

Микроволновая модификация углеводов

Шевченко Татьяна Викторовна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: tatyana.shevchenko.1948@mail.ru

Устинова Юлия Владиславовна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: yul48888048@yandex.ru

Плотников Константин Борисович

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: k.b.plotnikov.rf@gmail.com

Попов Анатолий Михайлович

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, город Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: popov4116@yandex.ru

Жалнина Адександра Анатольевна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, город Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: qwert1776@yandex.ru

Одной из основных задач, стоящих перед пищевой промышленностью на сегодняшний день, является производство пищевой продукции нового поколения с заданными характеристиками качества. Анализ показывает, что в литературе рассматриваются два основных новых направления - это использование новых видов сырья и изменение свойств и технологий подготовки традиционного сырья. Развитие приемов известных технологий ускорит совершенствование переработки нативного пищевого сырья и отходов производства с целью получения целевых продуктов, обладающих новыми прогнозируемыми свойствами. Цель данного исследования – проанализировать влияние микроволнового излучения на изменение свойств крахмальных порошков и опосредованную передачу энергии дрожжей к крахмалопродуктам. Анализировались различные виды крахмала: клубневой (картофельный) и зерновой (гречневый). При микроволновом воздействии (МВИ) на крахмал использовалась энергия микроволн сантиметрового диапазона с частотой 2,45 ГГц. Такая малая энергия МВИ соответствует энергии вращения атомов в молекулах вокруг валентной σ -связи и способствует возникновению поворотной изомерии. Рассмотрены возможности управления свойствами крахмала за счет изменения конформации полимерной цепи под воздействием микроволнового излучения. Определены оптимальные технические параметры микроволновой обработки с частотой 2,45 ГГц для опосредованной активации хлебопекарных дрожжей через крахмалопродукты. Разработана технология опосредованной передачи энергии хлебопекарным дрожжам за счет обработанных МВИ крахмалопродуктов. Найдены приемы модификации крахмала для изменения их влагопоглощающей способности. Предварительная обработка сухого нативного картофельного крахмала микроволнами в течение 10 сек позволила увеличить влагопоглощательную способность крахмала незначительно (в 1,1 раза), последующее увеличение времени микроволновой обработки позволило уже существенно повысить (в 2-2,4 раза) показатель влагопоглощения по сравнению с контрольным образцом. Наибольшая адсорбция воды, в рамках заданных нами временных промежутков, наступает после обработки МВИ в течении 15 сек - увеличение в 2,4 раза. Для гречневого крахмала оптимальное время воздействия МВИ - 25 сек, а эффективность воздействия МВИ ниже (в 1,6 раза), чем у картофельного крахмала. Применение модифицированного крахмала в пищевой промышленности наиболее эффективно в технологии производства низкосортных колбас, для связывания свободной влаги.

Ключевые слова: углеводы, крахмал, крахмалопродукты, хлебопекарные дрожжи, микроволновое излучение, модификация

Введение

Крахмал является биоразлагаемым полимером, который все чаще используется во многих отраслях промышленности как ингредиент при производстве продуктов питания из-за его соответствующих физико-химических свойств (Москва и др., 2012; Ягофаров и др., 2012; Fathi & Namazi, 2014). Он как правило содержится в зернах, плодах, корнях и клубнях растений и служит их основным материалом. Его получают из картофеля, кукурузы, пшеницы и риса, овса в процессе разделения.

Химический состав и свойства крахмала

С химической точки зрения крахмал состоит из двух полисахаридов: линейной амилозы, в которой звенья α -D-глюкопиранозы связаны с α (1 $\rightarrow$ 4)-гликозидными связями (Рисунок 1), и разветвленного амилопектина, в котором присутствуют дополнительные α (1 $\rightarrow$ 6)-гликозидные связи (Рисунок 2) (Namazi et al., 2018; Kushwaha & Kaur, 2018).

Крахмал также содержит белки, липиды, воду и очень небольшое количество соединений фосфора, магния и кальция (Наг, et al., 2019).

Вследствие неблагоприятных свойств нативного крахмала, таких как плохая растворимость и высокая гидрофильность, он подвергается различным модификациям. Наиболее распространенными методами обеспечения значительного улучшения

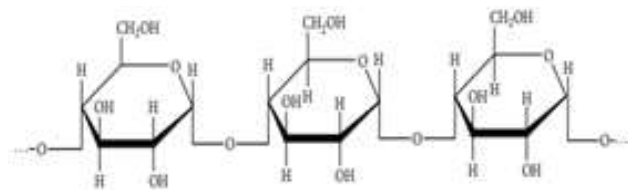


Рисунок 1. Амилоза

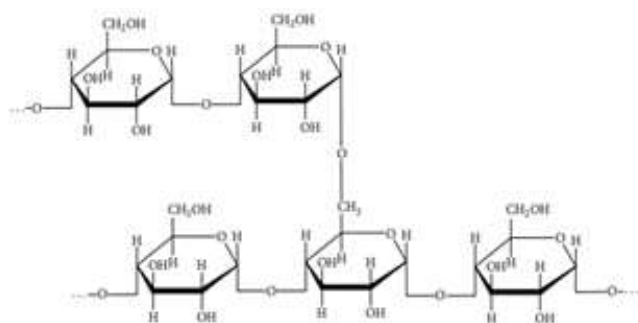


Рисунок 2. Амилопектин

свойств крахмала являются химические, физические и ферментативные модификации (Литвяк и др., 2012).

Известно, что каждый вид макромолекул обладает определенным набором дискретных энергетических состояний (конформаций). Каждая конформация макромолекулы крахмала имеет определенную адсорбционную активность к воде. Это связано с особенностями расположения гидроксильных групп по отношению к плоскости пиранозного кольца (Габдукаева и др., 2014).

Для полисахаридов (крахмал) возможно существование трех типов конформаций: «кресло», «ванна», «твист». В первом случае ОН-группы экваториальны, т.е. лежат в плоскости кольца. Во втором случае ОН-группы перпендикулярны плоскости кольца и обладают большей реакционной активностью. Имеется шесть конформаций типа «ванна». Конформеры имеют разную энергию. Наиболее термодинамически устойчивы структуры типа «кресло». Известно, что конформационное поведение макромолекул определяется их химическим строением. Так если запас энергии достаточный, то звено макромолекулы крахмала переходит в более энергетическую конформацию (поворотная изомерия). В третьем случае более стабильная конформация «твист», занимающая промежуточное положение: она менее выгодна, чем конформация «кресла» (Рисунок 3) (Литвяк, 2018).

