

Научная статья

УДК 664.22

DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-3-18-25

## Влияние способов получения резистентного крахмала на жизнедеятельность лактобактерий

Р. Алхатиб<sup>1\*</sup>, Н.В. Баракова<sup>1,2</sup>, П.И. Гунькова<sup>1</sup>, А.С. Басковцева<sup>1</sup>, С.А. Гринвальд<sup>1</sup>, Плужникова Д.В.<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург, \*reemhalkhateeb11@gmail.com<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
Россия, Санкт-Петербург

**Аннотация.** Исследовали влияние способов получения резистентного крахмала на рост лактобактерий. Резистентный крахмал получали путем модификации крахмальной суспензии воздействием ферментов, низких и высоких температур. Ферментативную модификацию проводили ферментными препаратами амилитического действия – Дистицим БА-Т и Дистицим АГ при температуре 50, 80 и 60°C в течение 3 ч; при температуре минус 18°C в течение 12 ч; в среде жидкого азота при температуре минус 196°C в течение 5 мин; при высокой температуре 120°C в течение 15; 30; 45 и 60 мин. Устойчивость резистентного крахмала оценивали по количеству редуцирующих веществ, полученных после повторной обработки модифицированных крахмальных суспензий ферментными препаратами, после внесения модифицированных крахмальных суспензий в среды с низкими и высокими значениями рН. Эффективность способов получения резистентного крахмала оценивали по росту лактобактерий. Установлено, что наибольшей устойчивостью обладает резистентный крахмал, полученный после автоклавирования крахмальной суспензии при 120°C в течение 15 мин. В этом же образце наблюдался наибольший рост микроорганизмов – в 2 раза выше, чем в образце, где модификация крахмала проводилась ферментными препаратами. Данные результаты важно учитывать при включении резистентного крахмала в рецептуры функциональных продуктов питания.

**Ключевые слова:** функциональные продукты питания; резистентный крахмал; лактобактерии; ферментативная модификация крахмала; модификация крахмала высокими и низкими температурами

Original article

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

Reem Alkhateeb<sup>1\*</sup>, Nadezhda V. Barakova<sup>1,2</sup>, Polina I. Gunkova<sup>1</sup>, Angelina S. Baskovtceva<sup>1</sup>,  
Svetlana A. Grinvald<sup>1</sup>, Daria V. Pluzhnikova<sup>1</sup><sup>1</sup>ITMO University, Russia, St. Petersburg, \*reemhalkhateeb11@gmail.com<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Institute of Technology, Russia, St. Petersburg

**Annotation.** This study investigated the influence of different methods for obtaining resistant starch on the growth of lactobacilli. Resistant starch was obtained by modifying starch suspension using enzymes, low, and high temperatures. Enzymatic modification was carried out using amylolytic enzyme preparations – Disticime BA-T and Disticime AG at a temperature of 50°C–80°C–60°C for 3 h; at a temperature of –18°C for 12 h; in a liquid nitrogen environment at –196°C for 5 min; as well as at a high temperature of 120°C for 15; 30; 45, and 60 min. The stability of resistant starch was assessed by the amount of reducing substances obtained after repeated treatment of modified starch suspensions with enzyme preparations after the introduction of modified starch suspensions into media with low and high pH values. The effectiveness of each method of obtaining resistant starch was assessed by the growth of lactobacilli. It was established that the most stable resistant starch is obtained after autoclaving the starch suspension at 120°C for 15 minutes. In the same sample, the greatest growth of microorganisms was observed – 2 times higher than in the sample where starch modification was carried out with enzyme preparations. These results are important to consider when incorporating resistant starch into the formulations of functional food.

