442-7024>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
03.04.2025;

принята
к публикации
28.04.2025

Ключевые слова:

инулин,
фруктоолигосахариды,
полисахариды,
реология,
загустители,
эмульгаторы,
топинамбур,
цикорий

Статья представляет собой обзор современных данных об использовании полисахарида инулина и его модификаций в различных отраслях промышленности. Приведены данные по использованию нативного инулина в различных пищевых технологиях. Показано его использование в производстве хлебобулочных изделий, злаковых продуктов, различных видов молочной продукции, в мясных и пищевкусовых продуктах. В данных категориях продуктов инулин используется в качестве стабилизатора, текстурообразователя, влагоудерживающего агента, эмульгатора и пребиотического компонента рецептуры. В хлебобулочных изделиях инулин положительно влияет на реологические свойства теста, увеличивает количество связанной влаги, понижает активность воды, замедляет процессы черствления, что позволяет увеличить сроки хранения готовой продукции. В злаковых продуктах и батончиках инулин активно используется при производстве пребиотических продуктов, поскольку выступает в качестве пищевого волокна. В молочных продуктах инулин позволяет снизить содержание жира, так как обладает способностью придавать сливочный вкус продуктам, улучшает реологические свойства молочных продуктов, в пребиотических молочных продуктах инулин улучшает состояние микробной культуры пробиотика. В мясных и пищевкусовых продуктах инулин увеличивает выход готовой продукции за счет влагоудерживающей способности, улучшает стабильность эмульсий и позволяет получать продукты с пониженной жирностью за счет частичной замены жиров в рецептурах. Показана перспектива использования инулина для получения модификаций с различными свойствами, таких как поперечно-сшитый инулин, гидрофобный инулин, эфиры инулина, циклоинулин. Приведено описание примеров модификаций инулина и возможности их применения в пищевой, косметической, фармакологической отраслях промышленности и в нанотехнологиях.

Для цитирования

Скородумов А. С. и др. Перспективы использования инулина и его модификаций в пищевой, косметической и фармацевтической отраслях промышленности. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 2. С. 312–324. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-2-312-324>.

Prospects for the use of inulin and its modifications in the food, cosmetic and pharmaceutical industries

Alexander S. Skorodumov, Egor D. Nesterov*, Dmitry S. Gorn,
Alexander V. Barkanov, Elena F. Shanenko

Limited Liability Company "Bavar+", Moscow, Russia;
e-mail: eg0r.nesterov@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3442-7024>

Article info

Received
03.04.2025;

accepted
28.04.2025

Key words:

inulin,
fructooligosaccharides,
polysaccharides,
rheology,
thickeners,
emulsifiers,
Jerusalem artichoke,
chicory

Abstract

The paper contains a review of modern data on the use of the polysaccharide inulin and its modifications in various industries. Data on the use of native inulin in various food technologies have been presented. Its use in the production of bakery products, cereal products, various types of dairy products, meat and flavoring products has been shown. In these product categories, inulin is used as a stabilizer, texturizer, water-retaining agent, emulsifier and prebiotic component of the recipe. In bakery products, inulin has a positive effect on the rheological properties of the dough, increases the amount of bound moisture, reduces water activity, slows down the staling process, which allows to increase the shelf life of finished products. In cereal products and bars, inulin is actively used in the production of prebiotic products, since it acts as a dietary fiber. In dairy products, inulin allows to reduce fat content, since it has the ability to impart a creamy taste to products, improves the rheological properties of dairy products, in prebiotic dairy products, inulin improves the state of the probiotic microbial culture. In meat and flavoring products, inulin increases the yield of finished products due to the water-holding capacity, improves the stability of emulsions and allows to obtain products with reduced fat content due to partial replacement of fats in recipes. The prospect of using inulin to obtain modifications with various properties, such as cross-linked inulin, hydrophobic inulin, inulin esters, and cycloinulin has been shown. A description of examples of inulin modifications and the possibility of their application in the food, cosmetic, pharmacological industries and in nanotechnology has been given.

For citation

Skorodumov, A. S. et al. 2025. Prospects for the use of inulin and its modifications in the food, cosmetic and pharmaceutical industries. *Vestnik of MSTU*, 28(2), pp. 312–324. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-2-312-324>.

Введение

Инулин – полисахарид с относительно низкой степенью полимеризации, водорастворимый, состоящий из остатков фруктозы. Интерес к инулину возник в последние десятилетия в связи с его пребиотическими свойствами. Многочисленные исследования показали, что инулин не расщепляется пищеварительными ферментами, но ферментируется микробиотой кишечника, и образующиеся при ферментации метаболиты нормализуют состав микробного сообщества и благотворно влияют на метаболические процессы организма человека в целом. Развитие технологий инулина в течение длительного периода тормозилось отсутствием сырьевой базы, однако в последние годы в России и за рубежом растения инулиноносы – топинамбур и цикорий – стали возделывать как сельскохозяйственные культуры. Производство препаратов инулина из цикория и топинамбура привело к расширению направлений исследований этого полисахарида, и в результате был выявлен целый ряд новых технологических свойств. Показана способность инулина придавать обезжиренным продуктам сливочный вкус, способность к гелеобразованию позволила использовать его для улучшения реологических свойств продуктов питания. Благодаря своей структуре инулин может быть модифицирован аналогично другим гидроколлоидами (крахмал, пектин, целлюлоза), что позволяет получать его модификации с различными физико-химическими и технологическими свойствами.

Цель обзора – обобщение сведений об использовании инулина и его модификаций в пищевой, косметической, фармацевтической отраслях промышленности.

Материалы и методы

Полисахарид инулин является легкогидролизуемым полисахаридом и при гидролизе дает фруктоолигосахариды (ФОС), обладающие пребиотической активностью и являющиеся бифидофакторами. Молекула инулина благодаря многочисленным гидроксильным группам в щелочной среде легко протонируется и способна образовывать через эфирные связи с карбоксильными группами различных лигандов сложные структуры. Свойства образующихся соединений зависят от природы лиганда и условий проведения реакции модификации.

Результаты и обсуждение

Инулин – линейный полисахарид, состоящий из остатков фруктозы, соединенных $\beta(2-1)$ гликозидными связями, является нередуцирующим углеводом, поскольку на конце молекулы находится глюкоза, присоединенная связью $\beta(2-1)$ (рис. 1). Степень полимеризации инулина варьируется в широких пределах – от 10 до 60 фруктозных остатков и зависит от стадии вегетации и вида растения. Основные источники инулина – топинамбур, цикорий, агава, девясил, одуванчик, лопух, батат, георгины, чеснок, артишок и другие растения.

