

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-66-72>

Поступила 15.09.2024

Поступила после рецензирования 09.03.2025

Принята в печать 14.03.2025

© Неповинных Н. В., Петрова О. Н., 2025

<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

ПИЩЕВЫЕ ГИДРОКОЛЛОИДЫ: КЛАССИФИКАЦИЯ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

Неповинных Н. В., Петрова О. Н.

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

биополимеры,
структура пищи,
инкапсуляция,
биопластики,
3-D печать

Пищевые гидроколлоиды — одни из наиболее востребованных ингредиентов в индустрии питания. Они выступают в роли загустителей, желирующих агентов, эмульгаторов, стабилизаторов, заменителей жиров, осветлителей, флокулянтов и пенообразователей. Кроме того, эти соединения широко применяются в аддитивных технологиях, при производстве биоразлагаемой упаковки и для инкапсуляции биологически активных, красящих веществ и ароматизаторов. В зависимости от источника получения пищевые гидроколлоиды подразделяются на четыре основные категории: гидроколлоиды растительного происхождения, гидроколлоиды животного происхождения, гидроколлоиды микробного происхождения и химически модифицированные гидроколлоиды растительного происхождения (синтетические камеди). В этом обзоре основное внимание уделяется современным тенденциям и технологическим достижениям в использовании гидроколлоидов для обеспечения необходимых потребительских свойств различных пищевых продуктов. Новые исследования показывают, что некоторые пищевые гидроколлоиды могут существенно изменить состав и структуру микробиоты кишечника и положительно повлиять на здоровье человека благодаря своим физико-химическим и структурным свойствам. Поскольку гидроколлоиды находят все более широкое применение в различных отраслях, данный обзор, посвященный их функциональности и питательной ценности в пищевых продуктах, может быть интересен исследователям при разработке инновационных технологических решений. Учитывая значительные достижения и стремительное развитие исследований в последние годы, можно прогнозировать, что изучение пищевых гидроколлоидов будет активно продолжаться. Основными направлениями станут: управление их взаимодействием с компонентами пищи, создание функциональных пищевых матриц, исследование влияния на клеточные процессы и организм в целом, а также оценка метаболизма *in vivo* и безопасности.

Received 15.09.2024

Accepted in revised 09.03.2025

Accepted for publication 14.03.2025

© Nepovinnykh N. V., Petrova O. N., 2025

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

FOOD HYDROCOLLOIDS: CLASSIFICATION, FUNCTIONAL PROPERTIES AND APPLICATIONS

Natalia V. Nepovinnykh, Oksana N. Petrova

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

KEY WORDS:

biopolymers,
food structure,
encapsulation,
bioplastics, 3-D
printing

ABSTRACT

Food hydrocolloids are among the most popular ingredients in the food industry. They act as thickeners, gelling agents, emulsifiers, stabilizers, fat replacers, clarifying agents, flocculants, and foaming agents. In addition, these compounds are widely used in additive technologies, for production of biodegradable packaging and for encapsulation of biologically active substances, colorants and flavors. Depending on the source, food hydrocolloids are divided into four main categories: hydrocolloids of plant origin, hydrocolloids of animal origin, hydrocolloids of microbial origin, and chemically modified hydrocolloids of plant origin (synthetic gums). This review focuses on current trends and technological advances in the use of hydrocolloids to provide the required consumer properties of various food products. New research shows that some food hydrocolloids can significantly change the composition and structure of the intestinal microbiota and positively affect human health due to their physicochemical and structural properties. As hydrocolloids are increasingly used in various industries, this review on their functionality and nutritional value in food products may be of interest to researchers in developing innovative technological solutions. Given the significant achievements and rapid development of research in recent years, it can be predicted that the study of food hydrocolloids will be actively continued. The main areas will be: managing their interaction with food components, creating functional food matrices, studying the effect on cellular processes and the body as a whole, as well as assessing *in vivo* metabolism and safety.

1. Введение

Полезные и натуральные продукты питания пользуются растущим спросом среди заботящихся о здоровье потребителей. Продукты для здорового питания содержат в своем составе физиологически функциональные ингредиенты, к числу которых относятся и пищевые гидроколлоиды. Ожидается, что в ближайшей перспективе мировой рынок пищевых гидроколлоидов будет расти [1,2]. Лидерами среди широко используемых гидроколлоидов по-прежнему являются крахмал, желатин и пектин, на долю которых приходится около 80% от общего объема и почти 40% от общей стоимости всех коммерческих гидроколлоидов. Гидроколлоиды, получаемые из морских водорослей, каррагинан, агар и альгинаты, являются неотъемлемой частью индустрии аквакультуры и также занимают одну из

лидирующих позиций в мировой индустрии. Кроме того, новые биоактивные ингредиенты из морских водорослей привлекают интерес исследователей и инвесторов [3].

Гидроколлоиды широко изучались многими исследователями как с функциональной, так и с питательной точки зрения. Однако еще многое предстоит узнать о роли гидроколлоидов и качестве конечного продукта, изготовленного с их использованием.

Пищевые гидроколлоиды — это разнообразная группа длинноцепочечных полимеров, которые легко диспергируются, полностью или частично растворяются и набухают в воде, что, в свою очередь, способствует изменению физических свойств растворов с образованием устойчивых коллоидных систем и гелей. Большое количество гидроксильных групп заметно повышает способность гидроколлоидов

Для ЦИТИРОВАНИЯ: Неповинных, Н. В., Петрова, О. Н. (2025). Пищевые гидроколлоиды: классификация, функциональные свойства и применение. *Пищевые системы*, 8(1), 66–72. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-66-72>

FOR CITATION: Nepovinnykh, N. V., Petrova, O. N. (2025). Food hydrocolloids: Classification, functional properties and applications. *Food Systems*, 8(1), 66–72. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-66-72>

связывать воду. Гидроколлоиды представляют собой структурно разнообразный класс полностью или частично растворимых полисахаридов. Белок желатин считается исключительным представителем этого полисахаридного класса благодаря своей превосходной гидрофильности и полидисперсности. Другие пищевые белки, такие как сывороточные, традиционно не классифицируются как гидроколлоиды, хотя их агрегационные свойства и гелеобразование в некоторой степени совпадают с характеристиками полисахаридов. Однако некоторые ученые, занимающиеся наукой о гидроколлоидах, также классифицируют сывороточные белки как гидроколлоиды [4–7].

