

Влияние ультразвуковой модификации картофельного крахмала на его функционально-структурные свойства и дисперсный состав

| | | | |
|-----------------------|---|--|---|
| Алена А. Руськина | 1 | ruskina_a@mail.ru |  0000-0002-2451-9339 |
| Ирина В. Калинина | 1 | kalininaiv@susu.ru |  0000-0002-6246-9870 |
| Наталья В. Попова | 1 | nvpopova@susu.ru |  0000-0002-7667-9705 |
| Екатерина Е. Науменко | 1 | 9193122375@mail.ru |  0000-0001-7665-5984 |
| Николай В. Глаз | 2 | uynlisk@mail.ru |  0000-0001-6480-2828 |
| Лариса В. Уфимцева | 2 | uynlisk@mail.ru |  0000-0002-3457-3478 |

1 Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, пр. им. Ленина, 76, 454080, Россия

2 Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН, г. Екатеринбург, ул. Белинского, стр. 112А, 620026, Россия

Аннотация. В настоящее время в пищевой промышленности крахмал активно используется как пищевая добавка, обладающая значительным количеством свойств, благодаря которым можно улучшить качество продукта. Крахмал способен в значительной степени влиять на текстуру пищевого продукта, его часто применяют как загуститель, стабилизатор, наполнитель и компонент, хорошо удерживающий влагу. В промышленности используется крахмалы различного происхождения, в зависимости от цели их применения. Свойства крахмала главным образом зависят от его физических и химических характеристик, соотношения амилоза/амилопектин, а также от среднего размера зерна и процентного соотношения различных размерных групп гранул. В последнее время приоритеты развития пищевой промышленности не только в России, но и во всем мире, лежат в инновационных подходах с применением так называемых «зелёных технологий». В данной работе, мы исследовали возможность получения модифицированных крахмалов с использованием методов ультразвукового воздействия. Установлено, что при воздействии на крахмальные суспензии низкочастотным ультразвуком свойства модифицированного крахмала претерпевают значительные изменения. В частности снижается температура клейстеризации крахмала в среднем на 17 °С, увеличивается выход амилозы из крахмального зерна в 2,8–3,5 раза по отношению к контрольному (нативному) крахмалу. Меняется дисперсный состав крахмальных суспензий. На основании проведенных исследований установлено, что нарастание длительности ультразвукового воздействия приводит к выравниванию размеров частиц. В контрольном образце отсутствуют частицы размерного ряда менее 400 нм с присутствием частиц фракций более 3 000 нм, тогда как при использовании УЗВ в режиме 630 Вт, 10 мин, преобладают частицы размерных фракций (426 ± 10) нм – 35,5% и (678 ± 5) нм – 24,8%. Таким образом, использование УЗВ для модификации крахмала позволяет сформировать продукт с новыми свойствами, что значительно расширяет возможности использования модифицированного крахмала в пищевой промышленности.

Ключевые слова: крахмал, картофельный крахмал, модификация крахмала, ультразвуковое воздействие, размеры гранул, дисперсный состав

The effect of potato starch ultrasonic modification on its functional and structural properties and the particle size

| | | | |
|-----------------------|---|--|---|
| Alena A. Ruskina | 1 | ruskina_a@mail.ru |  0000-0002-2451-9339 |
| Irina V. Kalinina | 1 | kalininaiv@susu.ru |  0000-0002-6246-9870 |
| Natalia V. Popova | 1 | nvpopova@susu.ru |  0000-0002-7667-9705 |
| Ekaterina E. Naumenko | 1 | 9193122375@mail.ru |  0000-0001-7665-5984 |
| Nikolay V. Glaz | 2 | uynlisk@mail.ru |  0000-0001-6480-2828 |
| Larisa V. Ufimtseva | 2 | uynlisk@mail.ru |  0000-0002-3457-3478 |

1 South Ural State University, Chelyabinsk, pr. Lenina, 76, 454080, Russia

2 Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, st. Belinsky, str. 112A, 620026, Russia

