

Влияние способов получения резистентного крахмала на жизнедеятельность лактобактерий

Рим Алхатиб	¹	reemhalkhateeb11@gmail.com	 0009-0005-5978-5599
Надежда В. Баракова	^{1,2}	n.barakova@mail.ru	 0000-0001-7296-8609
Полина И. Гунькова	¹	polinagunkova@mail.ru	 0000-0001-9899-6288
Ангелина С. Басковцева	¹	baskovtseva.ang@ya.ru	 0000-0003-0726-4386
Светлана А. Гринвальд	¹	svetik12.ru@mail.ru	 0009-0006-3583-6803

1 Университет ИТМО, пр-т Кронверкский, 49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

2 Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), пр-т Московский, 24-26/49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 190013, Россия.

Аннотация. Исследовано влияния низко- и высокотемпературных воздействий при получении резистентного крахмала. Для проведения экспериментов из картофельного крахмала готовили крахмальную суспензию, модифицированную ферментными препаратами амилалитического действия: Дистизим БА-Т и Дистизим АГ. Обработку крахмальной суспензии для получения резистентного крахмала проводили при температуре -18°C и в среде жидкого азота при -196°C. Обработку при высоких температурах проводили при температуре 120°C в течение 15, 30, 45, 60 мин. Устойчивость резистентного крахмала определяли по количеству редуцирующих веществ, полученных после повторной обработки крахмальной суспензии ферментными препаратами на средах с низкими и высокими значениями pH, оценивали по росту лактобактерий. В результате было установлено, что наибольшей устойчивостью обладает резистентный крахмал, полученный после автоклавирования крахмальной суспензии при 120°C в течение 15 мин. На питательной среде с добавлением данного образца наблюдался наибольший рост микроорганизмов, в 2 раза выше, чем на питательной среде без добавления крахмальной суспензии. Важно учитывать полученный вывод в случаях, когда необходимо включать резистентный крахмал в рецептуры функциональных продуктов питания. Особенно это актуально для приготовления ферментированных продуктов на основе зерна или сока, где редуцирующие вещества играют важную роль на стадиях приготовления. В то же время, резистентный крахмал может использоваться в качестве пребиотика, обеспечивая питательную среду для микрофлоры кишечника. Таким образом, результаты исследования могут быть применены для разработки новых и улучшения существующих функциональных продуктов питания с учетом их пищевой ценности и влияния на микробиоту кишечника

Ключевые слова: модификация крахмала, резистентный крахмал, низкотемпературная обработка, высокотемпературная обработка, обработка ферментными препаратами, «искусственный желудок», «искусственный кишечник», молочнокислые бактерии.

The effect of resistant starch production methods on the activity of lactobacilli

Reem Alkhateeb	¹	reemhalkhateeb11@gmail.com	 0009-0005-5978-5599
Nadezhda V. Barakova	^{1,2}	n.barakova@mail.ru	 0000-0001-7296-8609
Polina I. Gunkova	¹	polinagunkova@mail.ru	 0000-0001-9899-6288
Angelina S. Baskovtceva	¹	baskovtseva.ang@ya.ru	 0000-0003-0726-4386
Svetlana A. Grinvald	¹	svetik12.ru@mail.ru	 0009-0006-3583-6803

1 ITMO University, Kronverksky Av., 49, bld. A, St. Petersburg, 197101, Russia

2 Saint-Petersburg State Institute of Technology, Moskovsky Av., 24-26/49, bld. A, St. Petersburg, 190013, Russia

Abstract. The influence of low- and high-temperature treatments on the production of resistant starch was investigated. For the experiments, a starch suspension, modified with amylolytic enzyme preparations: Distizym BA-T and Distizym AG, was prepared from potato starch. Treatment of the starch suspension to obtain resistant starch was conducted at -18°C and in liquid nitrogen at -196°C. High-temperature treatment was carried out at 120°C for 15, 30, 45, and 60 minutes. The resistance of resistant starch was determined by the amount of reducing substances obtained after repeated treatment of the starch suspension with enzyme preparations at low and high pH values, assessed by the growth of lactobacilli. As a result, it was found that the greatest stability was exhibited by resistant starch obtained after autoclaving the starch suspension at 120°C for 15 minutes. On the nutrient medium supplemented with this sample, the highest growth of microorganisms was observed, which was 2 times higher than on the nutrient medium without the addition of starch suspension. It is important to consider this finding when including resistant starch in the formulations of functional food products. This is especially true for the preparation of fermented products based on grain or juice, where reducing substances play an important role in the preparation stages. Additionally, resistant starch can serve as a prebiotic, providing a nutrient-rich environment for intestinal microflora. Thus, the results of the study can be used to develop new and improve existing functional food products, taking into account their nutritional value and effect on the intestinal microbiota.

