ВЛИЯНИЕ ВИДА ИСХОДНОГО СЫРЬЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАБУХАЮЩЕГО КРАХМАЛА

УДК 664.22/.27:22:25:286

канд. техн. наук Коптелова Евгения Кузьминична – koptelova.vniik@mail.ru,
аспирант Кузина Лидия Борисовна – kulibo.kavai@yandex.ru,
научный сотрудник Никитина Марина Феликсовна – NikitinaMF19@yandex.ru,
отдела технологий модифицированных крахмалов
ВНИИ крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия

Ключевые слова: нативный крахмал, вальцовая сушилка, модифицированный крахмал, набухающий крахмал, амилопектиновый картофельный крахмал, вязкость клейстера, амилограмма, физико-химические свойства, реологические свойства, карбоксиметилированные крахмалы (КМК).

Реферат

В работе проводится сравнительная оценка физико-химических и реологических свойств исходных крахмалов и полученных из них модификаций. Получены и проанализированы образцы набухающих крахмалов без предварительной обработки и набухающие крахмалы, предварительно обработанные сшивающими реагентами (триметафосфатом натрия и адипиновой кислотой), а также набухающие карбоксиметилкрахмалы. Выявлено, что наибольшей вязкостью из исходных крахмалов обладает 2%-ного клейстер картофельного амилопектинового крахмал – 1023 мПа·с. Вязкости клейстеров исходных амилопектиновых крахмалов при охлаждении до 30°С снижаются до 600 ед. Бр у картофельного амилопектинового крахмала и до 340 ед. Бр. у кукурузного амилопектинового крахмала, тогда как вязкости клейстеров обычных исходных крахмалов при охлаждении до 30°С увеличиваются до 950 ед. Бр у картофельного крахмала и 880 ед. Бр у кукурузного крахмала. Модификации, полученные из исходных крахмалов на вальцовой сушилке, также отличаются по показателям вязкости их клейстеров. 3% клейстер картофельного амилопектинового набухающего крахмала имеет вязкость 1117 мПа·с, а клейстер КМК из набухающего картофельного амилопектинового крахмала - 768 мПа·с. Динамическая вязкость набухающего кукурузного амилопектинового крахмала – 64,8 мПа·с, а его КМК модификации – 174мПа·с. Обработка суспензии крахмалов сшивающими реагентами триметефосфатом натрия и адипиновой кислотой перед подачей на вальцовую сушилку привело к снижению вязкости их клейстеров. Образец набухающего картофельного амилопектинового крахмала с 2 % ТМФ и 1% адипиновой кислотой имеет наименьшую динамическую вязкость – 22 мПа·с, наибольшую вязкость имеет клейстер

сшитого набухающего амилопектинового картофельного крахмала с 0,75% ТМФ – 200 мПа·с. Исследования показали хорошие возможности применения картофельного амилопектинового крахмала и его модификаций для стабилизации, загущения и связывания разных структур в пищевых и технических производствах.

Введение

Крахмал – важное сырье органического происхождения, легкодоступное в промышленных масштабах для хозяйственной деятельности человека.

В настоящее время на отечественном рынке большим спросом пользуются набухающие (предварительно клейстеризованные) крахмалы, частично или полностью растворимые в воде, без нагревания. Важнейшие физико-химические и реологические свойства таких крахмалов зависят от вида исходного сырья и условий его обработки до и во время клейстеризации и сушки [1]. Набухающие крахмалы находят широкое применение в пищевой промышленности, а также для стабилизации буровых глинистых растворов в бурении скважин на нефть и газ [2, 3].

Большинство видов крахмала состоит из гранул, в которых присутствуют два типа полимеров глюкозы. Это амилоза (15-35% на сухое вещество) и амилопектин (65-85% на сухое вещество). Амилоза состоит из неразветвленных или слегка разветвленных молекул, имеющих среднюю степень полимеризации от 1000 до 5000, в зависимости от типа крахмала. Амилопектин состоит из очень больших разветвленных молекул, имеющих среднюю степень полимеризации 1000000 или более. Распределения крахмальных гранул в различных видах крахмала из: картофеля, кукурузы, ячменя, риса, пшеницы и имбиря, подробно описаны в статье мексиканских ученых [4]. Коммерчески наиболее важные типы крахмала (кукурузный крахмал, картофельный крахмал, пшеничный крахмал и крахмал тапиоки) содержат от 15 до 30 % амилозы.