**Keywords:** functional foods; lactobacilli; resistant starch; enzymatic modification of starch; modification of starch by high and low temperatures

## 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 так же важен, как и некрахмалистые полисахариды для укрепления здоровья толстой кишки, профилактики воспалительных заболеваний кишечника и колоректального рака [2]. 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 гидролизуется до D-глюкозы в тонком кишечнике в течение 120 мин после употребления, а ферментируется в толстой кишке. Крахмал состоит из двух основных структурных компонентов: амилозы, по существу, представляющей собой линейный полимер, в котором остатки глюкозы связаны с -D-(1-4), что обычно составляет от 15 до 20% крахмала, и амилопектина, являющегося более крупной разветвленной молекулой с -D-(1-4) и -D-(1-6) связями и основным компонентом крахмала [4]. Многие исследования показали, что резистентный крахмал представляет собой линейную молекулу  $\alpha$ -1,4-D-глюкана, полученную из ретроградизированной фракции амилозы, и имеет относительно низкую молекулярную массу ( $1,2 \cdot 10^5$  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 пятый тип резистентного крахмала [7], который 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. В большом количестве он присутствует 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) [8]. Таким образом, получить резистентный крахмал 1–2 типа возможно напрямую из растительных источников.

Учеными было выявлено, что пищевые источники резистентного крахмала 2 типа могут эффективно снижать рН просвета толстого кишечника у свиней, что способствует подавлению роста условно-патогенных микроорганизмов. Более того, полученные данные подтвердили, что бактерии, продуцирующие молочную кислоту (лактобациллы и бифидобактерии), могут стимулировать повышение уровня резистентного крахмала в рационе [9, 10]. К аналогичным результатам пришли другие исследователи, проводившие эксперименты с крысами [11] и цыплятами-бройлерами [12]. 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 [13].

Резистентный крахмал 3 типа получают физическими методами, которые 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 [14].

Процесс модификации крахмала включает различные технологические методы, направленные на изменение его структуры. Например, для получения крахмала 4 типа вводятся такие объемные функциональные группы, как 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 [15].

В своей работе Пинки Райгонд и ее коллеги [16] получали резистентный крахмал методом тепловой и ферментативной модификации, обрабатывая желатинизированный крахмал ферментом пуллулазой. Харалампу и Гросс предложили метод производства резистентного крахмала добавлением изоамилазы и пуллулазой [17].

Ферментативная обработка крахмала увеличивает количество амилозы, которая образует плотную кристаллическую структуру и, следовательно, более устойчива к ферментативному гидролизу. Расщепляющие ферменты, такие как пуллулаза и изоамилаза могут разрушать только  $\alpha$ -1,6 гликозидные связи в точке разветвления амилопектина и увеличивать содержание амилозы в молекуле крахмала.  $\alpha$ -амилаза и  $\beta$ -амилаза также могут быть использованы для разрушения  $\alpha$ -1,4-гликозидных связей. Оба этих фермента воздействуют на разные участки молекул крахмала.  $\alpha$ -амилаза разрывает все  $\alpha$ -1,4-гликозидные связи за исключением тех, которые находятся вблизи точек разветвления, и высвобождает мономеры глюкозы.  $\beta$ -амилаза высвобождает звенья мальтозы, воздействуя на все остальные  $\alpha$ -1,4 гликозидные связи с невозвращающегося конца амилопектина или амилозы [16, 17].

Проведено достаточно 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 [18].

В научной литературе рассмотрены способы получения резистентного крахмала, но недостаточно сравнительного анализа: как способы модификации крахмала влияют на рост полезной микрофлоры кишечника – лактобактерий. Эти данные важны при разработке функциональных продуктов питания, обогащенных пребиотиками, обеспечивающими рост полезной микрофлоры кишечника человека.

В связи с этим цель данной работы – исследовать влияние различных способов получения резистентного крахмала методами физической модификации нативного крахмала на жизнедеятельность лактобактерий.

### Объекты и методы исследований

Объектом исследования является крахмальная суспензия, приготовленная из картофельного крахмала (ГОСТ Р 53876-2010) ООО «ПЕЦ-ХААС» (Москва, Россия), модифицированная ферментными препаратами амилитического действия, низкими и высокими температурами. Изучали семь образцов: образец 1 – крахмальная суспензия, модифицированная ферментными препаратами, без дальнейшей термической обработки (контроль);

образец 2 – модифицированная крахмальная суспензия, замороженная при минус 18°C в течение 12 ч;

образец 3 – модифицированная крахмальная суспензия, замороженная при минус 196°C в течение 5 мин;

образец 4 – модифицированная крахмальная суспензия, обработанная при 120°C в течение 15 мин;

образец 5 – модифицированная крахмальная суспензия, обработанная при 120°C в течение 30 мин;

образец 6 – модифицированная крахмальная суспензия, обработанная при 120°C в течение 45 мин;

образец 7 – модифицированная крахмальная суспензия, обработанная при 120°C в течение 60 мин.

