

## ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА РЕЗИСТЕНТНОГО КРАХМАЛА, ПРИМЕНИМОГО ДЛЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ СИСТЕМ, НА ОСНОВЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИИ

**А.А. Руськина**, *ruskina\_a@mail.ru*

**И.Ю. Потороко**, *irina\_potoroko@mail.ru*

*Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия*

**Аннотация.** Последние исследования, направленные на изучение резистентного крахмала (*RS*), указывают на то, что этот особый тип крахмала можно определить как ингредиент, обладающий свойствами пищевого волокна, что позволяет расширить его функционально-технологическую применимость в качестве поверхностно активных частиц для эмульсий. Известно, что *RS* играет важную роль в снижении гликемического индекса пищевых продуктов, тем самым может использоваться в пищевых системах в роли функционального ингредиента, минимизирует риски таких заболеваний, как диабет, ожирение и другие хронические заболевания, которые напрямую связаны с излишним употреблением крахмалистых продуктов питания. На формирование *RS* влияют структура гранул, кристалличность крахмала и соотношение амилозы и амилопектина. Содержание амилозы напрямую влияет на содержание резистентного крахмала. Известно, что зерно крахмала имеет полукристаллическую структуру за счет присутствия разветвленной цепи амилопектина, в то время как фракция амилозы характеризуется больше аморфной областью. Наше исследование направлено на изучение возможности обработки крахмальных суспензий низкочастотным ультразвуком (НУЗ) для синтеза фракции резистентного крахмала (*RS*). Снижение кристалличности обработанных НУЗ образцов крахмала указывает на увеличение доли амилозы в крахмальном зерне. Для определения кристалличности использовали метод рентгеновской дифракции с преобразованием Фурье, который показал, что отношение волнового числа  $1049/1022 \text{ см}^{-1}/\text{см}^{-1}$  указывает на снижение кристалличности. Поэтому в обработанном НУЗ образце крахмала прослеживалось снижение кристалличности в сравнении с контрольным образцом. Эта особенность указывает на то, что накопление амилозы происходит в основном в аморфной области гранул крахмала, что подтверждается измерениями количества амилозы, которое составило соответственно 0,0143 для контроля и 0,1530 для опытного образца.

**Ключевые слова:** кристалличность, содержание амилозы, резистентный крахмал, низкочастотный ультразвук

**Благодарности.** Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 22-26-00079.

**Для цитирования:** Руськина А.А., Потороко И.Ю. Технология синтеза резистентного крахмала, применимого для эмульсионных систем, на основе ультразвуковой кавитации // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2023. Т. 11, № 2. С. 41–48. DOI: 10.14529/food230205

Original article  
DOI: 10.14529/food230205

## TECHNOLOGY OF SYNTHESIS OF RESISTANT STARCH, APPLICABLE FOR EMULSION SYSTEMS, ON THE BASIS OF ULTRASONIC CAVITATION

A.A. Ruskina, [ruskina\\_a@mail.ru](mailto:ruskina_a@mail.ru)

I.Yu. Potoroko, [irina\\_potoroko@mail.ru](mailto:irina_potoroko@mail.ru)

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** Recent studies on resistant starch (RS) indicate that this particular type of starch can be defined as an ingredient with dietary fiber properties, which allows it to expand its functional and technological applicability as surfactant particles for emulsions. It is known that RS plays an important role in reducing the glycemic index of foods, so it can be used in food systems as a functional ingredient, minimizing the risks of diseases such as diabetes, obesity, and other chronic diseases that are directly related to excessive consumption of starchy foods. The formation of RS is affected by granule structure, starch crystallinity, and the amylose-to-amylopectin ratio. The content of amylose directly affects the content of resistant starch. It is known that the starch grain has a semi-crystalline structure due to the presence of a branched chain of amylopectin, while the amylose fraction is characterized by a more amorphous region. Our study is aimed at studying the possibility of treating starch suspensions with low-frequency ultrasound (LFS) for the synthesis of a fraction of resistant starch (RS). The decrease in the crystallinity of the starch samples treated with NHS indicates an increase in the proportion of amylose in the starch grain. To determine the crystallinity, Fourier transform X-ray diffraction was used, which showed that the wave number ratio of  $1049/1022 \text{ cm}^{-1}/\text{cm}^{-1}$  indicates a decrease in crystallinity. Therefore, a decrease in crystallinity was observed in the starch treated with NHS compared to the control sample. This feature indicates that the accumulation of amylose occurs mainly in the amorphous region of the starch granules, which is confirmed by measurements of the amount of amylose, which was respectively 0.0143 for the control and 0.1530 for the test sample.

