

## МОДИФИКАЦИЯ КРАХМАЛА С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

*А.А. Руськина, Н.В. Попова, Д.В. Руськин*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

Модифицированный крахмал используется во многих отраслях народного хозяйства, в т. ч. пищевой промышленности. В пищевой промышленности модифицированный крахмал получил широкое применение, особенно в последние десятилетия, за счет неиссякаемости и постоянного возобновления источников его получения. Это связано с тем, что ресурсами для его получения служат такие культуры, как картофель, кукуруза, рожь, пшеница, горох, рис и другие. Основная сфера применения модифицированного крахмала в пищевой промышленности – это использование его как загустителя, эмульгатора и стабилизатора. В настоящее время известно несколько направлений модификации крахмала: химическое (кислотный, окислительный гидролиз); биохимическое (ферментативный гидролиз) и физическое воздействие (механические, температурные, ультразвуковые и волновые). Модифицированный крахмал относят к пищевым добавкам и в процессе модификации изменяют одну или несколько характеристик. Это изменение не является генетическим, поскольку при модификации готового крахмала структура ДНК не затрагивается, лишь улучшается одно из его свойств, например, как загустителя. Что касается химической формулы, то в этой части крахмал модифицированный не отличается от обычного. Работа заключалась в исследовании ультразвукового влияния на крахмальные суспензии (обработанные на акустическом источнике упругих колебаний ультразвуковым приборе «Волна» модель УЗТА-0,4/22-ОМ, работающем на частоте  $(22 \pm 1,65)$  кГц и выходной мощности 400 Вт, при разных режимах). При этом основными параметрами оценки являлись: температура клейстеризации, вязкость и структура крахмальных зерен. Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют говорить о том, что в результате ультразвукового воздействия крахмальные суспензии клейстеризуются при более низких температурах, при этом раствор получается более однородным, с пониженной вязкостью и большей прозрачностью. После остывания реорганизуется в более пластичный студень, который обладает нейтральным вкусом и запахом.

**Ключевые слова:** крахмал, модифицированный крахмал, ультразвук, модификация ультразвуком, пищевая промышленность.

### Введение

Сегодня трудно представить себе рынок пищевых ингредиентов без веществ, используемых для повышения потребительских свойств продуктов питания. Загустители, гелеобразователи, структурообразователи – это группа пищевых ингредиентов, которая обеспечивает структурные характеристики, достаточно широко используются в кондитерской, молочной, хлебопекарской и мясоперерабатывающей промышленности. На данный момент на рынке пищевых добавок доминируют крахмалы, которые в весовом отношении составляют 72 % и используются в основном как загустители [6, 7]. Так как крахмал в пищевой промышленности используется как природный стабилизатор, эмульгатор и загуститель, то его мировое производство в последние годы возросло в несколько раз [1].

Потребности внутреннего рынка в крахмале удовлетворяются менее чем наполовину, дефицит в крахмале составляет около 200 тыс. тонн. Импорт крахмала составляет: 75 % – нативного, около 80 % – модифицированного. Высокая доля импортной продукции на рынке России обусловлена в первую очередь слабой развитостью внутреннего производства модифицированных крахмалов (табл. 1) [1].

Комитет экспертов, объединённых под эгидой таких организаций, как Продовольственная и сельскохозяйственная организация при ООН (ФАО) и Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендовал применять без ограничений лишь крахмалы, обработанные ферментативно [3, 8]. Другие же виды химически обработанных крахмалов нуждаются в дополнительном изучении. Поэтому наибольший интерес представляют физические методы модифицирования.

