

THE THEORY AND PRACTICE OF UPDATING OF RAW MATERIALS CONTAINING STARCH FOR CREATION OF A NEW FOODSTUFF

V. Litvyak

Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus, Republic Belarus, Minsk

Key words:

*Starch
Technology
Processing
Updating*

Article history:

Received 16.01.2019
Received in revised form
30.01.2019
Accepted 11.02.2019

Corresponding author:

V. Litvyak
E-mail:
besserk1974@mail.ru

ABSTRACT

The current scientific direction of research in recent years is the highly efficient, waste-free and environmentally friendly technologies for the deep processing of starchy plant-based agricultural raw materials.

New scientific data were obtained on the morphology, phase structure, IR spectroscopy of the native: corn, potato, and tapioca, wheat, rice, rye, pea, amaranth, barley, sorghum, triticale, oat starch, modified (physically, physico-chemical, chemically and biochemically) starch products and starch-containing biocomposites. Highly effective technologies of processing starch and containing starch raw materials were developed: updatings of starch using the physical, physical and chemical, chemical and biochemical factor of the updating, allowing to receive extruded, irradiated, electrochemically and chemically oxidized, cationic and enzymatically split products from starch. The mechanism of the physical, chemical and combined updating starch and containing starch biocomposites was studied. The empirical mathematical model of extrusion on the basis of the factorial experiment, connecting parameters extrusion with molecular weight of polymers was created. It was investigated the influence of various types on the level of microbiological insemination of starch and starch products. The theoretical model of formation organoleptic properties of potato composites and hypothesis of a process of blanching was offered. For the first time, a scientifically based and unparalleled in the world technology of obtaining food concentrate based on potatoes and potato drink was proposed. 18 technical conditions were developed, 9 acts of implementation and 20 acts of the practical use of research results were received.

Complex scientific research of influence of biologically active substances of process of cellular accumulation of starch and development of scientifically-technological bases of creation of competitive technologies of processing and containing starch of raw materials with use of physical, physical and chemical, chemical and biochemical modifying factors was executed.

DOI: 10.24263/2225-2924-2019-25-1-26

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА МОДИФИКАЦИИ КРАХМАЛОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

В.В. Литвяк

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию, Республика Беларусь, г. Минск

Актуальным научным направлением исследований последних лет являются высокоэффективные, безотходные и экологически безопасные технологии глубокой переработки крахмалосодержащего растительного сельскохозяйственного сырья.

Получены новые научные данные о морфологии, фазовой структуре, ИК-спектроскопии нативного: кукурузного, картофельного, а также тапиокового, пшеничного, рисового, ржаного, горохового, амарантового, ячменного, соргового, тритикалевого, овсяного крахмала, модифицированных (физически, физико-химически, химически и биохимически) крахмалопродуктов и крахмалосодержащих биокомпозитов. Разработаны высокоэффективные технологии переработки крахмала и крахмалосодержащего сырья: модификации крахмала с использованием физического, физико-химического, химического и биохимического фактора модификации, позволяющие получать экструзионные, облученные, электрохимически и химически окисленные, катионные и ферментативно расщепленные крахмалопродукты. Изучен механизм физической, химической и комбинированной модификации крахмала и крахмалосодержащих биокомпозитов. Создана эмпирическая математическая модель экструзии на основе факторного эксперимента, связывающей параметры экструзии с молекулярной массой полимеров. Исследовано влияние различных типов воздействия на уровень микробиологической обсемененности крахмала и крахмалопродуктов. Предложена теоретическая модель формирования органолептических свойств картофельных композитов и гипотеза процесса блиншировки. Впервые предложена научно обоснованная и не имеющие аналогов в мире технология получения пищевого концентрата на основе картофеля и картофельного напитка. Разработано 18 технических условий, получено 9 актов внедрения и 20 актов о практическом использовании результатов исследований.

Разработаны научно-практические основы создания импортозамещающих высокоэффективных, экологически безопасных технологий получения модифицированных крахмалов и крахмалосодержащего сырья с использованием физических, физико-химических, химических и биохимических модифицирующих факторов для создания новых продуктов питания.

Ключевые слова: крахмал, технология, модификация, продукты питания.

Постановка проблемы. В последнее время в пищевой промышленности широкое применение получили различные виды нативных и модифицированных крахмалов с целенаправленно измененными свойствами в результате их обработки физическими, физико-химическими, химическими или биохимическими способами.

Большой вклад в разработку научно-практических основ создания крахмало-содержащих модифицированных продуктов внесли работы Р.В. Керра, М. Рихтера, А.И. Жушмана, Н.Н. Трегубова, Н.Р. Андреева, Н.Д. Лукина, Н.Г. Гулюка, В.Г. Карпова, Т.А. Ладур, В.Г. Костенко и др. [1—14].

Однако до настоящего времени не до конца исследованы особенности и механизмы модификации крахмала и крахмалосодержащего сырья. Таким образом, исследования физико-химических, технологических и органолептических свойств крахмала и крахмалопродуктов, а также создание современных высокоэффективных технологий получения модифицированных крахмалов и продуктов из крахмалосодержащего модифицированного сырья является актуальной проблемой для пищевой промышленности.

Цель исследования: разработка научно-практических основ создания импортозамещающих высокоэффективных, экологически безопасных технологий получения модифицированных крахмалов и крахмалосодержащего сырья с использованием физических, физико-химических, химических и биохимических модифицирующих факторов для создания новых продуктов питания.

Объекты и методы. Объектами исследований были нативные (картофельный, кукурузный, тапиоковый, пшеничный, рисовый, ржаной, гороховый, амарантовый, ячменный, сорговый, тритикалевый, овсяный), модифицированные различными способами крахмала, крахмалосодержащие продукты (мука, картофелепродукты, картофельная мезга) и полученные на их основе новые продукты питания.