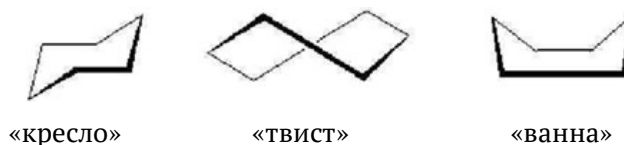


Рисунок 3. Конформация полисахаридов (крахмал)

Модификация углеводов с помощью микроволновой печи

Микроволновое излучение - это электромагнитное излучение в диапазоне от 3000 МГц до 30 ГГц и является одним из физических методов, используемых для улучшения функциональных свойств крахмала, позволяющий быстро передавать энергию внутрь материала, где энергия преобразуется в тепло, наряду со значительным сокращением времени обработки по сравнению с обычными процессами.

Микроволновое поле оказывает влияние и на свойства готового продукта (Zia-ud-Din et al., 2017).

В последнее время микроволновое излучение широко используется в различных методах обработки, таких как нагрев, оттаивание и стерилизация, как в промышленности, так и в домашних условиях. Поэтому проводятся также исследования влияния микроволнового излучения на физико-химические свойства крахмала (Кряжев, 2010; Кряжев и др., 2010).

Свойства микроволнового излучения

Микроволновое излучение обладает многими преимуществами, наиболее важными из которых являются быстрый процесс, избирательность нагрева и объемный нагрев, и что наиболее важно, так это то, что микроволновый нагрев экологически чистый. Кроме того, микроволновый нагрев помогает снизить эксплуатационные расходы, поскольку энергия, производимая микроволнами, фокусируется на материале, что значительно повышает производительность реализуемых процессов (Yi & Li, 2021; Gupta et al., 2021; Xie et al., 2021).

Факторы, влияющие на поведение крахмала в микроволновом поле, зависят от крахмала, а именно его тип, содержание воды, плотность, диэлектрические свойства, глубина проникновения и факторы, связанные с процессом микроволновой обработки, которые являются частотой, мощностью и временем воздействия (Okur et al., 2021; Fan et al., 2021).

Влияние микроволнового излучения на углеводы

Частоты, используемые в промышленных микроволновых печах, равны 915 МГц, а в бытовых микроволновых печах - 2450 МГц. Основным эффектом микроволнового взаимодействия с материалом является нагрев диэлектрика. Происходит сильный нагрев воды, содержащейся в материале, что вызвано быстрой переориентацией диполей и разрыв водородных связей. В конечном итоге это приводит к формированию структурных изменений (Lee et al., 2021; Das & Sit, 2021; Ren et al., 2021). При использовании микроволновых частот (2450 МГц) величина диэлектрической проницаемости и величина диэлектрических потерь зависят от содержания воды и соли в материале.

Диэлектрическая постоянная характеризует проникновение микроволн в крахмал, а коэффициент диэлектрических потерь определяет способность крахмала накапливать энергию. Глубина проникновения микроволнового излучения регулируется частотой СВЧ и диэлектрическими свойствами материала (Okonkwo et al., 2021). Диэлектрические

свойства являются очень важными факторами при микроволновой обработке гранулированного крахмала и сильно зависят от типа крахмала, содержания влаги, частоты СВЧ и температуры (Guida et al., 2021; Ashogbon, 2021b; Wang et al., 2021; Ashogbon, 2021a).

Влияние микроволнового нагрева на физико-химические свойства и структуру крахмала

Во время микроволнового нагрева на повышение температуры влияет мощность микроволновой печи, тип и влажность крахмала. Содержание воды в материале оказывает значительное влияние на процесс нагрева. Исследования показали, что образцы крахмала с низкой влажностью претерпевают трансформацию иначе, чем образцы с высокой влажностью. В случае крахмалов с низкой влажностью (в диапазоне 1-5 %) происходит быстрое повышение температуры, тогда как при более высокой влажности в диапазоне 7-15% повышение температуры менее заметно (Obadi & Xu, 2021; Raghunathan et al., 2021).

Микроволновая обработка способна изменять механизм желатинизации и влияет на реологические свойства крахмала. Желатинизация является одним из важнейших функциональных свойств крахмала и имеет особое значение при переработке. Микроволновое воздействие на крахмал в целом приводит к повышению температуры гелеобразования и снижению энтальпии процесса, что происходит под влиянием структурных изменений макромолекул крахмала (Manilla et al., 2021).

Физико-химические свойства облученного крахмала не постоянны. Через определенное время кислотность и растворимость облученных крахмалов существенно понижаются, вплоть до получения крахмалов полностью нерастворимых в воде. Результаты реологических исследований показывают, что микроволновое воздействие может осуществлять значительные изменения реологических характеристик крахмала, например, снижение вязкости (Литвяк и др., 2018).

Цель данного исследования – проанализировать влияние микроволнового излучения на изменение свойств крахмальных порошков и опосредованную передачу энергии дрожжей к крахмалопродуктам.

Задачи исследования: (1) Разработать приемы модификации крахмалов, исследовать морфологию крахмальных порошков, (2) определить оптимальные технические параметры микроволновой обработки для опосредованной активации хлебо-

пекарных дрожжей через крахмалопродукты, (3) разработать технологию модификации крахмальных продуктов, позволяющая управлять технологическими свойствами этих углеводных систем, за счет накопления энергии и ее последующей передаче другим пищевым объектам, (4) разработать приемы модификации крахмалов для изменения их влагопоглощающей способности.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования

В качестве объектов для проведения экспериментов использовались:

1. Картофельный крахмал сорта «Луговской» (ГОСТ Р 53876-2010¹).
2. Гречневый крахмал.
3. Хлебопекарные дрожжи (*Sacharomycos cerevisiae*).
4. Кукурузная шлифованная крупа.
5. Гречневая крупа первого сорта (дробленная).

Методы

Электронное микроскопирование крахмальных порошков

Электронное микроскопирование для исследования морфологии крахмальных порошков проводили с использованием растрового (сканирующего) микроскопа JEOL (Япония) серии JSM-7800F (диапазон увеличений от $\times 25$ до $\times 1000000$), который за счет больших технических возможностей позволяет получать объемные и высокочетные снимки малых объектов. Этот современный, широко используемый метод, обладая высокой наглядностью, был применен нами для определения геометрической формы, строения, размеров крахмальных зерен и оценки некоторых внешних признаков воздействия микроволнового излучения (МВИ) на крахмальные зерна.