Среди некоторых типов злаков, таких как ячмень, кукуруза, пшеница, рис и сорго существуют разновидности, гранулы крахмала из которых почти полностью состоят из амилопектина (95-98% амилопектина), рассчитанного как массовый процент от сухого вещества. Вышеупомянутые разновидности злаков называются воскообразные зерна злаков, гранулы амилопектинового крахмала, выделенные из них, как воскообразные виды злаковых крахмалов.

В отличие от ситуации с различными злаками разновидности корневищ и клубней, гранулы крахмала из которых почти исключительно состоят из амилопектина, в природе не известны. Например, гранулы картофельного крахмала, выделенные из картофельных клубней, обычно состоят приблизительно из 20% амилозы и 80% амилопектина. Структура и свойства картофельных амилопектиновых гранул подробно изучены в работе [5]. За последние 20 лет, однако, были предприняты успешные попытки, чтобы культивировать с помощью генетической модификации

картофельные растения, которые образуют в клубнях гранулы крахмала, состоящие более чем на 95% (на сухое вещество) из амилопектина. [6]. Впервые этот способ генной модификации картофеля был описан в патенте WO 92/11376. [7].

Состав и свойства амилопектинового картофельного крахмала отличается от таковых амилопектиновых крахмалов, полученных из восковидных сортов зерновых. Амилопектиновый картофельный крахмал имеет намного более низкое содержание липидов и протеинов и содержит химически связанные фосфатные группы в отличие от крахмала восковидной кукурузы и риса. [8, 9].

Сравнение свойств картофельных амилопектиновых крахмалов и картофельных крахмалов, а также реология и структура дисперсий амилопектинового картофельного крахмала описано в работах [10-12].

Цель работы – изучение физико-химических свойств и реологии набухающих крахмалов, полученных из крахмалов, отличающихся по составу крахмальных фракций (содержание амилозы и амилопектина)

Объекты и методы исследований. В исследовании использовали амилопектиновый восковидной кукурузы крахмал и обычный кукурузный по ГОСТ 32159-2-13, изготовленный на крахмалопаточном комбинате в Ставропольском крае РФ, картофельный крахмал, полученный на крахмальном заводе Брянской области, а также картофельный амилопектиновый крахмал, полученный из Голландии (ELIANE фирма AVEBE). Анализ образцов исходного крахмала осуществляли по ГОСТ 7698-2013. Реология крахмальных клейстеров изучена по изменению показателя динамической вязкости на приборе Гепплера по скорости падения стандартных шариков. Образцы исходных крахмалов были исследованы на амилографе Брабендера при навеске крахмала 35 г в 400 см^3 воды, при скорости нагревания 2 градуса в минуту и охлаждении клейстера до 30° С.

Набухающий крахмал был произведен на экспериментальной вальцовой сушилке ВНИИК, длина барабана которой составляла 600 мм, диаметр – 300 мм при давлении пара 6…8 атм. Сухой крахмал размешивали в водопроводной воде, нагревали до температуры 50°С и подавали на нагретые вальцы сушилки. Полученные сухие пленки измельчали на дисковой мельнице и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Готовый набухающий крахмал анализировали по методикам, принятым в крахмальной промышленности.

Для получения предварительно сшитых набухающих крахмалов перед сушкой крахмальной суспензии на вальцах в нее добавляли химические вещества триметафосфат натрия и адипиновую кислоту в количестве от 0,5 до 2%.

Приготовление образцов набухающего сшитого крахмала проводили в два этапа. Сначала в водную суспензию кукурузного крахмала добавляли 4%-ный раствор гидроксида натрия для повышения pH до 10,3…10,5 ед.,

нагревали до 50°С, после чего вносили триметафосфатнатрия (от 0,5 до 2% от массы крахмала) или адипиновую кислоту (1% к массе крахмала). Затем крахмальную суспензию перемешивали при 43°С в течение 1,5…2,0 ч. Второй этап осуществляли на вальцовой сушилке, аналогично изложенному ранее.

Реакцию для получения КМК крахмалов проводили в щелочной среде и высушивали суспензию на вальцовой сушилке. Суспензию крахмала содержащую 200 г крахмала, 300–400 см^3 воды, 12 г натриевой соли монохлоруксусной кислоты (NaМХУК) и 4г NaOH сразу после растворения подавали на экспериментальную вальцовую сушилку.