**Keywords:** crystallinity, amylose content, resistant starch, low frequency ultrasound

**Acknowledgments.** This article was financially supported by a grant from the Russian Science Foundation (RSF) under project 22-26-00079.

**For citation:** Ruskina A.A., Potoroko I.Yu. Technology of synthesis of resistant starch, applicable for emulsion systems, on the basis of ultrasonic cavitation s. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2023, vol. 11, no. 2, pp. 41–48. (In Russ.) DOI: 10.14529/food230205

### Введение

Для минимизации рисков в части употребления продуктов с высоким гликемическим индексом в последнее время возрастает спрос на высококачественные продукты, обладающие функциональными свойствами, которые обеспечивают дополнительные преимущества к основным питательным функциям, способствующие предотвращению не только хронических неинфекционных заболеваний, но и укреплению здоровья в целом. Это привело к масштабным исследованиям в области получения новых пищевых ингредиентов и современных технологий обработки пищевых продуктов на основе методов физического воздействия [1, 2, 3, 15, 16].

В связи с тем, что глобальные показатели хронических неинфекционных заболеваний растут и распространяются во всех слоях общества, поиск путей получения пищевых ингредиентов из доступных, обильных, экологических растительных источников, при этом с улучшенными технологическими свойствами, является важной задачей для ученых всего мира [13].

Углеводы считаются одним из основных источников получения энергии для человека. Среди всех углеводов крахмал в настоящее время является ингредиентом, присутствующим в большинстве потребляемых человеком продуктов питания, не зависимо от места проживания и образа жизни [4]. Крахмал

обеспечивает организм необходимой энергией для жизнедеятельности, и становится все популярнее из-за высокой доступности и универсальности в качестве источника получения ингредиентов, обладающих различными функциональными свойствами. [5, 9]. К тому же крахмалы обладают уникальными технологическими свойствами, такими как сгущение, желирование, эмульгирование, что обеспечивает их применение в качестве структурообразователя в пищевых системах нового поколения. Тем не менее, нативный крахмал имеет некоторые недостатки, которые ограничивают его применение для разработки пищевых ингредиентов функциональной направленности с улучшенными технологическими характеристиками. Получение пищевого ингредиента с увеличенной долей резистентной фракции за счет применения кавитационных эффектов низкочастотного ультразвукового воздействия (НУЗВ) является задачей данного исследования.

Крахмал представляет собой полисахарид, состоящий из отдельных единиц сахара, соединенных вместе  $\alpha$ -1,4- и  $\alpha$ -1,6-гликозидными связями [19]. В 1992 году группой ученых под руководством К. Englyst были получены данные о степени усвояемости *in vitro* крахмалов, которые разделяют на три категории: быстро усваиваемый крахмал (*RDS*), медленно усваиваемый крахмал (*SDS*) и стабильный крахмал (*RS*) [9].

Было установлено, что *RDS* относится к части крахмала, которая может быть полностью гидролизована в тонком кишечнике до отдельных молекул глюкозы в течение 20 минут путем ферментативного расщепления. *SDS* представляет собой фракцию крахмала, для переваривания которой требуется больше времени, она может быть полностью переварена в течение 120 минут ферментативного расщепления [9].

Резистентный крахмал (*RS*) относится к той части крахмала, которая не может быть переварена и абсорбирована в тонком кишечнике. Однако *RS* может ферментироваться в толстой кишке кишечной микробиотой, в результате чего синтезируются короткоцепочечные жирные кислоты (*SCFA*) (например, бутират, ацетат и пропионат). Эти кислоты, как известно, обладают бактериальной активностью в толстой кишке, при этом снижают риск рака толстой кишки (колоректальный), содействуют лучшему всасыванию минера-

лов, при этом в целом улучшая работу ЖКТ человека [7, 12].