Таблица 1

Объем производства крахмала в 2011 – апреле 2017 гг. в натуральном и стоимостном выражении

Показатель	2011	2012	2013	2014	2015	2016	январь–апрель 2017
Объем производства, тыс. тонн	145,5	159,1	173,0	173,0	197,0	212,5	79,9
Темпы роста, в %	–	109	109	100	114	108	116
Объем производства, млрд. руб.	1,91	2,80	2,62	3,05	2,79	4,10	1,76
Темпы роста, в %	–	147	94	116	92	147	138

На данный момент допускаются к использованию в пищевой промышленности следующие виды модифицированных крахмалов:

- Е 1400 – термически обработанный,
- Е 1401 – обработанный кислотой,
- Е 1402 – обработанный щёлочью,
- Е 1403 – отбеленный крахмал,
- Е 1404 – окисленный крахмал,
- Е 1405 – обработанный ферментными препаратами,
- Е 1410 – монокрахмалфосфат,
- Е 1411 – дикрахмалглицерин,
- Е 1412 – дикрахмалфосфат,
- Е 1413 – фосфатированный дикрахмалфосфат,
- Е 1414 – ацелированный дикрахмалфосфат,
- Е 1420 – ацетатный,
- Е 1422 – ацелированный дикрахмаладипат,
- Е 1423 – дикрахмалглицерин ацелированный,
- Е 1440 – оксипропилированный,
- Е 1442 – дикрахмалфосфат оксипропилированный,
- Е 1443 – дикрахмалглицерин оксипропилированный,
- Е 1450 – натриевой соли и крахмала октениллантарной кислоты эфир,
- Е 1451 – ацелированный окисленный.

Модифицированные крахмалы по вязкости их клейстеров делят на три группы: высоковязкие с рабочей концентрацией 6 %, средневязкие с рабочей концентрацией 7–12 % и низковязкие с рабочей концентрацией больше 15 %.

Реологические характеристики крахмала зависят от содержания в нем двух полимеров – амилозы и амилопектина. Их соотношение оп-

ределяет способность крахмала растворяться при нагревании с образованием вязких коллоидных систем, называемых клейстерами.

Эти полимеры образуются при полимеризации молекул глюкозы, при этом амилоза имеет линейную структуру, и крахмал с высоким содержанием амилозы проявляет желеобразующие свойства, амилопектин же очень сильно разветвлен и вносит большой вклад в увеличение вязкости (рис. 1) [9].

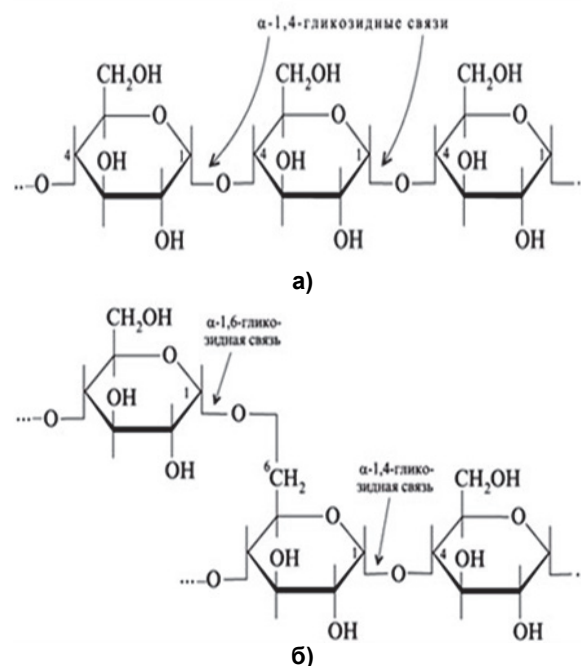


Рис. 1. Структура крахмала: а) амилозы; б) амилопектина

Известно, что крахмалы из разных источников сырья (картофель, кукуруза, рис, пшеница и т. д.) различаются по: форме и размерам гранул (от 3 до 100 мкм); соотношению и химической структуре молекул амилозы и амилопектина. По сравнению с другими ви-