Амилоза определялась йодометрическим методом по ГОСТ ISO647-1-2015.

Результаты и их обсуждение

1. *Оценка физико-химических свойств исходных крахмалов*

Результаты аналитической оценки исходных крахмалов показали отличия основных свойств картофельного амилопектинового крахмала от обычного картофельного и кукурузного амилопектинового крахмалов по йодной пробе, реологии, стабильности клейстеров и др. (таблица 1).

Результаты анализа исходных крахмалов

Таблица 1

Крахмал	Содержание амилозы, %	Йодная проба	Кислотность, см^3 NaOH 0,1 н на 100 г сух. в-в крахмала	Вязкость клейстера			
				На приборе Гепплера, мПа·с (2% р-р)	На приборе Брабендера, ед. Бр.		
					t начала клейстеризации, °С	Max при нагревании при 95°С	Max при охлаждении при 30°С
Картофельный ГОСТ 53876-2010	37,8	синяя	10	869	79	650	950
Амилопектиновый картофельный	0,6	Фиолетово-вишневая	10	1023	72	925	600
Кукурузный ГОСТ 32159-2013	21,4	Синяя с фиолетовым оттенком	17,1	30	82	340	880
Амилопектиновый восковидной кукурузы	0,6	Красно-коричневая	15,5	103	75	680	340

Установлено, что температура начала клейстеризации амилопектинового картофельного и обычного картофельного крахмала практически совпадают 75°С и 79°С соответственно, макс. вязкость при нагреве амилопектинового картофельного крахмала значительно выше 925 ед. Бр, а обычного – 650 ед. Бр. Тогда как при охлаждении клейстеров до

30^{0}С вязкость амилопектинового крахмала снизилась до 600 ед. Бр, а обычный картофельный загустел до 950 ед. Бр. Аналогичное поведение крахмальных клейстеров при нагревании и охлаждении наблюдалось у кукурузного амилопектинового и обычного кукурузного крахмала. При этом вязкость амилопектинового кукурузного крахмала значительно ниже (680 ед. Бр. при нагреве и 340 при охлаждении) чем вязкость амилопектинового картофельного крахмала. Амилограммы исходных крахмалов показаны на рис.1.

Испытуемые крахмалы отличаются по цвету йодной пробы: амилопектиновый картофельный крахмал раствором йода окрашивается в фиолетово-вишневый цвет, обычный картофельный в ярко синий, кукурузный амилопектиновый в красно-коричневый цвет.