Микрофотографии зерен картофельного крахмала необлученного и облученного МВИ проводили с увеличением в 1500 раз, микрофотографии гречневого крахмала проводили с увеличением в 150; 1100 раз.

Эффект водяного взрыва крахмала объясняли изучением спектра поглощения водой электро-

магнитных волн при различных диапазонах их частоты.

Рассеивания энергии крахмалопродуктами

Для определения рассеивания энергии крахмалопродуктами сухую навеску сухих хлебопекарных дрожжей (*Sacharomycos cerevisiae*) помещали в бумажный контейнер и опускали в крахмальный порошок (кукурузную и гречневую крупу), обработанный МВИ в течение 20 секунд, при $t=20\div 25^{\circ}\text{C}$. Время нахождения дрожжей в крахмале (процесс опосредованной передачи микроволновой энергии) составляло 5 и 10 минут.

Определение подъемной силы (активности) дрожжей определяли ускоренным методом – методом всплывания шарика (ГОСТ Р 54731-2011²).

Влагопоглотительную способность крахмала определяли методом центрифугирования, с частотой вращения 3200 оборотов в мин.

Процедура исследования. На первом этапе исследовали крахмальные зерна картофельного и гречневого крахмалов с использованием растрового (сканирующего) микроскопа. На втором этапе проведена активация сухих хлебопекарных дрожжей опосредованной энергией через кукурузную и гречневую крупу. На третьем этапе представлены данные исследования изменения влагопоглощения картофельного и гречневого крахмала под действием МВИ.

Результаты и их обсуждение

Микроскопическое исследование крахмальных зерен

Картофельный крахмал

Различные виды крахмалов отличаются друг от друга геометрической формой, размером зерна, соотношением химического состава и соотношением компонентов амилоза-амилопектин (Руськина и др., 2017), что объясняется широкое многообразие крахмалсодержащих продуктов.

С использованием растрового (сканирующего) микроскопа получены сравнительные микрофотографии зерен картофельного крахмала: а - обработанного и б - необработанного МВИ (Рисунок 4).

¹ ГОСТ Р 53876-2010. (2013). Крахмал картофельный. Технические условия. М.: Стандартинформ.

² ГОСТ Р 54731-2011. (2013). Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия. М.: Стандартинформ.



а



б

Рисунок 4. Микрофотографии зерен картофельного крахмала: а - необлученного; б - облученного МВИ в течении 15 секунд

Высокая разрешающая способность электронного микроскопа (увеличение в 1500 раз) позволило оценить размеры и геометрическую форму зерен картофельного крахмала.

Такие характеристики могут являться достоверным аналитическим контролем происхождения, качества, однородности и состояния зерен не только картофельного крахмала, но и всех других видов крахмалов.

Как видно из Рисунка 4 (б) произошел внешний разрыв крахмального зерна, который возможно объяснить эффектом водяного взрыва за счет

быстрого испарения молекул воды из воздушно-сухого крахмала с содержанием влаги 15%. Полученный таким образом модифицированный крахмал будет отличаться от нативного по своим характеристикам.

Согласно исследованиям (Xie et al., 2013) микроволновая обработка вызывает заметные изменения в структуре морфологии зерен картофельного крахмала. Нативные зерна крахмала показали четкую и правильную эллиптическую форму с гладкими поверхностями.

Найденный эффект водяного взрыва можно объяснить тем, что именно вода является аккумулятором и поглотителем микроволновой энергии. На рисунке 5 представлено поглощение электромагнитного поля водой в зависимости от частоты. При частоте волн 2.45×10^9 Гц наблюдается интенсивное поглощение водой энергии микроволн, то есть возникает эффект резонанса.

Гречневый крахмал

Подобные электронные микрофотографии были сделаны и для воздушно-сухих образцов зерен гречневого крахмала (Рисунки 6 и 7).

Из микрофотографии (Рисунок 6) с относительно невысокой степенью увеличения в 150 раз следует, что зерна гречневого крахмала принципиально отличаются от зерен картофельного крахмала. Они состоят из набора укрупненных частиц неправильной щепчатообразной геометрической формы, с размерами частиц от 100 до 200 нм. Такие видовые отличия строения крахмальных зе-

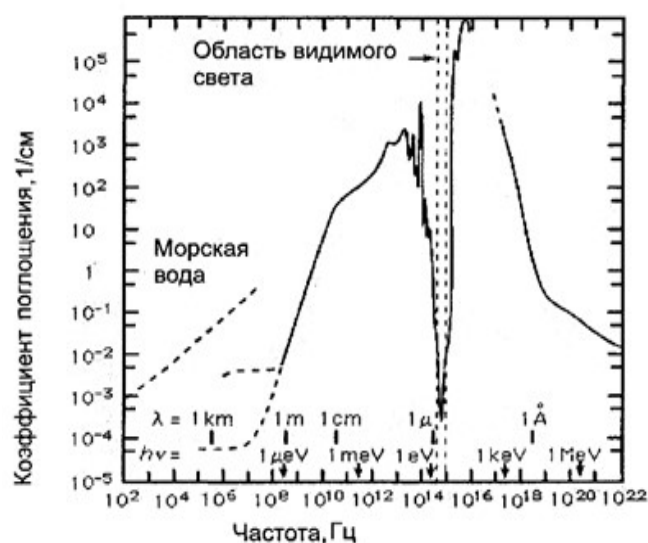


Рисунок 5. Поглощение электромагнитного поля водой в зависимости от частоты

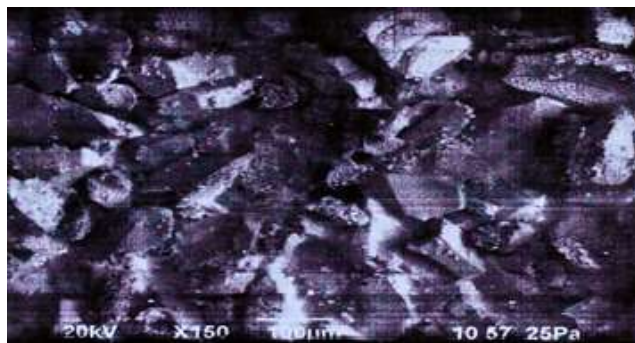


Рисунок 6. Микрофотография зерен гречневого крахмала. Увеличение в 150 раз

рен объясняется условиями их образования: зерна картофельного крахмала постоянно омываются клубневым соком, а зерна гречневого крахмала формируются при невысоком содержании жидкой фракции в зерне.