Выбор картофельного крахмала обусловлен его доступностью, безопасностью, химическим составом и потенциалом для разработки новых функциональных продуктов, что делает его идеальным объектом для изучения в контексте данного исследования.

Совместное применение альфа-амилазы и глюкоамилазы обеспечивает более полное и эффективное расщепление крахмала до простых сахаров. Для ферментативной модификации крахмальной суспензии использовали ферментные препараты Дистицим БА-Т и Дистицим АГ фирмы Erbslöh Geisenheim (Германия). Характеристика ферментных препаратов представлена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика ферментных препаратов

Table 1. Characteristics of enzyme preparation

Наименование ферментного препарата/производитель ферментов	Основной фермент	Активность, ед./мл	Действие	Температура, °С	pH
Дистицим БА-Т, <i>Bacillus Iicheniformis</i>	альфа-амилаза	1600	разжижение	30–110	5,5–8,0
Дистицим АГ, <i>Asergillus niger</i>	глюкоамилаза	6500	осахаривание	30–70	4,0–6,2

Для получения крахмальной суспензии и ее последующей ферментативной модификации картофельный крахмал смешивали с водой в соотношении 1:3 (гидромодуль) и добавляли ферментный препарат Дистицим БА-Т с дозой внесения 1,5 ед. АС на 1 г крахмала (образец 1). Суспензию нагревали до температуры 50°С и выдерживали ее в течение 30 мин при постоянном перемешивании. Затем, увеличивая температуру до 80°С, суспензию оставляли на выдержку в течение двух часов, после чего охлаждали до 60°С, 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°С и выдерживали 1 мин. Приготовление крахмальной суспензии и ее ферментативную обработку проводили на водяной бане LabTex (Россия).

Низкотемпературную обработку крахмальной суспензии, модифицированную ферментными препаратами, проводили в морозильной камере при температуре минус 18°С в течение 12 ч (образец 2) и в среде жидкого азота (ООО «Газ-трейд», Санкт-Петербург, Россия) при температуре минус 196°С в течение 5 мин (образец 3). Время замораживания 100 г каждого образца обосновано достижением необходимой температуры во всем объеме исследуемой крахмальной суспензии. Перед проведением экспериментов образцы размораживали в холодильнике при температуре плюс 4°С в течение суток.

Обработку крахмальной суспензии (100 г) при высоких температурах проводили в автоклаве Tuttnauer 2840EL-D (Израиль) при температуре 120°С в течение 15; 30; 45; 60 мин (образцы 4, 5, 6, 7 соответственно)[19].

Для оценки свойств модифицированного крахмала под действием высоких и низких температур крахмальные суспензии повторно обрабатывали ферментными препаратами амилолитического 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 стойкости резистентного крахмала к низким и высоким pH проводили в среде «искусственный желудок» и «искусственный кишечник». Основу «искусственный желудок» готовили путем смешивания 0,02 г NaCl, 0,07 мл 37%-й HCl, 9 см<sup>3</sup> бидистиллированной воды и 5 см<sup>3</sup> приготовленной патоки. Конечные значения pH доводили до 1,2 ± 0,1. Перед использованием добавляли пепсин (0,032 г) и доводили объем основы до 1000 мл бидистиллированной водой, затем 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 KН<sub>2</sub>РO<sub>4</sub>, которые растворяли в 650 дм<sup>3</sup> бидистиллированной воды с 190 см<sup>3</sup> 0,2 н NaOH. Конечные значения pH модельного кишечного сока доводили до 7,2 ± 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, методом Лейна–Эйна (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

$$m_{рв} = \frac{\varphi \cdot m_{гл} \cdot 100}{m_{н} \cdot m_{св} \cdot V},$$

где  $\varphi$  – фактор растворов Фелинга, см<sup>3</sup>;

$m_{\text{гл}}$  – масса навески кристаллической глюкозы, г;

100 – коэффициент пересчета массовой доли редуцирующих веществ на 100 г сухого вещества патоки, см<sup>3</sup>;

$m_{\text{н}}$  – масса навески патоки, взятой для анализа, г;

$m_{\text{св}}$  – массовая доля сухого вещества патоки, %;

$V$  – объем раствора анализируемой патоки, затраченный на титрование, см<sup>3</sup>;

100 – коэффициент пересчета на сухое вещество патоки, %.