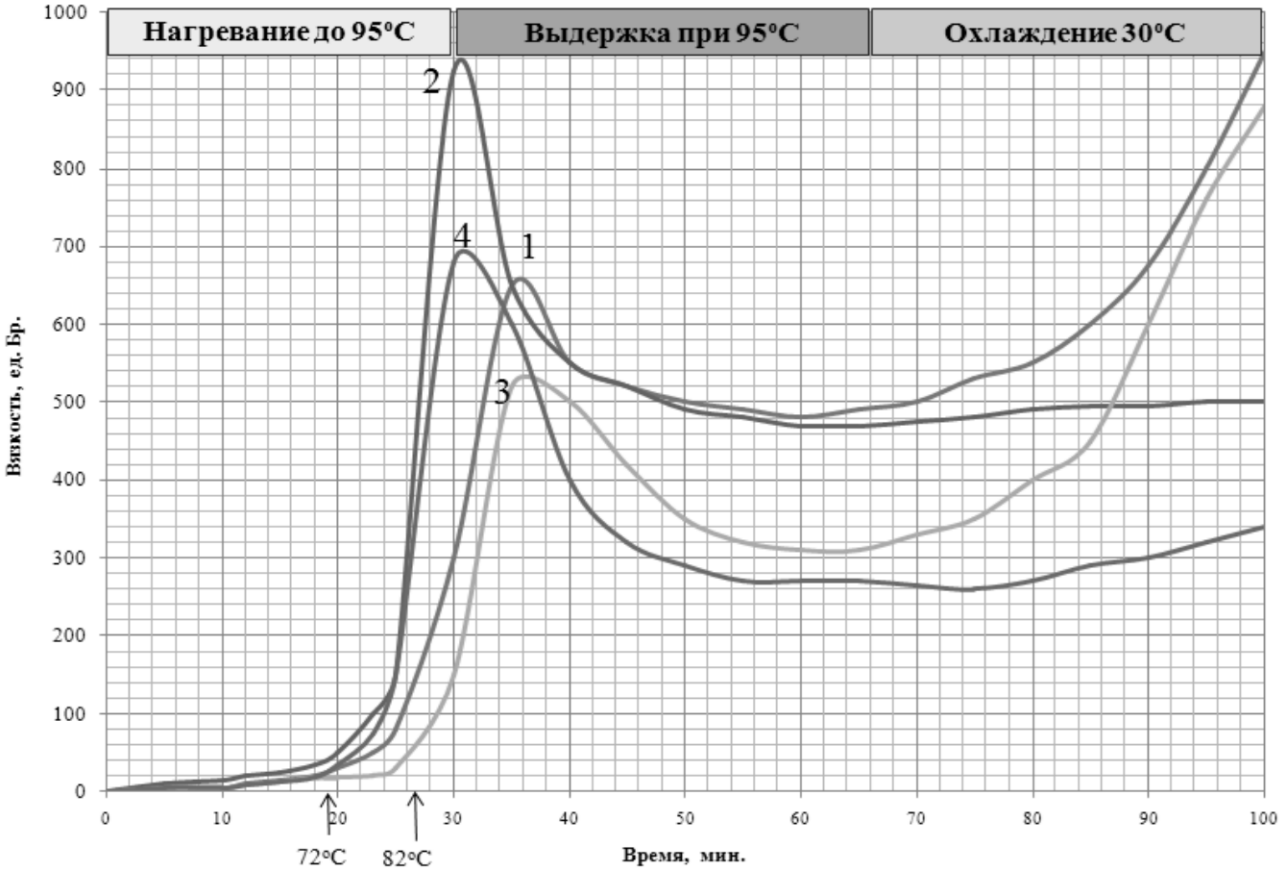

Рисунок 1 – Амилограммы клейстеров нативных крахмалов, где: 1) картофельный; 2) амилопектиновый картофельный; 3) кукурузный; 4) амилопектиновый восковидной кукурузы

2. Получение и оценка набухающих крахмалов

Из исходных крахмалов нами были получены и проанализированы образцы набухающих крахмалов без предварительной обработки и набухающие крахмалы, предварительно обработанные сшивающими реагентами (триметафосфатом натрия и адипиновой кислотой), а также набухающие карбоксиметилкрахмалы.

2.1. Получение набухающих крахмалов с триметафосфатом натрия и адипиновой кислотой

Характеристика свойств набухающих крахмалов с добавлением триметафосфата натрия и адипиновой кислоты, полученных на вальцовой сушилке, приведена в таблице 2, в сравнении с такими же образцами, изготовленными из обычного промышленного образца картофельного крахмала. Результаты аналитической оценки показали, что значительное увеличение расхода сшивающего реагента не повлияло на набухаемость крахмала, но при этом понизилась вязкость клейстера.

При этом отмечено снижение вязкости 3 % - ных растворов набухающих крахмалов с увеличением расхода сшивающих агентов. Снижение вязкости объясняется образованием значительного числа поперечных связей в крахмале, которые препятствуют проникновению молекул воды внутрь зерен крахмала [13-15].

Набухающий картофельный АП крахмал без добавок отличается очень высокой вязкостью – 1117 мПа·с, которая резко снижается при обработке реагентами. Образец с 2% ТМФ и 1% адипиновой кислотой имеет наименьшую динамическую вязкость 11 мПа·с, наибольшую вязкость 200 мПа·с среди образцов обработанных реагентами имеет образец с 0,75%ТМФ.

2.2. Получение и оценка карбоксиметилированного крахмала

Карбоксиметилированный крахмал (КМК) относится к простым эфирам, он получается в результате взаимодействия крахмала с монохлоруксусной кислотой (МХУК) и ее солями в щелочной среде. КМК является загустителем, стабилизатором, структурообразователем различных пищевых и непищевых систем [16]. Для изготовления КМК в данной работе использованы разные виды крахмалов: кукурузный, амилопектиновый кукурузный, картофельный и картофельный амилопектиновый. Механизм реакции карбоксиметилирования крахмала можно выразить уравнением:

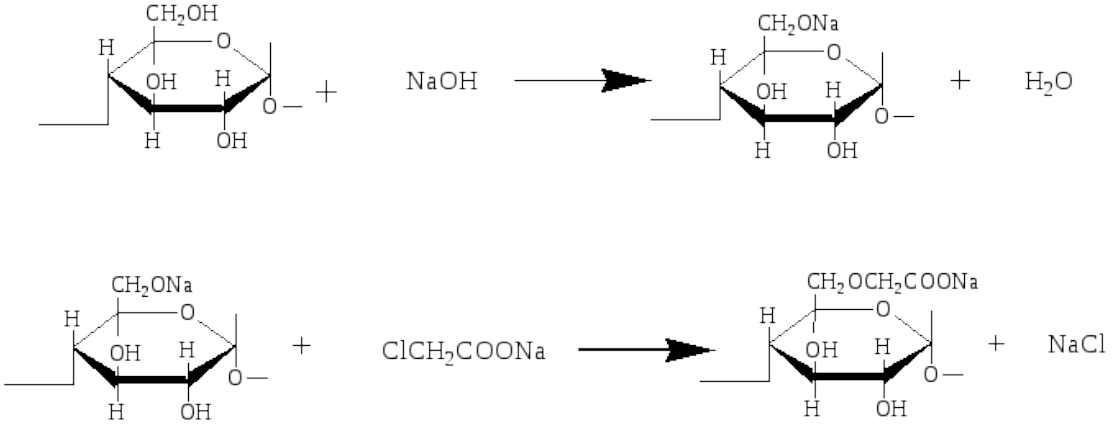

Рисунок 2 – Схема карбоксиметилирования крахмала

Основные физико-химические свойства полученных набухающих КМК крахмалов, представлены в таблице 3.

Характеристика набухающих крахмалов, полученных на вальцовой сушилке

Таблица 2

Номер образца	Название образца	Растворимость в воде	Характе-ристика пленок	Влага, %	Набухаемость, г/см^3		pH	Динамическая вязкость 3% клейстера по Гепплеру, мПа·с
					Через 1 час	Через 24 часа		
1	Исходный Мглинского крахмального завода с вальцовой сушилки	Растворяется без нагревания	Тонкие белые	6,9	20	20	6,0	920
2	Дикрахмалофосфат ДКФ; ТМФ 0,5%	-//-	-//-	6,8	20	18	7,0	115
3	Дикрахмалофосфат ДКФ; ТМФ 2%	-//-	-//-	5,8	20	18	8,0	35
4	Дикрахмаладипат ДКА, 1% адипиновая к-та	-//-	-//-	6,8	20	18	7,5	59
5	Картофельный амилопектиновый с вальцовой сушилки	-//-	-//-	6,8	20	18	5,9	1117
	Дикрахмалофосфат ДКФ, 0,75 ТМФ	-//-	-//-		20	20	10	200
6	Дикрахмалофосфат ДКФ, 2% ТМФ	-//-	-//-	6,4	20	20	7,5	38
7	Дикрахмаладипат ДКА 1% адипиновая к-та	-//-	-//-	3,7	20	20	7,5	23
8	Дикрахмалофосфат - адипат 2%ТМФ; 1% адипиновая к-та	-//-	-//-	5,2	18	14	8,0	11,0
9	Крахмал амилопектиновый восковидной кукурузы	-//-	-//-	4,0	20	20	6,0	64.8

Примечание: Серым цветом выделены результаты анализов образцов набухающих крахмалов, полученных из амилопектинового картофельного крахмала.

Физико-химические и реологические свойства КМК набухающих крахмалов

Таблица 3

№ п/п	Название образца	Влага, %	Набуха-емость, г/см^3	pH 10% водной суспен-зии	Вязкость 3% ного клейстера по Гепплеру, мПа·с
1	КМК (картофельный ГОСТ	4,6	20	10	358
2	КМК (картофельный амилопектиновый)	2,7	20	10	768
3	КМК (кукурузный ГОСТ	4,9	20	10	35
4	КМК (кукурузный амилопектиновый)	4,3	20	10	174

Как видно из данных таблицы все набухающие в холодной воде КМК крахмалы имеют хорошую растворимость и набухающую способность. Пленки равномерные, тонкие, хрупкие, хорошо измельчаются. Однако по показателям вязкости крахмалы отличаются очень сильно. Наибольшую характеристическую вязкость имеет набухающий КМК из амилопектинового картофельного крахмала. Так 3% клейстер этого крахмала имеет вязкость 768 мПа·с. Вязкость этого клейстера при стоянии в течение 3-х дней не изменилась, этот раствор имеет хорошую устойчивость и не расслаивается.