Пищевые гидроколлоиды занимают важную часть повседневного рациона, входя в состав разнообразных продуктов питания, благодаря широкому спектру функционально-технологических свойств [8]. Одной из основных причин многогранного использования гидроколлоидов в пищевой индустрии является их способность изменять реологические характеристики и свойства пищевых матриц. С физиологической точки зрения потребление пищевых гидроколлоидов имеет много преимуществ для здоровья, которые включают в себя контроль веса, иммунную регуляцию, здоровую работу желудочно-кишечного тракта, профилактику сердечно-сосудистых заболеваний, а также контроль гликемии и инсулинемии при сахарном диабете II типа. Ряд исследований показал, что некоторые специфические гидроколлоиды могут регулировать состав кишечной микрофлоры, стимулируя рост полезных бактерий. Это приводит к повышению ферментативной активности и к выработке короткоцепочечных жирных кислот, которые оказывают существенное биологическое воздействие на организм [9,10].

Целью данного научного обзора является систематизация данных об основных характеристиках пищевых гидроколлоидов, их функционально-технологических свойствах, а также о возможных применениях при разработке пищевой продукции.

2. Объекты и методы

Объектами исследования являлись научные публикации, посвященные классификации, функциональным свойствам и применению пищевых гидроколлоидов в современных технологиях.

2.1. Методы поиска литературы

Систематический поиск научной литературы был проведен с использованием поисковых систем PubMed, Scopus, Web of Science и Google Scholar по ключевым фразам с включением операторов «и» и «или»: «food hydrocolloids», «biopolymers», «food structure, «encapsulation», «bioplastics», «3-D printing».

2.2. Критерии включения/исключения

Исследования были сгруппированы по тематическим областям обзора, статьи исключались на основании предварительного анализа названия и аннотации.

Критерии включения:

- 1) опубликованные научные статьи;
- 2) проиндексированный источник;
- 3) тематика статей — пищевые гидроколлоиды, биополимеры, структура пищи, инкапсуляция, биоластики, 3-D печать;
- 4) преимущественно зарубежные источники.

Критерии исключения:

- 1) статьи, опубликованные ранее 2000 г., за исключением общепризнанных;
- 2) тезисы докладов конференций.

3. Классификация гидроколлоидов

Согласно традиционной классификации, большинство гидроколлоидов классифицируются как полисахариды и группируются в соответствии с источником получения. Например, камедь карая, камедь трагаканта, камедь гхатти, гуммиарабик и некоторые другие камеди объединены в группу древесных эксудатов. Агар-агар, альгинат, каррагинан, фуцелларан, фукоидан относят к группе морских водорослей. Пектин относится к растительным полисахаридам, в то время как желатин и хитин включены в группу животных. Также существует группа синтетических камедей, например, ксантановая камедь, геллановая камедь, пуллулан и многие др. [4].

В Таблице 1 приведены наиболее широко используемые пищевые гидроколлоиды в соответствии с происхождением и химической структурой.

Помимо вышеупомянутой классификации, гидроколлоиды можно разделить на неионные камеди и анионные камеди. К неионным гидроколлоидам относятся ксантановая камедь, гуаровая камедь и камедь бобов рожкового дерева; в то время как к анионным гидроколлоидам относятся каррагинан, гуммиарабик, камедь карая, геллановая камедь и другие [11].

Гидроколлоиды существуют в природе в качестве структурных, накопительных или других функциональных компонентов тканей растений и животных, но лишь ограниченное их количество имеет коммерческое значение. Распространенные коммерческие гидроколлоиды включают крахмал, пектин, инулин, желатин, агар, ксантановую камедь, гуаровую камедь, каррагинан, альгинаты, камедь бобов

Таблица 1. Классификация гидроколлоидов

Table 1. Classification of hydrocolloids

Основа	Класс	Наименование гидроколлоида
Происхождение	Растительные	Пектин, инулин, гуммиарабик, камедь гхатти, камедь трагаканта, камедь карая, камедь семян кассии, камедь семян базилика, камедь семян мескита, камедь пажитника, камедь чикле, камедь овса, камедь ржи, камедь конжака, камедь подорожника, гуаровая камедь, камедь бобов рожкового дерева, камедь льняного семени, камедь сибирской лиственницы, крахмалы
	Животные	Хитин, хитозан, желатин
	Морские водоросли	Агар, каррагинан, альгиновая кислота, альгинат, фуцелларан, ульван, фукоидан, ксилан из красной водоросли
	Микробные	Ксантановая камедь, геллановая камедь, камедь тара, декстран, пуллулан, велановая камедь, курдлан, леван
	Синтетические	Метилцеллюлоза, метилэтилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза, гидроксипропилцеллюлоза, гидроксипропилметилцеллюлоза, микрокристаллическая целлюлоза
Структура	Глюкан	Крахмал, овсяная камедь, ячменная камедь, курдлан, велановая камедь, пуллулан, декстран
	Фруктан	Инулин, леван
	Ксилан	Красная водоросль ксилан
	Рамнан	Ульван
	Галактоманнан	Гуаровая камедь, камедь бобов рожкового дерева, камедь тары, камедь семян кассии, камедь семян базилика, камедь семян мескита, камедь пажитника
	Глюкоманнан	Камедь конжака, альгинат
	Арабиноксилан	Псиллиум, льняная камедь (содержащая другую фракцию галактозанов), ржаная камедь, пшеничная камедь
	Галактан	Агар, каррагинан, фукоидан, фуцелларан
	Арабиногалактан	Гуммиарабик
	Галактуронан	Пектин
	Гликано-рамногалактуронан	Камедь карая, камедь трагакантовая (содержащая другую арабиногалактановую фракцию)
	Гликано-глюкурономанногликан	Камедь гхатти
	Полимер глюкозамина	Хитин, хитозан
Белок	Желатин	

рожкового дерева, гуммиарабик, желатиновую камедь, производные целлюлозы и др. Выбор конкретного гидроколлоида для приготовления пищевого продукта зависит от его технических характеристик, а также от его цены и безопасности. Так, например, в качестве загустителей широко используются крахмалы из-за их низкой стоимости, обусловленной высоким годовым объемом производства. Однако более дорогой загуститель, такой как ксантановая камедь, также является популярным из-за его непревзойденных реологических свойств. Менее дорогими гидроколлоидами являются эксудаты растительной камеди и мука из различных семян. Многие растительные эксудаты хорошо изучены, однако в пищевой промышленности используются только гуммиарабик, камедь бобов рожкового дерева, камедь гхатти, камедь карая и камедь трагаканта. Причина в выборе данных гидроколлоидов также кроется в их доступности и безопасности. Многие эксудаты не имеют статуса GRAS, который свидетельствует о доказанной безопасности вещества в рамках его применения. Более дорогими гидроколлоидами являются экстракты морских водорослей, поскольку их сбор и сушка требуют больших затрат. Самыми дорогими являются синтетические гидроколлоиды, если они производятся с использованием дорогостоящих материалов и сложных технологий [4].