При повышенной степени разрешения фотографии в 1100 раз удалось, с помощью электронного микроскопа, рассмотреть более тонкое строение отдельного гречневого зерна, имеющего сложную организацию (Рисунок 7).

Нами установлено, что в одном большом макрозерне (Рисунок 6) находятся несколько сотен малых многогранных зернышек с размерами от 2-3 нм до 10 нм. Каждое зерно отделено друг от друга пористыми зазорами, что видно на Рисунке 6.

Нами установлено, что при воздействии микроволн на гречневый крахмал эта картина расположения малых зерен в макрозерне принципиально не меняется. Разлома отдельных зернышек не наблюдается. При этом энергия МВИ расходуется на расшатывание сложной уплотненной структуры крупных крахмальных зерен за счет увеличения зазора между малыми зернами.

Под воздействием микроволнового излучения крахмал может поглощать электромагнитную энергию и изменять структуру макромолекул клеток, влияя на их физиологические и биохимические характеристики (Abu-Elsaud, 2015).

Найденные изменения являются основой появления новых физико-химических и технологических свойств исследуемых крахмалов после воздействия МВИ.

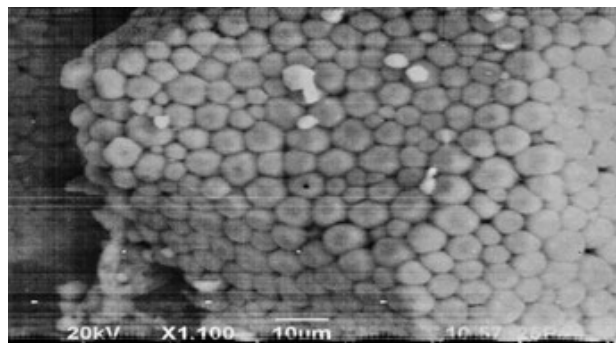


Рисунок 7. Микрофотография зерен гречневого крахмала. Увеличение в 1100 раз

Рассеяние энергии крахмалопродуктами

Согласно законам физики, поглощенная диэлектриком энергия электромагнитных волн способна постепенно рассеиваться. Скорость рассеивания, полученной энергии, зависит от его диэлектрической постоянной и от особенностей химического строения.

Индикатором выделения волновой энергии являлись сухие хлебопекарные дрожжи (*Sacharomycos cerevisiae*), которые помещали в бумажный контейнер, а далее в обработанный МВИ крахмальный порошок. Время нахождения дрожжей в крахмале составляло 5 и 10 минут. Повышение активности дрожжей подтверждалось методом «всплытия шарика».

Полученные данные согласовываются с данными, представленными в изобретении³. Эти данные показывают, что использованный режим облучения вызывает существенное усиление энергии брожения. Действие микроволн определяет также значительное увеличение числа живых клеток. Таким образом проявляется прямое активирующее действие микроволн на дрожжевую культуру дрожжей.

Найденное новое технологическое свойство крахмалов, приобретенное после обработки МВИ, может быть целенаправленно использовано в пищевой промышленности (Рисунок 8).

Из представленных данных мы видим, что дополнительная активация сухих хлебопекарных дрожжей опосредованной энергией возможна. В данном случае, выдержка дрожжей в активированном крахмале поспособствовало ускоренной перестройке их энергетического обмена с процесса дыхания на брожение. В случае, когда процесс

³ Аминова, Э. М., Исмаилов, Э. Ш., & Джаруллаев, Д. С. (2003). Способ активации дрожжей (РФ Патент № 2200194). Дагестанский государственный технический университет. https://yandex.ru/patents/doc/RU2200194C2_20030310

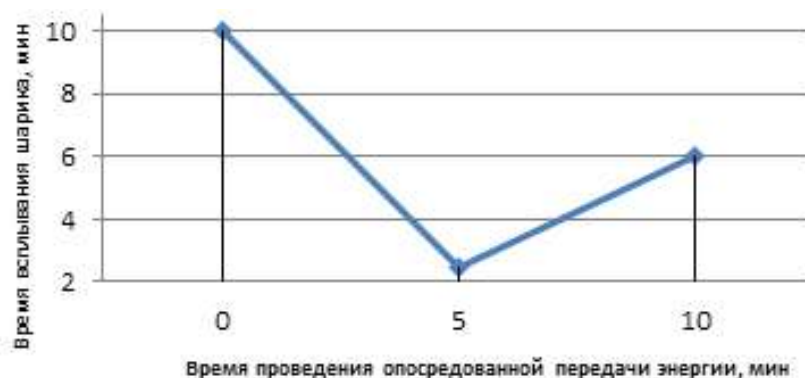


Рисунок 8. Опосредованная передача энергии

опосредованной передачи микроволновой энергии длился 5 минут, мы видим ускорение активации дрожжей в 6,5 раз. При выдержке 10 минут, по сравнению с контролем, результат стал лучше более чем в 1,5 раза.

Также нами была подтверждена возможность передачи энергии хлебопекарным дрожжам и через различные виды круп.

Передача энергии через кукурузную крупу

В ходе исследования передачи энергии хлебопекарным дрожжам через обработанную МВИ кукурузную крупу было установлено, что при выдержке дрожжей в кукурузной крупе 5 мин их активность повысилась в 1,2 раза, а в течении 10 минут – в 1,7 раз.

Авторами (Сулейманова и др., 2011) представлено, что микроволны с определёнными параметрами

действующего поля могут существенно стимулировать рост, развитие и продуктивность живых организмов. Такая выраженная биологическая активность микроволн даёт возможность направленного благоприятного изменения, улучшения свойств биосистем, что особенно важно для развития современных направлений биотехнологии.

Передача энергии через гречневую крупу (дробленную)

В ходе исследования передачи энергии хлебопекарным дрожжам через обработанный микроволнами гречневый продел было установлено, что при выдержке дрожжей в течение 5 минут их активность не повысилась, а течение 10 минут - увеличилась в 2,2 раза.