Выводы

Исходные кукурузные и картофельные крахмалы и их амилопектиновые аналоги имеют различные физико-химические и реологические свойства. Так вязкость клейстера амилопектинового картофельного крахмала при охлаждении снижается до 600 ед. Бр, тогда как вязкость клейстера обычного картофельного крахмала повышается до 950 ед. Бр. Клейстер кукурузного амилопектинового крахмала при охлаждении снижается до 340 ед. Бр, а вязкость клейстера обычного кукурузного крахмала повышается до 880 ед. Бр.

Сравнительная физико-химическая и реологическая оценка полученных образцов, набухающих в холодной воде (растворимых) крахмалов, показала значительное их различие.

Набухающий в холодной воде амилопектиновый картофельный крахмал имеет наибольшую характеристическую вязкость 1117 мПа·с, тогда как обычный предварительно клейстеризованный картофельный крахмал имеет вязкость 920 мПа·с, а набухающий восковидной кукурузы всего 64,8 мПа·с. Это дает большие возможности применения набухающего

амилопектинового картофельного крахмала как загустителя и стабилизатора в различных пищевых системах.

Сшитые дикрахмалфосфаты и адипаты всех вышеперечисленных крахмалов имеют небольшую динамическую вязкость. С повышением концентрации ТМФ и адипиновой кислоты от 0,5 до 2% вязкость их клейстеров падает. У картофельного амилопектинового с 200 до 11 мПа·с, у обычного картофельного с 115 до 59 мПа·с.

Наибольшую характеристическую вязкость предварительно клейстеризованных КМК полученных на вальцовой сушилке имеет крахмал, полученный из картофельного амилопектинового крахмала – 768 мПа·с. Клейстер такого крахмала имеет хорошую устойчивость при хранении. Может применяться как компонент в различных пищевых и технических средах.

Список литературы

1 Коптелова Е.К., Папахин А.А. Влияние концентрации исходной суспензии и гидроколлоидов на свойства набухающих крахмалов // В сборнике: Инновации в товароведении, общественном питании и длительном хранении продовольственных товаров Сборник материалов VII Межведомственной научно-практической конференции. – 2015.– 20-23.

2 Коптелова Е.К., Никитина М.Ф., Посадкова С.Н. Влияние влаготермического воздействия и химических реагентов на свойства набухающего крахмала для бурения // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 8. С. 81-84.

3 Alcazar Alay S.- C., Meireles A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources// Food Science and Technology (Campinas) 2015. – 35(2) –215-236 DOI: 10.1590/1678-457X.6749

4 Cornejo-Ramirez Y. I., Martinez-Cruz O., Del C.-L. The structural characteristics of starches and their functional properties - Journal of Food. – 2018. 16(1):1003-1017. DOI: 10.1080/19476337.2018.1518343

5 Bertoft E., Blennow A. Structure of Potato Starch // Advances in Potato Chemistry and Technology. – 2016. – 57-73. doi:10.1016/b978-0-12-800002-1.00003-0

6 Хлесткин В.К., Пельтек С.Е., Колчанов Н.А. Гены-мишени для получения сортов картофеля (Solanum tuberosum L.) с заданными свойствами крахмала (обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – 52, № 1. – 25-36. doi: 10.15389/agrobiology.2017.1.25rus

7 Hofvander P, Persson P, Tallberg A, Wikstrom O. WO 92/11376 A1 – 1992.

8 Jiranuntakul, W., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Puncha-arnon, S., Uttapap D. Amylopectin structure of heat-moisture treated starches // Starch – Stärke. – 2012. – 64(6). – 470-480. doi:10.1002/star.201100160

9 Perez S., Baldwin P. M., Gallant D. J. Structural Features of Starch Granules I. // Starch. – 2009. – 149-192. doi:10.1016/b978-0-12-746275-2.00005-7

10 Svegmark K., Helmersson K., Nilsson G., Nilsson P.-O., Andersson, R., Svensson, E. Comparison of potato amylopectin starches and potato starches — influence of year and variety // Carbohydrate Polymers. – 2002. – 47(4). – 331–340. doi:10.1016/s0144-8617(01)00174-6