Для каждого гидроколлоида существует несколько видов сырья, из которых можно получить разные варианты. Например, агар можно получить из разных видов морских водорослей, таких как грацилярия или гелидиум. Агар из грацилярии в основном используется в пищевой промышленности, а агар из гелидиума — в бактериологии. Кроме того, внутри видов грацилярии и гелидиума выделяют подвиды, которые служат источником различных видов агара. То же самое относится к двум другим гидроколлоидам, получаемым из водорослей, альгинатам и каррагинану. В зависимости от того, в какой воде выращивались водоросли, в теплой или холодной, гидроколлоид по функционально-технологическим свойствам получается разным. В случае с альгинатом даже часть самой водоросли имеет большое значение. Альгинат, выделяемый из листьев морских водорослей, отличается от альгината, получаемого из стеблей тех же морских водорослей. Первый является в большей степени загустителем, а второй — лучшим желеобразующим агентом [3].

Ксантановая камедь — еще один пример гидроколлоида со множеством вариаций, традиционно получаемый путем бактериальной ферментации углеводов на основе кукурузы. Чтобы избежать контаминации ксантановой камеди, связанной с использованием ГМО-кукурузы, некоторые производители используют крахмал на основе пшеницы. Для получения различных свойств использовались даже вариации от партии к партии и отбор партий. В зависимости от температуры растворения и ионной силы растворы ксантановой камеди имеют высокую вязкость и могут принимать форму спирали или «катушки». Благодаря этим интересным свойствам ксантановая камедь используется во многих отраслях промышленности как загуститель, а также в качестве диспергирующего и стабилизирующего агента. На вязкость раствора может влиять добавление соли, которая способна увеличивать или уменьшать межмолекулярные электростатические взаимодействия [12].

Пектин бывает либо цитрусовым, либо яблочным, и каждый из них обладает разными свойствами, но его также можно производить из другого сырья, в том числе из тыквы, сахарной свеклы и семян подсолнечника. Пектин, полученный из семян подсолнечника и свеклы, чаще используется в качестве эмульгаторов, а не желеобразующих и стабилизирующих агентов. Цитрусовый пектин получают из трех основных цитрусовых культур: лимона, лайма и апельсина. Можно использовать и другие цитрусовые, например, мандарины и грейпфруты, но сырьевые объемы слишком малы для производителей пектина. При изготовлении различных цитрусовых пектинов большинство производителей не указывают конкретное цитрусовое сырье. Смешивание возможно либо на стадии подготовки сырья (например, совместная обработка цедры лимона, лайма и апельсина), либо после экстракции пектина из каждого вида цитрусовых отдельно [13].

В последнее время различные виды сырья и технологии постоянно исследуются на предмет извлечения пектина [14–24]. В настоящее время компания из Нидерландов проводит исследование по переработке кофейных отходов. В случае успеха эффективная переработка кофейных отходов позволит снизить себестоимость полученного из них пектина, повысив его конкурентоспособность на рынке [25].

4. Свойства гидроколлоидов

4.1. Роль гидроколлоидов в формировании структуры пищи

Гидроколлоиды используются в пищевой промышленности в зависимости от их реологических свойств. Реологические свойства — это механические характеристики, вызывающие деформацию

и текучесть материала под напряжением. Они включают два основных параметра пищевых систем: текучесть (вязкость) и механическую твердость (текстуру). Вязкость представляет собой внутреннее трение жидкости или ее тенденцию сопротивляться течению. В коллоидных суспензиях вязкость повышается за счет загущения жидкой фазы, обусловленного поглощением жидкости и возникающего в результате набухания диспергированного коллоида. Вязкость гидроколлоидной системы зависит от нескольких факторов: концентрации, температуры, степени сольватации, электрического заряда, степени дисперсности, термической и механической обработки, наличия других лиофильных коллоидов, а также электролитов и неэлектролитов. Структура — это многопараметрическое свойство, сочетающее в себе сенсорные показатели, которые определяют вкусовые качества пищи. Профили структуры пищевых продуктов включают прочность, разжевываемость, клейкость, адгезивность, когезионность, упругость и хрупкость. Структура напрямую влияет на восприятие продукта потребителями: изменения текстуры во время жевания формируют ключевые сенсорные впечатления, определяющие удовольствие от еды [26].

Все виды обработанных пищевых продуктов можно изменить по структуре путем использования разнообразных гидроколлоидов и их комбинаций, обладающих различными функционально-технологическими свойствами [4].

4.2. Загущающие свойства

Способность гидроколлоидов повышать вязкость (загущающее свойство) является ключевой для их применения в качестве эмульгирующих, стабилизирующих и вспомогательных веществ в пищевых продуктах. Загущающий эффект происходит при превышении критической концентрации (C^*), ниже которой гидроколлоидная дисперсия ведет себя как ньютоновская жидкость, но при превышении этой концентрации проявляет неньютоновское поведение [4]. Крахмал является наиболее часто используемым гидроколлоидным загустителем благодаря его доступности, относительной дешевизне, отсутствию посторонних вкуса и запаха и возможности использования в сравнительно низких концентрациях 2–5%. Широко применяемыми загустителями также являются галактоманнаны, ксантановая камедь, альгинат натрия и другие [27].

4.3. Гелеобразующие свойства

В то время как гидроколлоиды в основном используются для загущения пищевых продуктов, отдельные из них также обладают способностью формировать гели. Гель (промежуточное состояние гирации между твердым веществом и золем) имеет непрерывную трехмерную структуру, в которой твердая матрица окружает тонко отделенную жидкую фазу и иммобилизует жидкость внутри нее, образуя прочную структуру, устойчивую к текучести. Другими словами, гель представляет собой коллоидную дисперсию, где твердая матрица является непрерывной фазой, а жидкость — прерывистой. С точки зрения реологии гель представляет собой вязкоупругую систему с модулем упругости (G'), большим, чем модуль вязкости (G''). К гелеобразующим гидроколлоидам относятся агар, альгинат, каррагинан, пектин, желатин, желлан, фурилларан, модифицированный крахмал, метилцеллюлоза и др. В зависимости от природы гелеобразователя текстура геля может сильно различаться, от эластичного до хрупкого [4,27]. Структура такого геля легко подвергается деформации и вызывает синерезис. В практическом производстве, чтобы избежать этого явления, вместе с камедями, образующими хрупкие гели, используются другие гидроколлоиды, которые создают синергетический эффект. Например, в нашей исследовательской работе по созданию безжелатиновых маршмеллоу [28] был экспериментально показан синергетический эффект от совместного использования ксантановой камеди и галактоманнанов. В отдельности эти гидроколлоиды являются превосходными загустителями, а при совместном использовании образуют термостабильный, эластичный и прочный гель [4].