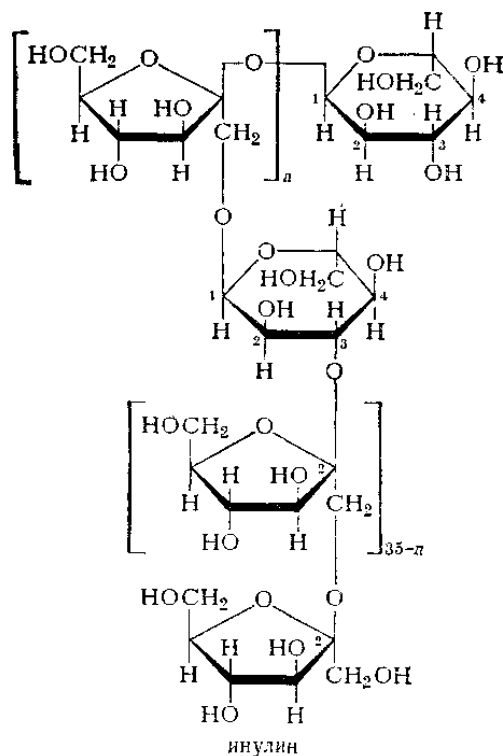


Рис. 1. Структурная формула инулина
Fig. 1. Structural formula of inulin

Инулин накапливается в растениях – инулиноносцах (Lunawat et al., 2025; Zhang et al., 2024b). Он выполняет в основном резервную функцию, а также криопротекторную и аналогично пектину может участвовать в транспорте ионов металлов.

Промышленным способом инулин получают, используя в качестве сырья в основном топинамбур и цикорий (Badawy et al., 2023; Diaz et al., 2022; Kardamanidis et al., 2024; Sağcan et al., 2024). Основные сферы применения инулина – это пищевая промышленность и производство биологически активных добавок (Khetu et al., 2023; Mohammadi et al., 2023; Du et al., 2023). Промышленно получаемый инулин представляет собой смесь полифруктанов с различной степенью полимеризации. В основном на рынке инулин представлен полисахаридами со средней степенью полимеризации 10–23, также можно выделить высокомолекулярный инулин со степенью полимеризации свыше 23 остатков фруктозы (Hamdi et al., 2022; Melilli, 2024). В качестве БАД инулин используется благодаря своим пребиотическим свойствам. Он не расщепляется ферментами желудочно-кишечного тракта, но согласно многочисленным исследованиям полностью ферментируется микробиотой кишечника. Инулин является источником фруктоолигосахаридов, стимулирующих рост бифидобактерий, поэтому инулин используется для нормализации микроэкологии кишечника (Hughes et al., 2022; Qin et al., 2023; De Giani et al., 2022; Tao et al., 2021; Teferra, 2021).

В пищевой промышленности инулин используется в качестве загустителя, влагоудерживающего агента, текстурообразователя и заменителя жира в продуктах с пониженной жирностью (Liang et al., 2024; Shams et al., 2021; Deylaghian et al., 2024; Mishra et al., 2025). Инулин находит широкое применение в молочной промышленности, поскольку помимо текстуры он придает продукту сливочный вкус. Инулин используют при приготовлении молочных десертов, мороженого, ферментированных молочных продуктов, кефира, айрана, йогуртов, сыров и т. д. Следует отметить, что использование инулина в ферментированных продуктах позволяет не только снизить их жирность и улучшить органолептические характеристики, но и продлить срок хранения за счет повышения выживаемости пробиотических микроорганизмов.

В мучных изделиях инулин повышает влагоудерживающую способность, замедляя тем самым процесс черствения, увеличивает объем изделий, улучшает текстуру и реологические характеристики теста.

Использование инулина в рецептурах зерновых злаковых хлопьев, снековых батончиков позволяет в течение длительного времени сохранять текстуру и хрусткость при размачивании в жидкости (молоке), а также придает им пребиотические свойства.

В технологии мясных полуфабрикатов инулин используется для повышения влагоудерживающей способности изделий и повышения органолептических характеристик изделий с пониженным содержанием жира.

Инулин также находит применение на предприятиях общественного питания, где его используют в качестве загустителя и эмульгатора при получении соусов и десертов.

Примеры использования инулина в пищевых технологиях представлены в таблице.

Таблица. Использование инулина в пищевой промышленности
Table. Use of inulin in the food industry

Область применения	Вид продукции	Эффект от применения инулина	Ссылка на источник
Мучные изделия	Хлеб	Улучшение реологических свойств	Mohammadi et al., 2023
	Замороженное тесто	Улучшение структуры замороженной воды, улучшение реологии полуфабрикатов после дефростации	Peng et al., 2024
	Безглютеновое тесто	Улучшение реологических свойств теста	Juszczak et al., 2012
	Мягкое и крепкое пшеничное тесто	Улучшение механических свойств клейковины, улучшение стойкости к замешиванию мягкого теста, уменьшение растяжимости теста, повышение газоудерживающей способности теста	Juszczak et al., 2012
	Рисовое тесто и хлеб	Увеличение удельного объема батона, смягчение панировочных сухарей, увеличение пористости мякиша, улучшение структуры мякиша	Burešová et al., 2024
	Слойки с пониженным содержанием жира	Внесение инулина в комбинации с концентратом сывороточного белка позволило снизить калорийность изделий и увеличить содержание пищевых волокон и белка	Onsri et al., 2022

Злаковая продукция и батончики	Злаковые продукты	Формирование гелей с белком	<i>Nieto-Nieto et al., 2015</i>
		Проявление пребиотической активности продуктов	<i>Melilli et al., 2024</i>
	Пребиотический батончик	Проявление пребиотической активности у полученных батончиков	<i>Reimer et al., 2020</i>
Молочная продукция	Обезжиренный йогурт	Улучшение физико-химических показателей продуктов	<i>El-Khair et al., 2024</i>
	Йогурт	Улучшение органолептических характеристик йогуртов	<i>Fikriyah et al., 2024</i>
	Синбиотический йогурт	Улучшение органолептических характеристик	<i>Jora et al., 2021</i>
	Низкожирный сыр Чеддер	Плавкость и текучесть снижались с повышением уровня и увеличением твердости, проявлялась способность стабилизировать структуру водной фазы, что создает улучшенную кремообразность	<i>Murtaza et al., 2022</i>
	Мягкий сыр	Сохранение органолептических характеристик во время хранения, стимуляция роста микробиоты сыра	<i>Melilli et al., 2021</i>
	Низкожирный пробиотический сыр Тулум	Добавление инулина усиливало рост и жизнеспособность пробиотических бактерий	<i>Albay, 2022</i>
	Синбиотическое мороженое	Добавление инулина приводило к заметному увеличению взбитости, вязкости и твердости составов, скорость плавления и дестабилизация жира были снижены в образцах, обогащенных инулином	<i>Falah et al., 2021</i>
	Мороженое с пониженной жирностью	Улучшение реологических характеристик мороженого, улучшение формирования жировых частиц, снижение скорости таяния и улучшение хранения в замороженном виде, повышение стабильности продукта при хранении в замороженном виде, улучшение органолептических характеристик мороженого	<i>El-Safety et al., 2021</i>
	Функциональное мороженое с пониженной жирностью	Уменьшение скорости таяния, увеличение процента вздутия, улучшение органолептических показателей	<i>El-Safety et al., 2021</i>
	Веганское мороженое	Благодаря внесению инулина удалось снизить количество вносимого растительного жира	<i>Narala et al., 2022</i>
Мясная продукция	Фарш с пониженным содержанием жира	Уменьшение оттока жира из эмульсии, улучшение консистенции	<i>López et al., 2022</i>
	Ветчина с пониженным содержанием соли и жира	Снижение содержания жира в рецептуре	<i>Darlan Leal de Araujo et al., 2022</i>
	Куриные колбасы болонского типа	Улучшение реологических свойств куриных колбас, формирование рецептур с повышенной биологической активностью	<i>Ferjančič et al., 2021</i>
	Нежирные колбасы из мяса утки	Снижение содержания жира с улучшением органолептических характеристик	<i>Moirangthem et al., 2022</i>
	Ферментированные колбасы, обогащенные ПНЖК	Снижение содержания жира без ухудшения органолептических характеристик, стабилизация полиненасыщенных жирных кислот	<i>Glišić et al., 2019</i>

