

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КРАХМАЛА КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕЗБЕЛКОВЫХ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Е.А. Назаренко, Е.Ф. Тихонович, К.К. Гуляев, Н.А. Блохина*

Проведены исследования по изучению свойства различных видов крахмала с позиции возможности их использования для изготовления безбелковых макаронных изделий функционального назначения. Установлено, что картофельный крахмал сортов экстра и высший может быть использован для изготовления безбелковых диетических макаронных изделий. Показано, что в качестве пластификатора и связующего компонента целесообразно применять модифицированные крахмалы в дозировках, учитывающих их клейстеризационные свойства.

### **Введение**

В настоящее время одним из важных направлений развития пищевой отрасли является производство продуктов функционального питания. Такими продуктами могут быть традиционные пищевые продукты, но изготовленные по специальным рецептурам и технологиям, позволяющим придавать им новые заданные диетические и лечебно-профилактические свойства, в том числе направленно изменять их химический состав.

К таким пищевым продуктам относятся, в частности, изделия, применяемые для питания больных с нарушением аминокислотного обмена и процесса усвоения белка, одной из форм лечения которого является диетотерапия. В зависимости от вида заболевания, тяжести его протекания диета может полностью исключать белок (фенилкетонурия), его глиадиную фракцию (целиакия, глютеновая болезнь) или снижать общее количество белка в пищевом рационе (почечная недостаточность). Ограничения в диете в значительной степени касаются таких продуктов, как хлеб, макаронные, мучные кондитерские изделия, изготавливаемые из продуктов переработки зерна злаковых культур, главным образом, пшеницы, ржи, тритикале, что обусловлено их химическим составом. Вместе с тем, больным, страдающим этими заболеваниями, показаны высококалорийные углеводсодержащие продукты питания, изготавливаемые из крахмала [1].

В Республике Беларусь в последние годы разработаны технологии изготовления и организовано производство безбелковых кондитерских изделий. Макароны изделия, которые занимают достаточно большую долю в рационе питания населения, для больных с такими заболеваниями в нашей стране не производятся. В связи с этим проведение научных исследований по созданию рецептур и разработке технологии изготовления безбелковых макаронных изделий необходимо для обеспечения в республике производства функциональных продуктов питания диетического назначения [2].

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Качество макаронных изделий главным образом обуславливается качеством исходного сырья. Основным сырьем для приготовления макаронных изделий в настоящих исследованиях являлся нативный картофельный крахмал – продукт переработки одной из основных сельскохозяйственных культур в стране. В настоящей работе в качестве объекта исследования использовали картофельный крахмал первого сорта производства ОАО «Лида-пищеконцентраты» (Беларусь) (образец I) и крахмал высшего сорта следующих производителей: ОДО «Ракан – Крупяной дом» (Польша) (образец II), ООО «Распак» (Россия) (образец III), «Pepees» (Польша) (образец IV), «Trzemeszno» (Польша) (образец V).

Из анализа литературных источников известно, что для придания макаронному тесту из крахмала требуемых вязкотекучих свойств необходимо применение структурообразующих добавок [3, 4]. В качестве таких добавок использовали модифицированные крахмалы – кукурузный крахмал холодного набухания С\*PolarTex-Instant 12650 производства

фирмы Cargil, Нидерланды (в дальнейшем КХН) и образцы кукурузного экструзионного крахмала (КЭК).

При анализе качества картофельного крахмала определяли такие показатели, как внешний вид, цвет, запах, хруст, влажность, количество крапин, кислотность, зольность, водосвязывающую способность в горячей воде и растворимость, набухающую способность в холодной воде, процентное отклонение от белизны. В работе использовали стандартные методы и методики, приведенные в источниках [5–9].

Результаты исследований органолептических и физико-химических показателей качества образцов крахмала, приведены в таблице 1 и на рисунке 1. Одним из основных свойств крахмала для макаронного производства, является цвет, который зависит от качества сырья, используемого для его производства, технологии переработки, в частности, степени очистки. Согласно требованиям стандарта картофельный крахмал высшего сорта должен быть белого цвета с кристаллическим блеском, первого сорта – белого цвета [10]. Для производства макаронных изделий приемлемой окраски желателно использовать крахмал выраженного белого цвета, с низким показателем зольности, не содержащего значительного количества крапин. Этому условию не отвечает образец крахмала первого сорта (I), характеризующийся белым без блеска цветом, самыми высокими показателями содержания крапин и зольности (444 шт. и 0,48% соответственно).

