

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ МОДИФИКАЦИИ КРАХМАЛА КАК ИНСТРУМЕНТА ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

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

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

В настоящее время крахмал стал важным пищевым и техническим продуктом, который широко применяется в различных отраслях пищевой промышленности. В статье представлены материалы исследования российских и зарубежных ученых в области модификации крахмала как инструмента повышения его технологических характеристик. Модифицированный крахмал, цена которого в разы ниже, позволяет значительно снизить себестоимость конечного продукта. Его применяют: при производстве колбасы, для связывания свободной влаги; при изготовлении соусов, кетчупов, майонезов для придания этим продуктам необходимой консистенции; при изготовлении йогуртов или кефира модифицированный крахмал используется для придания нужной текстуры; при изготовлении кондитерских и хлебобулочных изделий для улучшения внешнего вида и т. д. Независимо от сферы применения модифицированный крахмал, производство которого осуществляется в таких странах, как Россия, Китай, США, Индия и др., выступает как загуститель, эмульгатор и стабилизатор. Основной проблемой при применении крахмала является повышение вязкости при старении водных растворов, это происходит вследствие частичной кристаллизации полимерных цепей. Современные научные исследования по разработке эффективных способов целенаправленного изменения природных свойств нативного крахмала в последнее время интенсивно развивается, т. е. его модифицирование с помощью химических (кислотный, окислительный гидролиз), биохимических (ферментативный гидролиз) и физических воздействий (механические, температурные, ультразвуковые и волновые) имеет не только научное значение, но и промышленное применение. Следует отметить, что для производства модифицированного крахмала не применяются методы генной инженерии. Однако комитет экспертов, объединённых под эгидой таких организаций как ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация при ООН) и ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения) рекомендовал применять без ограничений лишь крахмалы, обработанные ферментативно. Другие же виды химически обработанных крахмалов нуждаются в дополнительном изучении. Поэтому наибольший интерес представляют физические методы модифицирования, которые позволяют безреагентным способом воздействовать на крахмал, изменяя при этом его свойства.

Ключевые слова: крахмал, модифицированный крахмал, способы модификации крахмала, УЗ-воздействие, пищевые технологии.

Современное состояние мирового рынка привело к тому, что приоритеты государственной политики РФ в пищевой и перерабатывающей промышленности должны решать задачи по обеспечению продовольственной безопасности страны. В данных обстоятельствах одним из важнейших направлений государственной политики России становится прежде всего обеспечение населения страны качественными и безопасными продуктами питания. Для решения этих вопросов приняты национальные законы РФ, а также другие нормативные акты, учитывающие нормативную базу Европейского союза и других стран, в том числе «Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации до 2020 года» (Распоряжение

Правительства Российской Федерации № 559-р от 17.04.12 г.) и «Стратегия повышения качества пищевой продукции на период до 2030 года» (Распоряжение Правительства РФ № 1364-р от 29.06.2016 г.) [9, 10, 12].

Для современного пищевого производства крахмал является важным продуктом, который нашел широкое применение в различных областях пищевой промышленности. Внимание ученых и крупных корпораций всего мира привлекают уникальные свойства крахмала как природного полимера, в плане производства на его основе самых разнообразных продуктов, о чем свидетельствуют с каждым годом все большее число публикаций и патентов по синтезу и модификации крахмала [3].

Крахмал, являясь природным полисахаридом, ценен рядом свойств и особенностей. Ресурсами для его получения служат: картофель, кукуруза, рожь, пшеница, маниока, горох, рис и другие культуры, поэтому ежегодная возобновляемость и неиссякаемость крахмалсодержащего сырья служит хорошим стимулом для его применения в народном хозяйстве [2].

Крахмал, который используется в пищевой промышленности, может обладать как нативными свойствами, так и иметь различные модификации свойств нативных растительных крахмалов. Модифицированный крахмал относят к пищевым добавкам и в процессе модификации изменяют одну или несколько характеристик. Это изменение не является генетическим, поскольку при выращивании генно-модифицированных растений используют современные методы генной инженерии, при которых происходят изменения генетического кода. При этом целью генной инженерии является не изменение нативных свойств крахмалов, а, например, повышение урожайности культур; повышение стойкости выращиваемых растений к различным заболеваниям и вредителям (например, устойчивость картофеля к парше); улучшение вкусовых качеств (например, при селекции новых сортов) и т. п. 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 (рис. 1) [2].

