

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИКАЦИИ КРАХМАЛА. ЧАСТЬ 1: УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ В ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ

*И.Ю. Потороко¹, А.В. Малинин¹, А.В. Цатуров¹,
А.А. Руськина¹, Шабана Шейк²*

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

² Национальный технологический институт Варангала, Варангал,
шт. Телангана, Индия

Нативные и модифицированные крахмалы широко используются в пищевой промышленности для придания продукту необходимой вязкости и структуры. В итоге влияют на ряд важнейших параметров конечного продукта, таких как вкус, консистенция, сроки хранения, выход готового продукта. Данные функциональные свойства нативных крахмалов зависят от типа молекулярной структуры полисахаридов крахмала, амилозы и амилопектина. Амилоза – это линейный полимер, состоящий из остатков глюкозы с α -1-4 гликозидной связью. Амилопектин же очень сильно разветвлен и состоит из тех же самых коротких линейных цепей, что и амилоза, но имеет и боковые цепи, присоединенные в точках ответвления через α -1,6-связи. Соотношение полисахаридов в крахмале различно и зависит от источника его получения. Соотношение амилозы и амилопектина в пшеничном крахмале составляет в среднем 24–28 % – амилоза; 72–76 % – амилопектин. Статья посвящена изучению УЗ воздействия в охлаждающей системе на структуру и размер крахмальных зерен, а также на вязкость крахмальных клейстеров. Полученные результаты позволяют говорить об уменьшении размеров крахмальных зерен при использовании продолжительной УЗ обработки в охлаждающей системе, причем для крахмала из мягких сортов пшеницы при УЗВ после 15 минут в диапазоне 1330...392 нм, а для крахмала из твердых сортов пшеницы после 10 минут УЗВ в диапазоне 1280...367 нм. При исследовании вязкости модифицированных крахмалов полученные данные позволяют сделать вывод о том, что вязкость полученных образцов при использовании УЗВ в несколько раз выше, чем у контрольных образцов, что может быть обусловлено более высокой эмульгирующей способностью в связи с накоплением амилозы внутри крахмальных зерен, а следовательно, более полным протеканием процесса набухания зерен и их клейстеризации.

Ключевые слова: модифицированный крахмал, ультразвуковое воздействие, крахмальные зерна, вязкость.

На сегодняшний день рынок пищевых ингредиентов трудно представить без веществ, применяемых для формирования структурных характеристик готовых изделий. Структурообразователи (загустители, студнеобразователи, наполнители) должны обладать комплексом характеристик – быть безопасными, проявлять технологические свойства на нужном этапе производства, быть совместимыми с другими компонентами пищевого матрикса. В сегменте структурообразующих пищевых ингредиентов модифицированные крахмалы занимают лидирующие позиции.

Родоначальником всех крахмалов считают пшеничный крахмал, его производство известно ещё с глубокой древности, о чем свидетельствуют писания с островов Средиземного моря, Древней Греции, в Риме. Начало производства крахмала из пшеницы в других европейских странах относится к XVI в., а

в России – в первой половине XVIII века. По данным разных источников зерна пшеницы, выращенные в различных странах мира, имеют крахмальные зерна с содержанием амилозы 24–28 %, что характерно для крахмалов озимых и яровых сортов пшеницы отечественной селекции [5, 6].

Известно, что крахмал $(C_6H_{10}O_5)_n$ – это смесь полисахаридов (амилозы и амилопектина), мономером является альфа-глюкоза. Крахмал синтезируется разными частями растений в хлоропластах, а содержание его в той или иной сельскохозяйственной культуре колеблется в довольно широких пределах. Главные источники крахмала в мире – зерновые культуры, так, зёрна пшеницы содержат до 64 %, риса – 75 %, кукурузы – 70 %, из клубнеплодов можно выделить клубни картофеля, которые содержат до 24 % крахмала.

Крахмальные зерна образуются в определенных точках (образовательных центрах) стромы пластид путем последовательного отложения слоев крахмала (см. рисунок). Основным ферментом по образованию и формированию кристаллитов крахмала, является зернообразующая синтаза (GBSS granule bound synthase). По одной из теорий на поверхности зерен у амилозы находится редуцирующий конец, а у амилопектина, наоборот, нередуцирующие концы, которые могут дальше ветвиться и удлиняться ферментом ветвеобразующая синтаза (starch branched enzyme – SBE). У амилозы в этом случае цепь удлиняется под действием фермента растворяющая крахмальная синтаза (solub starch synthase – SSS), поэтому молекулы амилозы и амилопектина трудно совместимы и могут быть фракционированы при определенных условиях [12].