дами крахмала картофельный имеет наиболее крупные зерна – от 15 до 100 мкм и содержит наименьшее количество примесей [15]. Такой крахмал, состоящий из крупных зерен, отличается более высоким качеством [2]. Значительным преимуществом картофельного крахмала перед другими видами крахмалов является более высокая желирующая способность, прозрачность его клейстеров и повышенная их вязкость. Таким образом, эти свойства повышают реакционную способность картофельного крахмала, что особенно важно при получении различных модификаций. В отличие от зерновых, крахмал картофельный содержит пониженное количество белка и не содержит липидов. В сравнении с другими видами нативных крахмалов, картофельный обладает меньшей калорийностью и большим содержанием минеральных веществ. Энергетическая ценность 100 г картофельного крахмала (в ккал/кДж) – 299/1251 (для сравнения, у кукурузного – 329/1377) [11].

#### Объекты и методы

Для проведения эксперимента был взят крахмал картофельный сорт: Экстра, производства ООО «Скайфуд», г. Сергиев Посад, Россия, в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53876-2010. Опытные образцы 4 %-ной суспензии крахмала картофельного обрабатывались ультразвуком на акустическом источнике упругих колебаний ультразвуковым приборе «Волна» модель УЗТА-0,4/22-ОМ, работающем на частоте ( $22 \pm 1,65$ ) кГц и выходной мощности 400 Вт, при разных условиях (табл. 2).

В качестве контрольного образца была взята 4 %-ная крахмальная суспензия, термически обработанная при температуре 60 °С.

Крахмальная суспензия нативная и подвергнутая термической обработке (40 °С; 55 °С, 60 °С) оценивалась визуально и на основе использования микроскопического метода исследования (готовились препараты типа «раздавленной капли»; без применения

красителей, общее увеличение  $\times 600$ ).

Крахмальная суспензия (нативная) подвергалась УЗ обработке в указанных выше режимах (табл. 2), полученные коллоиды исследовали по скорости гелеобразования и показателям вязкости. Измерение вязкости проводилось с использованием вибровискозиметра, модель SV 10.

#### Результаты и их обсуждение

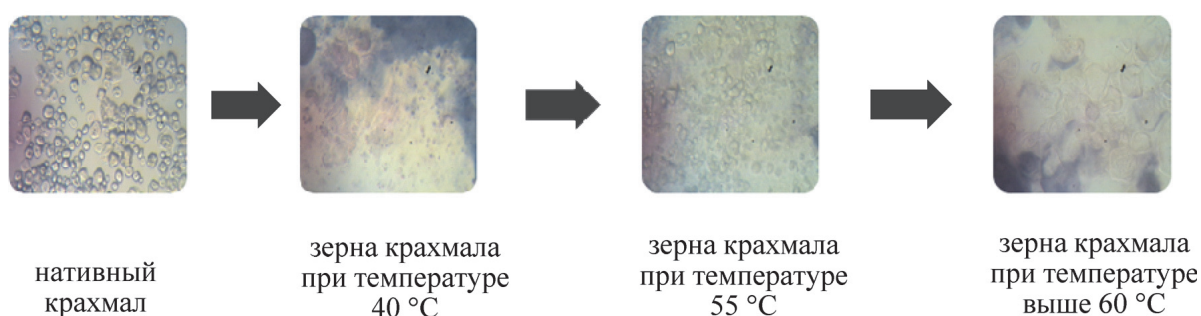
Поскольку крахмальные гранулы практически не растворяются в холодной воде, а при нагревании они сильно набухают, то при продолжительном кипячении примерно 15–25 % крахмала переходит в раствор в виде коллоида. При термической обработке крахмальной суспензии происходит изменение структуры зерен крахмала (рис. 2).