Таким образом, все больше исследований, направленных на изучение свойств крахмала, признают, что *RS* обладает свойствами, которые могут быть полезными в части предотвращения таких состояний, как воспалительные заболевания кишечника, резистентность к инсулину и диабет II типа, могут регулировать гликемический индекс продуктов питания, а также контролировать уровень холестерина (*LDL*) [17].

В зависимости от происхождения и устойчивости к ферментативному гидролизу *RS* принято подразделять на пять подтипов: *RS1*, *RS2*, *RS3*, *RS4* и *RS5* [7, 9, 17].

*RS1*, этот тип резистентного крахмала физически недоступен для переваривания, главным образом потому, что он окружен клеточными стенками или другими тканями, которые предотвращают контакт и реакцию с ферментами ЖКТ человека, главным образом, амилазой. Этот тип крахмала нестабилен, поэтому тонкий помол или глубокая обработка разрушат его структуру. Обычно он содержится в частично размолотых зернах, семенах или клубнях [9].

Тип крахмала *RS2* относится к нативному крахмалу с компактной структурой, гранулы которого относительно обезвожены. *RS2* плотно упакован радиально в гранулах необработанного крахмала, ограничивая доступ пищеварительных ферментов. Данный тип крахмала содержится в сыром картофеле, горохе и зеленых бананах [11].

Ретроградные крахмалы представляют собой перекристаллизованную амилозу, которая меняет свою структуру после термического воздействия при остывании, тем самым образуя тип резистентного крахмала *RS3*. Данный тип резистентного крахмала относится к физически модифицированным, которые в основном образуются в процессе желатинизации и ретроградации во время обработки пищевых систем [10].

*RS4* обычно относится к химически модифицированному крахмалу с измененной молекулярной структурой, который содержит новые химические связи, проявляя при этом повышенную устойчивость к амилолитическим ферментам [9].

*RS5* представляет собой амилозо-липидный комплекс, который образует спиральную структуру, предотвращающую фер-

ментативное расщепление. В этом случае липиды связываются с амилозой в грануле крахмала, предотвращая ее расщепление и обеспечивая устойчивость к ферментативному гидролизу. Такие амилозо-липидные комплексы обычно образуются из крахмалов с высоким содержанием амилозы [17].

Поскольку *RS* представляет собой особый вид крахмала, который не может перевариваться в тонком кишечнике, его образование тесно связано с биосинтезом крахмала. В зависимости от типов на формирование *RS* влияют такие свойства крахмала, как: структура гранул; кристалличность; соотношение амилозы и амилопектина [11].

Вместе с тем исследования относительно оценки модифицированных форм крахмала в качестве стабилизирующих частиц эмульсий Пикеринга представлены в ограниченном количестве, особенно с точки зрения их применения как бифункциональных компонентов (ПАВ и БАВ).

Получение пищевого ингредиента на основе картофельного крахмала с увеличенной долей резистентной фракции за счет применения кавитационных эффектов низкочастотного ультразвукового воздействия (НУЗВ), является задачей данного исследования.

#### **Объекты и методы исследований**

В качестве объекта исследований был взят крахмал картофельный, полученный традиционным способом из сорта картофеля Браслет, который соответствовал требованиям ГОСТ Р 53876-2010 «Крахмал картофельный. Технические условия». Обработка крахмала низкочастотным ультразвуком (НУЗ) проводилась на акустическом источнике упругих колебаний – ультразвуковом приборе «Волна» модель УЗТА-0,63/22-ОМ, работающем на частоте  $(22 \pm 1,65)$  кГц и выходной мощности 630 Вт [1, 2]. Для получения модифицированного образца 4 %-ные картофельные суспензии обрабатывались НУЗ в режиме: мощность воздействия 630 Вт (100 %), время воздействия 10 минут. Были определены исследуемые образцы:

- контроль, пищевой ингредиент на основе картофельного крахмала, далее ПИК;
- опытный образец, пищевой ингредиент на основе картофельного крахмала, обработанный ультразвуком ПИК<sub>УЗВ</sub>.