Метод определения КОЕ. Непосредственный подсчет клеток на микроскопе проводился по методу Виноградского–Брида [20], преимущество которого 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 см<sup>2</sup> и обводили его стеклогграфом или тушью. Брели 1 см<sup>3</sup> среды и вносили в пробирку с 9 см<sup>3</sup> физиологического раствора ( $n = 10$ ). Затем на предметное стекло наносили из пробирки объем 0,02 см<sup>3</sup>. 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 см<sup>3</sup> суспензии вычисляли по формуле

$$C = \frac{(a \cdot S \cdot n)}{s \cdot V},$$

где  $C$  – число клеток в 1 см<sup>3</sup> суспензии;

$a$  – среднее число клеток в одном поле зрения;

$S$  – площадь приготовленного мазка (400 мм<sup>2</sup>);

$n$  – разведение исходной суспензии;

$s$  – площадь поля зрения (0,02 мм<sup>2</sup>);

$V$  – объем нанесенной на предметное стекло суспензии микроорганизмов (0,01 или 0,02 см<sup>3</sup>).

## Результаты и их обсуждение

На первом этапе проведения экспериментов получили крахмальную суспензию, модифицированную ферментными препаратами, содержание редуцирующих веществ в которой составило 24,13%, в дальнейшем подвергаемую различным температурным воздействиям. Степень резистентности (устойчивости) модифицированных ферментными препаратами крахмальных суспензий, полученных после термической обработки (замораживания и автоклавирования), оценивали по количеству редуцирующих веществ (таблица 2).

Исходя из результатов, представленных в таблице 2, следует, что низко- и высокотемпературные воздействия влияют на содержание редуцирующих веществ: в образце 2 содержание редуцирующих веществ снизилось на 15,7%; в образце 3 – на 8,8%; в образце 4 – на 16,6%; образце 5 – на 20,3%; в образце 6 – на 20% и в образце 7 – на 18,1% относительно содержания редуцирующих веществ в контрольном образце. Наибольшее количество редуцирующих сахаров отмечено в образце 3, наименьшее – в образце 5.

Для оценки степени резистентности (устойчивости) полученного крахмала проводили ферментативную обработку модифицированных крахмальных суспензий. Для этого во все образцы вносили ферменты альфа-амилазу и глюкоамилазу, после чего определяли количество полученных редуцирующих веществ в крахмальных суспензиях.

Таблица 2. Содержание редуцирующих сахаров в образцах модифицированной крахмальной суспензии после термической обработки

Table 2. The content of reducing sugars in the samples of starch suspension modified with the enzyme preparations after thermal treatment

Образец	Содержание редуцирующих сахаров (%)			
	после первой ферментативной обработки и размораживания/охлаждения образцов	после второй ферментативной обработки	в среде «искусственный желудок»	в среде «искусственный кишечник»
1	24,13	38,00	32,40	34,17
2	20,34	29,90	24,00	25,70
3	22,00	31,00	27,30	29,00
4	20,13	27,65	23,24	24,02
5	19,24	29,67	23,40	24,70
6	19,30	29,93	24,3	26,60
7	19,77	30,25	26,72	27,50

В результате, после второй ферментативной обработки в образце 1 количество редуцирующих веществ увеличилось на 57%, в образце 2 – на 47%; в образце 3 – на 68%; в образце 4 – на 37%; в образце 5 – на 54%; в образце 6 – на 55%; в образце 7 – на 53% относительно содержания редуцирующих веществ в образцах, полученных после размораживания или охлаждения исследуемых образцов. Самый низкий процент увеличения редуцирующих веществ зафиксирован в образце 4, что свидетельствует о наибольшей устойчивости к действию пищеварительных ферментов амилолитического действия.