Соусовая продукция	Белый соус с низким содержанием жира, глютена и лактозы	Улучшение диффузионной способности соевого белка, снижение вязкости соусов	<i>Guardeño Expósito et al., 2013</i>
	Горчичный соус с пониженным содержанием жира	Улучшение влагоудерживающей способности, активности воды, снижение содержания жира без потери органолептических характеристик	<i>Hosseinvand, et al., 2016</i>
	Майонез с пониженным содержанием жира	Снижение содержания масла и яичного желтка без потери органолептических характеристик	<i>Canuto et al., 2024</i>
	Обезжиренный майонез	Улучшение реологических и органолептических характеристик	<i>Alimi et al., 2013</i>

Таким образом, приведенные данные показывают, что инулин находит широкое применение в различных отраслях пищевой промышленности.

Несмотря на кажущуюся инертность полисахаридов, они являются весьма пластичными соединениями и легко вступают в реакции с биополимерами, растительными метаболитами, белками, липидами, что позволяет получать широкий спектр новых веществ с улучшенными технологическими свойствами (*Chang et al., 2025; Vereyken et al., 2003; Rahnema et al., 2021; Li et al., 2021*). Эта способность полисахаридов позволяет модифицировать их молекулы, получая производные с различными свойствами. Широкое применение в пищевой промышленности находят производные крахмала, пектина и целлюлозы (*Wang et al., 2020; Xie et al., 2005; Yazid et al., 2018; Singhal et al., 2022; Ishwarya et al., 2021; Rahnema et al., 2021*). Пектин и его модификации используются в качестве загустителей, гелеобразователей, эмульгаторов (*Singhal et al., 2022; Song et al., 2024; Chen et al., 2015; Würfel et al., 2021; Freitas et al., 2021; Fan et al., 2024*). Крахмал и его модификации также используются в качестве загустителей и гелеобразователей, влагоудерживающих агентов и текстурообразователей в кондитерской, молочной промышленности, в мясных продуктах, полуфабрикатах, детском питании, продуктах длительного хранения, соусах, пищевкусных продуктах (*Chakraborty et al., 2022; Chen et al., 2024; Lagunes-Delgado et al., 2024; Saedi et al., 2021; Jiang et al., 2022*). Целлюлоза и ее гидрофильные модификации используются в качестве текстурообразователей, структурообразователей, загустителей, заменителей жира, стабилизаторов эмульсий в продуктах с пониженным содержанием жира в молочных, мясных, кондитерских продуктах, напитках, улучшают стабильность эмульсий (*Gibis et al., 2015; Himashree et al., 2022*).

Модификацию полисахаридов проводят с целью придания им заданных технологических свойств, модификации пектина увеличивают его способность к гелеобразованию, улучшают желирующие свойства и способствуют загущению джемов, также полимеры на основе пектина используются для инкапсулирования биологически активных веществ и микроорганизмов (*Cui et al., 2023; Wang et al., 2022; Sun et al., 2021; Islam et al., 2022; Wu et al., 2022*). Многочисленные модификации крахмала позволили получить более ста модификаций и значительно расширить спектр его применения. На примере крахмала можно наблюдать, что основные модификации направлены на изменение структуры и молекулярной массы, как в случае со "сшитым" крахмалом, изменение и введение функциональных группировок, таких как метильные, ацетильные, эфирные, придают ему амфифильные и гидрофобные свойства за счет получения эфиров с жирными кислотами, получение циклических форм позволяет использовать их в качестве носителя биологически активных веществ в нанотехнологии, пищевой, косметической и фармацевтической отраслях промышленности (*Mi et al., 2022; Liu et al., 2023; Zhang et al., 2023; Xu et al., 2025; Punia et al., 2024; Verma et al., 2021*).

При модификации крахмала используют реакции окисления, фосфорилирования, катионизации, также имеет место модификация с участием ангидридов. Эти способы применимы и к инулину, однако до настоящего времени модифицированный инулин практически не выпускался и не использовался в пищевой промышленности. Из литературных источников известно о широком перечне возможных к получению модификаций инулина, при этом данные модификации практически отсутствуют на рынке. Одной из возможных причин этого является небольшой объем выпуска инулина в мире и низкая его популярность до недавнего времени. На сегодняшний день растущая в России сырьевая база позволяет считать инулин перспективным сырьем для пищевой промышленности, что дает возможность расширить выпуск функциональных продуктов питания. Известны такие вариации модифицированного инулина, используемые в пищевой, косметической и фармацевтической отраслях промышленности, как поперечно-сшитый инулин, эфиры инулина, гидрофобный инулин, циклоинулин, но в настоящее время в нашей стране производство инулина и его модификаций отсутствует. На рынке существует преимущественно продукция в виде сухих порошков и сиропов растительного сырья с высоким содержанием инулина.

Модификация инулина проводится аналогично модификации других полисахаридов. Так, например, модификацию инулина, известную как поперечно-сшитый инулин, получают путем проведения реакции между нативным инулином и гексаметафосфатом натрия, в результате реакции образуются эфирные

связи между фосфатом и молекулами инулина, что приводит к получению полимера с более высокой молекулярной массой (рис. 2). Основные компоненты данной модификации являются пищевыми ингредиентами и признаны абсолютно безопасными. В результате сшивки образующийся высокомолекулярный инулин приобретает способность формировать более устойчивые гели по сравнению с нативным инулином, что делает его более перспективным при производстве молочных продуктов с повышенной вязкостью и сниженным содержанием жира, мучных изделий с улучшенными реологическими свойствами и пребиотических продуктов (Tang et al., 2024; Zhao et al., 2023; Zhang et al., 2024a; Chen et al., 2024; Pei et al., 2024; Akal, 2023; Li et al., 2019).