Амилопектин растворим в воде, а амилоза и сами гранулы крахмала нерастворимы в холодной воде. Когда воднокрахмальный жидкий раствор нагревают, гранулы разбухают до того момента пока не будет достигнута точка, в которой разбухший крахмал уже не может перейти в исходное состояние. Это разбухание характеризуется термином «желирование» [12, 14]. В течение этого процесса амилоза выходит из гранулы и вызывает увеличение вязкости жидкого раствора. С увеличением концентрации крахмала его набухаемость и растворимость снижаются в связи с ограниченным количеством свободной воды, и разница между состояниями крахмала становится менее выраженной. Так, при повышении температуры водных крахмальных суспензий более 40 °С происходит частичный разрыв водородных связей молекул в зерне крахмала, ведущий к изменению его микроструктуры. При этом резко возрастает гидратация амилозы и амилопектина и, соответственно, зерна увеличиваются в размерах – происходит их так называемое набухание [16, 17]. При дальнейшем увеличении температуры происходит максимальное разбухание гранул и повышение вязкости раствора. При повышении тем-

Таблица 2

Характеристика модельных образцов

Мощность обработки, Вт (% от номинальной мощности прибора)	Время обработки, мин			
	1	3	5	10
400 (100)	1 – 100	3 – 100	5 – 100	10 – 100
240 (60)	1 – 60	3 – 60	5 – 60	10 – 60



**Рис. 2. Схема технологических изменений крахмальных зерен при нагревании**

пературы до 60 °С амилоза частично переходит в раствор, а амилопектин остается в основном в нерастворенном состоянии. Далее, при повышении температуры, происходит разрушение зерен, т. е. полисахариды переходят в раствор, и начинается процесс клейстеризации. Наконец, гранулы разрушаются на части и при этом получается полностью вязкий коллоидный раствор. Последующее охлаждение концентрированной коллоидной дисперсии крахмала заканчивается образованием эластичного геля. В течение процесса ретроградации субстанция крахмала подвергается изменению, переходя из растворенного и разобщенного состояния в связанное состояние. Первоначально ретроградация крахмала происходит с амилозой, так как амилопектин, из-за своей очень разветвленной структуры молекулы, менее склонен к ретроградации. Из-за тенденции крахмала к ретроградации и подверженности синерезису, повсеместное промышленное и пищевое применение нативных крахмалов ограничено [9].

Процессы набухания и клейстеризации

сопровождаются изменением вязкости суспензии и протекают по-разному для различных видов крахмалов. Так, высокоамилозные и более крупные зерна картофельного крахмала набухают и клейстеризуются быстрее, чем мелкие зерна других видов крахмала [9].

При обработке крахмальной суспензии ультразвуком клейстеризация крахмала происходила при более низких температурах (табл. 3) [10, 13].

Образующийся в процессе нагревания крахмала клейстер представляет собой коллоидную систему (крахмальную дисперсию), в которой дисперсной фазой являются набухшие зерна крахмала, а дисперсионную среду образует растворенный в воде крахмал (главным образом амилоза). Вязкость крахмальной дисперсии тесно связана с объемной долей и деформируемостью диспергированных набухших зерен крахмала. При этом вязкость непрерывной фазы и взаимодействие между фазами определяют реологические свойства всей системы [9].

В результате экспериментальных исследова-

**Таблица 3**  
**Температура клейстеризации крахмала картофельного при различных условиях**

Характеристика модельных образцов	Температура клейстеризации, °С		Средняя температура клейстеризации, °С
	начальная	конечная	
Контроль	59	68	63,5
1 – 100	51,5	53,5	52,5
3 – 100	62	68	65
5 – 100	91	98,5	93,2
1 – 60	42	46,3	44,5
3 – 60	58	62,6	60,3
5 – 60	72,8	87	79,9

дований было установлено, что при воздействии ультразвука определенными режимами на крахмальную суспензию происходит клейстеризация крахмала при более низких температурах. При режиме 1 – 60 крахмал клейстеризуется при температуре 44,5 °С, а при режиме 1 – 100 крахмал клейстеризуется при температуре 52,5 °С. В обоих случаях раствор получается более однородным, с пониженной вязкостью и большей прозрачностью. После остывания реорганизуется в более пластичный студень, который обладает нейтральным вкусом и запахом.