Влияние высокого pH на устойчивость крахмала проводили в среде «искусственный кишечник», в результате чего отмечено повышение содержания редуцирующих веществ в образце 1 на 41,6%; образце 2 – на 26,4%; в образце 3 – на 31,8%; в образце 4 – на 19,3%; в образце 5 – на 28,3%; в образце 6 – на 37,8%; в образце 7 – на 39,1%.

Анализируя результаты, получаем, что наименьший гидролиз крахмала при pH 7,8 отмечен в образце 4 – на 19,3%. Данный эксперимент можно считать успешным, так как резистентный крахмал должен быть устойчивым к высокому pH, гидролиз крахмала протекать не будет. А результаты, представленные в таблице 3, показывают, что наибольший рост микроорганизмов отмечен на питательной среде с образцом 4, при этом образец 2 так же демонстрирует достаточно высокий показатель роста клеток микроорганизмов относительно других исследуемых образцов.

Далее была проведена серия экспериментов, показывающих 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

Образцы питательной среды с крахмальной суспензией	Количество клеток в 1 см <sup>3</sup> (×10 <sup>8</sup> )
1	6,26
2	11,60
3	8,36
4	12,20
5	7,4
6	6,8
7	5,0

Таким образом, в полученной крахмальной суспензии, резистентный крахмал может быть питательной средой для микроорганизмов, в частности лактобактерий, населяющих толстый кишечник организма человека.

## Заключение

Варьирование режимов низко- и высокотемпературной обработки крахмальной суспензии позволяет получать крахмал с различной степенью устойчивости и разным количеством образующихся редуцирующих веществ. Это 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 применяться для разработки новых и улучшения существующих функциональных продуктов питания с учетом их пищевой ценности и влияния на микробиоту кишечника.

## Литература/ References

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  
Shikh E.V., Makhova A.A., Astapovskiy A.A., Perkov A.V. Prospects of probiotic strains of bifidobacteria and enterococcus in treatment and prevention of diseases in gastroenterology. *Problems of Nutrition*. 2021, V. 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, V. 61, pp. 66–71. DOI: 10.1016/j.copbio.2019.10.008
3. Wu H., Wang M., Ren X., Li Z., Ai L., Xie F., Sun Z. 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, part 2, article 130552. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.130552
4. Wang Z., Wang S., Xu Q., Kong Q., Li F., Lu L., Xu Y., Wei Y. Synthesis and functions of resistant starch. *Advances in Nutrition*. 2023, V. 14, Is. 5, pp. 1131–1144. DOI: 10.1016/j.advnut.2023.06.001
5. Ding Y., Wang M., Shen Y., Shu X., Wu D., Song W. Physicochemical properties of resistant starch and its enhancement approaches in rice. *Rice Science*. 2021, V. 28, Is. 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 амилорезистентности крахмалов различного происхождения и модификации // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 57. С. 60–62.  
Koptelova E.K., Kuz'mina L.G., Gulakova V.A., Lukin N.D. Assessment of resistance of starch of different origin and modification to amylase cleavage. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2017, V. 31, no. 57, pp. 60–62. (In Russian)
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, part 2, article 101965. DOI: 10.1016/j.fbio.2022.101965
8. Кокорева Л.А., Листратова Н.А. Резистентный крахмал – перспективный функциональный ингредиент // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. тр. Брянск: Изд-во Брянск. гос. аграрн. ун-та, 2019. С. 155–162  
Kokoreva L.A., Listratova N.A. Resistant starch is a perspective functional ingredient. *Konstruirovanie, ispol'zovanie i nadezhnost' mashin sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya*. Collection of works. Bryansk, Bryansk State Agrarian University Publ., 2019, pp. 155–162. (In Russian)
9. Metzler-Zebeli B.U., Canibe N., Montagne L., Freire J., Bosi P., Prates J.A.M., Tanghe S., Trevisi P. Resistant starch reduces large intestinal pH and promotes fecal lactobacilli and bifidobacteria in pigs. *Animal*. 2019, V. 13, no. 1, pp. 64–73. DOI: 10.1017/S1751731118001003
10. Nielsen T.S., Lærke H.N., Theil P.K., Sørensen J.F., Saarinen M., Forssten S., Bach Knudsen K.E. 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, no. 11, pp. 1837–1849. DOI: 10.1017/S000711451400302X
11. Kawakami S., Han K.-H., Araki T., Ohba K., Wakabayashi T., Shimada K., Fukushima M. 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, no. 2, pp. 359–364. DOI: 10.1080/09168451.2016.1254537
12. Akbaryan M., Mahdavi A., Jebelli-Javan A., Staji H., Darabighane B. 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, pp. 661–667. DOI: 10.1007/s00580-019-02936-9
13. Wang Y., Han T., Liu T., Sun L., Dou B., Xin J., Zhang N. New insights into starch, lipid, and protein interactions – Colon microbiota fermentation. *Carbohydrate Polymers*. 2024, V. 335, article 122113. DOI: 10.1016/j.carbpol.2024.122113