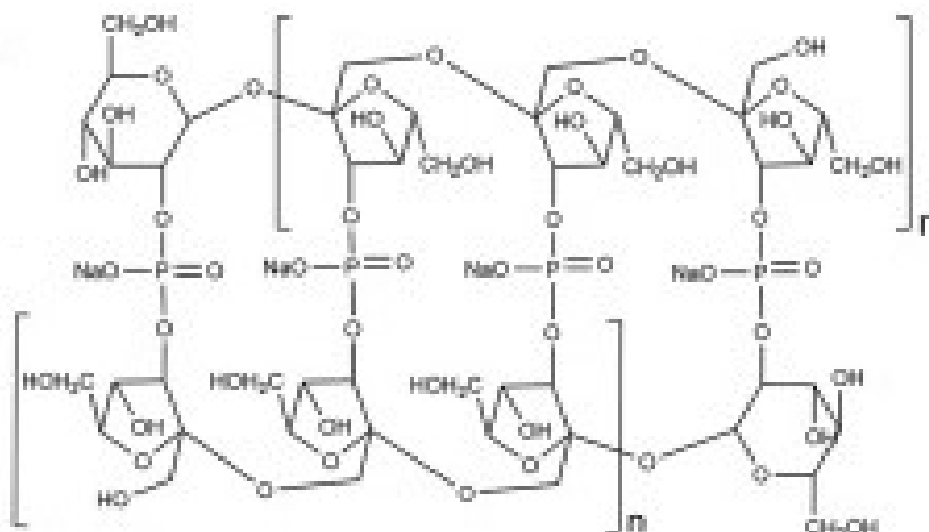


Рис. 2. Структура поперечно-сшитого инулина (Li et al., 2019)
Fig. 2. Structure of cross-linked inulin (Li et al., 2019)

Одним из перспективных направлений в модификации полисахаридов, в том числе инулина, является получение гидрофобных или амфифильных соединений, что обусловлено популяризацией "зеленых" пищевых эмульгаторов и замены на натуральные и частично натуральные. Многочисленные модификации гидрофобного инулина находят применение в качестве эмульгаторов в пищевой, косметической и фармацевтической отраслях промышленности. Гидрофобно модифицированный инулин применяется для инкапсулирования биологически активных веществ в косметической промышленности и фармакологии (рис. 3) (Exerowa et al., 2009; Han et al., 2020; Kokubun et al., 2018; Morros et al., 2010; Muley et al., 2016; Kesharwani et al., 2019; Han et al., 2022).

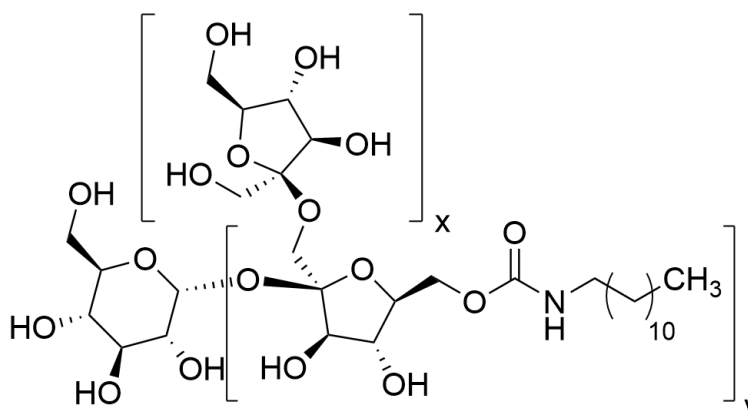


Рис. 3. Структурная формула инулин лаурил карбамата
Fig. 3. Structural formula of inulin lauryl carbamate

Получение циклических форм полисахаридов также является одним из перспективных направлений. Циклодекстрины, получаемые из крахмала, широко используются в нанотехнологии для инкапсулирования и доставки лекарственных препаратов, используются в качестве сорбентов, косметических средств. Однако для циклизации может быть использован не только крахмал, но и инулин, поскольку инулодекстрины обладают близкой к декстринам крахмала структурой. В последние годы появились данные о получении

и использовании циклоинулина в качестве сорбента для жидкостной и газовой хроматографии и пребиотической добавки в функциональном питании (рис. 4) (Liu et al., 2021; Li et al., 2024; Santos et al., 2022; Ishikawa et al., 2009).

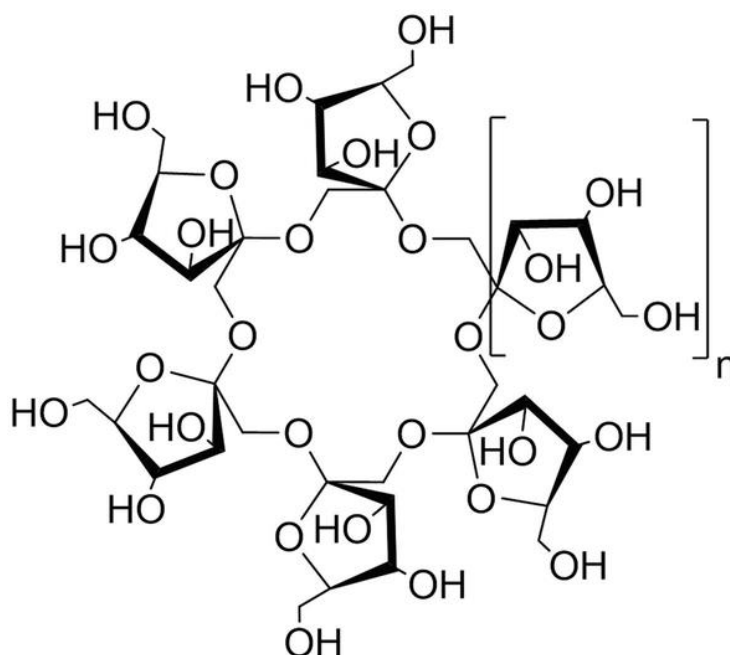


Рис. 4. Структурная формула циклофруктана (Li et al., 2024)

Fig. 4. Structural formula of cyclofructan (Li et al., 2024)

В отличие от крахмала, пектина или целлюлозы, преимуществом инулина является его способность к нормализации микроэкологии желудочно-кишечного тракта за счет того, что инулин выступает пребиотиком и не расщепляется пищеварительными ферментами человека, что обеспечивает ему низкий гликемический индекс.