Abstract. Nowadays, starch is widely used in the food industry as an additive that can improve product quality due to its characteristics. Starch can have a significant effect on the texture of a food product, and works as a thickener, stabilizer, filler and ingredient that locks in moisture well. Different types of starch are used in production, depending on the purpose of their application. Starch properties mainly depend on its physical and chemical characteristics, amylose/amylopectin ratio, and also on the average granule size and percentage ratio of different granule size groups. Currently, the innovation approaches with the use of so-called "green technologies" have been the priorities of food industry development not only in Russia but also all over the world. This paper deals with the possibility of producing modified starches using ultrasonic exposure methods. It was found that the properties of the modified starch suspensions undergo significant changes when exposed to low-frequency ultrasound. In particular, the temperature of starch gelatinization decreases by an average of 17° C, the output of amylose from the starch grain increases by 2.8–3.5 times relative to the native starch. The size of particles in the starch suspensions varies. On the basis of the carried out research it has been established that increase of ultrasonic exposure duration leads to equalizing of particle sizes. The native sample has no particles less than 400 nm in size but there are particles larger than 3,000 nm, while the size of particles exposed to ultrasound (630 W, 10 min) is mostly (426 ± 10) nm (35.5%) and (678 ± 5) nm (24.8%). Thus, the use of ultrasound for starch modification makes it possible to produce a substance with new properties and this significantly expands the possibility of using modified starch in the food industry.)

Keywords: starch, potato starch, starch modification, exposure to ultrasound, granule size, particle size

Для цитирования

Руськина А.А., Калинина И.В., Попова Н.В., Науменко Е.Е., Глаз Н.В., Уфимцева Л.В. Влияние ультразвуковой модификации картофельного крахмала на его функционально-структурные свойства и дисперсный состав // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 176–182. doi:10.20914/2310-1202-2020-3-176-182

For citation

Ruskina A.A., Kalinina I.V., Popova N.V., Naumenko E.E., Glaz N.V., Ufimtseva L.V. The effect of potato starch ultrasonic modification on its functional and structural properties and the particle size. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 176–182. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-3-176-182

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации (до 2025 года) и Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 21/01/2020 г. № 20) опираются на то, что для развития этой отрасли необходимы инновационные подходы, приносящие экономический, экологический и социальный эффекты. В последнее время инновационные подходы в пищевой промышленности России всё чаще имеют место быть, однако для стимулирования производителей к внедрению на предприятия таких подходов, необходимо ориентировать их не только на внутренний рынок, но и на экспорт в другие страны [6].

Принято считать, что Россия является «картофельной державой», и для того чтобы занять достойное место среди стран, наиболее эффективно использующих «второй хлеб», необходимо учитывать, что в настоящее время главное для потребителя не только цена-качество, но экологичность продукции. Поэтому все больший интерес в пищевой промышленности вызывают «зелёные» технологии.

Активное развитие картофеле-крахмального производства в России необходимо для решения вопроса импортозамещения крахмала картофельного как нативного, так и модифицированного. Кроме того, глубокая переработка картофеля, в том числе и на крахмал играет важную роль в минимизации потерь картофеля при хранении, а значит и уменьшению финансовых потерь.

В пользу перспективности переработки картофеля на крахмал можно привести весомый аргумент: в европейских странах, таких как Нидерланды, Германия в структуре сырья объем переработки картофеля на крахмал сравним с объемами переработки кукурузы и пшеницы – 30–35%, а в России доля переработки составляет лишь 5–6% [5].

Отличительная особенность картофеле-крахмального производства в России – его приоритетная ориентация на внутренний рынок, поэтому как продукт российский крахмал слабо представлен на международной арене. Как эксперты, так и производители уверены, чтобы зарабатывать на производстве картофельного крахмала, нужно выпускать модифицированный крахмал. Россия закупает порядка 80 тыс. тонн модифицированного крахмала ежегодно, при средней стоимости не 32 руб. за 1 кг как за нативный, а за 90 руб. Но для открытия такого производства нужны отечественные технологии

модификации крахмала, которые будут дешевле зарубежных, и отвечать требованиям и особенностям российского производства [3, 5].

Модифицированный крахмал эксперты называют стратегическим продуктом, поэтому развитие производства различных видов модификаций крахмала, должно быть уделено особое внимание ученых и специалистов как крахмалопаточной, так и смежных отраслей. От успешной реализации этой задачи во многом зависит будущее отечественного картофеле-крахмального производства.