Контролируемыми параметрами были установлены:

– структура крахмальных зерен, которая определялась методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ);

– размер частиц образцов и их дисперсный состав, были определены с помощью лазерного дифракционного анализатора размеров частиц – Microtrak;

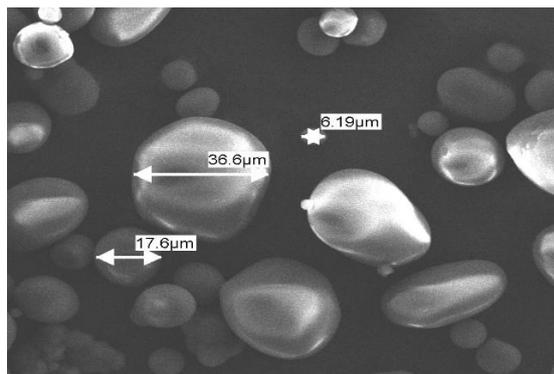
– кристаллическую структуру образцов крахмала определяли методом рентгеновской дифракции (XRD) и преобразования Фурье с инфракрасным ослабленным полным отражением (FTIR-ATR). XRD (Shimadzu, Япония), оснащенный высокочувствительным термостабильным детектором DLATGS. Угол дифракции сканировали при  $30^\circ$  при целевом напряжении 40 кВ и токе 25 мА. Образцы сканировались с номером волны  $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$ . Количество сканирований составило 30 для каждого измерения образца, а разрешение составило  $4\text{ см}^{-1}$ . Каждый образец был измерен в трех репликах в режиме поглощения в соответствии с законом Ламберта-Бира [18]. Отношение волнового числа  $1049/1022$  обычно используется для расчета количества кристаллической структуры в крахмале;

– содержание амилозы в крахмале определяли с помощью метода IRR1 [4], основанном на связывании йодом раствора амилозы. Абсорбцию полученного раствора измеряли при длине волны 625 нм на спектрофотометре.

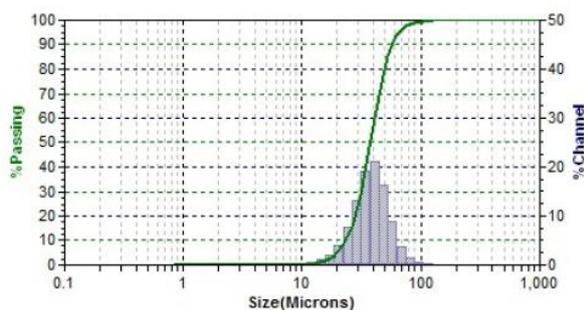
#### **Результаты исследования и их обсуждение**

На содержание *RS* существенно влияют размер и морфология (структура) крахмальных зерен. Многими исследованиями доказано, что размер гранул крахмала прямо пропорционально коррелирует с усвояемостью крахмала [6, 8]. Гранулы крахмала имеют различную форму, размер и расположение в растениях. Кроме того, он может иметь другие характеристики, касающиеся ферментативной доступности и растворимости [11].

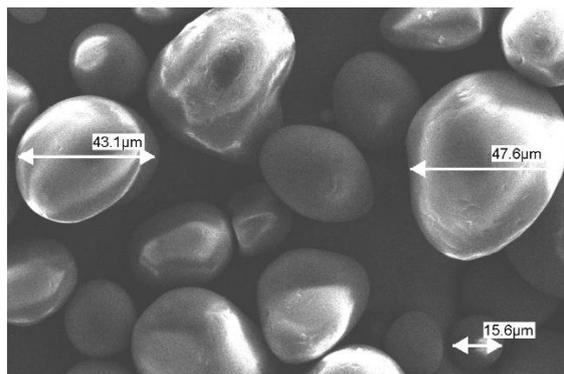
Как правило, гранулы крахмала с большим размером и более низким отношением поверхности к объему труднее перевариваются. При обработке НУЗ на поверхности крахмальных зерен образуются небольшие отверстия, которые меняют структуру в части увеличения размеров зерен. Средний диаметр гранул крахмала меняется в среднем с 37,64 мкм в контрольном образце на 49,63 мкм в образце, обработанном НУЗ (рис. 1). В целом исследование дисперсного состава модельных растворов крахмальных суспензий в сравне-