Заключение

Таким образом, приведенные данные показывают большой потенциал применения инулина и его модификаций в различных сферах народного хозяйства. В настоящее время использование модифицированных форм инулина ограничено практически полным отсутствием их промышленного выпуска. Разработка и реализация технологий различных модификаций инулина позволит получить дополнительный инструмент при производстве пищевых продуктов и косметических средств, создании технологий инкапсулированных биологических активных веществ и фармацевтических препаратов. В целом, развитие технологий инулина и его модификаций позволит значительно расширить возможности производителей инновационной продукции.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

- Akal, C. 2023. Rheological properties of cross-linked inulin solutions as a function of cross-linker concentration and temperature. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 44(12), pp. 2219–2230. DOI: <https://doi.org/10.1080/01932691.2023.2225578>.
- Albay, Z., Şimşek, B. 2022. The effect of inulin addition on probiotic bacteria viability and volatile components in low fat probiotic Tulum cheese. *Mljekarstvo*, 72(4), pp. 237–249. DOI: <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2022.0405>.
- Alimi, M., Mizani, M., Naderi, G., Mortazavian, A. et al. 2013. Development of low-fat mayonnaise containing combined mixtures of different types of inulin. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 11(1), pp. 99–104.
- Badawy, W. Z., Bakr, E., Mohamed, A. 2023. Improvement of chips quality using Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tuber as a source of inulin. *Journal of Sustainable Agricultural Sciences*, 49(3), pp. 31–39. DOI: 10.21608/jsas.2023.210484.1412.
- Burešová, I., Šebestíková, R., Šebela, J., Adámková, A. et al. 2024. The effect of inulin addition on rice dough and bread characteristics. *Applied Sciences*, 14(7). Article number: 2882. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14072882>.

- Canuto, J. M. P., Batista, R. A., Meza, S. L. R., Sinnecker, J. P. et al. 2024. Effects of adding inulin and chia mucilage in the production of mayonnaise with reduced fat and cholesterol: Technological, nutritional, and sensory aspects. *Observatório de La Economía Latinoamericana*, 22(2), pp. e3246. DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv22n2-101>.
- Chakraborty, I., Pooja, N., Mal, S. S., Paul, U. C. et al. 2022. An insight into the gelatinization properties influencing the modified starches used in food industry: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 15, pp. 1195–1223. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02761-z>.
- Chang, Y., Lin, T., Zhu, M., Yu, S. 2025. Complexation of inulin with proteins, polysaccharides and polyphenols: Their interactions, applications and health benefits. *Food Reviews International*, pp. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2025.2456544>.
- Chen, J., Liu, W., Liu, C. M., Li, T. et al. 2015. Pectin modifications: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(12), pp. 1684–1698. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.718722>.
- Chen, K., Wei, P., Jia, M., Wang, L. et al. 2024a. Research progress in modifications, bioactivities, and applications of medicine and food homologous plant starch. *Foods*, 13(4). Article number: 558. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13040558>.
- Chen, Q., Luo, D., Yue, C., Bai, Z. et al. 2024b. Effect of phosphorylated modification on natural inulin: structural characterisation and gel properties. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(12), pp. 9020–9028. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.17434>.
- Cui, Y., Chen, J., Zhang, S. 2023. The effect of degree of esterification of pectin on the interaction between pectin and wheat gluten protein. *Food Hydrocolloids*, 136, Part A. Article number: 108272. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108272>.
- Darlan Leal de Araujo, C., Freire da Costa, G., Luiz Nunes de Oliveira, F., Alves Azeredo de Oliveira, G. 2022. Physico-chemical and microbiological quality of sausages with reduced fat and sodium chloride formulated with inulin and oregano essential oil. *Journal of Culinary Science & Technology*, 22(6), pp. 1315–1326. DOI: <https://doi.org/10.1080/15428052.2022.2131671>.
- De Giani, A., Sandionigi, A., Zampolli, J., Michelotti, A. et al. 2022. Effects of inulin-based prebiotics alone or in combination with probiotics on human gut microbiota and markers of immune system: A randomized, double-blind, placebo-controlled study in healthy subjects. *Microorganisms*, 10(6). Article number: 1256. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10061256>.
- Deylaghian, S., Nikoosaei, E., Habibagahi, G., Nagel, T. 2024. Inulin biopolymer as a novel material for sustainable soil stabilization. *Scientific Reports*, 14. Article number: 31078. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82289-8>.
- Díaz, A., García, M. A., Dini, C. 2022. Jerusalem artichoke flour as food ingredient and as source of fructooligosaccharides and inulin. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114. Article number: 104863. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104863>.
- Du, M., Cheng, X., Qian, L., Huo, A. et al. 2023. Extraction, physicochemical properties, functional activities and applications of inulin polysaccharide: A review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 78, pp. 243–252. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11130-023-01066-6>.
- El-Khair, A. A. A., Ahmah, A. G., Abdalla, A. A. 2024. Physicochemical, rheological and microbiological characteristics of fat-free yoghurt enriched with inulin and various milk protein sources. *Egyptian Journal of Food Science*, 52(1), pp. 93–105. DOI: <https://doi.org/10.21608/ejfs.2024.297075.1187>.
- El-Safety, M. S., Khalil, R. A. M., Aly, H. A., Mohamed Shimaa, S. 2021. Functional low fat ice cream with using inulin or β -glucan. *Egyptian Journal of Dairy Science*, 49(2), pp. 83. DOI: <https://doi.org/10.21608/ejds.2021.253541>.
- Exerowa, D., Gotchev, G., Kolarov, T., Kristov, Khr. et al. 2009. Oil-in-water emulsion films stabilized by polymeric surfactants based on inulin with different degree of hydrophobic modification. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 334(1–3), pp. 87–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2008.10.003>.
- Falah, F., Zareie, Z., Vasiee, A., Yazdi, F. T. et al. 2021. Production of synbiotic ice-creams with *Lactobacillus brevis* PML1 and inulin: Functional characteristics, probiotic viability, and sensory properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, pp. 5537–5546. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01119-x>.
- Fan, J., Li, Y., Yao, Y., Wang, L. et al. 2024. Tailoring the high-protein texture-modified foods for the dysphagia elderly by heating whey protein isolate-pectin complexes. *Food Hydrocolloids*, 154. Article number: 110070. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110070>.
- Ferjančič, B., Kugler, S., Korošec, M., Polak, T. et al. 2021. Development of low-fat chicken bologna sausages enriched with inulin, oat fibre or psyllium. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(4), pp. 1818–1828. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14808>.
- Fikriyah, H., Habibi, N., Ismanilda, I., Darmingsih, S. et al. 2024. Pengaruh penambahan inulin terhadap mutu sensorik, kandungan serat dan daya terima yoghurt. *Jurnal Sehat Mandiri*, 19(1), pp. 369–379. DOI: <https://doi.org/10.33761/jsm.v19i1.1389>.