Для исследования реологических характеристик клейстеров крахмалов были взяты образцы, показавшие наиболее низкие температуры клейстеризации (1 – 60, 3 – 60, 1 – 100, 3 – 100) и контроль. На рис. 3 показана зависимость вязкости и выделения амилозы от температуры и степени набухания зерен картофельного крахмала при разных режимах УЗ обработки.

Нативные крахмалы способны к образованию клейстеров, которые имеют ряд недостатков: они чувствительны к действию температур, склонны к синерезису, недостаточно стабильны при хранении. С увеличением набухания крахмала вязкость возрастает, а де-

зинтеграция надмолекулярной структуры сопровождается экспоненциальным снижением вязкости.

Обращает на себя внимание тот факт, что вязкость картофельного клейстера изменяется на три порядка в зависимости от степени набухания и дезинтеграции зерен крахмала.

#### Выводы

Модификация крахмала позволяет существенно изменить его реологические свойства, а, следовательно, расширяет возможности использования. Одним из основных свойств, определяющих эффективность применения модифицированных крахмальных добавок в конкретном пищевом продукте, является совместимость с другими ингредиентами. Модификация крахмалов повышает их студнеобразующую, загущающую и эмульгирующую способность, обеспечивает использование в производстве различных продуктов питания, особенно в кондитерской, хлебопекарной, мясоперерабатывающей промышленности [4, 5].

Применение модифицированного крахмала в пищевой промышленности позволяет не только улучшить органолептические показатели конечного продукта, увеличить его плотность, гомогенность структуры, но и продлить сроки годности готового продукта.