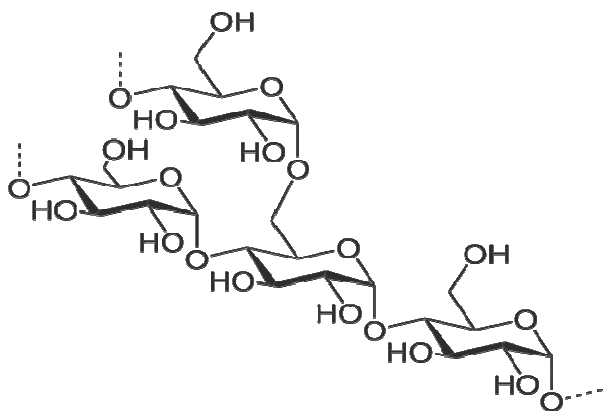


Рис. 1. Химическая структура крахмала

Как уже было сказано выше, известные способы модификации крахмала, которые в

дальнейшем используются в пищевой промышленности, делятся на физические, химические и ферментативные. Такие способы модификации приводят к изменению его свойств, что, в свою очередь, может привести к изменению таких потребительских характеристик как:

- снижению или повышению уровня вязкости готового продукта;
- возможности даже при многократном размораживании и замораживании продукта сохранять его потребительские свойства, не снижая качества;
- уменьшению или увеличению времени желатинизации готового продукта;
- изменению текстуры;
- увеличению срока хранения и многие другие свойства [1].

В настоящее время на рынок все больше поступает продуктов, в состав которых входит модифицированный крахмал, поскольку основная роль его использования – это достижение необходимой итоговой консистенции. Конечно, это свойство очень привлекает производителей. Не все модифицированные крахмалы разрешены для использования в пищевой промышленности. В современной пищевой промышленности используется крахмал, при изменении свойств которого применялась температура (E1400), кислота (E1401), щелочь (E1402), ферменты (E1405).

Известно, что нативный крахмал практически нерастворим в холодной воде. Когда раствор крахмала в воде начинает нагреваться, молекулы воды проникают в гранулу до полной ее гидратации. При этом изменяется целостность гранулы, и она начинает набухать от центра, следовательно, происходит изменение водородных связей между молекулами амилозы и амилопектина. В свою очередь набухшие гранулы желеобразуются и повышают вязкость раствора или переходят в гели. Температура желеобразования различна для крахмалов разных видов. Это связано с тем, что крахмалы из разных источников сырья (картофель, кукуруза, рис, пшеница и т. д.) различаются по: форме и размерам гранул; соотношению и химической структуре молекул амилозы и амилопектина. У различных крахмалов размеры гранул варьируются в диапазоне от 3 до 100 мкм. Крахмалы некоторых видов одновременно могут содержать гранулы разных размеров. Например, пшеничный крахмал состоит из двух видов гра-

нул: маленьких, размером 5–15 мкм, и большего размера – 22–36 мкм. На свойства крахмала размер гранул не влияет, однако, чем большего размера гранулы, тем легче они набухают. Форма гранул также может быть различной, они могут быть: правильной формы (круглыми, овальными) или неправильной формы (сферическими, чечевицеобразными и т. д.); иметь гладкую поверхность или иметь вид многогранника и т. д. [4].

Известные модификации одинаково действуют, изменяя структуру молекулы крахмала и влияя на водородную связь, с целью улучшения их свойств и расширения применения. При этом ботаническое происхождение крахмала можно по-прежнему определить с помощью микроскопа, так как изменения происходят на молекулярном уровне, следовательно, на внешний вид гранул они не влияют или влияют в незначительной степени (рис. 2) [4].