- Freitas, C. M. P., Coimbra, J. S. R., Souza, V. G.L., Sousa, R. C. S. 2021. Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review. *Coatings*, 11(8). Article number: 922. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>.
- Gibis, M., Schuh, V., Weiss, J. 2015. Effects of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) as fat replacers on the microstructure and sensory characteristics of fried beef patties. *Food Hydrocolloids*, 45, pp. 236–246. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.021>.
- Glisic, M., Baltic, M., Glisic, M., Trbovic, D. et al. 2019. Inulin-based emulsion-filled gel as a fat replacer in prebiotic- and PUFA-enriched dry fermented sausages. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(3), pp. 787–797. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13996>.
- Guardaño, L. M., Vázquez-Gutiérrez, J. L., Hernando, I., Quiles, A. 2013. Effect of different rice starches, inulin, and soy protein on microstructural, physical, and sensory properties of low-fat, gluten, and lactose free white sauces. *Czech Journal of Food Sciences*, 31(6), pp. 575–580. DOI: <https://doi.org/10.17221/483/2012-cjfs>.
- Hamdi, A., Viera-Alcaide, I., Guillén-Bejarano, R., Rodríguez-Arcos, R. et al. 2023. Asparagus fructans as emerging prebiotics. *Foods*, 12(1). Article number: 81. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12010081>.
- Han, L., Hu, B., Ratcliffe, I., Senan, C. et al. 2020. Octenyl-succinylated inulin for the encapsulation and release of hydrophobic compounds. *Carbohydrate Polymers*, 238. Article number: 116199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116199>.
- Han, L., Sun, J., Williams, P. A., Yang, J. et al. 2022. Octenyl-succinylated inulins for the delivery of hydrophobic drug. *International Journal of Biological Macromolecules*, 221, pp. 1112–1120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.068>.
- Himashree, P., Sengar, A. S., Sunil, C. K. 2022. Food thickening agents: Sources, chemistry, properties and applications – A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 27. Article number: 100468. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100468>.
- Hosseinvand, A., Sohrabvandi, S. 2016. Physicochemical, textural and sensory evaluation of reduced-fat mustard sauce formulation prepared with Inulin, Pectin and β -glucan. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 8(2), pp. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.17508/cjfst.2016.8.2.01>.
- Hughes, R. L., Alvarado, D. A., Swanson, K. S., Holscher, H. D. 2022. The prebiotic potential of inulin-type fructans: A systematic review. *Advances in Nutrition*, 13(2), pp. 492–529. DOI: <https://doi.org/10.1093/advances/nmab119>.
- Ishikawa, T., Nanjo, F. 2009. Dietary cycloinulooligosaccharides enhance intestinal immunoglobulin a production in mice. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 73(3), pp. 677–682. DOI: <https://doi.org/10.1271/bbb.80733>.
- Ishwarya, S. P., Sandhya, S., Nisha, P. 2021. Advances and prospects in the food applications of pectin hydrogels. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(16), pp. 4393–4417. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1875394>.
- Islam, F., Wong, S. Y., Li, X., Arafat, M. T. 2022. Pectin and mucin modified cellulose-based superabsorbent hydrogel for controlled curcumin release. *Cellulose*, 29, pp. 5207–5222. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04600-y>.
- Jiang, Z., Ngai, T. 2022. Recent advances in chemically modified cellulose and its derivatives for food packaging applications: A review. *Polymers*, 14(8). Article number: 1533. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14081533>.
- Jora, F., Azhar, M., Nasra, E. 2021. Pengaruh penambahan prebiotik inulin dari bengkoang (*Pachyrhizus erosus*) terhadap organoleptik sinbiotik set yoghurt. *Periodic*, 10(1), pp. 12–16. DOI: <https://doi.org/10.24036/p.v10i1.110315>.
- Juszczak, L., Witczak, T., Ziobro, R., Korus, J. et al. 2012. Effect of inulin on rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Carbohydrate Polymers*, 90(1), pp. 353–360. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.04.071>.
- Kardamanidis, A., Misailidis, N., Da Gama Ferreira, R., Petrides, D. 2024. Inulin production from chicory roots. process modeling and cost analysis using SuperPro designer. URL: https://www.researchgate.net/publication/378141057_Inulin_Production_from_Chicory_Roots_-_Process_Modeling_and_Techno-Economic_Assessment_TEA_using_SuperPro_Designer?channel=doi&linkId=65c9431334bbff5ba7fe2e66&showFulltext=true.
- Kesharwani, S. S., Dachineni, R., Jayarama Bhat, G., Tummala, H. 2019. Hydrophobically modified inulin-based micelles: Transport mechanisms and drug delivery applications for breast cancer. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 54. Article number: 101254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101254>.
- Kheto, A., Bist, Y., Awana, A., Kaur, S. et al. 2023. Utilization of inulin as a functional ingredient in food: Processing, physicochemical characteristics, food applications, and future research directions. *Food Chemistry Advances*, 3. Article number: 100443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100443>.