Зерна нативных крахмалов имеют кольца роста, которые представляют собой чередующиеся слои различной плотности, кристалличности и сопротивляемости химическим и ферментным воздействиям. Степень кристалличности зерен крахмала находится в пределах 14–42 % и зависит от соотношения содержания амилозы и амилопектина. Короткие цепи в молекуле амилопектина образуют двойные спирали, которые формируют кристаллические ламели (кристаллиты).

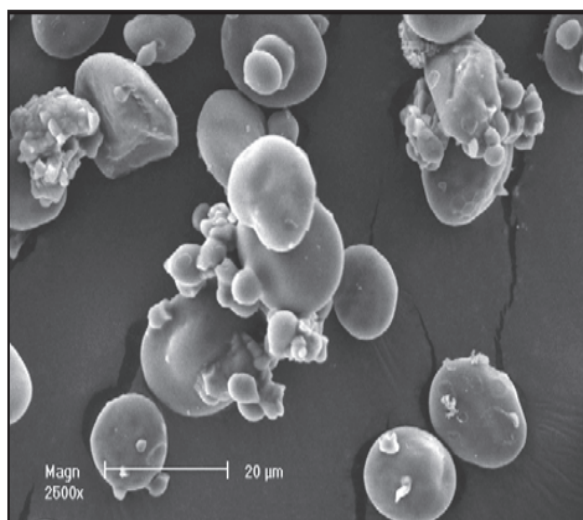
В состав крахмальных зерен помимо полисахаридов также входят кремниевая, фос-

форная кислоты и другие вещества. Основными свойствами пшеничного крахмала являются: гигроскопичность, специфическая вязкость, высокая стойкость при термической обработке, способность стабилизировать эмульсии, нейтральный вкус, долгий срок хранения [3, 5, 8].

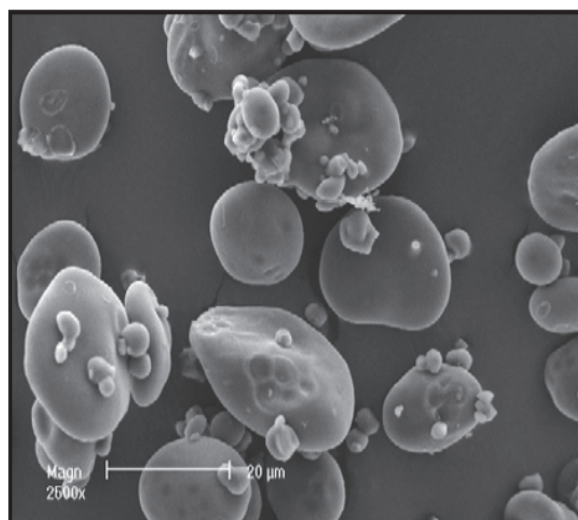
Основными, важными для пищевой индустрии, физико-химическими свойствами крахмала являются – способность крахмала к клейстеризации и студнеобразованию, вязкость клейстеризованных растворов. По вязкости клейстеров модифицированные крахмалы в зависимости от рабочей концентрации подразделяются на три группы: высоковязкие (6 %), средневязкие (7–12 %), низковязкие (более 15 %).

Содержание амилопектина и амилозы в крахмале обуславливает способность крахмальных зерен растворяться при нагревании с образованием вязких коллоидных систем, называемых клейстерами. Эти углеводные компоненты образуются при многократном присоединении молекул глюкозы к активным центрам в растущей молекуле амилопектина и амилоза, при этом амилопектин сильно разветвлен и способствует увеличению вязкости. Крахмал с большим содержанием амилозы проявляет желирующие свойства. Вязкость нативного или модифицированного крахмала измеряется в процессе управляемого нагревания и охлаждения.

В последние годы все большее применение



а)



б)

Сканирующая электронная микроскопия, микрофотографии зерен крахмала: а – восковые зерна крахмала пшеницы; б – крахмал SM1118 гранулы) [12]

ние в промышленности находят модифицированные крахмалы. Модификация крахмала позволяет существенно изменить его свойства (гидрофильность, способность к клейстеризации, студнеобразование), а, следовательно, сформировать свойства заданной направленности.