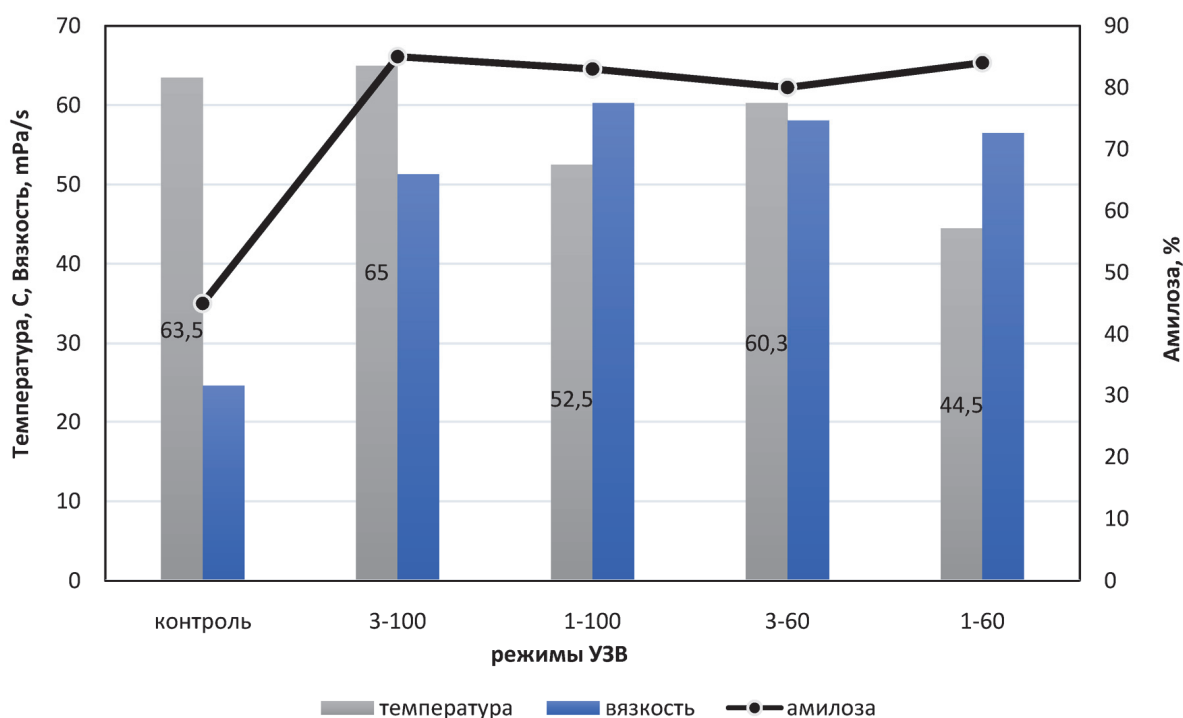


Рис. 3. График зависимости вязкости от температуры и выделения амилозы крахмальных клейстеров обработанных УЗ при разных режимах

Таким образом, применение в современных пищевых технологиях структурирующих добавок на базе модифицированных крахмалов при помощи ультразвука позволяет создать ассортимент продуктов эмульсионно-гелевой природы (майонезы, соусы, пастилы, зефиры, мармелады и др.).

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.А03.21.0011 и при финансовой поддержке госзадания № 40.8095.2017/БЧ (2017123-ГЗ).

### Литература

1. Аксенов, В.В. Комплексная переработка растительного крахмалосодержащего сырья в России / В.В. Аксенов // *Вестник КрасГАУ*. – 2007. – № 5. – С. 213–218.
2. Андреев, Н.Р. Структура, химический состав и технологические свойства основных видов крахмалосодержащего сырья / Н.Р. Андреев, В.Г. Карпов // *Хранение и переработка сельхоз сырья*. 1999. – № 7. – С. 30–33.
3. Лукин, Н.Д. Исследование действия амилолитических ферментов на нативный крахмал различных видов в гетерогенной среде / Н.Д. Лукин, Э.М. Бородина, А.А. Папахин и др. // *Достижения науки и техники АПК*. – 2013. – № 10. – С. 62–64.
4. Никитина Е.В. Биотехнологические аспекты применения амилолитических ферментов в пищевой промышленности / Е.В. Никитина, О.А. Решетник, Р.А. Губайдуллин // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2013. – Т. 16, № 13. – С. 148–153.
5. Никитина, Е.В. Сравнительная характеристика физико-химических и морфологических свойств модифицированных картофельных крахмалов / Е.В. Никитина, Л.З. Габдукаева // *Вестник Казанского технологического университета*, – 2012. – Т. 15, № 13. – С. 228–230.
6. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.04.12 года № 559-р «Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации до 2020 года».
7. Соломин, Д.А. Инновации в производстве и применении модифицированных крахмалов / Д.А. Соломин, Л.С. Соломина // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2014. – № 3. – С. 19–22.
8. Стратегия повышения качества пищевой продукции на период до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ № 1364-р от 29.06.2016 г.
9. Халиков, Р.М. Трансформации макромолекул амилозы и амилопектина при технологической переработке крахмальных гранул растительного сырья в пищевой индустрии / Р.М. Халиков, Г.Б. Нигаматуллина // *Nauka-rastudent.ru*. – 2015. – № 01 (013-2015). – <http://nauka-rastudent.ru/>
10. Шестаков, С.Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш, И.Ю. Потороко. – СПб., 2013.
11. Ягофаров, Д.Ш. Физико-химические свойства картофельного крахмала / Д.Ш. Ягофаров, А.В. Канарский, Ю.Д. Сидоров, М.А. Поливанов // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2012. – Т. 15, № 12. – С. 212–215.
12. Garcia-Alonso A., Jimenez-Escrig A., Martin-Carron N., Bravao L., Saura-Calixto F. // *Food Chemistry*. – 1999. – V. 66. – P. 181–187.
13. Krasulya, O. Impact of acoustic cavitation on food emulsions / O. Krasulya, V. Bogush, V. Trishina, I. Potoroko, S. Khmelev, P. Sivashanmugam, S. Anandan // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2016. – V. 30. – P. 98–102. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2015.11.013
14. Morikawa, K., Nishinari K. Rheological and DSC studies of gelatinization of chemically modified starch heated at various temperatures // *Carbohydrate Polymers*. – 2000. – V. 43. – P. 241–247. DOI: 10.1016/S0144-8617(00)00148-X
15. Potoroko I.Y., Ruskina A.A. Modeling of potato convenience of exposure effects of ultrasound // *Solid State Phenomena*. – 2016. – P. 697–702. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.870.697
16. Rosalina I., Bhattacharya M. Dynamic rheological measurements and analysis of starch gels // *Carbohydrate Polymers*. – 2002. – V. 48. – P. 191–202. DOI: 10.1016/S0144-8617(01)00235-1
17. Whistler R. L., BeMiller N.J. *Carbohydrate chemistry for food scientists*. – Minnesota: Eagan Press, 1997. – P. 1–150. DOI: 10.1002/food.19970410523