Известно, что картофельный крахмал отличается более крупными зёрнами (в диапазоне 1 – 100 мкм), минимальным количеством примесей, меньшей калорийностью в сочетании с более высоким содержанием минеральных веществ [3, 9].

К значительным преимуществам картофельного крахмала перед другими видами можно отнести более высокую желирующую способность, прозрачность его клейстеров, а также их более высокую вязкость и реакционно-способность, что приобретает особое значение при получении различных модификаций. При этом свойства крахмала, в первую очередь, определяются размерами его зёрен и соотношением полимеров в его составе.

Известно, что в крахмале присутствуют два типа полимеров: амилоза и амилопектин, которые в крахмальном зёрне связаны главным образом водородными связями. Химические свойства амилозы и амилопектина абсолютно одинаковы, исключая взаимодействия с йодом: амилоза даёт синее окрашивание, амилопектин – красно-фиолетовое (ближе к красному) (рисунок 1) [8, 11].

Именно амилоза и амилопектин формируют кристаллическую и аморфную области структурного комплекса крахмального зёрна (рисунок 2).

Степень кристалличности зёрен крахмала может значительно варьировать и, как правило, укладывается в диапазон значений 14–42%, что определяется соотношением полимеров амилозы и амилопектина. В кристаллических областях сильно разветвлены короткие макромолекулы амилопектина. Аморфную же область формируют молекулы амилозы и длинные цепи амилопектина. При формировании и росте зёрен крахмала у картофеля боковые цепи амилопектина образуют двойные спирали с плотной структурой и разреженной укладкой. Такая форма полиморфной части зёрен свойственна именно картофельному крахмалу и содержит большое количество связанных молекул воды [7].