Keywords: starch modification, resistant starch, low-temperature treatment, high-temperature treatment, treatment with enzyme preparations, “artificial stomach”, “artificial intestine”, lactic acid bacteria.

Для цитирования

Алхатиб Р., Баракова Н.В., Гунькова П.И., Басковцева А.С., Гринвальд С.А. Влияние способов получения резистентного крахмала на жизнедеятельность лактобактерий // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 99–106. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-99-106

For citation

Alkhateeb R., Barakova N.V., Gunkova P.I., Baskovtceva A.S., Grinvald S.A. The effect of resistant starch production methods on the activity of lactobacilli. Vestnik VGUI [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 99–106. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-99-106106

Введение

Лактобактерии относятся к основным представителям микрофлоры кишечника человека и обладают способностью регулировать его микробную экологию [1]. Питательными веществами для лактобактерий в толстом кишечнике являются неперевариваемые углеводы – некрахмалистые полисахариды или, как их называют, пребиотики.

Одним из распространенных пищевых источников неперевариваемых углеводов является резистентный крахмал, который столь же важен, как и некрахмалистые полисахариды, для укрепления здоровья толстой кишки, профилактики воспалительных заболеваний кишечника и колоректального рака [2]. При этом резистентный крахмал оказывает меньшее влияние на метаболизм липидов и глюкозы, обладая низким гликемическим индексом. Это способствует поддержанию стабильного уровня сахара в крови и может помочь предотвратить развитие диабета и улучшить контроль над ним у тех, кто уже страдает этим заболеванием. Кроме того, потребление резистентного крахмала способствует снижению уровня холестерина в крови, что помогает предотвратить развитие сердечно-сосудистых заболеваний [3].

Резистентный крахмал – это форма крахмала, которая не гидролизуетс до D-глюкозы в тонком кишечнике в течение 120 минут после употребления, а ферментируется в толстой кишке. Крахмал состоит из 2 основных структурных компонентов: амилозы, которая, по существу, представляет собой линейный полимер, в котором остатки глюкозы связаны с -D-(1–4), что обычно составляет от 15 до 20% крахмала, и амилопектина, который представляет собой более крупную разветвленную молекулу с -D-(1–4) и -D-(1–6) связями и является основным компонентом крахмала [4]. Многие исследования показали, что резистентный крахмал представляет собой линейную молекулу α-1,4-D-глюкана, полученную из ретроградизированной фракции амилозы, и имеет относительно низкую молекулярную массу ($1,2 \times 10^5$ Да) [5].

Существует несколько типов резистентного крахмала [6]:

- Тип 1 (RS1): физически защищенный крахмал, например крахмал в зерновых оболочках или внутри клеточных структур.

- Тип 2 (RS2): крахмал, обладающий особыми кристаллическими структурами, которые затрудняют доступ пищеварительных ферментов к глюкозным молекулам, например, крахмал зеленых бананов или сырого картофеля.

- Тип 3 (RS3): ретроградный крахмал, образованный в результате охлаждения или замораживания некоторых продуктов, таких как картофель или рис. Этот тип резистентного крахмала образуется в результате реорганизации амилопластов под воздействием холода.

- Тип 4 (RS4): модифицированные формы крахмала (набухающий, этерифицированный, поперечно-связанный), полученные путем химического сшивания крахмала со сложными эфирами и эфирными группами.

- Тип 5 (RS5): некоторые исследователи выделяют также пятый тип резистентного крахмала [7]. Он представляет собой крахмал-липидные комплексы (амилоид-стеариновая кислота), нерастворимые в воде и обладающие свойствами термостабильности, что затрудняет их соединение с амилазой.

Поскольку резистентный крахмал содержится в различных природных источниках, он может быть легко включен в сбалансированную диету. Суточное потребление резистентного крахмала должно составлять 20 г, но количество поступающего крахмала с пищей обычно недостаточно, поэтому необходимо дополнительно включать его в рацион питания [8].

В большом количестве резистентный крахмал содержится в следующих продуктах: бобовые (бобы, горох и чечевица); овес; зеленые бананы; сваренный и охлажденный картофель; кукурузная мука Hi-Maize (до 50% этой муки составляет волокно, большая часть которого – резистентный крахмал). При варке и последующем охлаждении крахмал, содержащийся в таких продуктах как картофель, рис и макароны, подвергается ретроградации, что приводит к более высокому содержанию резистентного крахмала. Поэтому количество резистентного крахмала в картофеле, рисе и других продуктах зависит также от способов приготовления и обработки [9].