Известно, что в крахмале присутствуют два типа полимеров: амилоза и амилопектин. 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. Этот растворимый крахмал носит название амилоза. Остальная часть – амилопектин – не растворяется даже при очень длительном ки-

пячении (рис. 3). Имея линейную структуру, молекулы амилозы легче выстраиваются в ряд, при этом образуя больше водородных связей и давая прочные гели. Следовательно, для такого крахмала потребуется больше энергии, чтобы разорвать эти связи и желеобразоваться. Обычно, чем больше содержится амилозы в крахмале, тем выше температура желеобразования. Таким образом, нативный крахмал, состоящий в основном из амилопектина, имеет высокую вязкость, а крахмал с высоким содержанием амилозы проявляет желеобразующие свойства.

В то же время молекулы амилопектина имеют разветвленную структуру и поэтому неспособны выстраиваться в ряд. Следовательно, из-за этого водородные связи их значительно слабее и гели с их участием гораздо менее прочные. С другой стороны, имея разветвленную структуру, амилопектин имеет и гораздо большую молекулу, чем амилоза, а так как вязкость – это исключительно функция молекулярной массы, это позволит получать более эластичные гели. Поэтому амилопектин вносит больший вклад в увеличение вязкости, чем амилоза [4, 5, 13].

Один из способов изготовления модифицированного крахмала состоит в его декстринировании и включает тщательное замешивание крахмала с растворами солей двух- или трехвалентных металлов, высушивание и на-

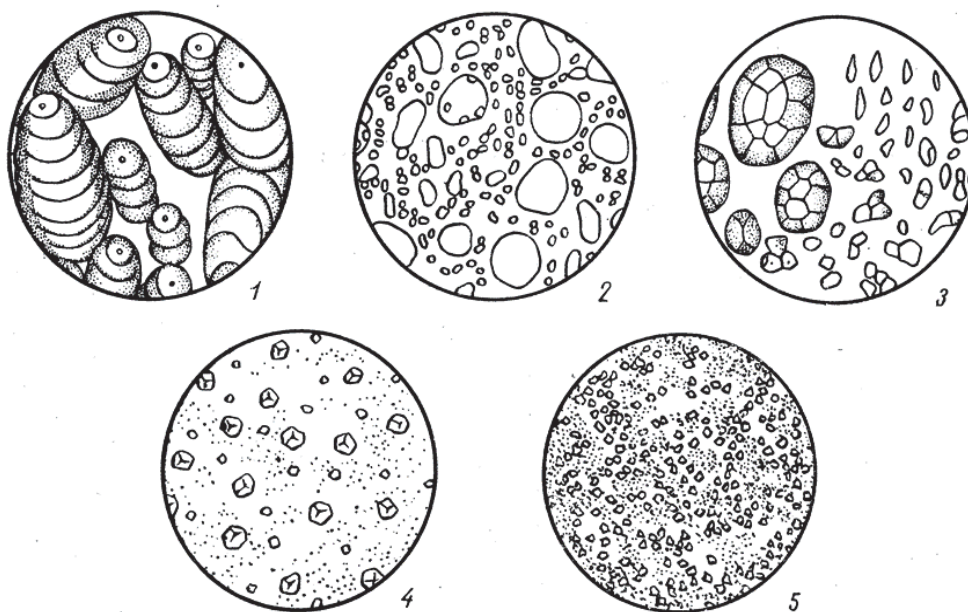


Рис. 2. Зерна крахмала под микроскопом: 1 – картофельный; 2 – пшеничный; 3 – овсяный; 4 – кукурузный; 5 – рисовый