Полученные данные, отличающиеся от данных, представленных авторами⁴ по способу активации хлебопекарных дрожжей, который состоит в при-



Рисунок 9. Опосредованная передача энергии (в качества передатчика энергии - кукурузная крупа)

⁴ Шестаков, С. Д., Поландова, Р. Д., & Волохова, Т. П. (2002). Способ активации хлебопекарных дрожжей (РФ Патент № 2184145). https://yandex.ru/patents/doc/RU2000105151A_20020327

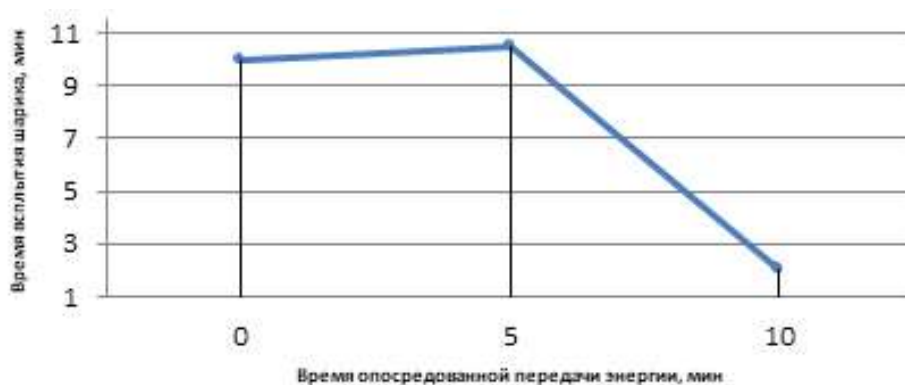


Рисунок 10. Опосредованная передача энергии (в качества передатчика энергии - гречневая крупа)

готовлении мучной суспензии, ультразвуковой обработке этой суспензии при постоянном перемешивании и последующем внесении в нее дрожжей и их адаптации. Данный способ приводит к гибели микроорганизмов, за счет кавитационной эрозии.

Влагопоглощение крахмала

Данные исследования изменения влагопоглощения картофельного и гречневого крахмала под действием МВИ представлены в Таблице 1 и на Рисунке 11.

Из представленных результатов следует, что предварительная обработка сухого нативного картофельного крахмала микроволнами позволила по-разному увеличивать его влагопоглощательную способность. Так обработка МВИ в течение 10 сек позволила увеличить влагопоглощательную способность крахмала незначительно (в 1,1 раза), последующее увеличение времени микроволновой обработки позволило уже существенно повысить (в 2-2,4 раза) показатель влагопоглощения по сравнению с контрольным образцом. Наибольшая адсорбция воды, в рамках заданных нами временных промежутков, наступает после обработки МВИ в течении 15 сек - увеличение в 2,4 раза.

Таблица 1
Влагопоглощение картофельного крахмала

1	Время обработки крахмала МВИ, сек	0	10	15	20	25	30	35
2	Влагопоглощение картофельного крахмала, %	50	65	135	95	90	85	85
3	Влагопоглощение гречневого крахмала, %	100	120	95	115	145	90	90

Наблюдаемое свойство влагопоглощения изменяется в виде скачков, т.к. внутренняя энергия макромолекул за счет резонансного поглощения микроволновой энергии изменяется скачками.

Полученные данные согласовываются с данными, полученными (Mollekopf et al., 2011) о том, что микроволновый нагрев влияет на морфоло-

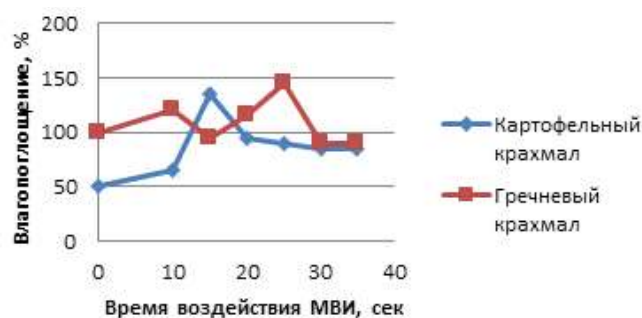


Рисунок 11. Зависимость влагопоглощения картофельного и гречневого крахмалов от времени воздействия МВИ

гию гранул крахмала, что приводит к улучшению поглощения воды.

Из Таблицы 2 следует, что наибольшей энергией обладает заслоненный вид конформации.

На основании представленных экспериментальных данных сделан вывод о том, что для повышения влагопоглощения необходимо вертикальное (наиболее реакционное) расположение гидроксильных групп по отношению к плоскости пиранозного кольца. Наибольшее влагопоглощение картофельного крахмала по принципу «подобное к подобному» наблюдается в случае заслоненной конформации при времени воздействия МВИ в течение 15 сек.

Таблица 2

Избыток энергии конформаций

Конформация	Избыток энергии, ккал/моль
Заслоненная	3,6
Скошенная	0,8
Частично заслоненная	2,9
Заторможенная	0

Из результатов исследований следует, что для гречневого крахмала оптимальное время воздействия МВИ другое - 25 сек, а эффективность воздействия МВИ ниже (в 1,6 раза), чем у картофельного крахмала. Это можно объяснить различным строением их зерен и отличиями в энергетических механизмах воздействия.

Аналогичные результаты были сообщены (Goel et al., 2020) для нативных модифицированных образцов гречневого крахмала. Гидротермально модифицированный крахмал найдет важное применение в пищевых продуктах в качестве загустителей и кондитерских изделий.

Выводы

В ходе проведенной работы найдено новое технологическое свойство крахмалов, приобретенное после обработки МВИ, которое может быть целенаправленно использовано в пищевой промышленности.

Представлены сравнительные микрофотографии зерен картофельного крахмала, обработанного и необработанного микроволновым излучением. Выявлено, что у крахмала, обработанного МВИ произошел внешний разрыв крахмального зерна, который возможно объяснить эффектом водяного взрыва за счет быстрого испарения молекул воды из воздушного сухого крахмала с содержанием влаги 15%.

Найдены оптимальные технические параметры микроволновой обработки для опосредованной активации хлебопекарных дрожжей через крахмалопродукты.

Представлено существование потока рассеянной микроволновой энергии от облученных объектов (крахмалопродуктов) и возможность передачи другому объекту (хлебопекарные дрожжи).

Установлена целесообразность применения опосредованной передачи энергии для активации

(биологической адаптации) хлебопекарных дрожжей и как следствие интенсификации процесса теплоприготовления.

Найдены приемы модификации крахмалов для изменения их влагопоглощающей способности.