Руськина Алена Александровна, старший преподаватель кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), ruskina\_a@mail.ru

Попова Наталия Викторовна, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), nvrорова@susu.ru

Руськин Денис Владимирович, магистрант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), den.ruskin@mail.ru

Поступила в редакцию 24 декабря 2017 г.

DOI: 10.14529/food180108

## STARCH MODIFICATION BY USING ULTRASONIC EXPOSURE AS A TOOL FOR CHANGING ITS TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS

A.A. Ruskina, N.V. Popova, D.V. Ruskin

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Modified starch is used in many branches of the national economy, including food industry. In food industry modified starch has been widely used especially in recent decades due to the inexhaustibility and constant renewal of sources of its production. It is due to the fact that such crops as potatoes, corn, rye, wheat, peas, rice and others serve as resources for its production. The main application of modified starch in food industry is the use of it as a thickener, emulsifier and stabilizer. At present, several ways for modification of starch are known: chemical (acidic, oxidative hydrolysis), biochemical (enzymatic hydrolysis) and physical effects (mechanical, temperature, ultrasonic and wave). The modified starch is referred to as food additives and in the modification process one or more characteristics are changed. This change is not genetic, because when the finished starch is modified the DNA structure is not affected, only one of its properties, for example, as a thickener it is improved. As for the chemical formula the modified starch does not differ from the usual one. The work consists in the analysis of ultrasonic effect on starch suspensions (processed with the acoustic source of elastic vibrations of ultrasonic device “Volna” model УЗТА-0.4/22-ОМ, operating at a frequency  $(22 \pm 1.65)$  kHz and output power of 400 W at different modes). At the same time, the main parameters of the assessment are gelatinization temperature, viscosity and structure of starch grains. The results of experimental studies have shown that as a result of ultrasonic effect starch suspensions are gelatinized at lower temperatures with the solution being more homogeneous, with lower viscosity and greater transparency. After cooling it is reorganized into more ductile jelly, which has a neutral taste and smell.

**Keywords:** starch, modified starch, ultrasound, ultrasonic modification, food industry.

### References

1. Aksenov V.V. [Complex processing of vegetable starch-containing raw material in Russia]. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University], 2007, no. 5, pp. 213–218. (in Russ.)
2. Andreev N.R., Karpov V.G. [Structure, chemical composition and technological properties of the main types of starch-containing raw materials]. *Khranenie i pererabotka sel'khoz syr'ya* [Storage and processing of agricultural raw materials], 1999, no. 7, pp. 30–33. (in Russ.)
3. Lukin N.D., Borodina E.M., Papakhin A.A. et al. [Analysis of the action of amylolytic enzymes on native starch of various types in a heterogeneous medium]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of agro-industrial complex], 2013, no. 10, pp. 62–64. (in Russ.)
4. Nikitina E.V., Reshetnik O.A., Gubaydullin R.A. [Biotechnological aspects of the use of amylolytic enzymes in food industry]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2013, vol. 16, no. 13, pp. 148–153. (in Russ.)