4.4. Эмульгирующие свойства

При составлении эмульсионных систем обычно проводят различие между эмульгатором и стабилизатором. Эмульгатор представляет собой отдельный химический компонент (или смесь компонентов), который способствует образованию эмульсии и поддерживает эту однородную систему за счет снижения межфазного натяжения между двумя фазами. Стабилизатор — это химический компонент или смесь компонентов, которые могут придавать эмульсии долговременную стабильность. Традиционная точка зрения заключается в том, что эмульгаторы обладают гибкими молекулярными структурами, которые обеспечивают быструю адсорбцию и перестройку на границе раздела фаз, образуя когерентный макромолекулярный

защитный слой. Это означает, что гидроколлоиды не считаются классическими эмульгаторами, но относятся к стабилизаторам из-за их гидрофильности, высокой молекулярной массы и способности к гелеобразованию. Тем не менее некоторые гидроколлоиды (желатин, гуммиарабик, химически модифицированные производные крахмала и целлюлозы, галактоманнаны, ацелированный пектин из сахарной свеклы, деполимеризованный цитрусовый пектин) хорошо известны своей способностью адсорбироваться на границе раздела фаз «масло–вода» и стабилизировать эмульсии. Они замедляют осаждение дисперсных твердых частиц и слияние капель масла, снижают скорость образования масляных пленок и пены, а также предотвращают синергизис гелевых систем, содержащих масло, и агрегацию дисперсных частиц [4,29].

Некоторые пищевые гидроколлоиды обеспечивают функциональность на границе раздела фаз в эмульсиях не столько за счет адсорбции непосредственно на границе раздела «масло–вода» во время эмульгирования, сколько за счет ассоциативного взаимодействия после образования эмульсии со стабилизирующим белковым слоем. Частичное разворачивание глобулярных белков может сделать их более восприимчивыми к комплексообразованию с гидроколлоидами в адсорбированном состоянии, чем в водном растворе при том же pH и ионной силе. Обработка эмульсии, стабилизированной белком, при повышенном давлении или температуре вызывает изменения в структуре глобулярного белка. Это, в свою очередь, влияет на его взаимодействие с гидроколлоидами на поверхности капель, что существенно сказывается на стабильности и реологии системы. Таким образом, эффективным эмульгатором является такой, который (I) быстро снижает межфазное натяжение на свежобразованной границе раздела «масло–вода», (II) прочно связывается с поверхностью раздела после адсорбции и (III) защищает вновь образованные капли от флокуляции или коалесценции [30].

5. Современные технологии в использовании гидроколлоидов

5.1. Гидроколлоиды в качестве заменителей жира

Жиры содержатся в большинстве продуктов питания, придавая им желаемый вкус, текстуру и внешний вид. Установлена взаимосвязь между избыточным потреблением жиров и рисками для здоровья, что стимулирует пищевую промышленность к созданию продуктов с пониженным содержанием жира. Продукты на основе эмульсий имеют относительно высокое содержание жира и калорий, поэтому особое внимание уделяется разработке эффективных технологических стратегий по снижению содержания жира. Тем не менее снижение содержания жира в традиционных продуктах питания ухудшает их сенсорные свойства. Следовательно, перед технологами ставится важная задача, направленная на разработку продуктов с пониженным содержанием жира, которые будут обладать вкусовыми качествами, схожими с их аналогами с высоким содержанием жира. В этой связи одним из эффективных методов является использование заменителей и аналогов жира при производстве продуктов питания [31,32].

Заменители жира на основе гидроколлоидов включают инулин, пектин, бета-глюкан ячменя, гуаровую камедь, камедь бамии, трагакантовую камедь, ксантановую камедь, каппа-каррагинан, альгинат натрия, курдлан, камедь бобов рожкового дерева и т. д. Помимо того, что некоторые гидроколлоиды являются заменителями жира, их особое достоинство заключается в том, что после гелеобразования наполненные частицы эмульсионного геля повышают общую интенсивность вкуса эмульсий с пониженным содержанием жира за счет увеличения диффузии и времени включения неполярных молекул аромата в эмульсионной системе [33].

5.2. Инкапсуляция

Инкапсуляция — это процесс, при котором активные ингредиенты или другие основные материалы помещаются в оболочку для защиты и/или последующего высвобождения. В качестве оболочки для инкапсуляции используются гидроколлоиды, поскольку они съедобны, биоразлагаемы и способны образовывать барьер между основным веществом и окружающей средой. Системы гидроколлоидной инкапсуляции включают инкапсуляцию с помощью альгината и крахмала, инкапсуляцию с помощью частиц геля сывороточного протеина и инкапсуляцию с помощью желатиновых микросфер, покрытых альгинатом. К методам инкапсуляции относятся распылительная сушка, термическое гелеобразование, ионное гелеобразование, коацервация, межфазная эмульсионная полимеризация, экструзионное покрытие, покрытие в псевдооживленном слое, липосомальная инкапсуляция, лиофилизация, сокрсталлизация и комплексообразование с включениями [34].

Инкапсуляция способствует предотвращению испарения и разрушению летучих активных веществ, таких как ароматизаторы и эфирные масла. В случае инкапсуляции ароматизаторов для этой цели обычно используется коацервация белково-гидроколлоидного комплекса. Белки с противоположными зарядами и некоторые гидроколлоиды смешиваются при pH ниже изоэлектрической точки белка, образуя комплекс (т. е. коацерват), который осаждает ароматизирующий материал в фазе коацервата. Изменение pH является ключевым фактором в данном процессе [35].

Другими возможными преимуществами инкапсуляции в пищевой промышленности могут быть контролируемое высвобождение, маскировка неприятного вкуса и неподвижность клеток или ферментов при обработке пищевых продуктов. Однако применение инкапсуляции сопряжено с рядом недостатков: дополнительные затраты, повышенная сложность технологических процессов и логистики, необходимость информирования потребителей о содержании инкапсулятов в пищевых продуктах, а также нестабильность инкапсулятов при хранении и производстве [36].

5.3. Биопластики для упаковки пищевых продуктов

Традиционные пластмассы не поддаются разложению. В связи с возросшим интересом общества к проблемам экологии, исследования все чаще направлены на поиск биопластиков и разработку биоразлагаемой пищевой упаковки с использованием гидроколлоидов [37].