При проведении исследований применяли ИК-спектрометрию, сканирующую электронную микроскопию (сканирующий электронный микроскоп LEO 1420 и вакуумную установку EMITECH K 550X), световую микроскопию (световой микроскоп Zeiss Axiostar plus и цифровую фотокамера Panasonic DMC-LZ1), рентгеновскую дифрактометрию (рентгеновский дифрактометр HZG 4A), спектроскопию (однолучевой Фурье-спектрометр модели Перкин Эльмер «Спектрум 1000» и ЯМР-спектрометре Bruker AC 400), хроматографию (высокоэффективный жидкостный хроматограф Agilent Technologies 1200 Series, хроматографические колонки: Eclipse XDB-C18, Zorbax SB-Aq и Nucleogel GFC 1000-8), спектрофотометрию (спектрофотометр Specord M 40), визкозиметрию (ротационные вискозиметры: Rheotest 2.1, Брукфилда LVDV-II+Pro), титрометрию и другие стандартные методы физико-химического и микробиологического анализа в соответствии с ТНПА: ГОСТ 7698, ГОСТ 8756.13, ГОСТ 8756.22, ГОСТ 24556, ГОСТ 25999, ГОСТ 26668, ГОСТ 26669, ГОСТ 26670, ГОСТ 10444.15, ГОСТ 30518, ГОСТ 30519, ГОСТ 10444.12.

Компьютерное моделирование химических и технологических процессов осуществляли на кластерном суперкомпьютере СКИФ-ОИПИ. Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием компьютерных программ MathCad Professional-2000 и MS Office Excel-2003 [11].

Результаты исследований и их обсуждение. Исследована молекулярная и надмолекулярная структура крахмалов, крахмалопродуктов и крахмалосодержащих биоконструктов. Доказано, что морфологическая и фазовая структура крахмалов зависит от вида растительного крахмалосодержащего сырья и от его сортовой принадлежности. Для оценки нативных крахмалов предложен коэффициент сродства к модифицирующему физическому фактору (кри-

терий — средний размер крахмальной гранулы) и коэффициент сродства к модифицирующему химическому фактору (критерий — относительная степень аморфности). Установлено, что реакции химической модификации протекают более интенсивно в аморфных более сильно окрашенных участках крахмального зерна. Предложена научно-обоснованная модель химической модификации крахмальной гранулы (рис. 1).

В ходе моделирования молекулярной динамики амилозы, состоящей из 40 остатков глюкопиранозы и имеющей общую длину 117Å, нами обнаружено, что изолированная цепь амилозы не обладает стабильной структурой (рис. 2). За отрезок в 1 мкс мы пронаблюдали «биение» цепочки молекулы амилозы и ее общую конформационную нестабильность структуры расположения звеньев. Ионная сила раствора не оказала влияние на характер «биения».

Увеличение молекулярной массы и разветвление структуры молекулы кардинально меняет характер движения отдельных участков цепи (рис. 2). Так, по сравнению с амилозой, амплитуда движений молекулы амилопектина, имеющей одну «якорную» В-цепь состоящую из 43 глюкопиранозных остатков и 6 боковых А-цепей из 16 остатков глюкопиранозы, намного более узкая.

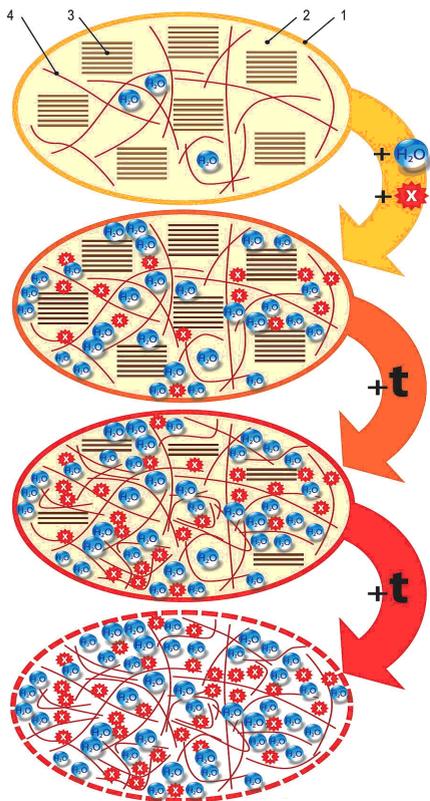


Рис. 1. Механизм химической модификации крахмальной гранулы: 1 — крахмальная гранула; 2 — внутренняя полость крахмальной гранулы; 3 — кристаллический участок; 4 — аморфный участок

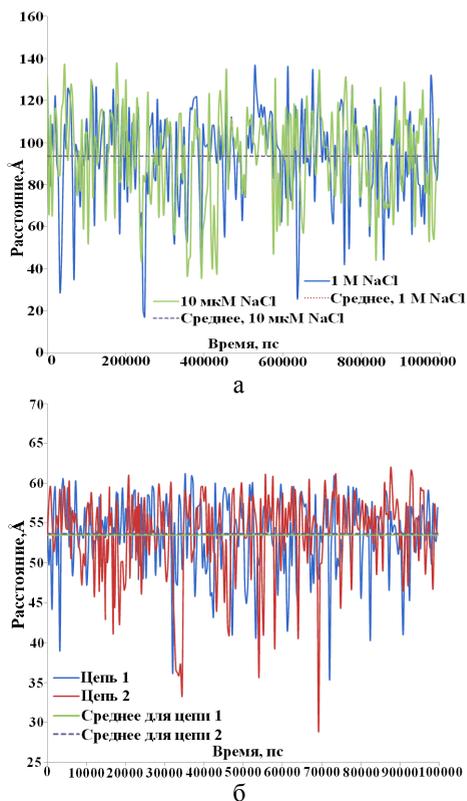
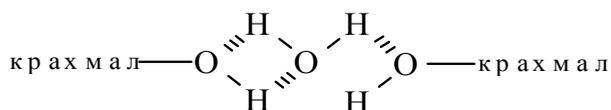


Рис. 2. Сравнение расстояния между концевыми атомами углерода молекулы крахмала: а — между концевыми атомами O1 и O4 амилозы (40 остатков глюкозы), б — между концами 2 А-цепей амилопектина

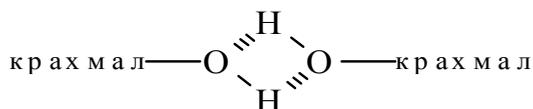
Таким образом, на основании сравнительного исследования молекулярной динамики мы сделали предположение о том, что амилоза является разрушающим фактором крахмальной гранулы, приводящим к образованию аморфных участков в ней, а амилопектин способствует формированию кристаллических участков.