В настоящее время успешно развивается научное направление по разработке эффективных способов целенаправленного изменения природных свойств нативного крахмала, т. е. его модификация, так как нативные крахмалы, не прошедшие модификацию, обладают слишком слабой структурой, и в настоящее время их применение в пищевых технологиях весьма ограничено [8, 14]. Физическое изменение позволяет получать крахмал с высокой способностью удерживать влагу, что, в свою очередь, придаёт конечному продукту желаемую консистенцию. Одним из инновационных подходов в модификации крахмала является применение ультразвукового воздействия в охлаждающей системе, дальнейшей тепловой обработке [1, 2, 4].

Целью данного исследования является изучение возможности применения ультразвукового воздействия (УЗВ) для регулирования технологических свойств зернового крахмала и определение оптимальных параметров процесса модификации.

Объекты и методы

Для проведения эксперимента была получена водная суспензия крахмала (крахмальная вода) из зерен пшеницы твердых и мягких сортов.

Образец 1 – крахмальная вода, полученная из муки мягкой пшеницы.

Образец 2 – крахмальная вода, полученная из муки твердой пшеницы.

На основе крахмальной воды из мягкой и твердой пшеницы были получены модифицированные образцы, в качестве контроля использовали крахмалы без УЗВ.

Опытные образцы 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.

Образцы водной суспензии крахмала подвергали УЗВ 100 % мощности от паспортного значения и различной длительности – 5, 10, 15 минут. Для изучения влияния УЗВ на структуру крахмальных зерен обработку проводили

в охлаждающей системе (28 ± 5 °С). После УЗВ образцы подвергали тепловой обработке в течение 3, 5, 8, 10 мин для получения крахмальных студней.

Образцы водной суспензии крахмалов оценивались визуально и микроскопически (общее увеличение составляет $\times 400$), для этих целей готовились окрашенные препараты типа «раздавленной капли».

Размеры крахмальных зерен определялись с помощью лазерного дифракционного анализатора размеров частиц – Microtrac.

Измерение вязкости проводилось с использованием вибровискозиметра, модель SV 10.

Результаты и их обсуждение

На основе применения УЗВ для технологии модификации крахмала с вариациями по продолжительности при заданной мощности в охлаждающей системе (при температуре от 23 до 32 °С) был получен массив данных, представленный в табл. 1–4.

Известно, что кавитационная дезинтеграция пищевых сред обусловлена величиной давления, достигаемого на поверхности пузырьков, когда они сжимаются до минимального по отношению к состоянию покоя объема (коллапс) [14]. Крахмальные зерна пшеницы имеют невысокие прочностные характеристики, в связи с чем могут при УЗВ менять размерные и структурные характеристики. Даже в процессе помола зерна крахмальные зерна могут иметь механические повреждения, они видны при микроскопии как плоские, едва обрисованные образования (так называемые «тени»). Поэтому, на наш взгляд, микроскопические исследования крахмальных зерен дадут первичную информацию о влиянии УЗВ на водные растворы крахмалов.

Результаты исследований крахмальных суспензий из зерна пшеницы мягких сортов при УЗВ в охлаждающей системе, представленные в табл. 1 и 2, указывают, что длительность воздействия обеспечивает глубокие изменения в структуре крахмальных зерен. Так, при УЗВ в течении 5 минут крахмальные зерна увеличиваются в объемах, наблюдается медленное поглощение воды, что обуславливает набухание крахмальных зерен. На микрофотографии видно повреждение крахмальных зерен.

При обработке водной суспензии крахмала мягкой пшеницы ультразвуком в течение 5 (образец 1.1) и 10 минут (образец 1.2), а также

Таблица 1

Характеристики изменений в крахмальных суспензиях, полученных из зерна мягкой пшеницы при УЗВ в охлаждающей системе