11 Nuessli J., Handschin S., Conde-Petit B., Escher, F. Rheology and Structure of Amylopectin Potato Starch Dispersions without and with Emulsifier Addition. Starch – Starke. – 2000. – 52(1). – 22-27. doi:10.1002/(sici)1521-379x(200001)52:1<22::aid-star22>3.0.co;2-i

12 Ortega-Ojeda F. E., Larsson H., Eliasson A.-C. (Gel formation in mixtures of amylose and high amylopectin potato starch. // Carbohydrate Polymers. – 2004. – 57(1). – 55-66. doi:10.1016/j.carbpol.2004.03.024

13 Коптелова Е.К., Лукин Н.Д., Ткаченко Э.И. Разработка технологии поперечной сшивки крахмалов с использованием солей метафосфорной кислоты // Хранение и переработка сельхоз сырья. – 2014.–№ 12.– 33-37.

14 Коптелова Е.К., Лукин Н.Д., Ткаченко Э.И. Влияние технологических параметров на реологические свойства поперечно-связанных крахмалов // Достижения науки и техники АПК. – 2014. –№ 10. – 69-71.

15 Коптелова Е.К., Лукин Н.Д., Винокуров А.Ю. Исследование кукурузного крахмала с поперечными связями для целлюлозно-бумажного производства. Достижения науки и техники АПК. – 2018. – 32. – № 10. – 93-96.

16 Huang X.H. et al. Preparation and Application of Carboxymethyl Starch // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vols. 268-270. – 594-600. doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.268-270.594

THE RAW MATERIAL SOURCE TYPE INFLUENCE ON THE PHYSICAL-CHEMICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SWELLING STARCH

Candidate of Engineering Sciences Koptelova Evgenia Kuzminichna – koptelova.vniik@mail.ru,
postgraduate student Kuzina Lidia Borisovna – kulibo.kavai@yandex.ru,
Researcher Nikitina Marina Feliksovna – NikitinaMF19@yandex.ru,
modified starches technology department
Russian Research Institute of Starch Products - a branch of the Federal Research Food Systems Center V.M. Gorbatova "RAS, Moscow, Russia

Keywords: native starch, roller dryer, modified starch, swelling starch, amylopectin potato starch, paste viscosity, amylogram, physicochemical properties, rheological properties, carboxymethylated starches (CMS).

Abstract. A comparative physicochemical and rheological properties assessment of the initial starches and their modifications is carried out. Samples of swellable starches without pretreatment and swellable starches pretreated with cross-linking agents (sodium trimethaphosphate and adipic acid), as well as swellable carboxymethyl starch, were obtained and analyzed. It was revealed that

potato amylopectin starch, 1023 mPa·s, and modifications obtained on a roller dryer have the highest viscosity of a 2% paste. The paste viscosity of the original cooled to 30 °C amylopectin starches is reduced to 600 Br. units in potato amylopectin starch and up to 340 Br. units in corn amylopectin starch, while the viscosities of the paste of conventional starches are increased to 950 units upon cooling to 30 °C of potato starch and 880 Br. units in corn starch. Modifications obtained from the original starches on a roller dryer also differ in terms of the viscosity of their pastes. 3% paste of potato amylopectin swelling starch - 1117 mPa·s, and CMS of swelling potato amylopectin - 768 mPa·s. The dynamic viscosity of swelling corn amylopectin starch is 64,8 mPa·s, and CMS modification is 174 mPa·s. Treatment of a suspension of starches with cross-linking reagents with sodium trimethephosphate and adipic acid before being fed to a roller dryer led to a decrease in the viscosity of their pastes. A sample of swellable potato amylopectin starch with 2% TMP and 1% adipic acid has the lowest dynamic viscosity of 22 mPa·s; crosslinked swellable amylopectin potato starch with 0,75% TMP has a viscosity of 200 mPa·s. Studies have shown good potential for the use of potato amylopectin starch and its modifications for stabilization, thickening and binding of various structures in food and technical industries.

References:

1 Koptelova E.K., Papahin A.A. Vlijanie koncentracii ishodnoj suspenzii i gidrokolloidov na svojstva nabuhajushhih krahmalov [Influence of concentration of initial suspension and hydrocolloids on the properties of swelling starches] // V sbornike: Innovacii v tovarovedenii, obshhestvennom pitanii i dlitel'nom hranenii prodovol'stvennyh tovarov Sbornik materialov VII Mezhvedomstvennoj nauchno-prakticheskoj konferencii. [VII Interdepartmental Scientific and Practical Conference]. – 2015.– 20-23.