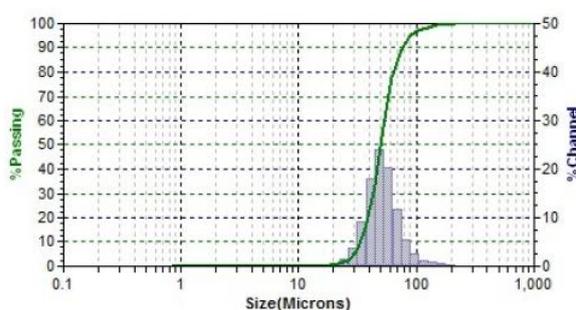
Dia(nm)	Vol%	Width
37.64	100.0	25.19



ПИК



Dia(nm)	Vol%	Width
49.63	100.0	30.23



ПИКУЗВ

Рис. 1. СЭМ-изображения, размеры частиц и дисперсный состав образцов крахмала до и после НУЗВ

нии с контролем показало, что НУЗВ обуславливает изменение состояния дисперсной системы крахмальных растворов в части выравнивания размеров частиц. В образце ПИКУЗВ отсутствуют частицы размерного ряда менее  $(30 \pm 10)$  мкм, с присутствием частиц фракций более  $(70 \pm 10)$  мкм – 20 %. В свою очередь, в контрольном образце присутствуют частицы размерного ряда  $(30 \pm 10)$  мкм – 80 %, и отсутствуют частицы размером выше 60 мкм.

Крахмал состоит из двух типов полисахаридов, а именно амилозы и амилопектина в серии спиралей, образующих кристаллическую структуру.

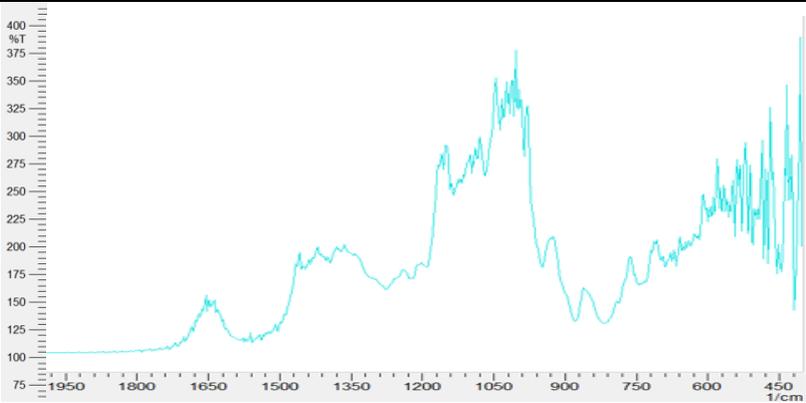
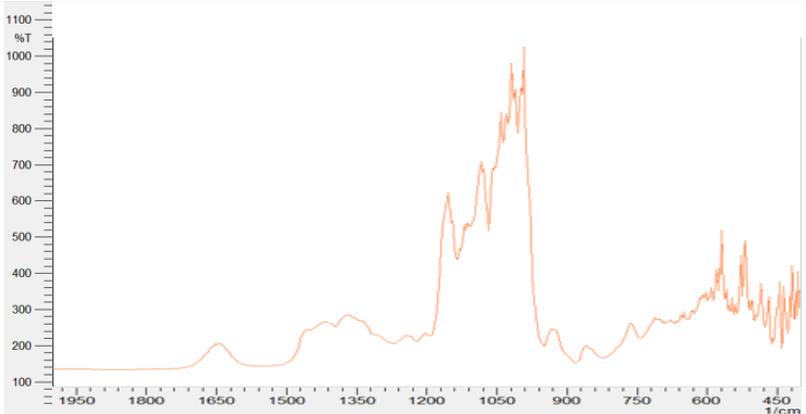
Кристаллическая структура типа А, к которой относятся зерновые крахмалы, плотно структурирована и состоит из глюкозной спирали. В то же время структура типа В, к которой относится картофельный крахмал, не слишком плотная и, таким образом, обеспечивает пространство для молекул воды между ветвями. Тип С представляет собой комбинацию типов А и В [5]. По сравнению с крахма-

лом типа В крахмал типа А легче усваивается [14, 19].