Литература

- Габдукаева, Л. З., Никитина, Е. В., & Решетник, О. А. (2014). Резистентные крахмалы как функциональный ингредиент при производстве продуктов питания. *Вестник Казанского технологического университета*, 17, 253-255.
- Кряжев, В. Н. (2010). Последние достижения химии и технологии производных крахмала. *Химия растительного сырья*, 1, 1-10.
- Кряжев, В. Н., Романов, В. В., & Широков, В. А. (2010). Последние достижения химии и технологии производных крахмала. *Химия растительного сырья*, 1, 5-12.
- Литвяк, В. В., Батян, А. Н., & Кравченко, В. А. (2018). Модификация физико-химических и экологических свойств крахмала в результате его электронного облучения. *Журнал Белорусского Государственного Университета. Экология*, 3, 62-72.
- Литвяк, В. В., Лисовская, Д. П., & Росляков, Ю. Ф. (2012). Модифицированный картофельный крахмал как студнеобразующая основа для желе-линейных кондитерских изделий. *Известия вузов. Пищевая технология*, 2-3, 47-51.
- Литвяк, В. С. (2018). Волновое и корпускулярное строение материи-антиматерии: роль и значение пустоты в структуре. Минск: ИВЦ Минфина.
- Москва, В., Ромашко, О., Юркштович, Н., Капущик, Ф., & Литвяк, В. (2012). Исследование особенностей механизма химической модификации крахмала. *Наука и инновации*, 115, 64-70.
- Руськина, А. А., Попова, Н. В., Науменко, Н. В., & Руськин, Д. В. (2017). Анализ современных способов модификации крахмала как инструмента повышения его технологических свойств. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 5(3), 12-20. <https://doi.org/10.14529/food170302>
- Сулейманова, З. Г., Исмаилов, Э. Ш., & Гаджиев, М. С. (2011). Способ повышения активности дрожжей действием микроволн тепловой интенсивности. *Вестник ДГТУ. Технические науки*, 3, 155-161.
- Ягофаров, Д. Ш., Канарский, А. В., Сидоров, Ю. Д., & Поливанов, М. А. (2012). Физико-химические свойства картофельного крахмала. *Вестник*

- Казанского технологического университета, 12, 212-215.
- Abu-Elsaud, A. M. (2015). The effect of microwave electromagnetic radio frequency on the germination and growth of seedlings of six varieties of wheat *triticum aestivum*. *Advances in Environmental Biology*, 9(24), 270-280.
- Ashogbon, A. (2021a). Recent developments in the synthesis, properties and applications of triple modification of various starches. *Starch-Starke*, 73(3-4), Article 2000125. <https://doi.org/10.1002/star.202000125>
- Ashogbon, A. O. (2021b). Dual modification of various starches: Synthesis, properties and application. *Food Chemistry*, 342(11), Article 128325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128325>
- Das, A., & Sit, N. (2021) Modification of taro starch and starch nanoparticles by various physical methods and their characteristics. *Starch-Starke*, 73(5-6), Article 2000227. <https://doi.org/10.1002/star.202000227>
- Fan, C. L., Huang, J., Pu, H., Yang, Q., Chen, Z. G., & Zhu, Z. (2021) Cold-water solubility, oil-adsorption and enzymolysis properties of amorphous granular starches. *Food hydrocolloids*, 117, Article 106669. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106669>
- Fathi, F., & Namazi, H. (2014). Characterization and free synthesis of modified potato starch solvents. *Journal of Materials Chemistry Home*, 2, 11-15.
- Goel, K., Semval, A. D., Khan, A., Kumar, S., & Sharma, G. K. (2020). Physical modification of starch: changes in glycemic index, starch fractions, physico-chemical and functional properties of heat-cooled processed buckwheat starch. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 2941-2948. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04326-4>
- Guida, C., de Aguiar, A. C., & Cunha, R. L. (2021). Green starch modification methods for stabilization of Pickering emulsions: Current review and future prospects. *Current Opinion in Food Science*, 38, 52-61. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.017>
- Gupta, A. D., Rawat, K. P., Bhadauria, V., & Singh, H. (2021). Recent trends in the use of modified starch in the adsorption of heavy metals from water: An overview. *Carbohydrate Polymers*, 269, Article 117763. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117763>
- Haq, F., Yu, H., Wang, L., Teng, L., Haroon, M., Khan, R. U., Mehmood, S., Bilal-Ul-Amin, Ullah, R. S., Khan, A., & Nazir, A. (2019). Advances in chemical modifications of starches and their applications. *Carbohydrate Research*, 476, 12-35. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.02.007>
- Kushwaha, R., & Kaur, D. (2018). Recent techniques used in modification of starches: A review. In *Food technology from health to wealth and future challenges* (pp. 1-15). New Delhi: Bharti Publication.
- Lee, S.-J., Zhang, C., Lim, S. T., & Park, E., Y. (2021) The effect of a combination of dry heating and glucose addition on the behavior of starches during gluing and gelling. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1302-1308. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.081>
- Manilla, B., Castagna, N., Rojas, M. L., & Augusto, P. E. (2021). New technologies to improve starch efficiency. *Current Opinion in Food Science*, 37, 26-36.
- Mollekopf, N., Treppe, K., Fiala, P., & Dixit, O. (2011). Vacuum Microwave Treatment of Potato Starch and the Resultant Modification of Properties. *Chemie Ingenieur Technik*, 83(3), 262-272. <https://doi.org/10.1002/cite.201000105>
- Namazi, H., Fathi, F., & Dadha, A. (2018). Hydrophobically modified starch using long-chain fatty acids to produce nanoscale starch particles. *Scientia Iranica*, 18(3), 439-445. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.05.006>
- Obadi, M., & Xu, B. (2021). Review of the physicochemical properties, modifications and applications of starches and their common modified forms used in noodle products. *Food Hydrocolloids*, 112, Article 106286. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106286>
- Okonkwo, V. K., Kwofie, E. M., Mba, O., & Ngadi, M. O. (2021). The effect of thermosonic operation on the quality indicators of starch-based sauces. *Ultrasound Sonochemistry*, 73, Article 105473. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105473>
- Okur, I., Sezer, P., Oztop, M. H., & Alpas, H. (2021). Recent achievements in the field of gelatinization and retrogradation of starch at high hydrostatic pressure. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4367-4375.
- Raghunathan, R., Pandiselvam, R., Kothakota, A., & Khaneghah, A. M. (2021). Application of new non-thermal technologies for modification of grain starches. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 138, Article 110795. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110795>
- Ren, Y., Yuan, T. Z., Chingwedere, C. M., & Ai, Y. (2021). Current review of the structure, functional properties and industrial applications of pulsed starches for value-added use. *Comprehensive Reviews in the Field of Food Science and Food Safety*, 20(3), 3061-3092. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12735>
- Wang, Y., Chen, L., Yang, T., Ma, Y., McClements, D., Ren, F., Tian, Y., & Jin, Z. (2021). Review of