- Kokubun, S., Ratcliffe, I., Williams, P. A. 2018. The interfacial, emulsification and encapsulation properties of hydrophobically modified inulin. *Carbohydrate Polymers*, 194, pp. 18–23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.018>.
- Lagunes-Delgado, C., Agama-Acevedo, E., Bello-Pérez, L. A. 2024. Dual starch modifications to expand its end-uses: A review. *Starch-Stärke*, 76(11–12). Article number: 2300153. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202300153>.
- Li, S., Lei, D., Zhu, Z., Cai, J. et al. 2021. Complexation of maltodextrin-based inulin and green tea polyphenols via different ultrasonic pretreatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 74. Article number: 105568. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105568>.
- Li, Y., Liu, F., Abdiryim, T., Liu, X. 2024. Cyclodextrin-derived materials: From design to promising applications in water treatment. *Coordination Chemistry Reviews*, 502. Article number: 215613. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2023.21>.
- Li, Y., Ma, X., Liu, X. 2019a. Physicochemical and rheological properties of cross-linked inulin with different degree of polymerization. *Food Hydrocolloids*, 95, pp. 318–325. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.026>.
- Li, Y., Shabani, K. I., Qin, X., Yang, R. et al. 2019b. Effects of cross-linked inulin with different polymerisation degrees on physicochemical and sensory properties of set-style yoghurt. *International Dairy Journal*, 94, pp. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.02.009>.
- Liang, X., Lin, D., Zhang, W., Chen, S. et al. 2024. Progress in the preparation and application of inulin-based hydrogels. *Polymers*, 16(11). Article number: 1492. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16111492>.
- Liu, X. L., Xu, S. Y., Yang, J., Li, S. J. et al. 2023. Synthesis and characterization of glyceryl starch and determination of molar substitution. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 28(4), pp. 396–406. DOI: <https://doi.org/10.1080/1023666X.2023.2221873>.
- Liu, Z., Ye, L., Xi, J., Wang, J. et al. 2021. Cyclodextrin polymers: Structure, synthesis, and use as drug carriers. *Progress in Polymer Science*, 118. Article number: 101408. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2021.101408>.
- López, Z. G., Gonzalez, U., Rodriguez Furlán, L. T. 2022. Use of Stevia and inulin in combination with bovine plasma proteins as sugar substitute for the development of a sugar-free and low-fat muffins formulation. *Journal of Food Science and Technology*, 59, pp. 2643–2654. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05284-1>.
- Lunawat, A. K., Vishwakarma, N., Raikwar, S. 2025. Future prospects in inulin research. In Akram W., Mishra N., Haider T. (eds) Monograph. *Inulin for pharmaceutical applications*. Springer, Singapore, pp. 325–341. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-9056-2_15.
- Melilli, M. G., Buzzanca, C., Di Stefano, V. 2024. Quality characteristics of cereal-based foods enriched with different degree of polymerization inulin: A review. *Carbohydrate Polymers*, 332. Article number: 121918. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.121918>.
- Melilli, M. G., Costa, C., Lucera, A., Padalino, L. et al. 2021. Fiordilatte cheese fortified with inulin from *Cichorium intybus* or *Cynara cardunculus*. *Foods*, 10(6). Article number: 1215. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10061215>.
- Mi, J., Zhao, X., Huang, P., Hong, J. et al. 2022. Effect of hydroxypropyl distarch phosphate on the physicochemical characteristics and structure of shrimp myofibrillar protein. *Food Hydrocolloids*, 125. Article number: 107417. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107417>.
- Mishra, S., Sahu, A., Anakha, S., Choubey, M. 2025. Inulin as a coating agent. In Akram W., Mishra N., Haider, T. (eds) Monograph. *Inulin for pharmaceutical applications*. Springer, Singapore, pp. 91–111. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-9056-2_5.
- Mohammadi, F., Shiri, A., Tahmouzi, S., Mollakhalili-Meybodi, N. 2023. Application of inulin in bread: A review of technological properties and factors affecting its stability. *Food Science & Nutrition*, 11(2), pp. 639–650. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.3141>.
- Moirangthem, S., Laskar, S. K., Das, A., Upadhyay, S. et al. 2022. Effects of soy protein isolate and inulin on physico-chemical and organoleptic qualities of low-fat duck meat sausages. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 41(3), pp. 346–350. DOI: <https://doi.org/10.18805/ajdfr.dr-1828>.
- Morros, J., Leveck, B., Infante, M. R. 2010. Chemical hydrophobic modification of inulin in aqueous media: Synthesis of β -hydroxyalkyl ethers of inulin. *Carbohydrate Polymers*, 81(3), pp. 681–686. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.03.039>.
- Muley, P., Kumar, S., El Kourati, F., Kesharwani, S. S. et al. 2016. Hydrophobically modified inulin as an amphiphilic carbohydrate polymer for micellar delivery of paclitaxel for intravenous route. *International Journal of Pharmaceutics*, 500(1–2), pp. 32–41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2016.01.005>.
- Murtaza, M. S., Sameen, A., Rafique, S., Shahbaz, M. et al. 2022. Impact of dietary fiber (inulin and resistant starch) on the quality parameters of low fat cheddar cheese from buffalo milk. *Pakistan Journal of Zoology*, 55(2). DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20200630120620>.
- Narala, V. R., Orlovs, I., Jugbarde, M. A., Masin, M. 2022. Inulin as a fat replacer in pea protein vegan ice cream and its influence on textural properties and sensory attributes. *Applied Food Research*, 2(1). Article number: 100066. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100066>.

- Nieto-Nieto, T. V., Wang, Y. X., Ozimek, L., Chen, L. 2015. Inulin at low concentrations significantly improves the gelling properties of oat protein – A molecular mechanism study. *Food Hydrocolloids*, 50, pp. 116–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.031>.
- Onsri, N., Hudthagosol, C., Sanporkha, P. 2022. Effect of inulin and whey protein concentrate on the physicochemical properties and shelf life of reduced-fat cream puffs. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12). Article number: e16955. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.16955>.
- Pei, L., Luo, D., Wei, Y., Li, P. et al. 2024. Effect of phosphorylation of long-chain inulin on the rheological properties of wheat flour doughs with different gluten. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(4), pp. 2349–2360. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.16963>.
- Peng, H., Wang, X., Chen, K., Yue, C. et al. 2024. Effect of long-chain inulin on the rheological properties, water state, gluten structure, and microstructure of frozen dough. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(12), pp. 9117–9130. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.17493>.
- Punia Bangar, S., Sunooj, K. V., Navaf, M., Phimolsiripo, I. Y. et al. 2024. Recent advancements in cross-linked starches for food applications – A review. *International Journal of Food Properties*, 27(1), pp. 411–430. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2024.23184>.
- Qin, Y.-Q., Wang, L.-Y., Yang, X.-Y., Xu, Y.-J. et al. 2023. Inulin: Properties and health benefits. *Food & function*, 14(7), pp. 2948–2968. DOI: <https://doi.org/10.1039/d2fo01096h>.
- Rahnama, H., Khorasani, S. N., Aminoroaya, A., Molavian, M. R. et al. 2021. Facile preparation of chitosan-dopamine-inulin aldehyde hydrogel for drug delivery application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 185, pp. 716–724. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.199>.
- Reimer, R. A., Soto-Vaca, A., Nicolucci, A. C., Mayengbam, S. et al. 2020. Effect of chicory inulin-type fructan-containing snack bars on the human gut microbiota in low dietary fiber consumers in a randomized crossover trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 111(6), pp. 1286–1296. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa074>.
- Saedi, S., Garcia, C. V., Kim, J. T., Shin, G. H. 2021. Physical and chemical modifications of cellulose fibers for food packaging applications. *Cellulose*, 28, pp. 8877–8897. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04086-0>.
- Sağcan, N., Sağcan, H., Bozkurt, F., Bulut Güneş, A. N. et al. 2024. Optimization of inulin extraction from chicory roots and an ultrafiltration application to obtain purified inulin and hydrolyzed fructooligosaccharides. *Journal of Agricultural Sciences*, 30(1), pp. 166–178. DOI: <https://doi.org/10.15832/ankutbd.1338572>.
- Santos, J. S., Barradas, T. N., Tavares, G. D. 2022. Advances in nanotechnology-based hair care products applied to hair shaft and hair scalp disorders. *International Journal of Cosmetic Science*, 44(3), pp. 320–332. DOI: <https://doi.org/10.1111/ics.12780>.
- Shams, Z. A., Wadhawan, N. 2021. Inulin a crucial component in food industry: A review. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, 5(3), pp. 742–745. URL: www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd38768.pdf.
- Singhal, S., Hulle, N. R. S. 2022. Citrus pectins: Structural properties, extraction methods, modifications and applications in food systems – A review. *Applied Food Research*, 2(2). Article number: 100215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.1002150215>.
- Song, H., Chen, F., Cao, Y., Wang, F. 2024. Innovative applications of pectin in lipid management: Mechanisms, modifications, synergies, nanocarrier systems, and safety considerations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(37), pp. 20261–20272. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c06586>.
- Sun, Q., Wicker, L. 2021. Hydrogel encapsulation of lactobacillus casei by block charge modified pectin and improved gastric and storage stability. *Foods*, 10(6). Article number: 1337. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10061337>.
- Tang, Y., Zhu, Y., Wang, X., Peng, H. et al. 2024. Study of the structural characterization, physicochemical properties and antioxidant activities of phosphorylated long-chain inulin with different degrees of substitution. *International Journal of Biological Macromolecules*, 263, Part 1. Article number: 130139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130139>.
- Tao, C., Zeng, W., Zhang, Q., Liu, G. et al. 2021. Effects of the prebiotic inulin-type fructans on post-antibiotic reconstitution of the gut microbiome. *Journal of Applied Microbiology*, 130(3), pp. 634–649. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14827>.
- Teferra, T. F. 2021. Possible actions of inulin as prebiotic polysaccharide: A review. *Food Frontiers*, 2(4), pp. 407–416. DOI: <https://doi.org/10.1002/fft2.92>.
- Vereyken, I. J., van Kuik, J. A., Evers, T. H., Rijken, P. J. et al. 2003. Structural requirements of the fructan-lipid interaction. *Biophysical Journal*, 84(5), pp. 3147–3154. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(03\)70039-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(03)70039-3).
- Verma, D. K., Srivastav, P. P. 2021. Isolation, modification, and characterization of rice starch with emphasis on functional properties and industrial application: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(24), pp. 6577–6604. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1903383>.