FTIR спектры показали, что интенсивность поглощения при  $1049$  и  $1022 \text{ см}^{-1}$  характерны для кристаллических и аморфных структур крахмала. Спектр  $1049$  чувствителен к изменениям кристалличности, а спектр  $1022$  увеличивается при уменьшении кристалличности. Отношение волнового числа  $1049/1022$  обычно используется для расчета количества кристаллической структуры в крахмале [14].

Отношение волн  $1049/1022$  образца, обработанного НУЗ было выше, чем у контрольного (см. таблицу). Высокое соотношение  $1049/1022$  указывает на высокий краткосрочный пик. Поэтому обработанный НУЗ образец крахмала имел более высокую кристаллическую фракцию, чем контрольная. Эта особенность указывает на то, что накопление амилозы происходит в основном в аморфной области гранул крахмала [19]. Амилоза является основным компонентом аморфных фаз крахмалов, в то время как амилопектин составляет наиболее кристаллическую и органи-

Соотношение кристалличности в контрольном и обработанном НУЗ образцах

Образец	Соотношение волн $1049/1022 \text{ см}^{-1}/\text{см}^{-1}$	FTIR спектры с преобразованием Фурье
ПИК	0,95	
ПИК <sub>УЗВ</sub>	0,84	

зованную часть молекулы [10]. Эти особенности непосредственно влияют на макроструктуру крахмала, а также на его технологические свойства (рис. 1).

Содержание амилозы оказывает сильное влияние на образование медленно усваиваемого и резистентного крахмала. Поэтому критерием для определения рационального режима было содержание амилозы в образцах, обработанных НУЗ.

Содержание амилозы в образцах определяли с помощью метода IRR. Метод основан на определении содержания амилозы в образцах по интенсивности окраски йодом раствора амилозы, извлекаемой из поврежденного крахмала при точно соблюдаемых условиях. Абсорбцию полученного раствора измеряли при 625 нм на спектрофотометре [4].

Полученные данные указывают на увеличение содержания амилозы (рис. 2), тем са-

мым увеличивая содержание медленно усваиваемого и резистентного крахмала. Результаты анализа XRD показали, что образцы, обработанные НУЗ, в основном состояли из короткой амилозы. Они имеют типичную кристаллическую структуру типа В, однако их относительная кристалличность снизилась до 17 %. Температуру желатинизации определяют при 80–125 °С, что будет способствовать образованию медленно перевариваемого крахмала и резистентного крахмала. Содержание амилозы увеличилось с 0,0143 в контрольном образце (ПИК) до 0,1530 в образце, обработанном НУЗ (ПИК<sub>УЗВ</sub>). Эти результаты показывают, что кавитационные эффекты при НУЗВ могут эффективно увеличить содержание амилозы, тем самым значительно снижая усвояемость крахмала, повышая при этом долю резистентной фракции (*RS*), что является перспективным направлением производства