В результате выполненных исследований нами предложен высокоэффективный, экономный и экологически безопасный способ получения нативного крахмала, при котором осуществляют подготовку крахмалосодержащего сырья к переработке, проводят исследование морфологической структуры крахмала в крахмалосодержащем сырье с определением размера крахмальных гранул, подготовленное сырье измельчают, высушивают до удаления из растительных клеток свободной и связанной влаги, подвергают тонкому измельчению для разрушения растительных клеток и извлекают крахмал путем многократного просеивания через систему специальных сит, подобранную в соответствии с размерами крахмальных гранул перерабатываемого крахмалосодержащего сырья с последующей фасовкой, упаковкой, маркировкой и транспортировкой крахмала.

Водородная связь способна появляться между атомами водорода и кислорода гидроксильных групп *D*-глюкопиранозных остатков через имеющиеся в крахмале молекулы воды:



При высушивании растительного сырья до абсолютно сухого состояния происходит практически полное удаление воды из растительной клетки, следствием чего является существенное уменьшение количества водородных связей. Оставшиеся водородные связи крахмала образуются между атомами водорода и кислорода гидроксильных групп α -*D*-глюкопиранозы, что приводит к полной ликвидации их химической активности:



Происходит своего рода «закрытие» гидроксильных групп при помощи водородной связи, что является защитной реакцией молекулы от чрезмерного повышения температуры в процессе сушки и максимально возможной внутримолекулярной стабилизации. Процесс внутримолекулярной стабилизации при помощи водородных связей, универсален и характерен для любых биомолекул (белков, жиров, углеводов, нуклеиновых кислот). Таким образом, при высушивании растительного сырья уменьшается сцепление биомолекул и процесс извлечения крахмала существенным образом облегчается.

В результате фазового и морфологического анализа установлено, что картофельное пюре, полученное с предварительной бланшировкой и без неё является абсолютно аморфным гало. На основании полученных нами реоло-

гических характеристик картофельного пюре предложена гипотеза процесса бланшировки (рис. 3). Процесс бланшировки многостадийный и сложный. В процесс бланшировки принимают участие все компоненты биокomпозитного материала (белки, углеводы, жиры и др.). Сущность процесса бланшировки, на наш взгляд, заключается в ориентации определенным образом функциональных группировок различных компонентов биокomпозитного материала в водной среде. В результате данной ориентации происходит взаимодействие отрицательно и положительно заряженных функциональных группировок и образуется «комочкообразные» вторичные аморфные образования (не плотно упакованные), которые легко разрушаются при сдвиговой нагрузке.

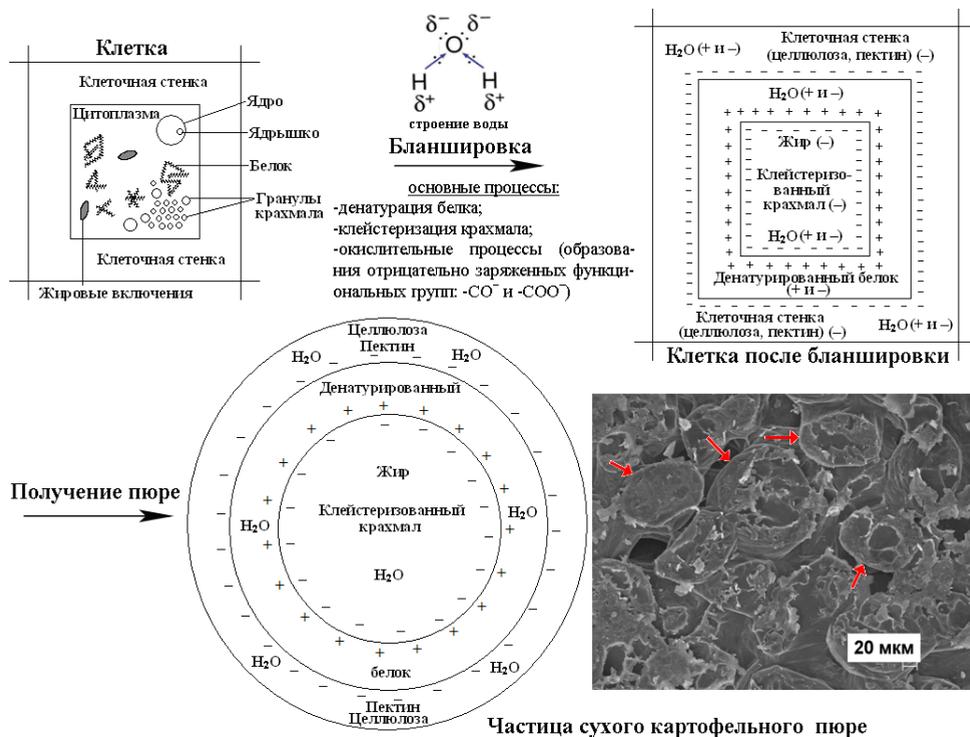


Рис. 3. Влияние процесса бланшировки на свойства картофельного пюре

Теоретически обосновано и практически подтверждено, что в формировании органолептических свойств картофеля принимают участие все его химические составляющие: аминокислоты, белки, сахара, жиры, алколоиды и т.д. (рис. 4). Установлено, что в продукте, подвергнутом разным технологическим обработкам (варке, жарке, приготовлению пюре), наблюдается потеря массы (3—50%), воды (1—66%), белков (3—6%), жиров (1—16%), углеводов (моно- и дисахаридов — 15—36%, крахмала — 4—10%, клетчатки — 1—6%), органических веществ (4—13%), золы (10—40%), минеральных веществ (Na — 10—80%, K — 6—33%, Ca — 3—28%, Mg — 6—39%, P — 3—30%, Fe — 3—40%) и витаминов (β -каротин — 0—20%, витаминов B_1 — 5—34%, B_2 — 5—20%, PP — 3—30% и C — 15—74%). Органолептические свойства зависят от

сахаро-аминокислотной реакции, в результате которой образуются летучие и окрашенные продукты, которые и обуславливают вкус, аромат, цвет и снижение питательной ценности картофеля, подвергнутого термообработке. Текстуру картофеля обуславливает крахмал, содержащий большое количество фосфатных групп. На органолептические свойства картофеля большое влияние оказывает образующийся при термическом разложении глюкозы — оксиметилфурфурол.