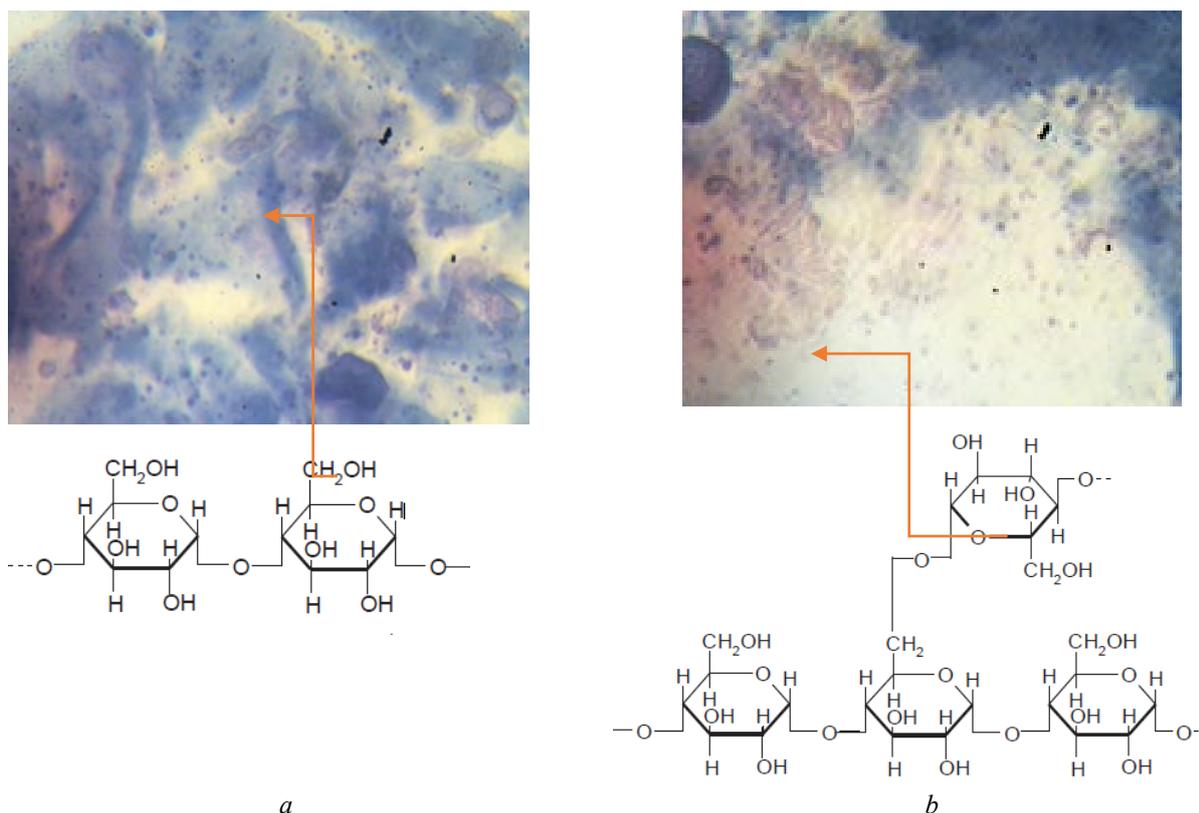


Рисунок 1. Визуализация окрашивания йодом и химическая формула: *a* – амилоза; *b* – амилопектин
 Figure: 1. Visualization of iodine staining and chemical formula: *a* – amylose; *b* – amylopectin

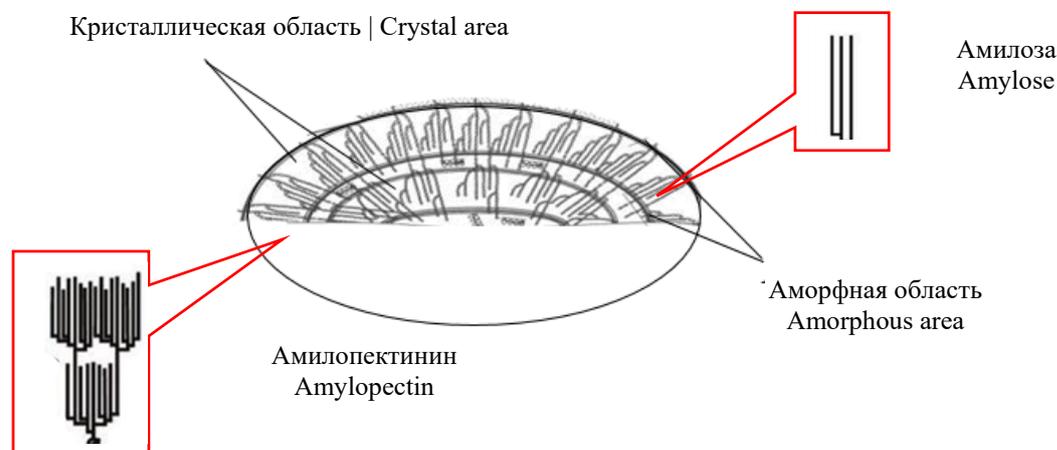


Рисунок 1. Строение крахмального зерна
 Figure 1. Starch grain structure

В момент нагрева крахмальной суспензии, гранулы разбухают до тех пор, пока не будет достигнута точка невозврата, в которой зерна крахмала не могут перейти в исходное состояние. Образующийся при этом крахмальный 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) [1, 2, 4, 16].

Целью настоящего исследования стало изучение возможности сонохимической модификации картофельного крахмала и установление влияния ультразвукового воздействия на его свойства.

Материалы и методы

Для проведения исследований использовался картофель сорта Браслет, предоставленный НИИ Картофельводства г. Челябинска. Сорт картофеля Браслет – среднеранний. Клубни овальные, желтые, глазки неокрашенные мелкие с небольшой бровью. Мякоть светло-желтая, не темнеющая при варке. Среднее содержание крахмала 16–18%.

Из картофеля данного сорта был получен крахмал известным способом, который соответствовал требованиям ГОСТ Р 53876–2010 Крахмал картофельный. Технические условия. Опытные образцы 1%-ой суспензии крахмала картофельного обрабатывались ультразвуком на акустическом источнике упругих колебаний ультразвуковым приборе «Волна» модель УЗТА–0,63/22-ОМ, работающем на частоте $22 \pm 1,65$ кГц и выходной мощности 630 Вт, при разных условиях (таблица 1) с контролем температуры не более 50 градусов. Затем полученные суспензии высушивали до влажности товарного продукта.

Таблица 1.