- structural transformations and changes in starch properties during heat treatment of food products. *Food Hydrocolloids*, 113, Article 106543. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106543>
- Xie, F., Zhang, H., Wu, Y., Xia, Y., & Ai, L. (2021). The effect of tamarind seed polysaccharide on the physico-chemical properties of corn starch processed by homogenization under high pressure. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 150(1), Article 112010. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112010>
- Xie, Y., Yan, M., Yuan, S., Sun, S., & Huo, Q. (2013). The effect of microwave processing on the physico-chemical properties of potato starch granules. *Chemistry Central Journal*, 7, Article 113. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-113>
- Yi, X., & Li, C. (2021). Main controllers for improving the content of resistant starch in boiled white rice. *Food Hydrocolloids*, 122(1), Article 107083. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107083>
- Zia-ud-Din, Xiang, H., & Fei, P. (2017). Physical and chemical modification of starches: A review. *Critical Reviews in the Field of Food Science and Nutrition*, 57(12), 2691-2705. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1087379>

Microwave Modification of Carbohydrates

Tatyana V. Shevchenko

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: tatyana.shevchenko.1948@mail.ru*

Yulia V. Ustinova

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: yul48888048@yandex.ru*

Konstantin B. Plotnikov

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: k.b.plotnikov.rf@gmail.com*

Anatoly M. Popov

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: popov4116@yandex.ru*

Aleksandra A. Zhalnina

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: qwert1776@yandex.ru*

One of the main tasks facing the food industry today is the production of a new generation of food products with specified quality characteristics. The analysis shows that two main new directions are considered in the literature - the use of new types of raw materials and changes in the properties and technologies of preparation of traditional raw materials. The development of techniques of known technologies will accelerate the improvement of processing of native food raw materials and production waste in order to obtain target products with new predictable properties. The purpose of this study is to analyze the effect of microwave radiation on the change in the properties of starch powders and the indirect transfer of yeast energy to starch products. Various types of starch were analyzed: tuberous (potato) and grain (buckwheat). When microwave exposure (MVI) to starch, the energy of microwaves in the centimeter range with a frequency of 2.45 GHz was used. Such a small energy of MVI corresponds to the energy of rotation of atoms in molecules around the valence σ -bond and contributes to the emergence of rotational isomerism. The possibilities of controlling the properties of starch by changing the conformation of the polymer chain under the influence of microwave radiation are considered. The optimal technical parameters of microwave processing with a frequency of 2.45 GHz for the indirect activation of baking yeast through starch products have been determined. A technology of indirect energy transfer to baking yeast due to processed starch products has been developed. Methods of starch modification to change their moisture-absorbing ability have been found. Pretreatment of dry native potato starch with microwaves for 10 seconds allowed to increase the moisture absorption capacity of starch slightly (by 1.1 times), the subsequent increase in the time of microwave processing has already significantly increased (by 2-2.4 times) the moisture absorption index compared to the control sample. The greatest adsorption of water, within the time intervals set by us, occurs after the treatment of MVI for 15 seconds - an increase of 2.4 times. For buckwheat starch, the optimal time of exposure to MVI is 25 seconds, and the effectiveness of exposure to MVI is lower (1.6 times) than that of potato starch. The use of modified starch in the food industry is most effective in the production technology of low-grade sausages, for binding free moisture.

Keywords: carbohydrates, starch, starch products, baking yeast, microwave radiation, modification

References

- Gabdukaeva, L. Z., Nikitina, E. V., & Reshetnik, O. A. (2014). Rezistentnye krakhmaly kak funktsional'nyi ingredient pri proizvodstve produktov pitaniya [Resistant starches as a functional ingredient in food production]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 17, 253-255.
- Kryazhev, V. N. (2010). Poslednie dostizheniya khimii i tekhnologii proizvodnykh krakhmala [Recent advances in chemistry and technology of starch derivatives]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], 1, 1-10.
- Kryazhev, V. N., Romanov, V. V., & Shirokov, V. A. (2010). Poslednie dostizheniya khimii i tekhnologii proizvodnykh krakhmala [Recent advances in chemistry and technology of starch derivatives]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], 1, 5-12.
- Lityvak, V. S. (2018). *Volnovoe i korpuskulyarnoe stroenie materii-antimaterii: rol' i znachenie pustoty v structure* [Wave and corpuscular structure of matter-antimatter: the role and significance of emptiness in the structure]. Minsk: IVTs Minfina.
- Lityvak, V. V., Batyan, A. N., & Kravchenko, V. A. (2018). Modifikatsiya fiziko-khimicheskikh i ekologicheskikh svoystv krakhmala v rezul'tate ego elektronnoy oblucheniya. *Zhurnal Belorusskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Ekologiya* [Modification of the physico-chemical and environmental properties of starch as a result of its electron irradiation], 3, 62-72.
- Lityvak, V. V., Lisovskaya, D. P., & Roslyakov, Yu. F. (2012). Modifitsirovannyi kartofel'nyi krakhmal kak studneobrazuyushchaya osnova dlya zheleinykh konditerskikh izdelii [Modified potato starch as a gelling base for jelly confectionery]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [Izvestiya vuzov. food technology], 2-3, 47-51.
- Moskva, V., Romashko, O., Yurkshtovich, N., Kaputskii, F., & Lityvak, V. (2012). Issledovanie osobennostei mekhanizma khimicheskoi modifikatsii krakhmala [Study of the features of the mechanism of chemical modification of starch]. *Nauka i innovatsii* [Science and Innovation], 115, 64-70.
- Rus'kina, A. A., Popova, N. V., Naumenko, N. V., & Rus'kin, D. V. (2017). Analiz sovremennykh sposobov modifikatsii krakhmala kak instrumenta povysheniya ego tekhnologicheskikh svoystv [Analysis of modern methods of starch modification as a tool to improve its technological properties]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye i biotekhnologii* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology], 5(3), 12-20. <https://doi.org/10.14529/food170302>
- Suleimanova, Z. G., Ismailov, E. Sh., & Gadzhiev, M. S. (2011). Sposob povysheniya aktivnosti drozhzhei deistviem mikrovoln teplovoi intensivnosti [Method for increasing the activity of yeast by the action of microwaves of thermal intensity]. *Vestnik DGTU. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science], 3, 155-161.
- Yagofarov, D. Sh., Kanarskii, A. V., Sidorov, Yu. D., & Polivanov, M. A. (2012). Fiziko-khimicheskie svoystva kartofel'nogo krakhmala [Physico-chemical properties of potato starch]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 12, 212-215.
- Abu-Elsaud, A. M. (2015). The effect of microwave electromagnetic radio frequency on the germination and growth of seedlings of six varieties of wheat triticum aestivum. *Advances in Environmental Biology*, 9(24), 270-280.
- Ashogbon, A. (2021a). Recent developments in the synthesis, properties and applications of triple modification of various starches. *Starch-Starke* [Strong-Strong], 73(3-4), Article 2000125. <https://doi.org/10.1002/star.202000125>
- Ashogbon, A. O. (2021b). Dual modification of various starches: Synthesis, properties and application. *Food Chemistry*, 342(11), Article 128325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128325>
- Das, A., & Sit, N. (2021) Modification of taro starch and starch nanoparticles by various physical methods and their characteristics. *Starch-Starke* [Strong-Strong], 73(5-6), Article 2000227. <https://doi.org/10.1002/star.202000227>
- Fan, C. L., Huang, J., Pu, H., Yang, Q., Chen, Z. G., & Zhu, Z. (2021) Cold-water solubility, oil-adsorption and enzymolysis properties of amorphous granular starches. *Food hydrocolloids*, 117, Article 106669. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106669>
- Fathi, F., & Namazi, H. (2014). Characterization and free synthesis of modified potato starch solvents. *Journal of Materials Chemistry Home*, 2, 11-15.
- Goel, K., Semval, A. D., Khan, A., Kumar, S., & Sharma, G. K. (2020). Physical modification of starch: changes in glycemic index, starch fractions, physico-chemical and functional properties of heat-cooled processed buckwheat starch. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 2941-2948. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04326-4>
- Guida, C., de Aguiar, A. C., & Cunha, R. L. (2021). Green starch modification methods for stabilization of Pickering emulsions: Current review and future prospects. *Current Opinion in Food Science*, 38, 52-61. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.017>