5. Nikitina E.V., Gabdukaeva L.Z. [Comparative characteristics of physical and chemical and morphological properties of modified potato starches]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2012, vol. 15, no. 13, pp. 228–230. (in Russ.)
6. *Rasporyazhenie pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 17.04.12 goda № 559-r «Strategiya razvitiya pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Rossiyskoy Federatsii do 2020 goda»* [Decree of the Government of the Russian Federation No.559-p of 17.04.12 “Strategy for the development of food and processing industries of the Russian Federation until 2020”].
7. Solomin D.A., Solomina L.S. [Innovations in the production and use of modified starches]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], 2014, no. 3, pp. 19–22. (in Russ.)
8. *Strategiya povysheniya kachestva pishchevoy produktsii na period do 2030 goda. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF № 1364-r ot 29.06.2016 g.* [Strategy for improving the quality of food products for the period until 2030. Order of the Government of the Russian Federation No.1364-p of June 29, 2016].
9. Khalikov R.M., Nigamatullina G.B. [Transformation of amylase and amylopectin macromolecules during processing of starch granules of vegetable raw material in food industry]. *Nauka-rastudent.ru*, 2015, no. 01 (013-2015). (in Russ.). Available at: <http://nauka-rastudent.ru/>
10. 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 of food environments using cavitation disintegration]. St. Petersburg, 2013.
11. Yagofarov D.Sh., Kanarskiy A.V., Sidorov Yu.D., Polivanov M.A. [Physical and chemical properties of potato starch]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2012, vol. 15, no. 12, pp. 212–215. (in Russ.)
12. Garcia-Alonso A., Jimenez-Escrig A., Martin-Carron N., Bravoa L., Saura-Calixto F. *Food Chemistry*, 1999, vol. 66, pp. 181–187.
13. Krasulya O., Bogush V., Trishina V., Potoroko I., Khmelev S., Sivashanmugam P., Anandan S. Impact of acoustic cavitation on food emulsions. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2016, vol. 30, pp. 98–102. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2015.11.013
14. Morikawa, K., Nishinari K. Rheological and DSC studies of gelatinization of chemically modified starch heated at various temperatures. *Carbohydrate Polymers*, 2000, vol. 43, pp. 241–247. DOI: 10.1016/S0144-8617(00)00148-X
15. Potoroko I.Y., Ruskina A.A. Modeling of potato convenience of exposure effects of ultrasound. *Solid State Phenomena*, 2016, pp. 697–702. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.870.697
16. Rosalina I., Bhattacharya M. Dynamic rheological measurements and analysis of starch gels. *Carbohydrate Polymers*, 2002, vol. 48, pp. 191–202. DOI: 10.1016/S0144-8617(01)00235-1
17. Whistler R.L., BeMiller N.J. *Carbohydrate chemistry for food scientists*. Minnesota, Eagan Press, 1997, pp. 1–150. DOI: 10.1002/food.19970410523

**Alena A. Ruskina**, senior lecturer of the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University (Chelyabinsk), [ruskina\\_a@mail.ru](mailto:ruskina_a@mail.ru)

**Natalia V. Popova**, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University (Chelyabinsk), [nvspopova@susu.ru](mailto:nvpopova@susu.ru)

**Denis V. Ruskin**, Master's Degree student of the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University (Chelyabinsk), [den.ruskin@mail.ru](mailto:den.ruskin@mail.ru)

*Received December 24, 2017*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Руськина, А.А. Модификация крахмала с помощью ультразвукового воздействия как инструмент изменения его технологических характеристик / А.А. Руськина, Н.В. Попова, Д.В. Руськин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2018. – Т. 6, № 1. – С. 69–76. DOI: 10.14529/food180108

### FOR CITATION

Ruskina A.A., Popova N.V., Ruskin D.V. Starch Modification by Using Ultrasonic Exposure as a Tool for Changing its Technological Characteristics. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2018, vol. 6, no. 1, pp. 69–76. (in Russ.) DOI: 10.14529/food180108