Таким образом, получить резистентный крахмал 1–2 типа возможно напрямую из растительных источников. Такие продукты как цельные зерна и бобовые, содержат крахмал внутри клеточных структур. Механическая обработка, такая как дробление или измельчение, может способствовать его освобождению. Резистентный крахмал 3 типа получают физическими методами. Эти методы включают изменение структуры крахмала путем механической или термической обработки без использования химических веществ. В пищевой промышленности используются такие приемы, как тепловое увлажнение, многократное замораживание-оттаивание, автоклавирование и нагрев в микроволновой печи [10].

Резистентный крахмал 4 типа в природе не встречается, но его можно получить с помощью ферментативной и химической модификации. Процесс модификации крахмала включает различные технологические методы, направленные на изменение его структуры. В этих модификациях вводятся объемные функциональные группы, например, гидроксипропильные, ацетильные и октенильные группы янтарного ангидрида, или связи между цепями амилозы, например, через фосфатные фрагменты. Химические модификации препятствуют перевариванию крахмала, закрывая доступ ферментам и образованию атипичных связей [11].

Проведено достаточное количество исследований о влиянии резистентного крахмала на лактобактерии кишечника и микробиом в целом. Активность роста и метаболизма молочнокислых бактерий, состоящих из множества штаммов родов *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*, обычно используется в качестве одного из маркеров для оценки пребиотиков, поскольку они отвечают за ферментацию углеводов [12]. Учеными было выявлено, что пищевые источники резистентного крахмала 2 типа могут эффективно снижать pH просвета толстого кишечника у свиней, что может быть полезно для подавления

роста условно-патогенных микроорганизмов. Более того, полученные данные подтвердили, что бактерии, продуцирующие молочную кислоту, такие как лактобациллы и бифидобактерии, могут стимулироваться повышением уровня резистентного крахмала в рационе [13, 14]. К аналогичным результатам пришли другие исследователи, проводившие эксперименты с крысами [15] и цыплятами-бройлерами [16]. Резистентный крахмал не только функционирует подобно нерастворимым пищевым волокнам с точки зрения увеличения объема содержимого слепой кишки, но также служит водорастворимым пищевым волокном и, следовательно, ферментационным субстратом для кишечных бактерий [17].

Цель работы – исследовать влияние способов получения резистентного крахмала на жизнедеятельность лактобактерий.

Материалы и методы

Объектами исследования являются: картофельный крахмал (ГОСТ Р 53876–2010), ООО «ПЕЦ-ХААС», г. Москва, Россия; жидкий азот, компания «Газ-трейд», г. Санкт-Петербург, Россия; ферментные препараты Дистицим БА-Т и Дистицим АГ фирмы «Erbslöh Geisenheim», Германия.

Таблица 1.

Характеристика ферментных препаратов

Table 1.

Characteristics of enzyme preparation

Ферментный препарат (производитель ферментов) Enzyme preparation (enzyme producer)	Основной фермент Main enzyme	Активность, ед./мл Activity, units/mL	Действие Action	t, °C	pH
Дистицим БА-Т (<i>Bacillus licheniformis</i>)	альфа-амилаза alpha-amylase	1600	разжижение liquefaction	30–110	5,5–8,0
Дистицим АГ, (<i>Aspergillus niger</i>)	глюкоамилаза glucoamylase	6500	осахаривание saccharification	30–70	4,0–6,2

Режим получения крахмальной суспензии и ферментативной обработки резистентного крахмала.

Для получения крахмальной суспензии картофельный крахмал смешивали с водой в соотношении 1:3 (гидромодуль) и добавляли ферментный препарат Дистицим БА-Т (доза внесения – 1,5 ед. АС на 1 г крахмала). Суспензию нагревали до температуры 50 °C и выдерживали при этой температуре в течение 30 мин при постоянном перемешивании. Затем суспензию нагревали, увеличивая температуру до 80 °C, и оставляли на выдержку при этой температуре в течение двух часов. Затем суспензию охлаждали до 60 °C, вносили ферментный препарат Дистицим АГ (доза внесения – 0,7 ед. АС на 1 г крахмала) и выдерживали при этой температуре в течение 30 мин. Затем нагрев увеличивали до 90 °C и выдерживали 1 мин.

Приготовление крахмальной суспензии и ее ферментативную обработку проводили на водяной бане LabTex, Россия. Низкотемпературную обработку крахмальной суспензии проводили в морозильной камере при температуре -18 °C и в среде жидкого азота при -196 °C. После замораживания крахмальные суспензии хранили при температуре -18 °C в течение 14 дней.

Обработку крахмальной суспензии при высоких температурах проводили в автоклаве Tuttnauer 2840EL-D (Израиль) при температуре 120 °C в течение 15, 30, 45, 60 мин.