14. Chen Z., Liang N., Zhang H., Li H., Guo J., Zhang Y., Chen Y., Wang Y., Shi N. Resistant starch and the gut microbiome: Exploring beneficial interactions and dietary impacts. *Food Chemistry: X*. 2024, V. 21, article 101118. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101118
15. Walsh S.K., Lucey A., Walter J., Zannini E., Arendt E.K. Resistant starch – An accessible fiber ingredient acceptable to the Western palate. *Comprehensive review in Food Science and Food Safety*. 2022, V. 21, Is. 3, pp. 2930–2955. DOI: 10.1111/1541-4337.12955
16. Raigond P., Ezekiel R., Singh B., Dutt S., Joshi A., Rinki. Resistant starch production technologies – A review. *Potato Journal*. 2015, V. 42, no. 2, pp. 81–94.
17. Haralampu S.G., Gross A. *Granular resistant starch and method of making*. United States Patent no. 5849090-A. 1998.
18. 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, no. 4, pp. 454–489. DOI: 10.1093/femsre/fuaa015
19. Onyango C., Bley T., Jacob A., Henle T., Rohm H. Influence of incubation temperature and time on resistant starch type III formation from autoclaved and acid-hydrolysed cassava starch. *Carbohydrate Polymers*. 2006, V. 66, no. 4, pp. 494–499.
20. Красникова Л.В., Гунькова П.И. Общая и пищевая микробиология. Ч. I. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 134 с. Krasnikova L.V., Gunkova P.I. *General and Food Microbiology*. Part I. St. Petersburg, ITMO University Publ., 2016, 134 p. (In Russian)

#### Информация об авторах

Рим Алхатиб – магистрант факультета биотехнологий

Надежда Васильевна Баракова – канд. техн. наук, доцент факультета биотехнологий

Полина Исаевна Гунькова – канд. техн. наук, доцент научно-образовательного центра химического инжиниринга и биотехнологий

Ангелина Станиславовна Басковцева – аспирант факультета биотехнологий

Светлана Александровна Гринвальд – аспирант факультета биотехнологий

Дарья Владимировна Плужникова – инженер межфакультетской лаборатории «Трансляционные технологии в образовании»

#### Information about the authors

Reem Alkhateeb, Master student, Faculty of Biotechnologies

Nadezhda V. Barakova, Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the Faculty of Biotechnologies

Polina I. Gunkova, Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the Scientific and Educational Center for Chemical Engineering and Biotechnologies

Angelina S. Baskovtceva, Postgraduate Student, Faculty of Biotechnologies

Svetlana A. Grinvald, Postgraduate Student, Faculty of Biotechnologies

Daria V. Pluzhnikova, Engineer of the Interfaculty Laboratory "Translation Technologies in Education"

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

Статья поступила в редакцию 19.06.2024

Одобрена после рецензирования 13.09.2024

Принята к публикации 16.09.2024

The article was submitted 19.06.2024

Approved after reviewing 13.09.2024

Accepted for publication 16.09.2024