Разработана технология физической модификации крахмала и крахмалосодержащего сырья методом экструзии без предварительного увлажнения (рис. 5 и 6, табл. 1).

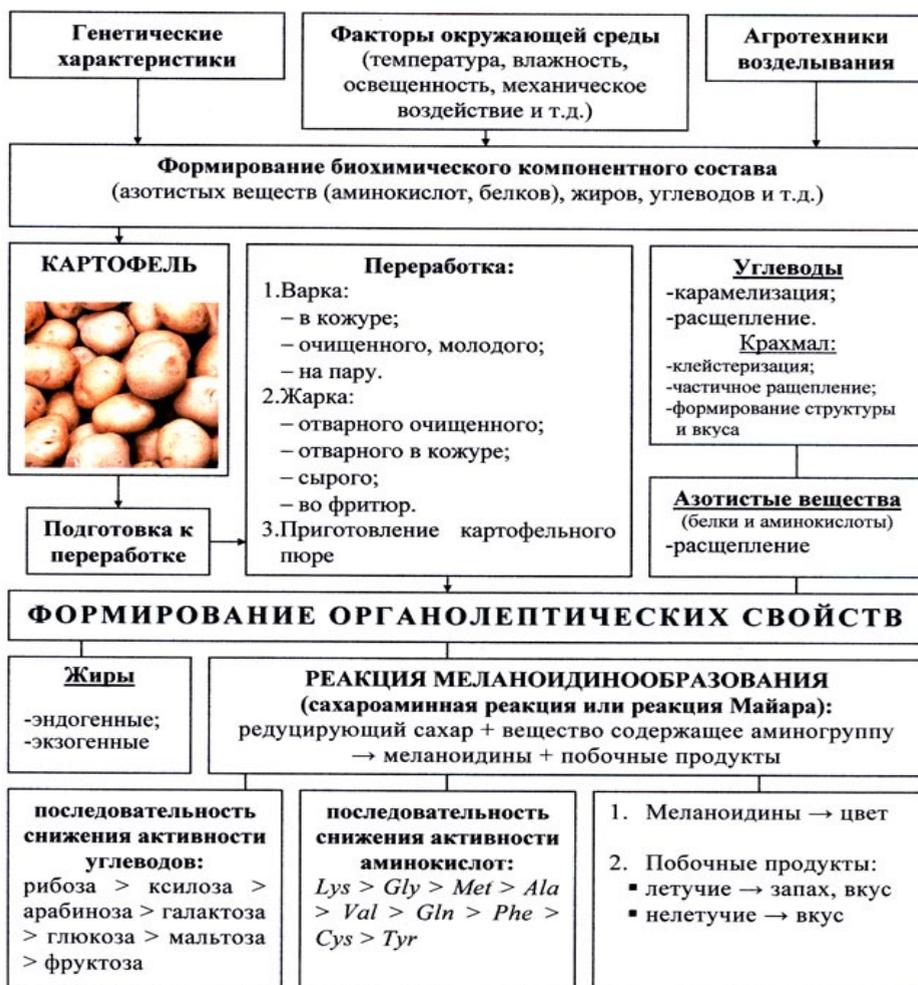


Рис. 4. Теоретическая модель формирования органолептических свойств картофельных композитов

При экструзии не происходит изменений функционального состава крахмалосодержащего сырья, а наблюдается перераспределение системы межмолеку-

лярных водородных связей. Экструзионная обработка крахмала существенно понижает качественный и количественный аминокислотный состав, что является основой получения продуктов с низким содержанием белка для диетического питания детей с генетическими заболеваниями (целиакией и фенилкетонурией). Количество жира у экструзионных крахмалопродуктов понижается на 0,28—1,09%. Экструзионные крахмалопродукты обладают хорошими органолептическими и микробиологическими показателями. Растворимость в холодной воде экструзионных крахмалов более 90%: кукурузного — 90,1—93,3%, картофельного — 93,1—99,9%, тапиокового — 99,4—99,9%. Вязкость 5-процентных клейстеров картофельного (0,008—0,016 Па·с) и кукурузного (0,008—0,015 Па·с) крахмалов, экструдированных в одинаковых режимах, имеет близкие значения, а тапиокового (0,012—0,030 Па·с) в 2 раза выше.