Для оценки свойств модифицированного крахмала под действием высоких и низких температур крахмальные суспензии повторно обрабатывали ферментными препаратами амила-литического действия. Использовали Дистицим БА-Т (доза внесения – 1,5 ед. АС на 1 г крахмала)

и Дистицим АГ (доза внесения – 0,7 ед. АС на 1 г крахмала) и определяли количество редуцирующих сахаров.

Определение стойкость резистентного крахмала к низким и высоким рН проводили в среде «искусственный желудок» и «искусственный кишечник». Основу «искусственный желудок» готовили путем смешивания 0,02 г. NaCl, 0,07 мл 37%-ной HCl, 9 см³ бидистиллированной воды и 5 мл приготовленной патоки. Конечные значения рН доводили до $1,2 \pm 0,1$. Перед использованием добавляли пепсин (0,032 г.) и доводили объем основы до 1000 мл бидистиллированной водой. Потом инкубировали на водяной бане при 37 °С при постоянном встряхивании перемешивании со скоростью 120 об/мин в течение 90 мин.

Основу «искусственный кишечник» готовили путем смешивания 6,8 г KН₂ РO₄, которые растворяли в 650 дм³ бидистиллированной воды с 190 см³ 0,2 н NaOH. Конечные значения рН модельного кишечного сока доводили до $7,2 \pm 0,1$. Образцы инкубировали на водяной бане при постоянном встряхивании в течение 120 мин. Перед использованием добавляли пепсин (3,2 г) и доводили объем основы до 1000 мл бидистиллированной водой.

Массовую долю редуцирующих веществ определяли по ГОСТ 33917–2016. Патока крахмальная. Общие технические условия [18] методом Лейна-Эйнона (для всех видов патоки). Сущность метода заключается в сравнении восстанавливающей способности раствора патоки с восстанавливающей способностью глюкозы по смеси растворов Фелинга в присутствии индикатора метиленового синего.

Массовую долю редуцирующих веществ ($m_{рв}$, %) в пересчете на сухое вещество патоки вычисляли по формуле:

$$m_{рв} = \frac{\varphi \cdot m_{г\lambda} \cdot 100}{m_{н} \cdot m_{св} \cdot V} \cdot 100 \quad (1)$$

где φ – фактор растворов Фелинга, см³; $m_{г\lambda}$ – масса навески кристаллической глюкозы, г; 100 – коэффициент пересчета массовой доли редуцирующих веществ на 100 г сухого вещества патоки, см³; $m_{н}$ – масса навески патоки, взятой для анализа, г; $m_{св}$ – массовая доля сухого вещества патоки, %; V – объем раствора анализируемой патоки, затраченный на титрование, см³; 100 – коэффициент пересчета на сухое вещество патоки, %.

Метод определения КОЕ. Непосредственный подсчет клеток на микроскопе проводился

по методу Виноградского-Брида [19]. Преимущество этого метода, заключается в возможности подсчитывать клетки микроорганизмов малых размеров, так как подсчет проводят с использованием иммерсионного объектива.

Препарат готовили следующим образом: хорошо обезжиренное предметное стекло помещали на миллиметровую бумагу, на которой отмечали квадрат площадью 4 см² и обводили его стеклоглафом или тушью. Брели 1 см³ среды и вносили в пробирку с 9 см³ физиологического раствора ($n = 10$). Затем на предметное стекло наносили из пробирки объем 0,02 см³. Тщательно распределяли суспензию бактериологической петлей по всей площади квадрата, отмеченного на стекле. Препарат подсушивали на воздухе, фиксировали в пламени спиртовки, окрашивали в течение 2 мин метиленовым синим, промывали водой и осушали фильтровальной бумагой.

На препарат наносили каплю кедрового масла и рассматривали в микроскопе с иммерсионным объективом. Чтобы результат был достоверным, подсчет числа клеток проводили не менее чем в 20 полях зрения. Общее количество подсчитанных клеток должно быть не менее 600.

В мазке микроорганизмы распределяются неравномерно: в центре их содержится больше, чем по краям. Поэтому для получения среднего значения вели подсчет по диаметру мазка, смещая поле зрения от одного конца диаметра к другому.

Количество клеток в 1 см³ суспензии вычисляли по формуле 2:

$$C = \frac{aSn}{sV} \quad (2)$$

где C – число клеток в 1 см³ суспензии; a – среднее число клеток в одном поле зрения; S – площадь приготовленного мазка (400 мм²); n – разведение исходной суспензии; s – площадь поля зрения (0,02 мм²); V – объем нанесенной на предметное стекло суспензии микроорганизмов (0,01 или 0,02 см³).

Результаты

На первом этапе проведения экспериментов была получена крахмальная суспензия. В дальнейшем крахмальная суспензия была разделена на несколько образцов, которые подвергались различным температурным воздействиям: замораживанию при -18 °С, -196 °С, автоклавированию при 120 °С в течение 15, 30, 45 и 60 мин.