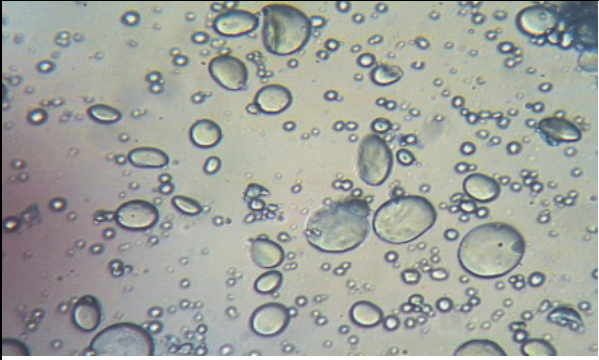
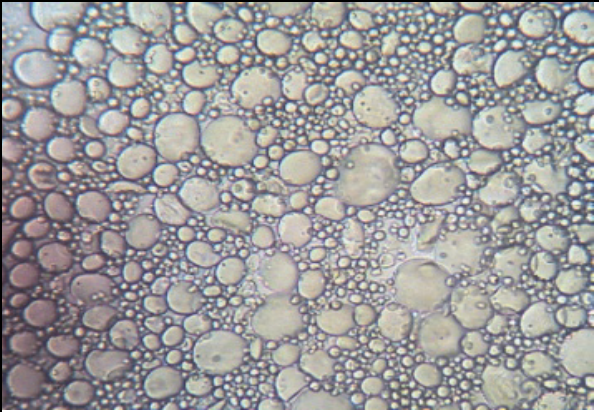
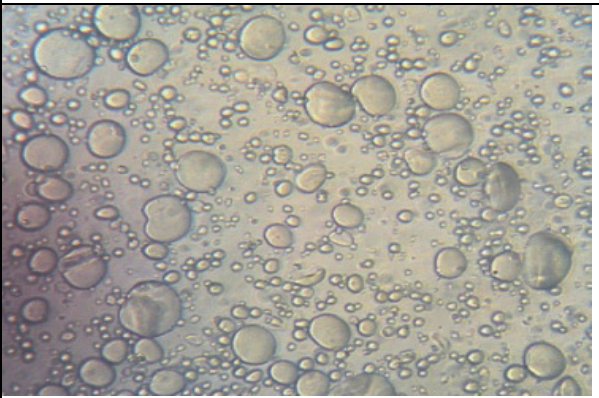
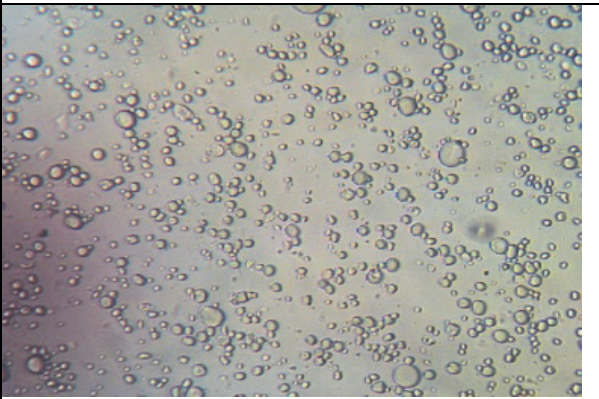
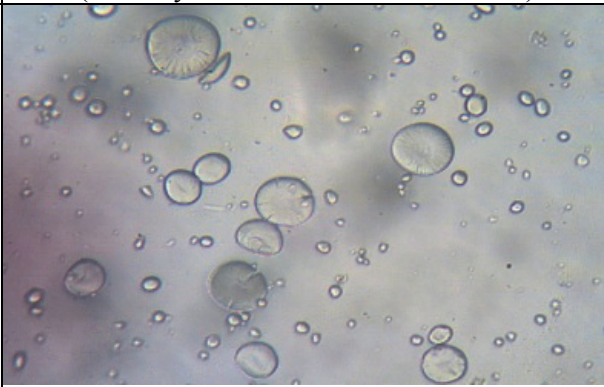
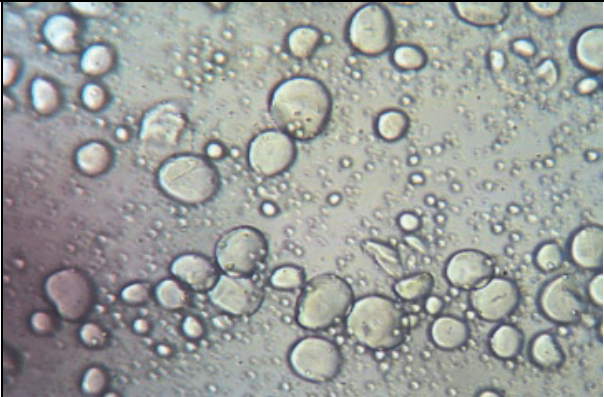
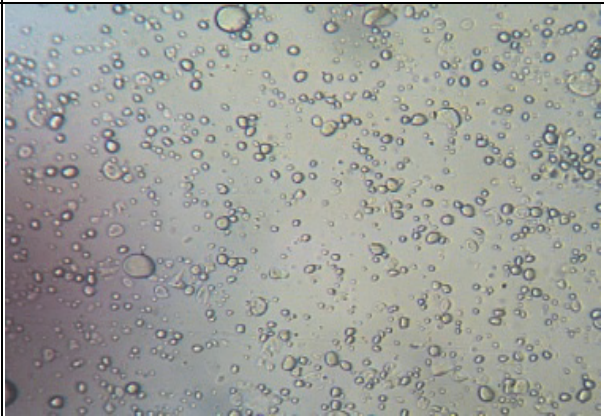
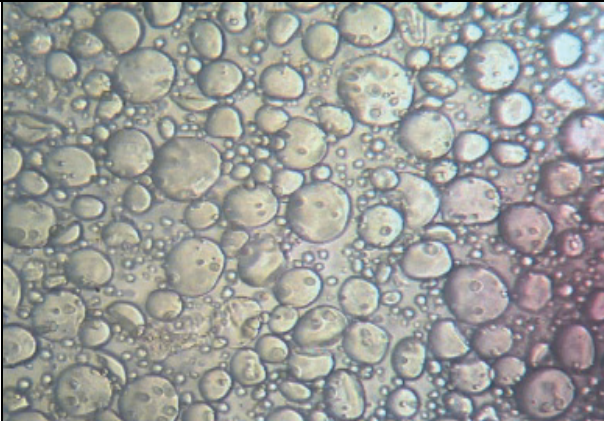
Объект исследования	Время УЗВ, мин	Микрофотографии крахмальных суспензий (общее увеличение составляет $\times 400$)	Температура, °C
Контроль	Без УЗВ		$23,4 \pm 0,5$
Образец 1.1	5 мин		$31,6 \pm 0,3$
Образец 1.2	10 мин		$29,6 \pm 0,3$
Образец 1.3	15 мин		$21,3 \pm 0,5$