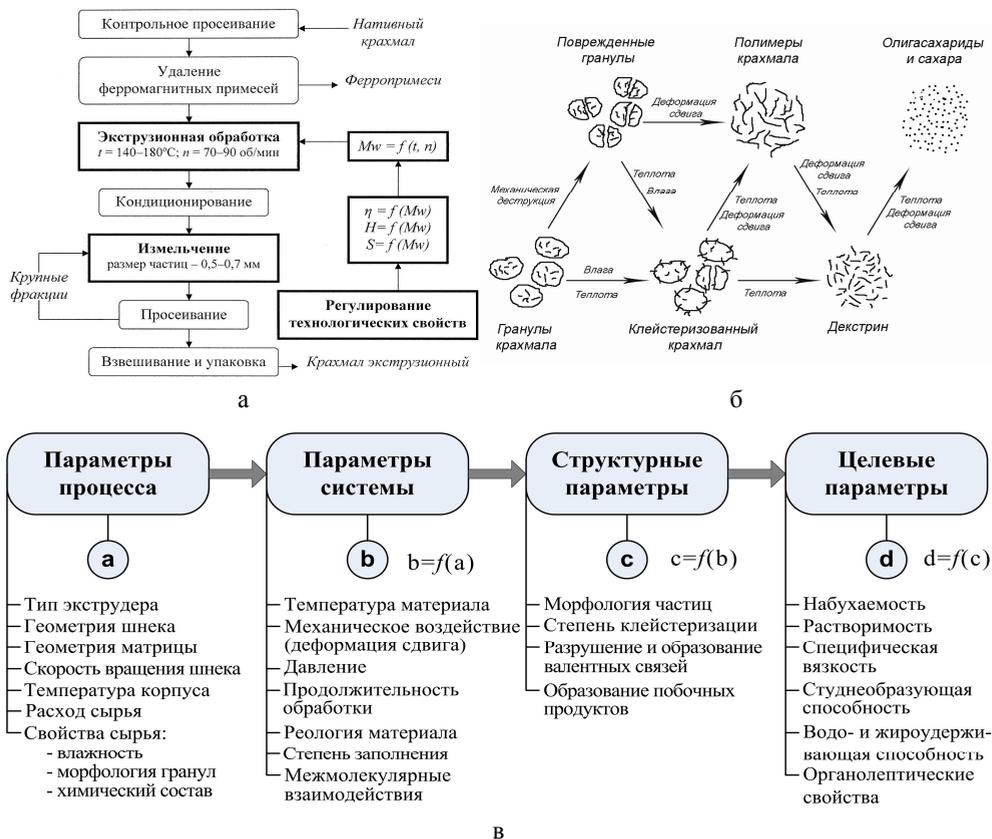


Рис. 5. Экструзия крахмала: а — технология производства экструдированных продуктов из крахмалосодержащего сырья; б — модель деградации крахмала в процессе экструзии; в — системно-аналитическая модель

По результатам факторного эксперимента построена эмпирическая математическая модель (рис. 6), связывающая параметры экструзии ($t = 140-180^{\circ}\text{C}$, $n = 70-90$ об/мин) с Mw полимеров и коэффициентом полидисперсности (Kp).

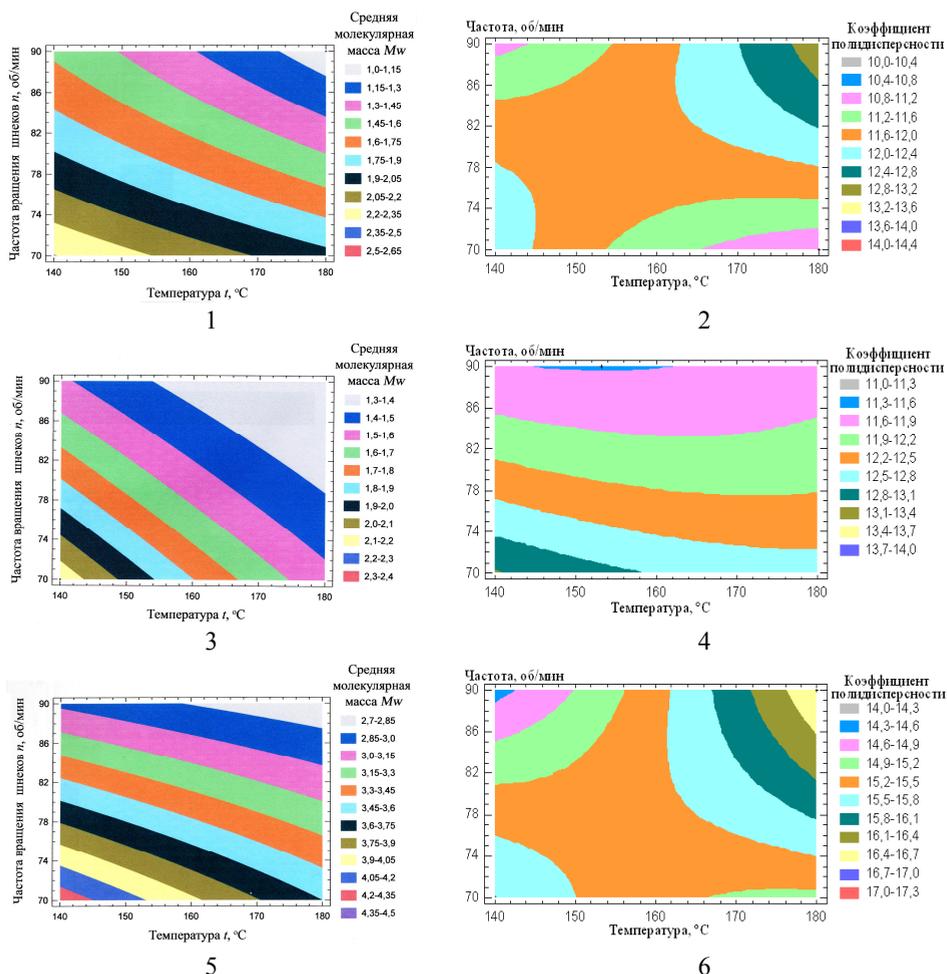


Рис. 6. Поверхности отклика для экструзионного крахмала
 молекулярная масса: 1 — картофельного; 3 — кукурузного; 5 — тапиокового;
 полидисперсность: 2 — картофельного; 4 — кукурузного; 6 — тапиокового

$$Mw_{\text{картоф.}} = 9,59386 - 0,00950 \cdot t - 0,11473 \cdot n +$$

$$+ 0,000023 \cdot t^2 - 0,00012 \cdot t \cdot n + 0,00057 \cdot n^2$$

$$Kp_{\text{картоф.}} = 57,0016 - 0,4781 \cdot t - 0,2115 \cdot n +$$

$$+ 0,00049 \cdot t^2 + 0,0041 \cdot t \cdot n - 0,00265278 \cdot n^2 ;$$

- для кукурузного:

$$Mw_{\text{кукур.}} = 17,8668 - 0,09543 \cdot t - 0,17427 \cdot n +$$

$$+ 0,00013 \cdot t^2 + 0,00054 \cdot t \cdot n + 0,00041 \cdot n^2$$

$$Kp_{\text{кукур.}} = 40,8753 - 0,1502 \cdot t - 0,3510 \cdot n +$$

$$+ 0,0003 \cdot t^2 + 0,0008 \cdot t \cdot n + 0,0010 \cdot n^2 ;$$

- для тапиокового:

$$Mw_{\text{тапиок.}} = 20,1901 - 0,07592 \cdot t - 0,19173 \cdot n + \\ + 0,00005 \cdot t^2 + 0,00060 \cdot n + 0,00026 \cdot n^2$$

$$Kp_{\text{тапиок.}} = 62,7776 - 0,4115 \cdot t - 0,4029 \cdot n + \\ + 0,0005 \cdot t^2 + 0,0035 \cdot t \cdot n - 0,0010 \cdot n^2.$$

Полученные экспериментальные результаты могут быть использованы в производстве экструзионных крахмалов для точного управления технологическими режимами с целью получения конечного продукта с заданной молекулярной массой, степенью полидисперстности и как результат этого стабильными свойствами: реологическими характеристиками, растворимость и т.д. (табл.).

Таблица. Взаимосвязь средней молекулярной массы крахмала с технологическими показателями

Тип крахмала	Технологические показатели	
	Растворимость, (S, %)	Вязкость, (η, мПа·с)
Картофельный	$S = -8,48 \ln(Mw) + 100,0; R^2 = 0,924$	$\eta = 3,338 Mw + 6,879; R^2 = 0,923$
Кукурузный	$S = -5,72 \ln(Mw) + 93,95; R^2 = 0,859$	$\eta = 5,248 Mw + 2,932; R^2 = 0,911$
Тапиоковый	$S = -0,98 \ln(Mw) + 100,7; R^2 = 0,872$	$\eta = 5,269 Mw + 8,442; R^2 = 0,912$

Разработаны технологии физико-химической модификации крахмала пучком ускоренных электронов и электрическим током, которые могут найти широкое применение в пищевой промышленности.

Облучение крахмала ионизирующим излучением в виде пучка ускоренных электронов с энергией 6—7 МэВ и дозой 5—10 кГр приводит к полному уничтожению имеющейся в нём микрофлоры. Облучение картофельного крахмала дозой 110—440 кГр приводит к его значительной аморфизации с сохранением исходной морфологии крахмальных гранул. Повышается общая титруемая кислотность крахмала за счет образования органических кислот (щавелевой, яблочной, молочной, уксусной, лимонной и янтарной), и растворимость, которые впоследствии существенно понижаются, вплоть до получения крахмалов нерастворимых в воде. Для стабилизации физико-химических свойств облученного крахмала целесообразно использовать контактную сушку на вальцовых сушилках 30—40-процентной суспензии или экструзионную обработку с добавлением 1—3% сухого льда при температуре 120—180°C. Предварительная экструзия или контактная сушка приводит к клейстеризации (разрушению крахмальных гранул и частичной деструкции поперечных цепей крахмала), вызывая повышение эффекта облучения вследствие увеличения возможных вариантов рекомбинации амилозы и амилопектина.

Проведена модификация крахмала электрохимическим способом (рис. 7), пропуская аналит — 30-процентную крахмальную суспензию — через электролизер в течение 60 мин при постоянной температуре электролитов и силе тока 0,2—7А. Постоянство силы тока достигалось при постепенном уменьшении напряжения на электродах. Катализатор — 2-процентный раствор NaCl. Электрический ток снижает pH крахмальной суспензии. С повышением

силы тока увеличивается содержание карбоксильных (с 0,005 до 0,027%) и карбонильных — альдегидных и кетонных — (с 0,003 до 0,019%) групп при одновременном снижении средней степени полимеризации (с 1349 до 975%), средней массы степени полимеризации (с 9807 до 4689%) и полимолекулярности (с 7,27 до 4,81%). При пропускании электрического тока образуются хлорсодержащие неселективные окислители и соляная кислота, воздействие которых и обуславливает электрохимическую модификацию крахмала.

Разработан способ получения окисленных крахмалов с использованием высокоэффективного неспецифического газообразного окислителя — озона, при котором 30—40-процентную крахмальную суспензию или сухой крахмал обрабатывают озono-воздушной смесью в течение 5—60 мин при температуре не выше 40°C и pH среды не более 7; при этом концентрация озона в озono-воздушной смеси составляет 115—500 мгО₃/м³, а в суспензии — 2—15 гО₃/м³. Озонированные крахмалы обладают хорошими потребительскими свойствами (микробиологической чистотой, повышенной вязкостью клейстера, умеренной кислотностью и хорошей желирующей способностью).

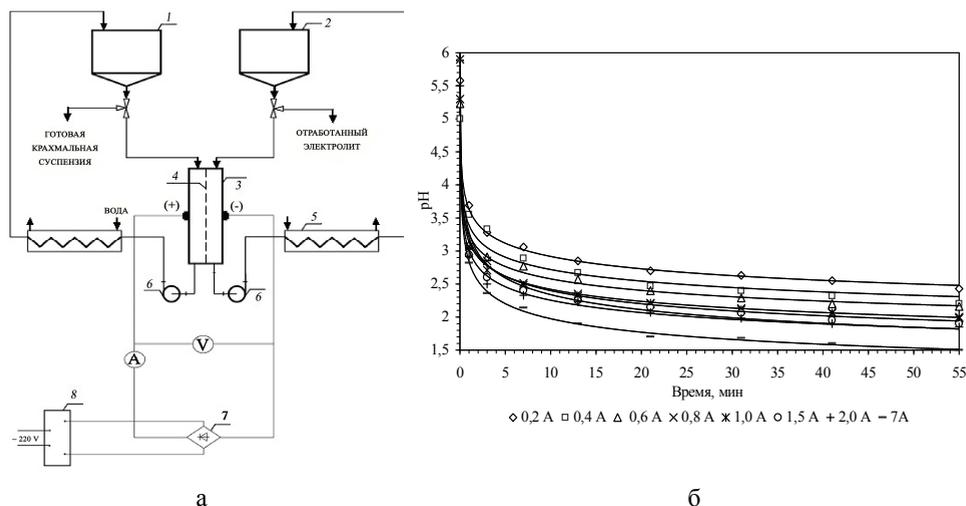


Рис. 7. Физико-химический способ модификации крахмала:

- а — схема лабораторной установки: 1 — емкость для крахмального молочка; 2 — емкость для электролита; 3 — электролизер; 4 — ионообменная мембрана; 5 — холодильник; 6 — насос; 7 — диодный мостик; 8 — автотрансформатор; V — вольтметр; A — амперметр; б — изменение водородного показателя при электрохимическом окислении картофельного крахмала

Изменения молекулярной и надмолекулярной структуры окисленного перекисью водорода крахмала незначительны (рис. 8). Наблюдается некоторое увеличение степени кристалличности окисленного крахмала. Существенные изменения морфологической структуры происходят только при использовании больших концентраций окислителя (изменяется форма гранул, появляются трещины, бороздки и другие дефекты на поверхности гранул). Значительно повысить степень окисления и деструкции крахмала можно, увеличив одновременно концентрации H₂O₂ и FeSO₄ или ионов H⁺ в растворе, в то время как

продолжительность реакции окисления в меньшей степени влияет на содержание введенных карбоксильных и карбонильных групп, а также на динамическую вязкость. При окислении крахмала в присутствии катализаторов в результате сорбции крахмальными зёрнами неорганических веществ, растворенных в жидкой фазе, массовая доля золы повышается. По степени эффективности окисления крахмала катализаторы можно расположить в следующий ряд: FeSO_4 — NiCl_2 — CuSO_4 , CoCl_2 .

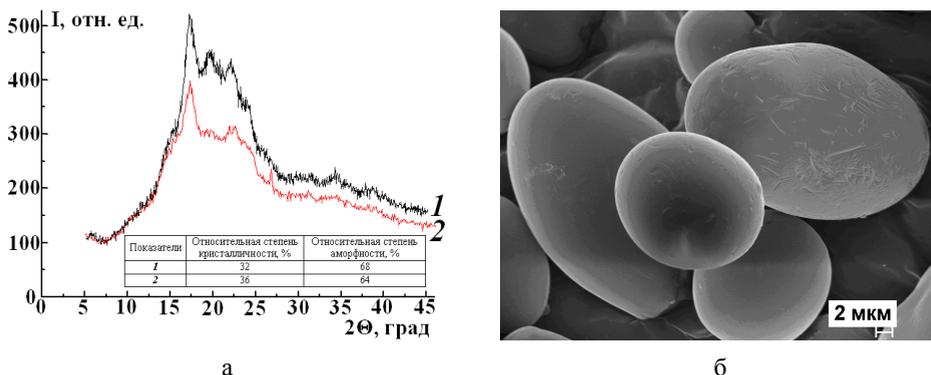


Рис. 8. Свойства картофельного крахмала окисленного H_2O_2 :

а — дифрактограммы: 1 — нативного; 2 — окисленного; б — морфологический анализ

Разработана технология производства крахмальной патоки различного углеводного состава кислотно-ферментативным гидролизом крахмала с использованием ферментных препаратов: *Термамил SC*, *Сан Супер 360 Л* и др. Для интенсификации гидролиза сырье с естественной влажностью 17—20% подвергали экструзии при 40—70°C и частоте вращения шнека 80—90 об/мин (мин^{-1}), или к сырью с влажностью 30—60% и рН 4,5—6,0 добавляли термостабильную α -амилазу из расчета 0,1—0,3 л на 1 тонну абсолютно сухого крахмала и подвергали экструзии при 70—90°C и той же частоте вращения шнека.

Впервые предложена научно обоснованная и не имеющие аналогов в мире технология получения пищевого концентрата на основе картофеля (приемка, мойка, отделение примесей, очистка, инспекция и разваривание картофеля, приготовление осахаривающих материалов, осахаривание разваренной массы, осветление осахаренной массы, упаривание, подкисление и термообработка) и технология производства картофельных напитков (водоподготовка фильтрация, биологическая очистка, обезжелезивание и умягчение), подработка картофельного концентрата, приготовление сахарного сиропа, сахарного колера, пряно-ароматического сырья, консерванта, пищевой органической кислоты, купажирование, фильтрация купажа, розлив и упаковка) (рис. 9). Впервые разработаны способы получения пищевого картофельного концентрата из клеточного сока и картофельной мякоти, ферментативного обогащения концентрата фруктозой, оптимизации по оксиметилфурфуролу, а также получены новые продукты питания. Впервые предложен способ оптимизации по оксиметилфурфуролу картофельных напитков и способ увеличения их срока годности, а также новые рецептуры напитков.