Степень резистентности крахмала, полученного после термической обработки (замораживания и автоклавирования), оценивали по количеству редуцирующих веществ. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Содержание редуцирующих сахаров в образцах крахмальной суспензии после термической обработки

Table 2.

The content of reducing sugars in samples of starch suspension after thermal treatment

Режим низкотемпературной обработки крахмальной суспензии Mode of low-temperature processing of starch suspension	Содержание редуцирующих сахаров (%) Reducing sugars content (%)			
	После первой обработки ферментными препаратами After the first enzymatic treatment	После второй ферментативной обработки After the second enzymatic treatment	В среде «искусственный желудок» In "artificial stomach" medium	В среде «искусственный кишечник» In "artificial intestine" medium
Контроль Control	24,13	38,00	32,40	34,17
-18 °С	20,34	29,90	24,00	25,70
-196 °С	22,00	31,00	27,30	29,00
120 °С, 15 мин	20,13	27,65	23,24	24,02
120 °С, 30 мин	19,24	29,67	23,40	24,70
120 °С, 45 мин	19,30	29,93	24,39	26,60
120 °С, 60 мин	19,77	30,25	26,72	27,50

Далее была проведена серия экспериментов, в которых был показан рост лактобактерий в зависимости от типа резистентного крахмала, включенного в питательную среду лактобактерий.

Таблица 3.

Количество клеток лактобактерий, выращенных в среде с добавлением крахмальной суспензии, полученной разными видами термической обработки

Table 3.

The number of lactobacilli cells grown in a medium supplemented with starch suspension obtained through various types of thermal treatment

Режим обработки пит. среды Medium treatment mode	Количество клеток в 1 см ³ ($\times 10^8$) Number of cells in 1 cm ³ ($\times 10^8$)
Контроль Control	6,26
-18 °С	11,60
-196 °С	8,36
120 °С, 15 мин	12,20

Обсуждение

Исходя из результатов, представленных в таблице 2 следует, что низко- и высокотемпературные воздействия влияют на содержание редуцирующих веществ. После обработки крахмальной суспензии температурой -18 °С, содержание редуцирующих веществ снизилось на 13,7%; после -196 °С – на 8,8%; после автоклавирования при 120 °С в течение 15 мин – на 16,6%; после автоклавирования при 120 °С в течение 30 мин – на 20,3%; после автоклавирования при 120 °С в течение 45 мин – на 20%; после автоклавирования при 120 °С в течение 60 мин – на 18,1%. Менее всего количество редуцирующих веществ снижается в процессе замораживания крахмальной суспензии при -196 °С и более всего в процессе автоклавирования при 120 °С в течение 30 мин.

Для оценки степени резистентности полученного крахмала проводили ферментативную

обработку крахмальной суспензии. Для этого во все образцы вносили ферменты альфа-амилазу и глюкоамилазу, после чего определяли количество полученных редуцирующих веществ в крахмальных суспензиях.

В результате было получено, что в контрольном образце (который не подвергался низко- и высокотемпературным воздействиям) количество редуцирующих веществ увеличилось на 34,27%. После обработки крахмальной суспензии температурой -18 °С содержание редуцирующих веществ увеличилось на 18%; после -196 °С – на 24%; после автоклавирования при 120 °С в течение 15 мин – на 15%; после автоклавирования при 120 °С в течение 30 мин – на 22%; после автоклавирования при 120 °С в течение 45 мин – на 26,4%; после автоклавирования при 120 °С в течение 60 мин – на 35,15%.

Самый низкий процент увеличения редуцирующих веществ – 15% был зафиксирован в образце после обработки крахмальной суспензии при автоклавировании при 120 °С в течение 15 мин.

Влияние высокого pH на устойчивость крахмала проводили в среде «искусственный кишечник». В результате было отмечено повышение содержания редуцирующих веществ в контрольном образце (который не подвергался низко и высокотемпературным воздействиям) количество редуцирующих веществ увеличилось на 41,6%. После обработки крахмальной суспензии температурой -18 °С содержание редуцирующих веществ увеличилось на 26,4%; после -196 °С – на 31,8%; после автоклавирования при 120 °С в течение 15 мин – на 19,3%; после автоклавирования при 120 °С в течение 30 мин – на 28,3%; после автоклавирования при 120 °С в течение 45 мин – на 37,8%; после автоклавирования при 120 °С в течение 60 мин – на 39,1%.