Параметры процесса получения модифицированных крахмалов с использованием ультразвукового воздействия (УЗВ)

Table 1.

Parameters of the process of obtaining modified starches using ultrasonic action (US)

| Режимы УЗВ Modes US | | | |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|
| Контроль Control | | | |
| Температура, °C Temperature, °C | | | |
| 23,0±0,2 | 37,5±0,3 | 30,8±0,2 | 31,5±0,3 |
| Коды образцов Sample codes | | | |
| К | МК-1 | МК-2 | МК-3 |

Установлено, что используемые параметры процесса модификации картофельного крахмала (концентрация крахмальной суспензии, режимы УЗВ) позволяют обеспечить эффективное течение процесса и получение крахмала высокого качества с заданными свойствами.

Для изучения влияния УЗВ из полученного модифицированного крахмала и нативного готовили 4-х% крахмальные суспензии, которые подвергали тепловой обработке для дальнейшего исследования. Определяли начальную, конечную и среднюю температуру клейстеризации нативного и модифицированного крахмалов. Содержание амилозы в крахмале определяли с использованием метода связывания йода. Метод заключается в определении интенсивности окраски йодом раствора амилозы, извлекаемой из поврежденного крахмала при точно соблюдаемых условиях. Абсорбцию полученного раствора измеряли при 625 нм на спектрофотометре. Размеры крахмальных зерен определялись с помощью лазерного дифракционного анализатора размеров частиц – Microtrak.

Результаты и обсуждение

Установлено, что крахмал клейстеризуется при более низких температурах (таблица 2). Образец МК-1 клейстеризуется при средней температуре 44,6 °С, а образец МК-2 – при 52,3 °С. При этом, клейстер на основе модифицированного крахмала характеризуется большей однородностью и прозрачностью, меньшей вязкостью и после остывания реорганизуется в пластичный студень, обладающий нейтральным вкусом и запахом.

Таблица 2.

Температура клейстеризации исследуемых образцов крахмала

Table 2.

Gelatinization temperature of the studied starch samples

| Образцы крахмала Starch samples | Температура клейстеризации, °C Gelatinization temperature, °C | | Средняя температура клейстеризации, °C Average temperature of gelatinization, °C |
|------------------------------------|--|----------------|---|
| | начальная start | конечная final | |
| К | 59,0 | 65,0 | К |
| МК-1 | 42,3 | 46,8 | МК-1 |
| МК-2 | 51,5 | 53,0 | МК-2 |
| МК-3 | 54,8 | 57,2 | МК-3 |

Результаты определения выделившейся амилозы представлены в таблице 3 и свидетельствуют о том, что ультразвуковая модификация крахмала приводит к значительному росту данного показателя в 2,8–3,5 раза по отношению к контролю.

Таблица 3.

Выделение амилозы из крахмального зерна

Table 3.

Isolation of amylose from starch grain

| Образцы крахмала Starch samples | К | МК-1 | МК-2 | МК-3 |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Выделившаяся амилоза Released amylose | 0,0143 | 0,0500 | 0,0429 | 0,0400 |

Ряд исследований, представленных в литературе, свидетельствует о том, что ультразвук способен вызывать физическую деградацию гранул крахмала с видимыми трещинами и порами на поверхности, что вероятно приводит к разрыву водородных связей амилопектина. В свою очередь через образовавшиеся поры, амилоза частично диффундирует из аморфной части зерен и переходит в раствор, чем вероятно и обусловлены полученные результаты. [4, 10, 12, 13, 17–18].

Кроме того, более активное выделение амилозы из крахмального зерна, обработанного ультразвуком, может быть обусловлено изменением дисперсного состава крахмальных зерен после УЗВ, эффектом микронизации [8, 13–15].

По этой причине, на следующем этапе была проведена оценка дисперсного состава исследуемых образцов крахмала, результаты которой представлены в таблице 4.