Таблица 2
Характеристики изменений в крахмальных суспензиях, полученных из зерна твердой пшеницы
УЗВ в охлаждающей системе

Объект исследования	Время УЗВ, мин	Микрофотографии крахмальных суспензий (общее увеличение составляет x400)	Температура, °С
Контроль	Без УЗВ		$23,6 \pm 0,2$
Образец 2.1	5 мин		$37,5 \pm 0,3$
Образец 2.2	10 мин		$30,8 \pm 0,2$
Образец 2.3	15 мин		$31,5 \pm 0,3$

водной суспензии крахмала твердой пшеницы ультразвуком в течение 5 (образец 2.1), 15 минут (образец 2.3) в холодной фазе наблюдается в центре крахмального зерна образование полости («пузырек»), а на его поверхности появляются складки, бороздки, углубления. Такие изменения, вероятно, связаны действием термических и физических факторов УЗВ.

Образование внутренней полости можно связать с тем, что внутри крахмального зерна (в «точке роста») происходят разрыв и ослабление некоторых водородных связей между крахмальными цепями, которые в результате этого раздвигаются. Это, в свою очередь, приводит не только к увеличению размеров крахмального зерна, но и к разрушению его кристаллической структуры. Благодаря этому происходит направленное разрушение гликозидных и других валентных связей, появляются новые карбонильные группы, возникают внутри- и межмолекулярные связи [3, 4, 9, 11, 15, 17, 18].

При обработке водной суспензии крахмала мягкой пшеницы ультразвуком в течение 15 мин и крахмала твердой пшеницы в течение 10 мин можно заметить присутствие большого количества мелких зерен крахмала, которые находятся в свободной форме.

На следующем этапе было проведено исследование дисперсного состава образцов крахмальных суспензий. Зерна пшеничного крахмала имеют плоскую эллиптическую или круглую форму с глазком, расположенным в центре. Известно, что размер крахмальных зерен пшеницы колеблется в диапазоне от 2 до 35 мкм, присутствуют фракции крупных зерен от 20 до 35 мкм и мелких от 2 до 10 мкм. Размерные характеристики крахмальных зерен мягкой и твердой пшеницы представлены в табл. 3.

При продолжительной ультразвуковой обработке в охлаждающей системе наблюдается уменьшение размеров крахмальных зерен, причем для крахмала из мягкой пшеницы при УЗВ после 15 минут в диапазоне 1330...392 нм, а для крахмала из твердой пшеницы – после 10 минут УЗВ в диапазоне 1280...367 нм. Возможно, наблюдается влияние двух факторов: кавитационное давление и повышение температуры, что приводит к деструкции крахмальных зерен.

Изменение структуры крахмальных зерен при УЗВ их размерных параметров коррели-

рует с показателями вязкости гелей после термического воздействия (температура клейстеризации пшеничного крахмала 58...64 °С). Доказано, что вязкость крахмальных гелей обусловлена не столько присутствием набухших крахмальных зерен, сколько способностью растворенных в воде полисахаридов образовывать трехмерную сетку, удерживающую большее количество воды, чем крахмальные зерна. Полученные в ходе исследования результаты определения вязкости представлены в табл. 4.