Анализируя полученные результаты следует отметить, что наименьший гидролиз крахмала при pH 7,8 был отмечен в образце после автоклавирования при 120 °C в течение 15 мин – на 19,3%. Данный эксперимент можно считать успешным, так как резистентный крахмал должен быть устойчивым к высоким pH, гидролиз крахмала протекать не будет. А результаты, представленные в таблице 3, показывают, что наибольший рост микроорганизмов отмечен на питательной среде с крахмальной суспензией после автоклавирования при 120 °C в течение 15 мин. Таким образом, в полученной крахмальной суспензии резистентный крахмал сможет быть питательной средой для микроорганизмов, в частности лактобактерий, населяющих толстый кишечник организма человека.

Заключение

В ходе исследования был проведен анализ различных методов получения резистентного крахмала, а также оценена степень устойчивости полученного резистентного крахмала в крахмальной суспензии по количеству образующихся редуцирующих веществ при использовании различных методов, включая воздействие фер-

ментными препаратами амилолитического действия и изменение pH окружающей среды. Кроме того, был изучен рост количества лактобактерий на питательных средах с добавлением полученных суспензий.

Полученные результаты показали, что варьирование режимов низко- и высокотемпературной обработки позволяет получать крахмал с различной степенью устойчивости и разным количеством образующихся редуцирующих веществ. Этот вывод имеет важное значение в контексте включения резистентного крахмала в рецептуры функциональных пищевых продуктов. Особенно это актуально для приготовления ферментированных продуктов на основе зерна или сока, где редуцирующие вещества играют важную роль на стадиях приготовления. Кроме того, резистентный крахмал может быть использован в качестве пребиотика, обеспечивая питательную среду для микрофлоры кишечника. Таким образом, результаты исследования могут быть применены для разработки новых и улучшения существующих функциональных продуктов питания с учетом их пищевой ценности и влияния на микробиоту кишечника.

Литература

- 1 Ших Е.В., Махова А.А., Астаповский А.А., Перков А.В. Перспективы пробиотических штаммов бифидобактерий и энтерококков в лечении и профилактике заболеваний гастроэнтерологического профиля // Вопросы питания. 2021. Т. 90. № 2. С. 15–25. doi: 10.33029/0042–8833–2021–90–2–15–25
- 2 DeMartino P., Cockburn D.W. Resistant starch: impact on the gut microbiome and health // Current Opinion in Biotechnology. 2020. V. 61. P. 66–71. doi: 10.1016/j.copbio.2019.10.008
- 3 Wu H., Wang M., Ren X., Li Z. et al. Preparation of type 3 rice resistant starch using high-pressure homogenous coenzyme treatment and investigating its potential therapeutic effects on blood glucose and intestinal flora in db/db mice // International Journal of Biological Macromolecule. 2024. V. 264. № 2. P. 130552. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.130552
- 4 Wang Z., Wang S., Xu Q., Kong Q. et al. Synthesis and functions of resistant starch // Advances in Nutrition. 2023. V. 14. № 5. P. 1131–1144. doi: 10.1016/j.advnut.2023.06.001
- 5 Ding Y., Wang M., Shen Y., Shu X. et al. Physicochemical properties of resistant starch and its enhancement approaches in rice // Rice Science. 2021. V. 28. № 1. P. 31–42. doi: 10.1016/j.rsci.2020.11.005
- 6 Коптелова Е.К., Кузьмина Л.Г., Гулакова В.А., Лукин Н.Д. Оценка амиларезистентности крахмалов различного происхождения и модификации // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 57. С. 60–62.
- 7 Thompson M.S., Yan T.H., Saari N., Sarbini S.R. A review: Resistant starch, a promising prebiotic for obesity and weight management Author links open overlay panel // Food Bioscience. 2022. V. 50. № 2. P. 101965. doi: 10.1016/j.fbio.2022.101965
- 8 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 36 с.
- 9 Кокорева Л.А., Листратова Н.А. Резистентный крахмал – перспективный функциональный ингредиент // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2019. № 1 (18). С. 155–162.
- 10 Chen Z., Liang N., Zhang H., Li H. et al. Resistant starch and the gut microbiome: Exploring beneficial interactions and dietary impacts // Food Chemistry: X. 2024. V. 21. P. 101118. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101118
- 11 Walsh S.K., Lucey A., Walter J., Zannini E. et al. Resistant starch – An accessible fiber ingredient acceptable to the Western palate // Comprehensive review in Food Science and Food Safety. 2022. V. 21 (3). P. 2930–2955. doi: 10.1111/1541–4337.12955
- 12 De Filippis F., Pasolli E., Ercolini D. The food-gut axis: lactic acid bacteria and their link to food, the gut microbiome and human health // Microbiology Reviews. 2020. V. 44 (4). P. 454–489. doi: 10.1093/femsre/fuaa015
- 13 Metzler-Zebeli B.U., Canibe N., Montagne L., Freire J. et al. Resistant starch reduces large intestinal pH and promotes fecal lactobacilli and bifidobacteria in pigs // Animal. 2019. V. 13 (1). P. 64–73. doi: 10.1017/S1751731118001003