Исследование дисперсного состава модельных растворов крахмальных суспензий в сравнении с контролем показало, что метод ультразвукового воздействия обуславливает

изменение состояния дисперсной системы крахмальных растворов, что приводит к выравниванию размеров частиц. В контрольном образце

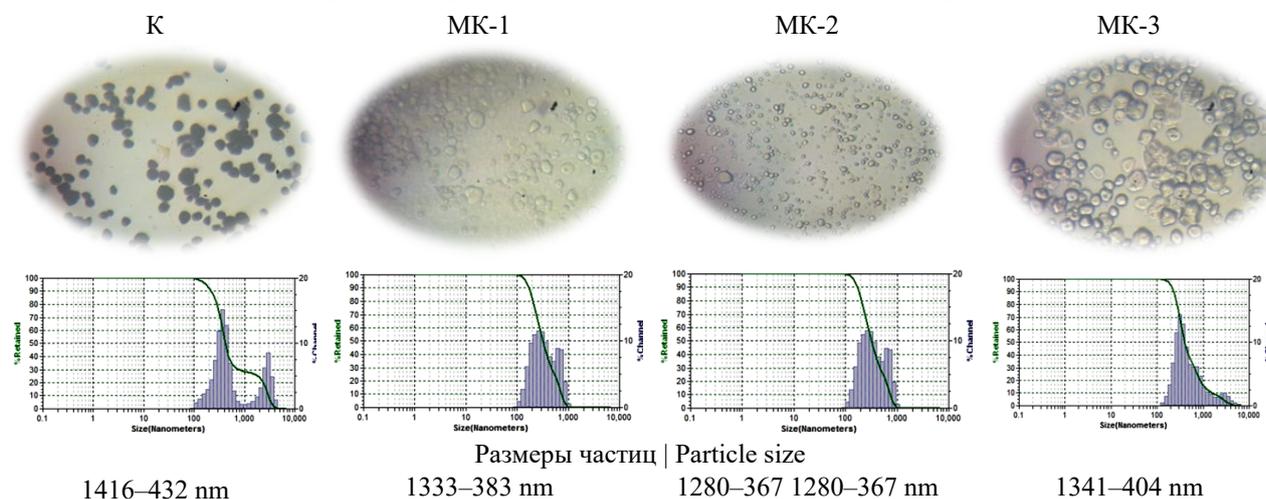
крахмальной суспензии отсутствуют частицы размерного ряда менее 400 нм с присутствием частиц фракций более 900 нм и более 3 000 нм.

Таблица 4.

Дисперсный состав крахмальных растворов исследуемых образцов

Table 4.

Disperse composition of starch solutions of the test samples



Эффект микронизации модифицированных крахмальных растворов максимально выражен при УЗВ мощностью 630 Вт в течение 10 мин, при этом режиме дисперсный состав значительно меняется, в дисперсии преобладают частицы двух фракций: (426 ± 10) нм – 35,5% и (678 ± 5) нм – 24,8%. При этом дальнейшее увеличение продолжительности воздействия УЗ не приводит к существенному уменьшению размера частиц.

Заключение

На основании проведенных исследований установлено, что ультразвуковое воздействие

помогает изменить морфологию крахмальных зёрен, частицы становятся меньшего размера, приближаются к аморфному состоянию, что приводит к изменению состояния дисперсной системы крахмальных растворов. При этом полученные крахмальные суспензии клейстеризуются при более низких температурах. В полученных образцах модифицированных крахмалов меняется соотношение полимеров: амилоза – амилопектин. Что приводит к изменению это технологических характеристик, это позволяет использовать данный модифицированный крахмал как стабилизатор.