Крахмал — это легкодоступный и легко разлагаемый гидроколлоид, который является важным компонентом биопластика. Для использования крахмала в пищевой упаковке необходима достаточная влажность или пластификаторы, такие как глицерин и сорбит. Эти пластифицированные крахмалы, являющиеся альтернативой полистиролу, называются термопластичными крахмалами, которые успешно применяются на промышленном уровне для экструзии, выдувания пленки, литья под давлением и выдувного формования. Например, известная британская транснациональная розничная компания Marks & Spencer Group PLC использовала лотки из кукурузного крахмала для молочного шоколада, а супермаркеты Iper (Италия) применяли кукурузный крахмал для упаковки помидоров. Целлюлоза — это еще один биоразлагаемый гидроколлоид, который может образовывать целлофановую пленку при растворении в смеси гидроксида натрия и сероуглерода, а затем преобразовываться в серную кислоту. Ряд производных целлюлозы обладают превосходными пленкообразующими свойствами, из которых ацетат целлюлозы чаще всего используется для упаковки пищевых продуктов. Кроме того, существует несколько примеров подхода к производству биопластиков с использованием гидроколлоидных композиций, таких как крахмал/целлюлоза, хитозан/желатин, хитозан/пектин, пектин/желатин, желатин/альгинат натрия, желатин/коньяк глюкоманнан и др. [38].

Гидрофильность гидроколлоидных биопластиков обуславливает низкую пароизоляцию упаковочных пленок на их основе, что снижает стабильность при хранении и ухудшает механические свойства (вследствие чувствительности к влаге). Однако, если они используются в форме геля, они могут замедлить потерю влаги при кратковременном хранении [39].

5.4. Аддитивные технологии

Аддитивное производство в форме 3D-печати в настоящее время предлагает альтернативные способы производства продуктов питания. С помощью 3D-печати можно создавать четко очерченные формы или новые структуры продуктов питания, нанося съедобные материалы послойно. Например, можно размещать отдельные компоненты рецепта в определенных местах объекта печати, и таким образом создавать новые вкусовые ощущения. Известные методы, используемые для печати продуктов питания, — это экструзия, селективное спекание, струйная печать связующим веществом и струйная печать чернилами [40].

Применение аддитивной технологии в пищевой промышленности за последние десятилетия стало очень распространенным вследствие некоторых предполагаемых преимуществ: улучшения внешнего вида изделия, пищевой ценности, вкусовых ощущений и других потребительских особенностей. Например, одним из наиболее актуальных применений остается производство персонализированных блюд, напечатанных на 3D-принтере, для людей с нарушениями жевания и глотания (например, для страдающих дисфагией, при которой каждый прием пищи может быть сопряжен с риском поперхнуться и задохнуться из-за проблем с координацией глотания или ввиду механической обструкции). Обзор последних научных публикаций показал, что 3D-печать с использованием гидроколлоидов широко используется при производстве шоколада, печенья, фруктово-овощных изделий, молочных и мясных продуктов и многих других [41–46].

Текстуру продуктов питания можно изменять на трех этапах 3D-печати методом экструзии: (I) при подготовке материала для печати (рецептура), (II) при создании дизайна путем изменения внутренних структур модели и (III) на этапах постобработки, таких как хранение или приготовление. При изменении текстуры на этапе приготовления рецептуры хорошо известно, что материал для печати должен быть текучим, чтобы его можно было экструдировать через сопло принтера, а также сохранять форму при нанесении. Распространенной практикой является добавление пищевых гидроколлоидов, улучшающих текучесть, для повышения качества печати, таких как желатиновая камедь, камедь рожкового дерева, пектин, каррагинан и ксантановая камедь [47].

Как показывают новейшие технологические разработки, аддитивное производство набирает обороты по всему миру, однако препятствующим фактором для внедрения 3D-печати в качестве промышленного пищевого процесса является низкая скорость процесса, зачастую требующего нескольких часов для создания крупных форм продуктов. Для того, чтобы 3D-печать могла работать в промышленных условиях, принтеры должны стать более скоростными и достаточно дешевыми [40].

5.5. Питательные свойства гидроколлоидов

Среди населения планеты наблюдается рост хронических заболеваний, таких как сердечно-сосудистые заболевания, сахарный диабет, онкологические заболевания, что связано с чрезмерным потреблением продуктов с высоким содержанием жира и калорий. Осознание того, что именно гидроколлоиды ответственны за благотворное влияние диеты с высоким содержанием клетчатки на частоту артериальных заболеваний, привлекло внимание к исследованию их пищевой ценности [9].

Многие гидроколлоиды обладают питательными свойствами и физиологическим действием. К ним относятся β-глюкан злаков, пектин, инулин, гуммиарабик, псилиум, устойчивые крахмалы, леван, гуаровая камедь, хитозан, каррагинан и другие (Таблица 2).

Растительные полисахариды обладают различной противомикробной активностью в зависимости от структурных особенностей, таких как состав моносахаридов, молекулярная масса, степень разветвленности, химические модификации и методы экстракции. Взаимодействие между полисахаридами и бактериями происходит

посредством электростатической адсорбции, гидрофильного и гидрофобного действия или рецепторов сахара. Растительные полисахариды действуют как антибактериальное средство: они подавляют проникновение патогенных бактерий в клетки-хозяева, повышают проницаемость клеточных мембран или блокируют трансмембранный перенос питательных веществ или веществ, вырабатывающих энергию [58].

Растительные полисахариды, обладающие иммуностимулирующей активностью, могут использоваться в профилактических или терапевтических целях. Иммуностимулирующие полисахариды — это соединения, способные взаимодействовать с иммунной системой и усиливать специфические механизмы реакции организма. Иммуностимулирующая активность растительных полисахаридов тесно связана со структурой полисахарида. Согласно предыдущим исследованиям, полисахариды, такие как глюкозы, фруктаны, маннаны, ксиланы, арабиногалактаны, фукоиданы, пектиновые полисахариды, галактаны и гиалуронан, обладают иммуностимулирующей активностью. За эту активность отвечают такие структурные особенности, как конформация, функциональные группы, моносахариды, молекулярная масса, состав гликозидных связей и характеристики разветвления [59].

6. Перспективы для будущих исследований

В настоящее время разработка новых продуктов питания за счет использования новых синергетических комбинаций гидроколлоидов и/или использования менее изученных природных гидроколлоидов является актуальным направлением развития гидроколлоидной отрасли [6]. При этом нередко специалисты по пищевой промышленности сталкиваются с проблемой изменения рецептуры пищевых продуктов. Цели могут быть разными: улучшение вкуса, структуры или внешнего вида продукта; создание более здоровых аналогов с увеличенным сроком хранения; снижение себестоимости за счет использования менее дорогих ингредиентов или повышение эффективности производства через внедрение новых технологий обработки.

В Таблице 3 приведены альтернативы, наиболее изученные комбинации пищевых гидроколлоидов, способствующие синергетическому эффекту, а также комбинации, которые еще предстоит изучить.