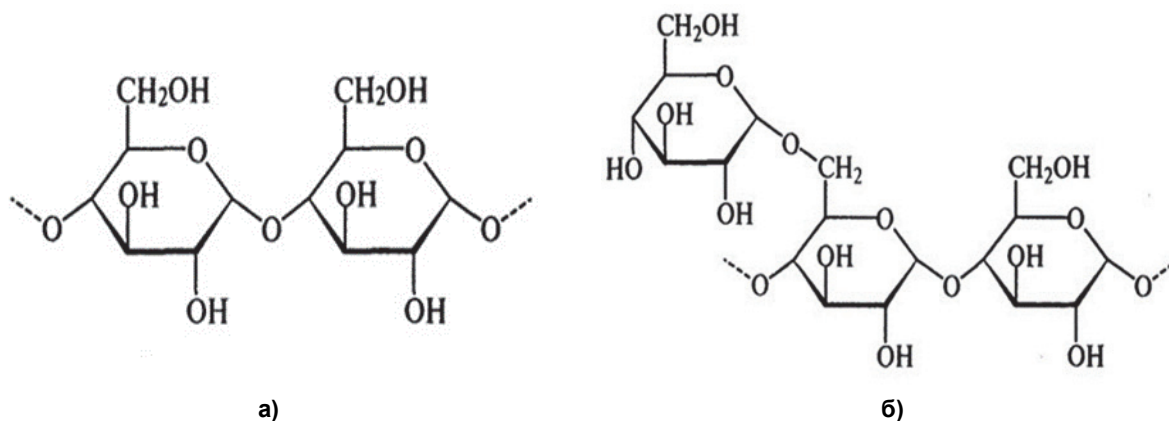


Рис. 3. Химическая формула: а) амилоза; б) амилопектин

гревание при 150–160 °С в течение 1–2 ч. В зависимости от продолжительности и температуры высушивания получают крахмал, растворимый в холодной или горячей воде, причем растворы обладают различной вязкостью, клеящей или прилипающей способностью [11].

Еще одно уникальное свойство крахмала – клейстеризация. Этот сложный процесс идет в три этапа и происходит в присутствии воды при нагревании крахмала. На первом этапе крахмальные зерна набухают за счет присоединения к ним небольшого количества воды. На этом этапе процесс клейстеризации обратим. На втором этапе клейстеризации происходит сильное набухание зерен при повышении температуры, они присоединяют большое количество воды и увеличиваются в объеме во много раз. На этом этапе стадия клейстеризации уже необратима. На последнем, третьем этапе из зерен извлекаются растворимые полисахариды и они теряют форму. При этом получается клейстер в виде золя или геля, исходя из соотношения крахмала и воды (например, густые кисели с 6–8 %-ным со-

держанием крахмала относятся к прочным гелям). Чтобы предотвратить старение заклеявшегося крахмала изделия из него выдерживают в горячем состоянии до момента их употребления. Крахмальные гели различной вязкости служат основой для киселей, супов-пюре и соусов. Для ягодных киселей пригоден картофельный крахмал, образующий прозрачный, почти бесцветный гель. Для молочных киселей можно применять маисовый крахмал, дающий непрозрачный молочно-белый гель. Следовательно, можно говорить о процессе клейстеризации нативного крахмала как о важном свойстве, которое позволяет расширить его применение в пищевой промышленности, а при его модификации получать крахмалы с высокой степенью клейстеризации (табл. 1).

Еще один способ получения модифицированного крахмала был запатентован учеными Тюревым Е.П., Зверевым С.В. и Цыгулевым О.В. Данный способ получения крахмала включает предварительную обработку нативного крахмала и формирование крахмала-экструдера, при этом предварительную обра-

Таблица 1

Свойства крахмала, влияющие на степень клейстеризации

Вид крахмала	Содержание амилозы, %	Содержание амилопектина, %	Температура клейстеризации, °С	
			начальная	конечная
Картофельный	19–22	78–81	59	68
Пшеничный	24	76	58	64
Рисовый	17	83	68	78
Кукурузный	21–23	77–79	62	72

ботку ведут раствором крахмального клейстера или желатина, а крахмал-экструдер подвергают вторичному нагреву с использованием в качестве источника тепла ИК-излучателя. При этом используют 0,3–0,7 %-ный водный раствор крахмального клейстера или желатина, а вторичный нагрев осуществляют при температуре 15–18 °С. Данный способ позволяет обеспечить высокую степень клейстеризации, содержание декстринов и набухаемость крахмала, что положительно сказывается на его питательных свойствах и усвояемости организмом (патент № 2078087) [6].