- Wang, S., Wang, J., Liu, Y., Liu, X. 2020. Starch modification and application. In Wang S. (ed.) Monograph. *Starch structure, functionality and application in foods*. Springer, Singapore, pp. 131–149. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0622-2_8.
- Wang, X., Wang, Z., Shen, M., Yi, C. et al. 2022. Acetylated polysaccharides: Synthesis, physicochemical properties, bioactivities, and food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(15), pp. 4849–4864. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2146046>.
- Wu, B., Li, Y., Li, Y., Li, H. et al. 2022. Encapsulation of resveratrol-loaded Pickering emulsions in alginate/pectin hydrogel beads: Improved stability and modification of digestive behavior in the gastrointestinal tract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222, Part A, pp. 337–347. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.175>.
- Würfel, H., Geitel, K., Qi, H., Heinze, T. 2021. Chemical modification of pectin and polygalacturonic acid: A critical review. *BioResources*, 16(4), pp. 8457–8488.
- Xie, S. X., Liu, Q., Cui, S. W. 2005. Starch modification and applications. In Cui S. W. (ed.) Monograph. *Food carbohydrates: Chemistry, physical properties, and applications*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Xu, L., Wang, J., Zhao, Y., Wu, N. et al. 2025. Facile fabrication of stable O/W high internal phase emulsions with egg yolk fractions and hydroxypropyl distarch phosphate. *International Journal of Biological Macromolecules*, 288. Article number: 138599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.138599>.
- Yazid, N. S. M., Abdullah, N., Muhammad, N., Matias-Peralta, H. M. 2018. Application of starch and starch-based products in food industry. *Journal of Science and Technology*, 10(2), pp. 144–174. DOI: <https://doi.org/10.30880/jst.2018.10.02.023>.
- Zhang, R., Luo, D., Yue, C., Bai, Z. et al. 2024a. Effects of phosphorylation-modified long-chain inulin on wheat starch: Physicochemical properties and retrogradation behaviors. *Food Chemistry: X*, 24. Article number: 101860. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101860>.
- Zhang, X., Liu, Z., Wang, L., Lan, X. et al. 2023. Effect of hydroxypropyl distarch phosphate on the retrogradation properties of sterilized pea starch jelly and its possible mechanism. *International Journal of Biological Macromolecules*, 247. Article number: 125629. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125629>.
- Zhang, Y., Liu, R., Song, B., Li, L. et al. 2024b. Recent advances in inulin polysaccharides research: Extraction, purification, structure, and bioactivities. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 11. Article number: 136. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00667-w>.
- Zhao, Y., Luo, D., Yue, C., Wang, L. et al. 2023. Effect of phosphorylated long-chain inulin on the dough rheology and steamed bread quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(2), pp. 730–740. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.16223>.

Сведения об авторах

Скородумов Александр Сергеевич – 2-я Мытищинская ул., 2, стр. 1, г. Москва, Россия, 129626;
Общество с ограниченной ответственностью "Бавар+", генеральный директор;
e-mail: asskorodumov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8905-255X>

Alexander S. Skorodumov – 2nd Mytishchinskaya Str., 2/1, Moscow, Russia, 129626;
Limited Liability Company "Bavar+", General Director;
e-mail: asskorodumov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8905-255X>

Нестеров Егор Дмитриевич – 2-я Мытищинская ул., 2, стр. 1, г. Москва, Россия, 129626;
Общество с ограниченной ответственностью "Бавар+", мл. науч. сотрудник;
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), аспирант;
e-mail: eg0r.nesterov@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3442-7024>

Egor D. Nesterov – 2nd Mytishchinskaya Str., 2/1, Moscow, Russia, 129626;
Limited Liability Company "Bavar+", Junior Researcher;
11 Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia, 125080;
Russian Biotechnology University (ROSBIOTECH), PhD Student;
e-mail: eg0r.nesterov@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3442-7024>

Горн Дмитрий Сергеевич – ул. 2-я Мытищинская, 2, стр. 1, г. Москва, Россия, 129626;
Общество с ограниченной ответственностью "Бавар+", технолог-разработчик;
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), аспирант;
e-mail: dmitry_gorn@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6792-8669>

Dmitry S. Gorn – 2nd Mytishchinskaya Str., 2/1, Moscow, Russia, 129626;
Limited Liability Company "Bavar+", Technologist-Developer;
11 Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia, 125080;
Russian Biotechnology University (ROSBIOTECH), PhD Student;
e-mail: dmitry_gorn@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6792-8669>

Барканов Александр Сергеевич – ул. 2-я Мытищинская, 2, стр. 1, г. Москва, Россия, 129626;
Общество с ограниченной ответственностью "Бавар+", микробиолог;
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), аспирант;
e-mail: hhhebck@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9929-6646>

Alexander S. Barkanov – 2nd Mytishchinskaya Str., 2/1, Moscow, Russia, 129626;
Limited Liability Company "Bavar+", Microbiologist;
11 Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia, 125080;
Russian Biotechnology University (ROSBIOTECH), PhD Student;
e-mail: hhhebck@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9929-6646>

Шаненко Елена Феликсовна – ул. 2-я Мытищинская, 2, стр. 1, г. Москва, Россия, 129626;
Общество с ограниченной ответственностью "Бавар+", ст. науч. сотрудник, канд. биол. наук, доцент;
e-mail: eshanenko@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0875-9292>

Elena F. Shanenko – 2nd Mytishchinskaya Str., 2/1, Moscow, Russia, 129626;
Limited Liability Company "Bavar+", Senior Researcher, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
e-mail: eshanenko@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0875-9292>