Таблица 2. Польза пищевых гидроколлоидов для здоровья человека

Table 2. Benefits of food hydrocolloids for human health

Наименование гидроколлоида	Влияние на здоровье	Библиографическая ссылка
Альгинат, гидроксипропилцеллюлоза, каррагинан, ксантановая камедь	Регулирование аппетита и чувства сытости	[48,49]
Инулин	Антидиабетическая активность	[50]
Хитин, хитозан	Аллергические реакции, вызванные арахисом	[51]
Фруктан	Стимулирование ферментации в толстом кишечнике	[52]
Конжаковый маннан, инулин, целлюлоза	Модуляция острых реакций толстой кишки	[53]
Бета-глюкан овса	Гипогликемические эффекты, повышение чувства сытости после приема пищи	[54,55]
Псиллиум	Контроль гликемии, снижение уровня глюкозы в крови	[56,57]

Таблица 3. Альтернативы пищевым гидроколлоидам и синергетические эффекты

Table 3. Alternatives to food hydrocolloids and synergetic effects

Гидроколлоиды	Альтернативы	Синергисты
Агар	Желатиновая камедь / альгинат / курдлан / желатин	Неизвестно
Альгинаты (альгинат натрия)	Каррагинаны / желатин / желатиновая камедь / агар / ксантан / фурцелларан	Двухвалентный ион / пектин
Каррагинан	Желатин / желатиновая камедь / агар / альгинат / ксантановая камедь / фурцелларан	Казеин / хитозан / камедь бобов рожкового дерева
Хитозан	Пектины / ксантановая камедь / камедь бобов рожкового дерева / гуаровая камедь / крахмалы	Ксантановая камедь
Декстран	Гуммиарабик / ксантановая камедь	Неизвестно
Фурцелларан	Каппа-каррагина / желатин / желатиновая камедь / агар / альгинат / ксантановая камедь	Казеин / кальций / хитозан / камедь бобов рожкового дерева
Желатиновая камедь	Желатин / агар / альгинат / курдлан / каррагинан	Желатин / гуммиарабик
Гуммиарабик	Камедь карая / камедь гхатти / трагакантовая камедь / мальтодекстрины / метилцеллюлоза / молочные белки	Неизвестно
Гуаровая камедь	Камедь бобов рожкового дерева / камедь тары / агар / каррагинаны / декстраны / крахмалы / ксантановая камедь / желатин / альгинат	Ксантан / агар / каррагинан / анионный полимер
Микрокристаллическая целлюлоза	Продукты гидролиза крахмала / ксантановая камедь / полидекстроза	Неизвестно
Пектин	Альгинаты / каррагинаны / хитозан / ксантановая камедь / фурцелларан	Белки / поливалентные ионы

Изучая новые комбинации пищевых гидроколлоидов, исследователи должны опираться на фундаментальные концепции физической химии, науки о макромолекулах и реологии. Это позволит понять взаимосвязь свойств пищевых систем (включая дисперсии, эмульсии, пены и гели) с взаимодействиями гидроколлоидов и других пищевых ингредиентов, а также исследовать влияние гидроколлоидов на сенсорное восприятие пищи через призму трибологии и пищевого поведения.

7. Заключение

Анализ основных характеристик, функционально-технологических свойств и применения пищевых гидроколлоидов показал их широкое использование в пищевой промышленности. Гидроколлоиды применяются в качестве загустителей (соусы, дрессинги, заправки), желеирующих веществ (пудинги, десерты, желе), ингибито-

ров синерезиса (сыры, кисломолочные напитки). Они также служат осветлителями, стабилизаторами пены (пиво, коктейли, десерты), эмульгаторами, ингибиторами кристаллизации (мороженое, шербеты, замороженные фруктовые десерты). Кроме того, гидроколлоиды используются в качестве связующих веществ, покрытий и заменителей жира (мясные, молочные продукты, шоколад).

Производство и вывод на российский рынок пищевых гидроколлоидов, полученных из отечественного сырья, является стратегически значимой задачей для обеспечения продовольственной безопасности. Кроме того, в нашей стране имеется огромный потенциал растительного сырья и образующихся отходов сельскохозяйственного производства, являющихся источником для получения различных гидроколлоидов. Таким образом, развитие новых пищевых технологий в ближайшие десятилетия будет во многом определяться прогрессом в области исследований гидроколлоидов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК/ REFERENCES