- Gupta, A. D., Rawat, K. P., Bhadauria, V., & Singh, H. (2021). Recent trends in the use of modified starch in the adsorption of heavy metals from water: An overview. *Carbohydrate Polymers*, 269, Article 117763. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117763>
- Haq, F., Yu, H., Wang, L., Teng, L., Haroon, M., Khan, R. U., Mehmood, S., Bilal-Ul-Amin, Ullah, R. S., Khan, A., & Nazir, A. (2019). Advances in chemical modifications of starches and their applications. *Carbohydrate Research*, 476, 12-35. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.02.007>
- Kushwaha, R., & Kaur, D. (2018). Recent techniques used in modification of starches: A review. In *Food technology from health to wealth and future challenges* (pp. 1-15). New Delhi: Bharti Publication.
- Lee, S.-J., Zhang, C., Lim, S. T., & Park, E., Y. (2021). The effect of a combination of dry heating and glucose addition on the behavior of starches during gluing and gelling. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1302-1308. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.081>
- Manilla, B., Castagna, N., Rojas, M. L., & Augusto, P. E. (2021). New technologies to improve starch efficiency. *Current Opinion in Food Science*, 37, 26-36.
- Mollekopf, N., Treppe, K., Fiala, P., & Dixit, O. (2011). Vacuum Microwave Treatment of Potato Starch and the Resultant Modification of Properties. *Chemie Ingenieur Technik*, 83(3), 262-272. <https://doi.org/10.1002/cite.201000105>
- Namazi, H., Fathi, F., & Dadha, A. (2018). Hydrophobically modified starch using long-chain fatty acids to produce nanoscale starch particles. *Scientia Iranica [Iranian Knowledge]*, 18(3), 439-445. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.05.006>
- Obadi, M., & Xu, B. (2021). Review of the physico-chemical properties, modifications and applications of starches and their common modified forms used in noodle products. *Food Hydrocolloids*, 112, Article 106286. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106286>
- Okonkwo, V. K., Kwofie, E. M., Mba, O., & Ngadi, M. O. (2021). The effect of thermosonic operation on the quality indicators of starch-based sauces. *Ultrasound Sonochemistry*, 73, Article 105473. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105473>
- Okur, I., Sezer, P., Oztop, M. H., & Alpas, H. (2021). Recent achievements in the field of gelatinization and retrogradation of starch at high hydrostatic pressure. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4367-4375.
- Raghunathan, R., Pandiselvam, R., Kothakota, A., & Khaneghah, A. M.. (2021). Application of new non-thermal technologies for modification of grain starches. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie [Food Science and Technology]*, 138, Article 110795. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110795>
- Ren, Y., Yuan, T. Z., Chingwedere, C. M., & Ai, Y. (2021). Current review of the structure, functional properties and industrial applications of pulsed starches for value-added use. *Comprehensive Reviews in the Field of Food Science and Food Safety*, 20(3), 3061-3092. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12735>
- Wang, Y., Chen, L., Yang, T., Ma, Y., McClements, D., Ren, F., Tian, Y., & Jin, Z. (2021). Review of structural transformations and changes in starch properties during heat treatment of food products. *Food Hydrocolloids*, 113, Article 106543. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106543>
- Xie, F., Zhang, H., Wu, Y., Xia, Y., & Ai, L. (2021). The effect of tamarind seed polysaccharide on the physico-chemical properties of corn starch processed by homogenization under high pressure. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie [Food Science and Technology]*, 150(1), Article 112010. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112010>
- Xie, Y., Yan, M., Yuan, S., Sun, S., & Huo, Q. (2013). The effect of microwave processing on the physico-chemical properties of potato starch granules. *Chemistry Central Journal*, 7, Article 113. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-113>
- Yi, X., & Li, C. (2021). Main controllers for improving the content of resistant starch in boiled white rice. *Food Hydrocolloids*, 122(1), Article 107083. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107083>
- Zia-ud-Din, Xiang, H., & Fei, P. (2017). Physical and chemical modification of starches: A review. *Critical Reviews in the Field of Food Science and Nutrition*, 57(12), 2691-2705. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1087379>