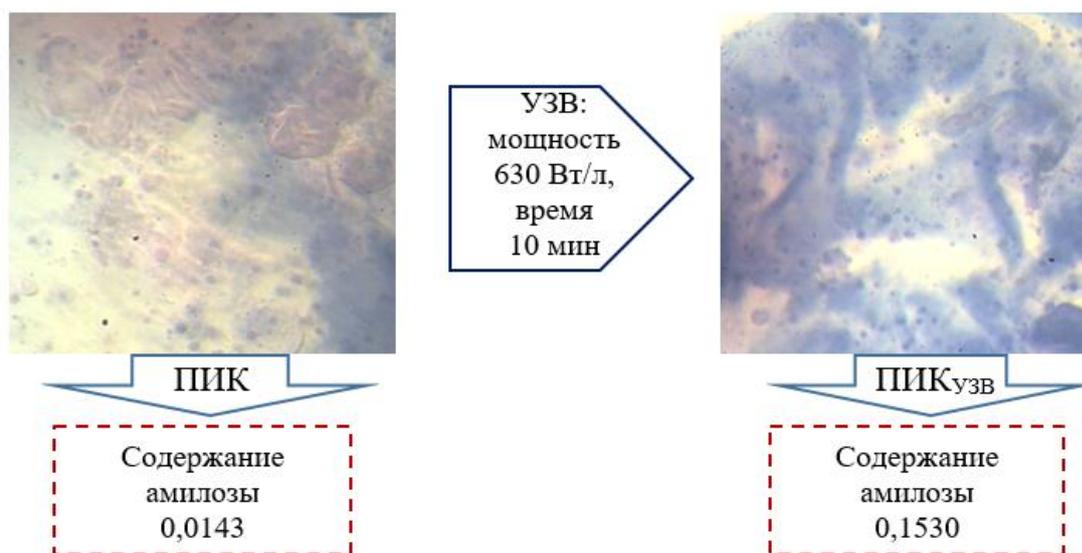


Рис. 2. Микрофотографии и содержание амилозы (окрашена в синий цвет) в контрольном образце и образце, обработанном УЗВ

медленно усваиваемого крахмала (*SDS*) и резистентного крахмала (*RS*) и применение их в пищевых системах нового поколения.

Таким образом, на основании полученных данных было установлено, что кавитационные эффекты УЗВ оказывают непосредственное влияние на структуру зерна крахмала, а именно: снижая кристалличность, происходит на-

копление амилозной фракции, что напрямую влияет на увеличение резистентности крахмала. Сформированная доказательная база позволяет развить новые направления исследований, ориентированные на обоснование применения синтезированных пищевых ингредиентов на основе резистентного крахмала в качестве бифункциональных стабилизирующих частиц в технологии пищевых эмульсий Пикеринга.

### Список литературы / References

1. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш, И.Ю. Потороко. М.: Изд-во «ГИОРД», 2013. С. 98–102. [Shestakov S.D., Krasulya O.N., Bogush V.I., Potoroko I.Yu. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya obrabotki pishchevykh sred s ispol'zovaniem kavitatsionnoy dezintegratsii* [Technology and equipment for processing food media using cavitation disintegration]. Moscow, 2013, pp. 98–102].
2. Хмелев В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: монография. Барнаул: Изд. АлтГТУ, 1997. С. 112–126. [Khmelev V.N., Popova O.V. *Mnogofunktsional'nye ul'trazvukovye apparaty i ikh primeneniye v usloviyakh malyykh proizvodstv, sel'skom i domashnem khozyaystve* [Multifunctional ultrasonic devices and their use in small industries, agriculture, and households]. Barnaul, 1997, pp. 112–126].
3. A.M. Khaneghah. New emerging techniques in combination with conventional methods in improving the quality, safety, and nutrient values of food products: Current state, further challenges, and the future. *Quality Assurance and Safety of Crops Foods*, 2021, vol. 13, pp. 12–13. DOI: 10.15586/qas.v13iSP1.1009
4. Apriyantono A.D., Fardiaz N.L., Puspitasari Sedarnawati dan S. Budiyo. 1989. *Petunjuk Laboratorium Annalisa Pangan*. Bogor: Pusat Antar Universitas IPB.
5. C.G. Arp, M.J. Correa, C. Ferrero. Resistant starches: A smart alternative for the development of functional bread and other starch-based foods. *Food Hydrocolloids*, 2021, vol. 121. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.106949