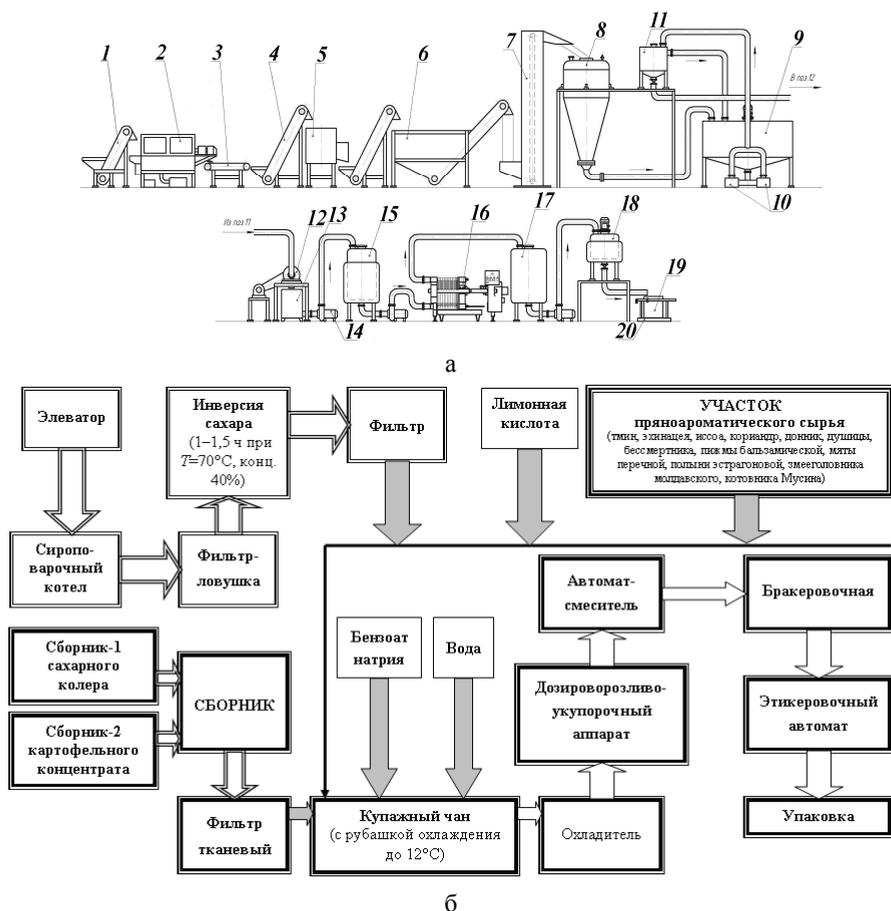


Рис. 9. Технология получения пищевого концентрата и напитка из картофеля:
 а — аппаратная технологическая схема получения картофельного концентрата:
 1 — конвейер, 2 — машина моечная с камнеотборником, 3 — транспортер, 4 — конвейер,
 5 — машина картофелеочистительная, 6 — ванна, 7 — элеватор, 8 — разварник,
 9 — осахариватель, 10 — насос роторный, 11 — сборник, 12 — центрифуга,
 13 — сборник приемный, 14 — насос, 15 — аппарат вертикальный цельно сварной с
 эллиптическим днищем и крышкой, 16 — фильтр-пресс, 17 — аппарат вертикальный с
 эллиптическим днищем и крышкой, 18 — реактор, 19 — тара, 20 — весы; б — технология
 производства напитка «Микола» на основе картофельного концентрата

Проведена апробация предлагаемых технологий и способов модификации крахмала и крахмалосодержащего сырья на предприятиях ОАО «Краснобережский крахмало-паточный завод», РУПП «Экзон Глюкоза», ОАО «Машпищепрод», РУП «Технопрод», ОАО «Гомельский жировой комбинат», КУП «Минскхлебпром» Хлебозавод № 3, РУП «Институт мясо-молочной промышленности», РУП «Белмедпрепараты» — (Республика Беларусь), ЗАО «Погарская картофельная фабрика» — (Россия), Daklak tarjosa factory «Gamprimex» — Вьетнам и других. Разработано 18 технических условий, получено 9 актов внедрения и 20 актов о практическом использовании результатов исследований.

Выводы

Таким образом, нами выполнено комплексное научное исследование по разработке научно-практических основ создания импортозамещающих технологий модификации крахмалов и крахмалосодержащего сырья с использованием физических, физико-химических, химических и биохимических модифицирующих факторов и на их основе — новых продуктов питания.

Литература

1. Рихтер М., Аугустат З., Ширбаум Ф. Избранные методы исследования крахмала; пер. с немец. М.: Пищ. пром-сть. 1975. 182 с.
2. Андреев Н.Р. Основы производства нативных крахмалов. М.: Пищепромиздат. 2001. 289 с.
3. Жушман А.И. Модифицированные крахмалы. М.: Пищепромиздат. 2007. 236 с.
4. Химия и технология крахмала / Р.В. Керр, Ж.В. Цезар, Л.М. Кристенсен и др.; под ред. Р.В. Керра; пер. с англ. М.: Пищепромиздат. 1956. — 579 с.
5. Kerr R.W. Degradation of corn starch in the granule state by acid. *Starke*. Vol. 4. 1952. P. 39.
6. Гулюк Н.Г., Жушман А.И., Ладур Т.А., Штыркова Е.А. Крахмал и крахмалопродукты. М.: Агропромиздат. 1985. 240 с.
7. Трегубов Н.Н., Жарова Е.Я., Жушман А.И., Сидорова Е.К. Технология крахмала и крахмалопродуктов. М.: Легкая и пищ. пром-сть. 1981. 421 с.
8. Карпов В.Г. Разработка технологии новых видов крахмалопродуктов экструзионным способом: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук: 05.18.05 / Всерос. науч.-исслед. ин-т крахмалопродуктов. М. 2000. 48 с.
9. Komiya T., Nara S. Changes in crystallinity and gelatinization phenomena of potato starch by acid treatment. *Starch/Starke*. Vol. 38. 1986. P. 9—13.
10. Osunsam A.T., Akingbala J.O., Oguntimein G.B. Effect of storage on starch content and modification of cassava starch. *Starch/Starke*. Vol. 41. 1989. P. 54—57.
11. Shi Y.-C., Seib P.A. The structure of four waxy starches related to gelatinization and retrogradation. *Carbohydr. Res.* Vol. 227. 1992. P. 131—145.
12. Литвяк В.В., Росляков Ю.Ф., Бутрим С.М., Козлова Л.Н. Крахмал и крахмалопродукты: монография; под ред. д-ра техн. наук, профессора Ю.Ф. Рослякова. Краснодар: Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ». 2013. 204 с.
13. Литвяк В.В., Лисовская Д.П., Росляков Ю.Ф. Модифицированный картофельный крахмал как студнеобразующая основа для жележных кондитерских изделий. *Известия вузов. Пищевая технология*. № 2—3. 2012. С. 47—51.
14. Литвяк В.В., Росляков Ю.Ф. Механизм химической модификации крахмала. *Известия вузов. Пищевая технология*. 2013. № 2—3. С. 31—35.