Способ получения модифицированного крахмала, разработанный и запатентованный группой ученых из России, Белоруссии и Казахстана, предусматривает предварительную обработку нативного крахмала и формирование крахмала-экструдера. При этом нативный крахмал выбирают из картофельного, тапиокового, кукурузного, пшеничного, ржаного, тритикалевого, ячменного, рисового, соргового, амарантового, гречишного, овсяного, горохового, нуттового и бананового или их смесей, смешивают с нанопорошком серебра, золота, меди, цинка, железа, молибдена, кобальта, вольфрама, титана, никеля, алюминия, магния, свинца, олова, германия, гадолиния, платины, кремния и подвергают одно- или многократной обработке в шаровой коллоидной мельнице или подвергают одно- или многократной экструзионной обработке. При этом экструзионная обработка может быть холодной, и/или горячей, и/или высокотемпературной. Холодную экструзионную обработку осуществляют при температуре ниже или равной температуре клейстеризации крахмала и составляющей не более 50 °С, влажности более 28 % и давлении менее 10 МПа. Горячую экструзионную обработку осуществляют при температуре выше температуры клейстеризации крахмала, но не более 120 °С, влажности 24–30 % и давлении 9–12 МПа. Высокотемпературную экструзионную обработку осуществляют при температуре более 120 °С, влажности 14–20 % и давлении 12–20 МПа, после чего полученный экструдер измельчают. Изобретение позволяет разработать высокоэффективный способ получения модифицированного крахмала с хорошими потребительскими свойствами [8].

Еще один способ модификации крахмала – обработка крахмальной суспензии при по-

мощи ультразвука [14]. Данным направлением занимаются ученые не только в России, но и во многих других странах мира, в т. ч. Китае, Индии, США, Австралии и т. д. [7, 15, 16].

Известно, что крахмал клейстеризуется в среднем при температуре от 58 до 78 °С (в зависимости от вида). При этом происходит проникновение молекулы воды в гранулу до полной ее гидратации. Гранулы при этом начинают набухать и терять форму.

Для проведения эксперимента нами был взят крахмал картофельный ГОСТ Р 53876-2010. Опытные образцы 5 %-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 контроля определен крахмал картофельный, обработанный термически ($t = 60$ °С). Основными параметрами сравнения оценки являлись – температура клейстеризации, вязкость и структура крахмальных зерен.

В соответствии с условиями эксперимента суспензию крахмала картофельного обрабатывали ультразвуком при разных режимах, после чего измеряли температуру полученного клейстера, анализировали структуру зерен под микроскопом (рис. 4), измеряли вязкость на вивровискозиметре (модель SV 10).

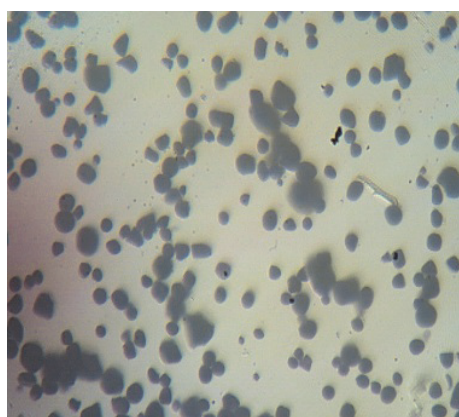
В результате экспериментальных исследований было установлено, что при воздействии ультразвука определенными режимами на крахмальную суспензию, происходит клейстеризация крахмала при более низких температурах. При режиме 1 – 60 крахмал клейстеризуется при температуре 44,5 °С, а при режиме 1 – 100 крахмал клейстеризуется при температуре 52 °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.

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.