Исходя из данных, представленных в табл. 4, видно, что вязкость образцов крахмальных фракций, полученных при использовании УЗВ, выше, чем у контрольных образцов, что может быть обусловлено значительным увеличением удельной поверхности крахмальных зерен, а следовательно, более полным протеканием процесса набухания зерен и их клейстеризации. Этой способностью в наибольшей степени обладает амилоза, так как ее молекулы находятся в растворе в виде изогнутых нитей, отличающихся по конформации от спиралей. Можно предположить, что в результате нарушения целостности крахмальных зерен повышается содержание в растворе именно амилозы, которая и повышает вязкость полученных растворов [7, 10, 13, 14, 16]. Исходя из полученных данных, оптимальным можно признать режим УЗВ для крахмальных суспензий мягкой пшеницы в течение 15 минут и 10 мин для крахмальных суспензий твердой пшеницы. При данных режимах воздействия ультразвука наблюдается образование пластичного студня, сохраняющего свойства при хранении.

Выводы по результатам работы

Использование ультразвукового воздействия на крахмальные суспензии, полученные из пшеницы мягкой и твердой с применением охлаждающей системы, позволяет модифицировать крахмальную систему по технологическим свойствам без проведения кислотного гидролиза. УЗВ модификация пшеничных крахмалов увеличивает их загущающую, студнеобразующую, эмульгирующую способность, обеспечивает применение в производстве различных продуктов питания. При физической модификации происходят изменения морфологии крахмальных зерен, что в дальнейшем влияет на образование клейстера. Было установлено, что при использовании ультразвуковой обработки в охлаждающей систе-

Таблица 3

Результаты оценки дисперсной системы водных суспензий крахмала из пшеницы мягких и твердых сортов

Наименование исследуемых образцов и длительность УЗВ	Диапазон размеров частиц, нм	
	Фракции крахмальных зерен пшеницы мягких сортов	Фракции крахмальных зерен пшеницы твердых сортов
Контроль без УЗВ	1635...482	1416...432
Образец УЗВ 5 мин	1405...326	1333...383
Образец УЗВ 10 мин	1425...506	1280...367
Образец УЗВ 15 мин	1330...392	1341...404

Таблица 4

Усредненные результаты определения вязкости полученных образцов крахмала пшеницы, мПа·с

Наименование образца	Длительность тепловой обработки (температура 60 ± 3 °С), мин				
	б/о	3 мин	5 мин	8 мин	10 мин
<i>Крахмальные фракции из твердых сортов пшеницы</i>					
Контроль	1,218	1,026	1,208	1,392	1,395
УЗВ 5 мин	0,750	1,633	1,186	1,255	1,795
УЗВ 10 мин	0,95	1,550	1,463	1,143	1,652
УЗВ 15 мин	0,712	1,185	1,208	1,201	1,501
<i>Крахмальные фракции из мягких сортов пшеницы</i>					
Контроль	1,202	1,015	1,197	1,258	1,265
УЗВ 5 мин	0,915	1,092	1,422	2,111	4,46
УЗВ 10 мин	0,780	0,954	1,209	1,5	5,92
УЗВ 15 мин	0,848	1,088	1,579	2,726	5,20

ме происходит набухание крахмальных зерен, замедление процессов клейстеризации, частичное расщепление крахмальных зерен до амилозы. При изменении температуры изменятся размер частиц и вязкость.

Таким образом, уже проведенные исследования свидетельствует о положительном влиянии ультразвукового воздействия в охлаждающей системе и последующей тепловой обработки. На основе разработанных технологий были получены образцы модифицированных крахмалов с измененными характеристиками, разработана технологическая карта по производству крахмалов, модифицированных на основе ультразвукового воздействия в охлаждающей системе.

Литература

1. Аверьянова, Е.В. Получение крахмала и определение его физико-химических показателей / Е.В. Аверьянова, М.Н. Школьников. – Бийск: Изд-во Алтайского гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2015. – 32 с.
2. Андреев, Н.Р. Основы производства нативных крахмалов / Н.Р. Андреев. – М.: Пищепромиздат, 2001. – 289 с.
3. Артеменко, А.И. Органическая химия / А.И. Артеменко. – Москва: Высшая школа, 2007. – 560 с.
4. Беззубов, А.Д. Ультразвук и его применение в пищевой промышленности / А.Д. Беззубов, Е.И. Гарлинская, В.М. Фридман. – М.: Пищевая промышленность, 1964. – 196 с.