6. E.K. Asare, S. Jaiswal, J. Maley, M. Baga, R. Sammynaiken, B.G. Rosnagel, R. Chibbar. Barley grain constituents, starch composition, and structure affect starch in vitro enzymatic hydrolysis. *Food Chemistry*, 2011, vol. 59, pp. 4743–4754. DOI: 10.1021/jf200054e
7. I.L. Brown. Applications and uses of resistant starch. *J. Aoac Int.*, 2004, vol. 87, pp. 727–732. DOI: 10.1093/jaoac/87.3.727
8. Jaspreet Singh, Charline Lelane, Robert B. Stewart, Harjinder Singh. Formation of starch spherulites: Role of amylose content and thermal events. *Food Chemistry*, 2020, vol. 121, iss. 4, pp. 980–989. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.01.032
9. K. Englyst, A. Goux, A. Meynier, M. Quigley, H. Englyst, O. Brack, S. Vinoy. Inter-laboratory validation of the starch digestibility method for determination of rapidly digestible and slowly digestible starch. *Food Chemistry*, 2018, vol. 245, pp. 1183–1189. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.11.037
10. Lisha Shen, Jiayang Li, Yunhai Li, Resistant starch formation in rice: Genetic regulation and beyond. *Plant Communications*, 2022, vol. 3, iss. 3. DOI: 10.1016/j.xplc.2022.100329
11. M.G. Sajilata, R.S. Singhal, P.R. Kulkarni. Resistant starch – a review. *Compr. Rev. Food Sci. F.*, 2006, vol. 5, pp. 1–17. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x
12. M.J.A.P. Govers, N.J. Gannon, F.R. Dunshea, P.R. Gibson, J.G. Muir. Wheat bran affects the site of fermentation of resistant starch and luminal indexes related to colon cancer risk: a study in pigs. *Gut*, 1999, vol. 45, pp. 840–847. DOI: 10.1136/gut.45.6.840
13. Natalia Crialeison Balbo Vall Ribeiro, Amanda E. Ramer-Tait, Cinthia Bau Betim Cazarin. Resistant starch: A promising ingredient and health promoter. *Pharma Nutrition*, 2022, vol. 21, 100304. DOI: 10.1016/j.phanu.2022.100304
14. Q. Wang, P. Wang, Z. Xiao. Resistant starch prevents tumorigenesis of dimethylhydrazine-induced colon tumors via regulation of an ER stress-mediated mitochondrial apoptosis pathway. *International Journal of Molecular Medicine*, 2018. DOI: 10.3892/ijmm.2018.3423
15. S. Amiri, Z.M. Moghanjoughi, M.R. Bari, A.M. Khaneghah. Natural protective agents and their applications as bio-preservatives in the food industry: An overview of current and future applications. *Italian Journal of Food Science*, 2021, vol. 33, pp. 55–68. DOI: 10.15586/ijfs.v33iSP1.2045
16. S. Bolek. Food purchasing, preservation, and eating behavior during COVID-19 pandemic: A consumer analysis. *Italian Journal of Food Science*, 2021, vol. 33, pp. 14–24. DOI: 10.15586/ijfs.v33i3.2048
17. Wenwei Zhang, Jingcui Bi, Xiaoyan Yan, Hailian Wang, Changlan Zhu, Jiankang Wang, Jianmin Wan. In vitro measurement of resistant starch of cooked milled rice and physico-chemical characteristics affecting its formation. *Food Chemistry*, 2007, vol. 105, iss. 2, pp. 462–468. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.04.002
18. Z. Li, C. Wei. Morphology, structure, properties and applications of starch ghost A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, vol. 163, pp. 2084–2096. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.09.077
19. Zhuoting Wu, Dongling Qiao, Siming Zhao, Qinlu Lin, Binjia Zhang, Fengwei Xie. Nonthermal physical modification of starch: An overview of recent research into structure and property alterations. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022, vol. 203, pp. 153–175. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.01.103

#### **Информация об авторах**

**Руськина Алена Александровна**, старший преподаватель кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, guskina\_a@mail.ru

**Потороко Ирина Юрьевна**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, irina\_potoroko@mail.ru

#### **Information about the authors**

**Alena A. Ruskina**, Senior Academic at the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, ruskina\_a@mail.ru

**Irina Yu. Potoroko**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, irina\_potoroko@mail.ru

**Статья поступила в редакцию 16.03.2023**

**The article was submitted 16.03.2023**