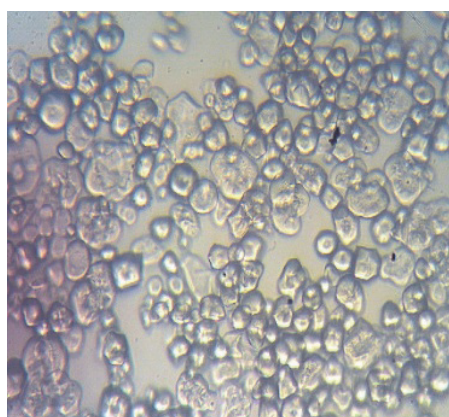
Таблица 2

Характеристика модельных образцов

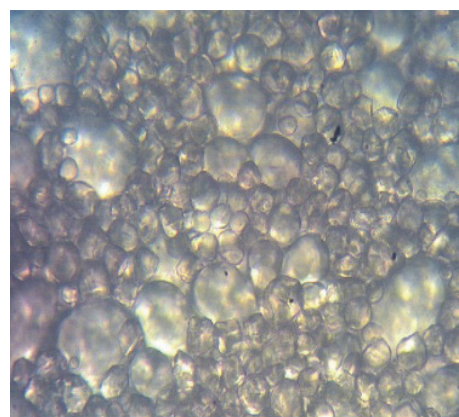
Мощность обработки, Вт (% от номинальной мощности прибора)	Время обработки, мин			
	1	3	5	10
400 (100)	1–100	3–100	5–100	10–100
240 (60)	1–60	3–60	5–60	10–60



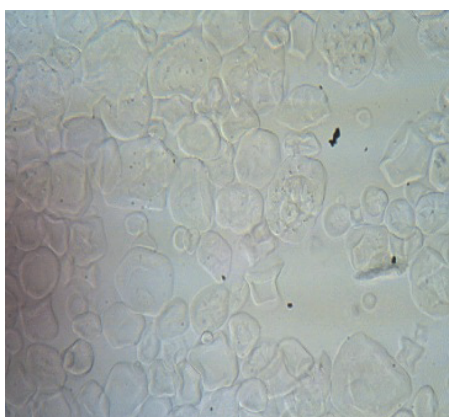
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Структура крахмальных зерен: а – нативный крахмал; б – обработанный ультразвуком (режим 1 – 60); в – обработанный УЗ (режим 1 – 100); г – термически обработанный (крахмальный клейстер, $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Литература

1. Аксенов, В.В. Комплексная переработка растительного крахмалсодержащего 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 крахмалсодержащего сырья / Н.Р. Андреев, В.Г. Карпов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – № 7. – С. 30–33.

3. Кряжев, В.Н. Последние достижения химии и технологии производных крахмала / В.Н. Кряжев, В.В. Романов, В.А. Широков // Химия растительного сырья. – 2010. – № 1. – С. 5–12.

4. Кузьмин, К.В. Обеспечение качества ликероводочных изделий путем стабилизации коллоидной системы с помощью модифицированного крахмала: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Обзорные статьи

наук / К.В. Кузьмин. – Кемерово: КемГИПП, 2014. – 107 с.

5. 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.

6. Патент на изобретение *RUS 2078087*. Способ получения модифицированного крахмала / Е.П. Тюрев, С.В. Зверев, О.В. Цыгулев. – 1997.

7. Патент на изобретение *RUS 2531404*. Способ подготовки воды для пищевых производств / И.Ю. Потороко, Н.В. Попова, В.В. Ботвинникова, О.Н. Красуля и др. – 2013. Дата регистрации: 23.05.2013. Номер заявки: 2013123709/05.

8. Патент на изобретение *RUS 2585473*. Способ получения модифицированного крахмала / Н.В. Тарасенко, П.И. Кудинов, В.В. Литвяк, Г.Х. Оспанкулова, Ю.Ф. Росляков. – 2014.

9. Потороко, И.Ю. Научные подходы в обеспечении качества и безопасности плодов и овощей в процессе хранения. Мировой опыт. Часть 1 / И.Ю. Потороко, И.В. Калинина, А.А. Руськина // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии».* – 2017. – Т. 5, № 1. – С. 14–18. DOI: 10.14529/food170102

10. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.04.12 года № 559-р «Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации до 2020 года».