5. Гулюк, Н.Г. Крахмал и крахмалопродукты / Н.Г. Гулюк. – М.: Агропромиздат, 1985. – 240 с.
6. Григорьева, Р.З. Товароведение продовольственных товаров / Р.З. Григорьева. – Кемерово: Кемеровский технол. ин-т пищ. пром-ти, 2004. – 178 с.
7. Жушман, А.И. Модифицированные крахмалы / А.И. Жушман. – М.: Пищепромиздат, 2007. – 236 с.
8. Кругляков, Г.Н. Товароведения продовольственных товаров / Г.Н. Кругляков, Г.В. Круглякова. – Ростов-на-Дону: Издат. центр Март, 2000. – 457 с.
9. Литвяк, В.В. Морфология крахмала и крахмалопродуктов / В.В. Литвяк, Н.К. Юркитович, С.М. Бутрим, В.В. Москва. – Минск: Белорусская наука, 2013. – 217 с.
10. Руськина, А.А. Способы получения модифицированного крахмала, как инструмент повышения его технологических характеристик / А.А. Руськина, Н.В. Попова, Н.В. Науменко, Д.В. Руськин // Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2017. – Т. 5, № 3. С. 12–20. DOI: 10.14529/food170302
11. Халиков, Р.М. Трансформации макромолекул амилозы и амилопектина при технологической переработке крахмальных гранул растительного сырья в пищевой индустрии / Р.М. Халиков, Г.Б. Нугаматуллина // Nauka-rastudent.ru. – 2015. – № 01 (013–2015).
12. Blazek J., & Copeland L. (2008). Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content // *Carbohydrate Polymers*. – V. 71. – P. 380–385.
13. Galliard, T., Bowler, P., Morphology and composition of starch. In: Galliard, T., (Ed.), *Starch: Properties and Potential*. – Wiley, Chichester, 1987, 5578.
14. 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.
15. 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.
16. Potoroko I.Y., Ruskina A.A. Modeling of potato convenience of exposure effects of ultrasound // *Solid State Phenomena*. – 2016. – P. 697–702.
17. Shabana S., Prasansha R., Kalinina I., Potoroko I., Bagale U., Shirish S.H. Ultrasound assisted acid hydrolyzed structure modification and loading of antioxidants on potato starch nanoparticles // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2018.
18. Swinkels J.J.M. Composition and Properties of commercial Native Starches // *Starch/Starke*. – 1985. – V. 37. – P. 1–5.

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), irina_potoroko@mail.ru

Малинин Артем Владимирович, магистрант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), artemmalinin3@gmail.com

Цатуров Арам Валерикович, магистрант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), agam-chel@mail.ru

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

Шейк Шабана, кафедра химической инженерии, Национальный технологический институт Варангала, Варангал 506 004, шт. Телангана, Индия.

Поступила в редакцию 4 сентября 2018 г.

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY OF STARCH MODIFICATION. PART 1: EXPOSURE TO ULTRASOUND IN A COOLING SYSTEM

I.Yu. Potoroko¹, A.V. Malinin¹, A.V. Tsaturov¹, A.A. Ruskina¹, Shabana Shaik²

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

² National Institute of Technology Warangal, Warangal, Telangana, India

Native and modified starches are widely used in food industry to achieve certain viscosity and structure in products. As a result they influence a number of serious parameters of the end product, such as taste, texture, shelf life, and yield of finished products. These functional properties of native starches depend on the type of the molecular structure of polysaccharides of starch, amylose, and amylopectin. Amylose is a linear polymer, which consists of the remains of glucose with α -1-4 glycosidic bond. And amylopectin is very much branched and consists of the same short linear chains as amylose, but also has side chains connected in the points of branching through α -1,6-bonds. The polysaccharides ratio in starch differs and depends on the source of generation of the latter. The average ratio of amylose and amylopectin in wheat starch amounts to 24–28 % for amylose; and 72–76 % for amylopectin. This article is dedicated to studying the influence of ultrasound exposure in a cooling system on the structure and size of starch grains, as well as on the viscosity of starch glues. The obtained results allow to speak of the decrease in the size of starch grains when exposed to durable ultrasound treatment in a cooling system; for starch from soft varieties of wheat after a 15-minute exposure to ultrasound in the range of 1330...392 nm, and for starch from strong varieties of wheat after a 10-minute exposure to ultrasound in the range of 1280...367 nm. When studying the viscosity of the modified starches, the obtained data allow to conclude that the viscosity in the samples produced under the exposure to ultrasound is several times higher than that of the reference samples, what may be explained by a higher emulsifying capacity due to the accumulation of amylose inside the starch grains, and therefore, with a fuller completion of the process of swelling of the grains and their gelatination.