- 14 Nielsen T.S., Lærke H.N., Theil P.K., Sørensen J.F. et al. Diets high in resistant starch and arabinoxylan modulate digestion processes and SCFA pool size in the large intestine and faecal microbial composition in pigs // *British Journal of Nutrition*. 2014. V. 112 (11). P. 1837–1849. doi: 10.1017/S000711451400302X
- 15 Kawakami S., Han K.-H., Araki T., Ohba K. et al. Potato powders prepared by successive cooking-process depending on resistant starch content affect the intestinal fermentation in rats // *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2017. V. 81 (2). P. 359–364. doi: 10.1080/09168451.2016.1254537
- 16 Akbaryan M., Mahdavi A., Jebelli-Javan A., Staji H. et al. A comparison of the effects of resistant starch, fructooligosaccharide, and zinc bacitracin on cecal short-chain fatty acids, cecal microflora, intestinal morphology, and antibody titer against Newcastle disease virus in broilers // *Comparative Clinical Pathology*. 2019. V. 28. P. 661–667. doi: 10.1007/s00580-019-02936-9
- 17 Wang Y., Han T., Liu T., Sun L. et al. New insights into starch, lipid, and protein interactions – Colon microbiota fermentation // *Carbohydrate Polymers*. 2024. V. 335. P. 122113. doi: 10.1016/j.carbpol.2024.122113
- 18 ГОСТ 33917–2016. Патока крахмальная. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2017. 152 с.
- 19 Красникова Л.В., Гунькова П.И. Общая и пищевая микробиология. Часть I. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 134 с.
- 20 Коптелова Е., Кузьмина Л.Г., Лукин Н.Д. Влияние влаготермической и экструзионной обработки кукурузного крахмала на его резистентность // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2018. №. 1. С. 11-14.

References

- 1 Shikh E.V., Makhova A.A., Astapovsky A.A., Perkov A.V. Prospects for probiotic strains of bifidobacteria and enterococci in the treatment and prevention of gastroenterological diseases. *Nutrition Issues*. 2021. vol. 90. no. 2. pp. 15–25. doi: 10.33029/0042-8833-2021-90-2-15-25 (in Russian).
- 2 DeMartino P., Cockburn D.W. Resistant starch: impact on the gut microbiome and health. *Current Opinion in Biotechnology*. 2020. vol. 61. pp. 66–71. doi: 10.1016/j.copbio.2019.10.008
- 3 Wu H., Wang M., Ren X., Li Z. et al. Preparation of type 3 rice resistant starch using high-pressure homogenous coenzyme treatment and investigating its potential therapeutic effects on blood glucose and intestinal flora in db/db mice. *International Journal of Biological Macromolecule*. 2024. vol. 264. no. 2. pp. 130552. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.130552
- 4 Wang Z., Wang S., Xu Q., Kong Q. et al. Synthesis and functions of resistant starch. *Advances in Nutrition*. 2023. vol. 14. no. 5. pp. 1131–1144. doi: 10.1016/j.advnut.2023.06.001
- 5 Ding Y., Wang M., Shen Y., Shu X. et al. Physiochemical properties of resistant starch and its enhancement approaches in rice. *Rice Science*. 2021. vol. 28. no. 1. pp. 31–42. doi: 10.1016/j.rsci.2020.11.005
- 6 Коптелова Е.К., Кузьмина Л.Г., Гулакова В.А., Лукин Н.Д. Оценка амиларезистентности крахмалов различного происхождения и модификации // *Достижения науки и техники АПК*. 2017. Т. 31. № 57. С. 60–62.
- 7 Thompson M.S., Yan T.H., Saari N., Sarbini S.R. A review: Resistant starch, a promising prebiotic for obesity and weight management Author links open overlay panel // *Food Bioscience*. 2022. V. 50. № 2. P. 101965. doi: 10.1016/j.fbio.2022.101965
- 8 Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Guidelines. M., Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009. 36 p. (in Russian).
- 9 Kokoreva L.A., Listratova N.A. Resistant starch - a promising functional ingredient. Design, use and reliability of agricultural machines. 2019. no. 1 (18). P. 155–162. (in Russian).
- 10 Chen Z., Liang N., Zhang H., Li H. et al. Resistant starch and the gut microbiome: Exploring beneficial interactions and dietary impacts. *Food Chemistry: X*. 2024. vol. 21. pp. 101118. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101118
- 11 Walsh S.K., Lucey A., Walter J., Zannini E. et al. Resistant starch – An accessible fiber ingredient acceptable to the Western palate. *Comprehensive review in Food Science and Food Safety*. 2022. vol. 21 (3). pp. 2930–2955. doi: 10.1111/1541-4337.12955
- 12 De Filippis F., Pasolli E., Ercolini D. The food-gut axis: lactic acid bacteria and their link to food, the gut microbiome and human health. *Microbiology Reviews*. 2020. vol. 44 (4). pp. 454–489. doi: 10.1093/femsre/ruaa015
- 13 Metzler-Zebeli B.U., Canibe N., Montagne L., Freire J. et al. Resistant starch reduces large intestinal pH and promotes fecal lactobacilli and bifidobacteria in pigs. *Animal*. 2019. vol. 13 (1). pp. 64–73. doi: 10.1017/S175173118001003
- 14 Nielsen T.S., Lærke H.N., Theil P.K., Sørensen J.F. et al. Diets high in resistant starch and arabinoxylan modulate digestion processes and SCFA pool size in the large intestine and faecal microbial composition in pigs. *British Journal of Nutrition*. 2014. vol. 112 (11). pp. 1837–1849. doi: 10.1017/S000711451400302X
- 15 Kawakami S., Han K.-H., Araki T., Ohba K. et al. Potato powders prepared by successive cooking-process depending on resistant starch content affect the intestinal fermentation in rats. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2017. vol. 81 (2). pp. 359–364. doi: 10.1080/09168451.2016.1254537
- 16 Akbaryan M., Mahdavi A., Jebelli-Javan A., Staji H. et al. A comparison of the effects of resistant starch, fructooligosaccharide, and zinc bacitracin on cecal short-chain fatty acids, cecal microflora, intestinal morphology, and antibody titer against Newcastle disease virus in broilers. *Comparative Clinical Pathology*. 2019. vol. 28. pp. 661–667. doi: 10.1007/s00580-019-02936-9
- 17 Wang Y., Han T., Liu T., Sun L. et al. New insights into starch, lipid, and protein interactions – Colon microbiota fermentation. *Carbohydrate Polymers*. 2024. vol. 335. pp. 122113. doi: 10.1016/j.carbpol.2024.122113
- 18 ГОСТ 33917–2016. Starch syrup. General technical conditions. M., Standartinform, 2017. 152 p. (in Russian).
- 19 Krasnikova L.V., Gunkova P.I. General and food microbiology. Part I. St. Petersburg, ITMO University, 2016. 134 p. (in Russian).
- 20 Koptelova E., Kuzmina L.G., Lukin N.D. The influence of moisture-thermal and extrusion processing of corn starch on its resistance. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2018. no. 1. pp. 11-14. (in Russian).