2 Koptelova E.K., Nikitina M.F., Posadkova S.N. Vlijanie vlagotermicheskogo vozdejstvija i himicheskih reagentov na svojstva nabuhajushhego krahmala dlja burenija [Effect of moisture and temperature action and chemical agents on the properties of swelling starch for drilling] // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2019. – T. 33. – № 8. – 81-84.

3 Alcazar Alay S.- C., Meireles A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources// Food Science and Technology (Campinas) 2015. – 35(2) –215-236 DOI: 10.1590/1678-457X.6749

4 Cornejo-Ramirez Y. I., Martinez-Cruz O., Del C.-L. The structural characteristics of starches and their functional properties - Journal of Food. – 2018. 16(1):1003-1017. DOI: 10.1080/19476337.2018.1518343

5 Bertoft E., Blennow A. Structure of Potato Starch // Advances in Potato Chemistry and Technology. – 2016. – 57-73. doi:10.1016/b978-0-12-800002-1.00003-0

6 Hlestkin V.K., Pel'tek S.E., Kolchanov N.A. Geny-misheni dlja poluchenija sortov kartofelja (Solanum tuberosum L.) s zadannymi svojstvami krahmala (obzor) [Target genes for development of potato (Solanum tuberosum L.) cultivars with desired starch properties (review)] // Sel'skohozjajstvennaja biologija. – 2017. – 52, № 1. – 25-36. doi: 10.15389/agrobiology.2017.1.25rus

7 Hofvander P, Persson P, Tallberg A, Wikstrom O. WO 92/11376 A1 – 1992.

8 Jiranuntakul, W., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Puncha-arnon, S., Uttapap D. Amylopectin structure of heat-moisture treated starches // Starch – Stärke. – 2012. – 64(6). – 470-480. doi:10.1002/star.201100160

9 Perez S., Baldwin P. M., Gallant D. J. Structural Features of Starch Granules I. // Starch. – 2009. – 149-192. doi:10.1016/b978-0-12-746275-2.00005-7

10 Svegmark K., Helmersson K., Nilsson G., Nilsson P.-O., Andersson, R., Svensson, E. Comparison of potato amylopectin starches and potato starches — influence of year and variety // Carbohydrate Polymers. – 2002. – 47(4). – 331–340. doi:10.1016/s0144-8617(01)00174-6

11 Nuessli J., Handschin S., Conde-Petit B., Escher, F. Rheology and Structure of Amylopectin Potato Starch Dispersions without and with Emulsifier Addition. Starch – Starke. – 2000. – 52(1). – 22-27. doi:10.1002/(sici)1521-379x(200001)52:1<22::aid-star22>3.0.co;2-i

12 Ortega-Ojeda F. E., Larsson H., Eliasson A.-C. (Gel formation in mixtures of amylose and high amylopectin potato starch. // Carbohydrate Polymers. – 2004. – 57(1). – 55-66. doi:10.1016/j.carbpol.2004.03.024

13 Koptelova E.K., Lukin N.D., Tkachenko Je.I. Razrabotka tehnologii poperechnoj sshivki krahmalov s ispol'zovaniem solej metafosfornoj kisloty [Development of Technology for the Crosslinking of Starch with Salts of Metaphosphoric Acid] // Hranenie i pererabotka sel'hoz syr'ja. – 2014.–№ 12.– 33-37.

14 Koptelova E.K., Lukin N.D., Tkachenko Je.I. Vlijanie tehnologicheskih parametrov na reologicheskie svojstva poperechno-svjazannyh krahmalov [Influence of technological parameters upon rheological properties of cross-linked starches] // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2014. –№ 10. – 69-71.

15 Koptelova E.K., Lukin N.D., Vinokurov A.Ju. Issledovanie kukuruznogo krahmala s poperechnymi svjazjami dlja celljulozno-bumazhnogo proizvodstva [Examination of Corn Starch with Cross Bonds for Pulp and Paper Industry] // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2018. – 32. – № 10. – 93-96.

16 Huang X.H. et al. Preparation and Application of Carboxymethyl Starch // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vols. 268-270. – 594-600. doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.268-270.594