- Mekhdedkin, A. A. (2021). Развитие рынка желатина и гидроколлоидов. *Управление рисками в АПК*, 4(38), 57–63. [Mekhdedkin, A. A. (2021). Development of the market of gelatin and hydrocolloids *Agricultural Risk Management*, 4(38), 57–63. (In Russian)] <https://doi.org/10.53988/24136573-2020-04-05>
- Seisun, D., Zalesny, N. (2021). Strides in food texture and hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 117, Article 106575. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106575>
- Bojorges, H., López-Rubio, A., Martínez-Abad, A., José Fabra, M. (2025). Functional and bioactive properties of the protein-polysaccharide extracts from brown algae: Exploring novel functional ingredients. *Food Hydrocolloids*, 162, Article 110967. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110967>
- Phillips, G. O., Williams, P. A. (2009). *Handbook of Hydrocolloids*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2009.
- Птичкин, И. И., Птичкина, Н. М. (2012). Пищевые полисахариды: структурные уровни и функциональность. Саратов: Типография № 6, 2012. [Ptichkin, I. I., Ptichkina N.M. (2012). Food polysaccharides: Structural levels and functionality. Saratov: Printing house № 6, 2012. (In Russian)]
- Донченко, Л. В., Сокол, Н. В., Красноселова, Е. А. (2019). Пищевая химия. Гидроколлоиды. Москва: Юрайт, 2019. [Donchenko, L. V., Sokol, N. V., Krasnoselova, E. A. (2019). Food chemistry. Hydrocolloids. Moscow: Yurayt, 2019. (In Russian)]
- Li, J.-M., Nie, S.-P. (2013). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*, 53, 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.035>
- Пак, А. М., Нелюбина, Ю. В., Новиков, В. В. (2023). Природные гидроколлоиды как биосовместимые композитные материалы для пищевой промышленности. *Успехи химии*, 92(11), Статья RCR5102. [Pak, A. M., Nelyubina Yu. V., Novikov V.V. (2023). Natural hydrocolloids as biocompatible composite materials for food applications. *Russian Chemical Reviews*, 92(11), Article RCR5102. (In Russian)] <https://doi.org/10.59761/RCR5102>
- Brownlee, I. A. (2011). The physiological roles of dietary fibre. *Food Hydrocolloids*, 25(2), 238–250. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.11.013>
- Chawla, R., Patil, G. R. (2010). Soluble dietary fiber. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(2), 178–196. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00099.x>
- Неповинных, Н. В., Нишинари, К., Еганехзад С., Куценкова, В. С., Петрова, О. Н. (2023). Применение пищевых гелей в индустрии питания. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 5–6(394), 118–124. [Nepovinnikh, N. V., Nishinari, K., Yeganehzad, S., Kutsenkova, V. S., Petrova, O. N. (2023). Application of food gels in the food industry. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 5–6(394), 118–124. (In Russian)] <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.5-6.19>
- García-Ochoa, F., Santos, V. E., Casas, J. A., Gómez, E. (2000). Xanthan gum: Production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances*, 18(7), 549–579. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00050-1)
- Cui, J., Zhao, C., Feng, L., Han, Y., Du, H., Xiao, H. et al. (2021). Pectins from fruits: Relationships between extraction methods, structural characteristics, and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 110, 39–54. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.077>
- Klinchongkon, K., Khuwijtjaru, P., Adachi, S. (2017). Degradation kinetics of passion fruit pectin in subcritical water. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 81(4), 712–717. <https://doi.org/10.1080/09168451.2016.1277941>
- Muñoz-Almagro, N., Valadez-Carmona, L., Mendiola, J. A., Ibáñez, E., Villamiel, M. (2019). Structural characterisation of pectin obtained from cacao pod husk. Comparison of conventional and subcritical water extraction. *Carbohydrate Polymers*, 217, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.040>
- Colodel, C., Petkowicz, C. L. de O. (2019). Acid extraction and physicochemical characterization of pectin from cubiu (*Solanum sessiliflorum* D.) fruit peel. *Food Hydrocolloids*, 86, 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.06.013>
- Gutöhrlein, F., Drusch, S., Schalow, S. (2020). Extraction of low methoxylated pectin from pea hulls via RSM. *Food Hydrocolloids*, 102, Article 105609. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105609>
- Sabater, C., Sabater, V., Olano, A., Montilla, A., Corzo, N. (2020). Ultrasound-assisted extraction pectin from artichoke by-products. An artificial neural network approach to pectin. *Food Hydrocolloids*, 98, Article 105238. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105238>
- Ma, X., Jing, J., Wang, J., Xu, J., Hu, Z. (2020). Extraction of low methoxyl pectin from fresh sunflower heads by subcritical water extraction. *ACS Omega*, 5(25), 15095–15104. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00928>
- Мещерякова, Г. С., Нугманов, А. Х. Х., Алексанян, И. Ю., Максименко, Ю. А., Соколова, Е. В. (2021). Диспергирование арбузных корок, как вторичного сырья, в технологиях пектиносодержащих экстрактов и пленочных структур. *Новые технологии / New technologies*, 17(5), 31–42. [Meshcheryakova, G. S., Nugmanov, A. H. H., Aleksanian, I. Yu., Maksimenko, Yu. A., Sokolova, E. V. (2021). Dispersion of watermelon rinds as secondary raw materials in technologies of pectin-containing extracts and film structures. *New Technologies*, 17(5), 31–42. (In Russian)] <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-5-31-42>
- Ионин, В. А., Мальяр, Ю. Н., Зимонин, Д. В., Боровкова, В. С., Захарченко, А. В., Литовка, Ю. А. и др. (2022). Оптимизация выделения пектина из коры пихты сибирской (*Abies sibirica*), поврежденной полиграфом уссурийским (*Polygraphus proximus*). *Химия растительного сырья*, 4, 67–76. [Ionin, V. A., Malyar, Yu. N., Zimonin, D. V., Borovkova, V. S., Zaharchenko, A. V., Litovka, Yu. A. et al. (2022). Optimization of pectin extraction from the bark of siberian fir (*Abies sibirica*), corrupted by Ussuri polygraph (*Polygraphus proximus*). *Chemistry of Plant Raw Material*, 4, 67–76. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220412027>
- Хайтметова, С. Б., Тураев, А. С., Мухитдинов, Б. И., Халилова, Г. А. (2021). Выделение и физико-химические характеристики пектина из нетрадиционного природного сырья. *Химия растительного сырья*, 4, 75–82. [Khaymetova, S. B., Turayev, A. S., Muhitdinov, B. I., Khalilova, G. A. (2021). Isolation and physicochemical characterization of pectin from nonconventional natural raw materials. *Chemistry of Plant Raw Material*, 4, 75–82. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021048412>
- Dranca, F., Oroian, M. (2018). Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. *Food Research International*, 113, 327–350. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.065>
- Colodel, C., Vriesmann, L. C., Teófilo, R. F., Petkowicz, C. L. de O. (2018). Extraction of pectin from ponkan (*Citrus reticulata* Blanco cv. Ponkan) peel: Optimization and structural characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 385–391. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.048>
- Sikqria, R. (2023). Tea and coffee waste to be composted in the Netherlands as gov adopts Green Deal. Retrieved from <https://www.packaginginsights.com/news/tea-and-coffee-waste-to-be-composted-in-the-netherlands-as-gov-adopts-green-deal.html> Accessed September 20, 2024
- Nishinari, K., Peyron, M.-A., Yang, N., Gao, Z., Zhang, K., Fang, Y. et al. (2024). The role of texture in the palatability and food oral processing. *Food Hydrocolloids*, 147(Part A), Article 109095. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109095>
- Saha, D., Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 6(47), 587–597. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>
- Mardani, M., Yeganehzad, S., Ptichkina, N., Kodatsky, Yu., Kliukina, O., Nepovinnikh, N. et al. (2019). Study on foaming, rheological and thermal properties of gelatin-free marshmallow. *Food Hydrocolloids*, 93, 335–341. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.033>
- Dickinson, E. (2009). Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1473–1482. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.08.005>
- Dickinson, E. (2018). Hydrocolloids acting as emulsifying agents — How do they do it? *Food Hydrocolloids*, 78, 2–14. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.01.025>
- Cen, S., Li, S., Meng, Z. (2024) Advances of protein-based emulsion gels as fat analogues: Systematic classification, formation mechanism, and food application. *Food Research International*, 191, Article 114703. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114703>
- Sinha, S. S., Upadhyay, A., Singh, A., Mishra, S., Pandey, N. (2024). Bigels a versatile gel composite for tailored application in food industries: A review. *Food Structure*, 41, Article 100380. <https://doi.org/10.1016/j.foosr.2024>
- Patel, A. R., Nicholson, R. A., Marangoni, A. G. (2020). Applications of fat mimetics for the replacement of saturated and hydrogenated fat in food products. *Current Opinion in Food Science*, 33, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.008>
- Weng, Y., Sun, B., Jin, W., Yan, P., Chen, X., Song, H. et al. (2024). Mechanistic study on phytase stabilization using alginate encapsulation. *Food Hydrocolloids*, 151, Article 109857. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109857>
- Bu, W., McClements, D. J., Zhang, Z., Zhang, R., Jin, Z., Chen, L. (2025). Encapsulation method of probiotic embedded delivery system and its application in food. *Food Hydrocolloids*, 159, Article 110625. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110625>