11. Сабиров, А.А. Обоснование применения ударно-активаторно-дезиграторной обработки в технологиях получения сиропов из крахмалсодержащего сырья / А.А. Сабиров, Н.В. Баракова, Е.А. Самоделкин // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии».* – 2017. – Т. 5, № 2. – С. 60–66. DOI: 10.14529/food170208

12. Стратегия повышения качества пищевой продукции на период до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ № 1364-р от 29.06.2016 г.

13. Халиков, Р.М. Трансформации макромолекул амилозы и амилопектина при технологической переработке крахмальных гранул растительного сырья в пищевой индустрии / Р.М. Халиков, Г.Б. Нигаматуллина // *Naikarastudent.ru.* – 2015. – № 01 (013-2015). – <http://naika-rastudent.ru/>

14. 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.: ГИОРД, 2013. – 150 с.

15. Krasulya Olga, Bogush Vladimir, Trishina Victoria, Potoroko Irina, Khmelev Sergey, Sivashanmugam Palani, Anandan Sambandam. Impact of acoustic cavitation on food emulsions // *Ultrasonics Sonochemistry.* – 2016. – V. 30. – P. 98–102.

16. Naumenko, N.V. Sonochemistry effects influence on the adjustments of raw materials and finished goods properties in food production / N.V. Naumenko, I.V. Kalinina // *Solid State Phenomena.* – 2016. – V. 870. – С. 691–696.

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

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

Науменко Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), Naumenko_natalya@mail.ru

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

Поступила в редакцию 14 июня 2017 г.

ANALYSIS OF CONTEMPORARY METHODS OF MODIFICATION OF STARCH AS AN INSTRUMENT OF ENHANCING ITS TECHNOLOGICAL PROPERTIES

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

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Nowadays starch has become an important food and technical product widely used in various sectors of food industry. The article provides the materials of research studies of Russian and foreign scientists in the field of modification of starch as an instrument of enhancing its technical properties. Modified starch, which is several-fold cheaper, allows to significantly reduce the base cost of the final product. It is used for: sausage production, binding of free moisture; production of sauces, ketchup, mayonnaise for relevant consistency; production of yoghurts or kefir for desired texture; production of confectionery and bakery products for better appearance, etc. Regardless its field of use, the modified starch, which is manufactured in such countries as Russia, China, USA, India and others, acts as thickener, emulsifier, and stabilizer. The main problem while using starch is the increase of viscosity with ageing of aqueous solutions; this happens due to partial crystallization of polymer chains. Contemporary research studies on development of efficient ways of targeted alteration of natural properties of native starch have recently been actively progressing, since starch modification through chemical (acid, oxidizing hydrolysis), biochemical (enzymatic hydrolysis), and physical activation (mechanical, temperature, ultrasonic and wave) is not only of scientific value, but may also be used in industry. It is worth noting that methods of gene engineering are not used for the modified starch manufacture. However, the Expert Committee assembled under such organizations as FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) and WHO (World Health Organization) recommended unlimited use of only the starches which undergo enzymatic processing. Other kinds of chemically-processed starches need further studying. That is why physical methods of modification are of major interest for they allow to activate starch in a non-agent way and still alter its properties.

Keywords: starch, modified starch, methods of starch modification, ultrasonic treatment (US), food technologies.

References

1. Aksenov V.V. [Complex Processing of Herbal 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 Kinds of Starch-containing Raw Materials]. *Khranenie i pererabotka sel'khoz syr'ya* [Storing and Processing of Agricultural Raw Materials], 1999, no. 7, pp. 30–33. (in Russ.)
3. Kryazhev V.N., Romanov V.V., Shirokov V.A. [Recent Developments in Chemistry and Technology of Starch Derivatives]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Herbal Raw Materials], 2010, no. 1, pp. 5–12. (in Russ.)
4. Kuz'min K.V. *Obespechenie kachestva likerovodochnykh izdeliy putem stabilizatsii kolloidnoy sistemy s pomoshch'yu modifitsirovannogo krakhmala* [Assuring Quality of Liquor Products by Stabilizing Colloid System with Modified Starch: Candidate (Technical Sciences) Thesis]. Kemerovo, 2014. 107 p.
5. Lukin N.D., Borodina E.M., Papakhin A.A. et al. [Studying the Effect of Amylolytic Enzymes on Native Starch of Various Kinds in Heterogeneous Environment]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Developments of Science and Engineering of Agroindustrial Complex], 2013, no. 10, pp. 62–64. (in Russ.)
6. Tyurev E.P., Zverev S.V., Tsygulev O.V. *Patent na izobreteniye RUS 2078087. Sposob polucheniya modifitsirovannogo krakhmala* [Invention Patent RUS 2078087. Method of Modified Starch Production]. 1997.
7. Potoroko I.Yu., Popova N.V., Botvinnikova V.V., Krasulya O.N. et al. *Patent na izobreteniye RUS 2531404. Sposob podgotovki vody dlya pishchevykh proizvodstv* [Invention Patent RUS 2531404. Method of Water Treatment for Food Production]. 2013.