Литература

- 1 Лукин Н.Д., Бородина Э.М., Папахин А.А. и др. Исследование действия амилалитических ферментов на нативный крахмал различных видов в гетерогенной среде // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 10. С. 62–64.
- 2 Никитина Е.В., Решетник О.А., Губайдуллин Р.А. Биотехнологические аспекты применения амилалитических ферментов в пищевой промышленности // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 13. С. 148–153.
- 3 Никитина Е.В., Габдукаева Л.З. Сравнительная характеристика физико-химических и морфологических свойств модифицированных картофельных крахмалов // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 13. С. 228–230.
- 4 Потороко И.Ю., Малинин А.В., Цатуров А.В., Руськина А.А. и др. Разработка технологии модификации крахмала. Часть 1: Ультразвуковое воздействие в охлаждающей системе // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2018. Т. 6. № 4.
- 5 Соломин Д.А., Соломина Л.С. Инновации в производстве и применении модифицированных крахмалов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2014. № 3. С. 19–22.
- 6 Стратегия повышения качества пищевой продукции на период до 2030 года: распоряжение Правительства РФ № 1364-р от 29.06.2016 г.
- 7 Халиков Р.М., Нигаматуллина Г.Б. Трансформации макромолекул амилозы и амилопектина при технологической переработке крахмальных гранул растительного сырья в пищевой промышленности // Nauka-rastudent.ru. 2015. № 1. С. 51–51.
- 8 Шестаков, С.Д., Красуля О.Н., Богуш В.И., Потороко И.Ю. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции. Санкт-Петербург, 2013.
- 9 Ягофаров Д.Ш., Канарский А.В., Сидоров Ю.Д., Поливанов М.А. Физико-химические свойства картофельного крахмала // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 12. С. 212–215.

- 10 Kaur B., Ariffin F., Bhat R., Karim A.A. Progress in starch modification in the last decade // Food Hydrocolloids. 2012. V. 26. P. 398–404.
- 11 Garcia-Alonso A., Jimenez-Escrig A., Martin-Carron N., Bravao L., Saura-Calixto F. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch // Food Chemistry. 1999. V. 66. № 2. P. 181-187.
- 12 Krasulya O., Bogush V., Trishina V., Potoroko I. et al. Impact of acoustic cavitation on food emulsions // Ultrasonics Sonochemistry. 2016. V. 30. P. 98–102.
- 13 Kalinina I., Ruskina A., Fatkullin R., Naumenko N. et al. The application of ultrasound for the regulation of the starch gel viscosity // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020. V. 26. № 3. P. 690–695.
- 14 Sujka M. Ultrasonic modification of starch – Impact on granules porosity // Ultrasonics Sonochemistry. 2017. V. 37. P. 424–429.
- 15 Sujka M., Jamroz J. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behavior // Food Hydrocolloids. 2013. V. 31. P. 413–419.
- 16 Morikawa K., Nishinari K. Rheological and DSC studies of gelatinization of chemically modified starch heated at various temperatures // Carbohydrate Polymers. 2000. V. 43. № 3. P. 241-247.
- 17 Shabana S., Prasansha R., Kalinina I., Potoroko I. et al. Ultrasound assisted acid hydrolyzed structure modification and loading of antioxidants on potato starch nanoparticles // Ultrasonics Sonochemistry. 2018. P. 1–7.
- 18 Iida Y., Tuziuti T., Yasui K., Towata A. et al. Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization // Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2008. V. 9. P. 140–146.