Сведения об авторах

Рим Алхатиб магистрант, факультет биотехнологий, университет ИТМО, пр-т Кронверкский, 49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, reemhalkhateeb11@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-5978-5599>

Надежда В. Баракова к.т.н., доцент, факультет биотехнологий, Университет ИТМО, пр-т Кронверкский, 49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, n.barakova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7296-8609>

Полина И. Гунькова к.т.н., доцент, научно-образовательный центр химического инжиниринга и биотехнологий, Университет ИТМО, пр-т Кронверкский, 49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, polinagunkova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9899-6288>

Ангелина С. Басковцева аспирант, факультет биотехнологий, Университет ИТМО, пр-т Кронверкский, 49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, baskovtseva.ang@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0726-4386>

Светлана А. Гринвальд аспирант, факультет биотехнологий, Университет ИТМО, пр-т Кронверкский, 49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, svetik12.ru@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0006-3583-6803>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Reem Alkhateeb master student, biotechnology faculty, ITMO University, Kronverksky Av., 49, bld. A, St. Petersburg, 197101, Russia, reemhalkhateeb11@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-5978-5599>

Nadezhda V. Barakova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biotechnology faculty, ITMO University, Kronverksky Av., 49, bld. A, St. Petersburg, 197101, Russia, n.barakova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7296-8609>

Polina I. Gunkova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, scientific and educational center for chemical engineering and biotechnology, ITMO University, Kronverksky Av., 49, bld. A, St. Petersburg, 197101, Russia, polinagunkova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9899-6288>

Angelina S. Baskovtseva postgraduate student, biotechnology faculty, ITMO University, Kronverksky Av., 49, bld. A, St. Petersburg, 197101, Russia, baskovtseva.ang@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0726-4386>

Svetlana A. Grinvald graduate student, biotechnology faculty, ITMO University, Kronverksky Av., 49, bld. A, St. Petersburg, 197101, Russia, svetik12.ru@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0006-3583-6803>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/03/2024	После редакции 18/04/2024	Принята в печать 10/05/2024
Received 01/03/2024	Accepted in revised 18/04/2024	Accepted 10/05/2024