8. Tarasenko N.V., Kudinov P.I., Litvyak V.V., Ospankulova G.Kh., Roslyakov Yu.F. *Patent na izobrenenie RUS 2585473. Sposob polucheniya modifitsirovannogo krakhmala* [Invention Patent RUS 2585473. Method of Modified Starch Production]. 2014.

9. Potoroko I.Yu., Kalinina I.V., Rus'kina A.A. The Scientific Approaches in Maintaining Quality and Safety of Fruit and Vegetables During the Storage. International Practices. Part 1. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 14–18. (in Russ.) DOI: 10.14529/food170102

10. *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 of 17.04.12 No 559-p "Strategy of development of food processing industry of the Russian Federation for the period up to 2020"]

11. Sabirov A.A., Barakova N.V., Samodelkin E.A. Substantiation of the Application of Shock-Activator-Disintegrant Treatment in the Technologies for Obtaining Syrups from Starch-Containing Raw Materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2017, vol. 5, no. 2, pp. 60–66. (in Russ.) DOI: 10.14529/food170208

12. *Strategiya povysheniya kachestva pishchevoy produktsii na period do 2030 goda*. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF №1364-r ot 29.06.16 g.

13. Khalikov R.M., Nigamatullina G.B. [Transformations of Amylose and Amylopectine Macromolecules during Technological Processing of Starch Granules of Herbal Raw Material in Food Industry]. *Nauka-rastudent.ru*, 2015, no. 01 (013-2015). Available at: <http://nauka-rastudent.ru/> (in Russ.)

14. 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 Food Mediums Processing through Cavitation Disintegration]. St. Petersburg, 2013. 150 p.

15. Krasulya Olga, Bogush Vladimir, Trishina Victoria, Potoroko Irina, Khmelev Sergey, Sivashanmugam Palani, Anandan Sambandam. Impact of acoustic cavitation on food emulsions. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2016, vol. 30, pp. 98–102. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2015.11.013

16. Naumenko N.V., Kalinina I.V. Sonochemistry effects influence on the adjustments of raw materials and finished goods properties in food production. *Solid State Phenomena*, 2016, vol. 870, pp. 691–696. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.870.691

Alena A. Ruskina, Senior Professor at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University (Chelyabinsk), ruskina_a@mail.ru

Natalia V. Popova, Candidate of Sciences (Engineering), Assistant Professor at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University (Chelyabinsk), nvpopova@susu.ru

Natalya V. Naumenko, Candidate of Sciences (Engineering), Assistant Professor at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University (Chelyabinsk), Naumenko_natalya@mail.ru.

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

Received 14 June 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Анализ современных способов модификации крахмала как инструмента повышения его технологических свойств / А.А. Руськина, Н.В. Попова, Н.В. Наumenko, Д.В. Руськин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2017. – Т. 5, № 3. – С. 12–20. DOI: 10.14529/food170302

FOR CITATION

Ruskina A.A., Popova N.V., Naumenko N.V., Ruskin D.V. Analysis of Contemporary Methods of Modification of Starch as an Instrument of Enhancing its Technological Properties. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2017, vol. 5, no. 3, pp. 12–20. (in Russ.) DOI: 10.14529/food170302