36. Reque, P. M., Brandelli, A. (2021). Encapsulation of probiotics and nutraceuticals: Applications in functional food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 114, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.022>
37. Shlush, E., Davidovich-Pinhas, M. (2022). Bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 125, 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.026>
38. Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., Zia, K. M., Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1095–1107. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>
39. Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S. E., Singh, S. P. (2007). Compostability of bioplastic packaging materials: An overview. *Macromolecular Bioscience*, 7(3), 255–277. <https://doi.org/10.1002/mabi.200600168>
40. Guo, N., Leu, M. C. (2013). Additive manufacturing: Technology, applications and research needs. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 8(3), 215–243. <https://doi.org/10.1007/s11465-013-0248-8>
41. Mantihal, S., Prakash, S., Godoi, F. C., Bhandari, B. (2019). Effect of additives on thermal, rheological and tribological properties of 3D printed dark chocolate. *Food Research International*, 119, 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.056>
42. Pulatsu, E., Su, J.-W., Lin, J., Lin, M. (2020). Factors affecting 3D printing and post-processing capacity of cookie dough. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 61, Article 102316. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102316>
43. Kim, H. W., Lee, J. H., Park, S. M., Lee, M. H., Lee, I. W., Doh, H. S. et al. (2018). Effect of hydrocolloids on rheological properties and printability of vegetable inks for 3D food printing. *Journal of Food Science*, 12(83), 2923–2932. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14391>
44. Le Tohic, C., O'Sullivan, J. J., Drapala, K. P., Chartrin, V., Chan, T., Morrison, A. P. et al. (2018). Effect of 3D printing on the structure and textural properties of processed cheese. *Journal of Food Engineering*, 220, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.003>
45. Bhuiyan, Md. H. R., Yeasmen, N., Ngadi, M. (2024). Impact of hydrocolloids on 3D meat analog printing and cooking. *Food Structure*, 42, Article 100396. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2024.100396>
46. Dick, A., Bhandari, B., Dong, X., Prakash, S. (2020). Feasibility study of hydrocolloid incorporated 3D printed pork as dysphagia food. *Food Hydrocolloids*, 107, Article 105940. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105940>
47. Pematilleke, N., Kaur, M., Wai, C. T. R., Adhikari, B., Torley, P. J. (2021). Effect of the addition of hydrocolloids on beef texture: Targeted to the needs of people with dysphagia. *Food Hydrocolloids*, 113, Article 106413. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106413>
48. Jensen, M. G., Knudsen, J. C., Viereck, N., Kristensen, M., Astrup, A. (2012). Functionality of alginate based supplements for application in human appetite regulation. *Food Chemistry*, 132(2), 823–829. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.042>
49. Tárregaa, A., Martínezb, M., Vélez- Ruizb, J. F., Fiszman, S. (2014). Hydrocolloids as a tool for modulating the expected satiety of milk-based snacks. *Food Hydrocolloids*, 39, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.025>
50. Liu, J., Lu, J.-F., Kan, J., Wen, X.-Y., Jin, C.-H. (2014). Synthesis, characterization and *in vitro* anti-diabetic activity of catechin grafted inulin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 64, 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.11.028>
51. Bae, M.-J., Shin, H. S., Kim, E.-K., Kim, J., Shon D.-H. (2013). Oral administration of chitin and chitosan prevents peanut-induced anaphylaxis in a murine food allergy model. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61, 164–168. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.06.017>
52. Belobrajdic, D. P., Jenkins, C. L. D., Bushell, R., Morell, M. K., Bird, A. R. (2012). Fructan extracts from wheat stem and barley grain stimulate large bowel fermentation in rats. *Nutrition Research*, 8(32), 599–606. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2012.06.009>
53. Wu, W.-T., Yang, L.-C., Chen, H.-L. (2014). Effects of konjac glucomannan, inulin and cellulose on acute colonic responses to genotoxic azoxymethane. *Food Chemistry*, 155, 304–310. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.065>
54. Dong, J. L., Cai, F. L., Shen, R. L., Liu, Y. Q. (2011). Hypoglycaemic effects and inhibitory effect on intestinal disaccharidases of oat beta-glucan in streptozotocin-induced diabetic mice. *Food Chemistry*, 129(3), 1066–1071. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.076>
55. Pentikäinen, S., Karhunen, L., Flander, L., Katina, K., Meynier, A., Aymard, P. et al. (2014). Enrichment of biscuits and juice with oat β-glucan enhances postprandial satiety. *Appetite*, 75, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.01.002>
56. Feinglos, M. N., Gibb, R. D., Ramsey, D. L., Surwit, R. S., McRorie, J. W. (2013). Psyllium improves glycemic control in patients with type-2 diabetes mellitus. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 1(2), 156–161. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2013.02.003>
57. Moreaux, S. J. J., Nichols, J. L., Bowman, J. G. P., Hatfield, P. G. (2011). Psyllium lowers blood glucose and insulin concentrations in horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 31(4), 160–165. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2011.02.002>
58. Chen, H., Wang, Z., Tian, J., Wang, J. (2013). Structural characterization and antioxidant properties of polysaccharides from two Schisandra fruits. *European Food Research and Technology*, 237(5), 691–701. <https://doi.org/10.1007/s00217-013-2044-4>
59. Ferreira, S. S., Passos, C. P., Madureira, P., Vilanova, M., Coimbra, M. A. (2015). Structure–function relationships of immunostimulatory polysaccharides: A review. *Carbohydrate Polymers*, 132, 378–396. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.079>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Неповинных Наталия Владимировна — доктор технических наук, доцент, профессор, кафедра технологии продуктов питания, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова 410012, Саратов, проспект Петра Столыпина, здание 4, строение 3 Тел.: +7–917–209–30–94 E-mail: nnepovinykh@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2923-9202 * автор для контактов	Natalia V. Nepovinykh , Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor, Department of Food Technology, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov House 4, building 3, Peter Stolypin Ave, 410012, Saratov, Russia Тел.: +7–917–209–30–94 E-mail: nnepovinykh@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2923-9202 * corresponding author
Петрова Оксана Николаевна — кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии продуктов питания, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова 410012 г. Саратов, проспект Петра Столыпина, здание 4, строение 3 Тел.: +7–905–322–91–76 E-mail: oksanaklukina@yandex.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8700-9160	Oksana N. Petrova , Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of Food Technology, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov House 4, building 3, Peter Stolypin Ave, 410012, Saratov, Russia Тел.: +7–905–322–91–76 E-mail: oksanaklukina@yandex.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8700-9160
Критерии авторства	Contribution
Неповинных Н. В.: разработка научной гипотезы, концептуализация, написание статьи; Петрова О.Н.: концептуализация, написание статьи.	Nepovinykh N. V.: development of a scientific hypothesis, conceptualization, writing an article; Petrova O.N.: conceptualization, writing an article.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.