Keywords: modified starch, exposure to ultrasound, starch grains, viscosity.

References

1. Aver'yanova E.V., Shkol'nikova M.N. *Polucheniye krakhmala i opredeleniye ego fiziko-khimicheskikh pokazateley* [Production of Starch and Determining of Its Physical and Chemical Indicators]. Biysk, 2015. 32 p.
2. Andreyev N.R. *Osnovy proizvodstva nativnykh krakhmalov* [Basics of Native Starches Production]. Moscow, 2001. 289 p.
3. Artemenko A.I. *Organicheskaya khimiya* [Organic Chemistry]. Moscow, 2007. 560 p.
4. Bezzubov A.D., Garlinskaya E.I., Fridman V.M. *Ul'trazvuk i ego primeneniye v pishchevoy promyshlennosti* [Ultrasound and Its Application in Food Industry]. Moscow, 1964. 196 p.
5. Gulyuk N.G. *Krakhmal i krakhmaloprodukty* [Starch and Starch Products]. Moscow, 1985. 240 p.
6. Grigor'yeva R.Z. *Tovarovedeniye prodovol'stvennykh tovarov* [Foodstuff Commodity Science]. Kemerovo, 2004. 178 p.
7. Zhushman A.I. *Modifitsirovannyye krakhmaly* [Modified Starches]. Moscow, 2007. 236 p.
8. Kruglyakov G.N., Kruglyakova G.V. *Tovarovedeniya prodovol'stvennykh tovarov* [Foodstuff Commodity Science]. Rostov-on-Don, 2000. 457 p.
9. Litvyak V.V., Yurkshovich N.K., Butrim S.M., Moskva V.V. *Morfologiya krakhmala i krakhmaloproduktov* [Morphology of Starch and Starch Products]. Minsk, 2013. 217 p.
10. 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

11. Khalikov R.M., Nigamatullina G.B. [Transformation of Amylose and Amylopectin Macromolecules with Technological Processing of Starch Granules of Vegetable Raw Materials in the Food Industry]. *Nauka-rastudent.ru*, 2015, no. 01 (013–2015). (in Russ.)
12. Blazek J., & Copeland L. (2008). Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate Polymers*, vol. 71, pp. 380–385. DOI: 10.1016/j.carbpol.2007.06.010
13. Galliard T., Bowler P. *Morphology and composition of starch*. In: Galliard T. (Ed.), *Starch: Properties and Potential*. Wiley, Chichester, 1987, 5578. DOI: 10.1002/star.19870391023
14. 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
15. 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
16. Potoroko I.Yu., 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
17. Shabana S., Prasansha R., Kalinina I., Potoroko I., Bagale U., Shirish S.H. Ultrasound assisted acid hydrolyzed structure modification and loading of antioxidants on potato starch nanoparticles. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2018. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.07.023
18. Swinkels J.J.M. Composition and Properties of commercial Native Starches. *Starch/Starke*, 1985, vol. 37, pp. 1–5. DOI: 10.1002/star.19850370102

Irina Yu. Potoroko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, irina_potoroko@mail.ru

Artem V. Malinin, Master's student at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, artemmalinin3@gmail.com

Aram V. Tsaturov, Master's student at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, aram-chel@mail.ru

Alena A. Ruskina, senior lecturer at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, ruskina_a@mail.ru

Shabana Shaik, Department of Chemical Engineering, National Institute of Technology Warangal, Warangal 506 004, Telangana, India.

Received September 4, 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Разработка технологии модификации крахмала. Часть 1: Ультразвуковое воздействие в охлаждающей системе / И.Ю. Потороко, А.В. Малинин, А.В. Цату-ров и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2018. – Т. 6, № 4. – С. 83–92. DOI: 10.14529/food180411

FOR CITATION

Potoroko I.Yu., Malinin A.V., Tsaturov A.V., Ruskina A.A., Shabana Shaik. Development of a Technology of Starch Modification. Part 1: Exposure to Ultrasound in a Cooling System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2018, vol. 6, no. 4, pp. 83–92. (in Russ.) DOI: 10.14529/food180411