References

- 1 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. Achievements of science and technology of agro-industrial complex. 2013. no. 10. pp. 62–64. (in Russian).
- 2 Nikitina E.V. Reshetnik O.A., Gubaydullin R.A. Biotechnological Aspects Of The Use Of Amylolytic Enzymes In Food Industry. Bulletin of Kazan Technological University. 2013. vol. 16. no. 13. pp. 148–153. (in Russian).
- 3 Nikitina E.V. Gabdukaeva L.Z. Comparative Characteristics Of Physical And Chemical And Morphological Properties Of Modified Potato Starches. Bulletin of Kazan Technological University. 2012. vol. 15. no. 13. pp. 228–230. (in Russian).
- 4 Potoroko I.Yu., Malinin A.V., Tsaturov A.V., Ruskina A.A. et al. 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. (in Russian).
- 5 Solomin D.A., Solomina L.S. Innovations in the production and use of modified starches. Storage and processing of agricultural raw materials. 2014. no. 3. pp. 19–22. (in Russian).
- 6 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. (in Russian).
- 7 Khalikov R.M., Nigmatullina 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. 1. pp. 51-51. (in Russian).
- 8 Shestakov S.D., Krasulya O.N., Bogush V.I., Potoroko I.Yu. Technology And Equipment For Processing Of Food Environments Using Cavitation Disintegration. St. Petersburg, 2013. (in Russian).
- 9 Yagofarov D.Sh., Kanarskiy A.V., Sidorov Yu.D., Polivanov M.A. Physical And Chemical Properties Of Potato Starch. Bulletin of Kazan Technological University. 2012. vol. 15. no. 12. pp. 212–215. (in Russian).
- 10 Kaur B., Ariffin F., Bhat R., Karim A.A. Progress in starch modification in the last decade. Food Hydrocolloids. 2012. vol. 26. pp. 398–404.
- 11 Garcia-Alonso A., Jimenez-Escrig A., Martin-Carron N., Bravao L., Saura-Calixto F. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. Food Chemistry. 1999. vol. 66. no. 2. pp. 181-187.
- 12 Krasulya O., Bogush V., Trishina V., Potoroko I. et al. Impact of acoustic cavitation on food emulsions. Ultrasonics Sonochemistry. 2016. vol. 30. pp. 98–102.
- 13 Kalinina I., Ruskina A., Fatkullin R., Naumenko N. et al. The application of ultrasound for the regulation of the starch gel viscosity. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020. vol. 26. no. 3. pp. 690–695.
- 14 Sujka M. Ultrasonic modification of starch – Impact on granules porosity. Ultrasonics Sonochemistry. 2017. vol. 37. pp. 424–429.
- 15 Sujka M., Jamroz J. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behavior. Food Hydrocolloids. 2013. vol. 31. pp. 413–419.
- 16 Morikawa K., Nishinari K. Rheological and DSC studies of gelatinization of chemically modified starch heated at various temperatures. Carbohydrate Polymers. 2000. vol. 43. no. 3. pp. 241-247.
- 17 Shabana S., Prasansha R., Kalinina I., Potoroko I. et al. Ultrasound assisted acid hydrolyzed structure modification and loading of antioxidants on potato starch nanoparticles. Ultrasonics Sonochemistry. 2018. pp. 1–7.
- 18 Iida Y., Tuziuti T., Yasui K., Towata A. et al. Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2008. vol. 9. pp. 140–146.

Сведения об авторах

Алена А. Руськина старший преподаватель, кафедра пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, ruskina_a@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2451-9339>

Information about authors

Alena A. Ruskina senior teacher, food and biotechnology department, South Ural State University, Lenina av., 76, Chelyabinsk, 454080, Russia, ruskina_a@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2451-9339>

Ирина В. Калинина к.т.н., доцент, кафедра пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, kalininaiv@susu.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>

Наталья В. Попова к.т.н., доцент, кафедра пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, nvpopova@susu.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7667-9705>

Екатерина Е. Науменко студент, кафедра инфокоммуникационных технологий, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, 9193122375@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7665-5984>

Николай В. Глаз к.с.-х.н., заведующий, отдел садоводства, Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства, ул. Гидрострой, 16, пос. Шершни, г. Челябинск, 454902, Россия, uynlisk@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6480-2828>

Лариса В. Уфимцева к.б.н., доцент, заведующий, отдел инструментальных методов исследований, Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства, ул. Гидрострой, 16, пос. Шершни, г. Челябинск, 454902, Россия, uynlisk@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3457-3478>

Irina V. Kalinina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, food and biotechnology department, South Ural State University, Lenina av., 76, Chelyabinsk, 454080, Russia, kalininaiv@susu.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>

Natalia V. Popova Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, food and biotechnology department, South Ural State University, Lenina av., 76, Chelyabinsk, 454080, Russia, nvpopova@susu.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7667-9705>

Ekaterina E. Naumenko student, infocommunication technologies department, South Ural State University, Lenina av., 76, Chelyabinsk, 454080, Russia, 9193122375@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7665-5984>

Nikolay V. Glaz Cand. Sci. (Engin.), head, gardening department, South Ural research Institute of horticulture and potato production, st. Hidrostroy, 16, pos. Shershni, Chelyabinsk, 454902, Russia, uynlisk@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6480-2828>

Larisa V. Ufimtseva Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, head, instrumental research methods department, South Ural research Institute of horticulture and potato production, st. Hidrostroy, 16, pos. Shershni, Chelyabinsk, 454902, Russia, uynlisk@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3457-3478>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

| | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Поступила 03/08/2020 | После редакции 11/08/2020 | Принята в печать 18/08/2020 |
| Received 03/08/2020 | Accepted in revised 11/08/2020 | Accepted 18/08/2020 |