Таблица 1 – Показатели качества нативного картофельного крахмала

Показатели качества	Образцы крахмала				
	I	II	III	IV	V
Цвет	Белый	Белый с кристаллическим блеском	Белый	Белый с кристаллическим блеском	Белый с кристаллическим блеском
Запах	Свойственный крахмалу без постороннего запаха				
Хруст	Отсутствует				
Массовая доля влаги, %	15,9	16,5	16,9	12,8	14,8
Массовая доля общей зольности, % с. в.	0,48	0,32	0,35	0,30	0,31
Кислотность, см <sup>3</sup> 0,1 н. р-ра NaOH на 100 г с. в.	8,3	7,5	7,8	16,1	7,0
Количество крапин, шт. на 1 дм <sup>2</sup>	444	22	312	26	18

Как показали результаты исследований крахмала высшего сорта, все изучаемые образцы по показателю цвета отвечают требованиям ГОСТ 7699-78. Исключение составляет образец III, который также не соответствует нормам стандарта по показателю количества крапин. Это обуславливает нецелесообразность применения этого крахмала для изготовления макаронных изделий. Наиболее приемлемыми для этой цели являются образцы II, IV и V, характеризующиеся белым цветом с кристаллическим блеском. Указанным пробам крахмала также соответствуют самые низкие значения количества крапин, общей зольности и наименьшее отклонение от эталона по показателю белизны – 1,0–2,9% (рисунок 1).

Кислотность картофельного крахмала обусловлена наличием фосфатов, входящих в его состав, кроме того, на величину этого показателя может влиять серная кислота, применяемая в технологическом процессе его производства, длительность и условия хранения крахмала.

Согласно требованиям стандарта показатель кислотности для картофельного крахмала высшего и первого сорта не должен превышать соответственно 10,0 и 14 см<sup>3</sup> 0,1 н. раствора NaOH на 100 г сухого вещества. С позиции макаронного производства повышенная кислотность крахмала нежелательна, так как при варке макаронных изделий может привести к гидролизу крахмала и, значит, ухудшению их варочных свойств. Как видно из таблицы 1, установленным требованиям не соответствует образец крахмала под номером IV.

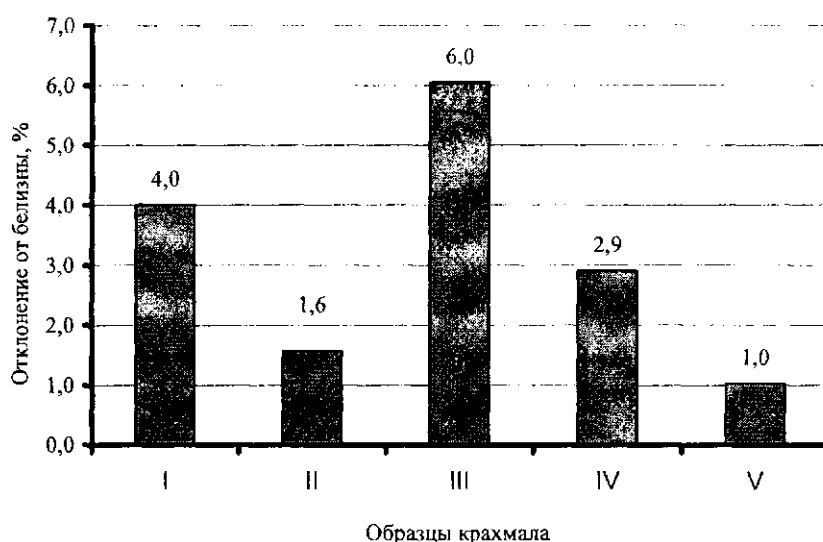


Рисунок 1 – Цвет образцов нативного картофельного крахмала

Остальные органолептические и физико-химические показатели качества для всех исследуемых образцов картофельного крахмала соответствуют требованиям стандарта.

Помимо приведенных показателей в анализируемых образцах были определены важные, с точки зрения применения в макаронном производстве, клейстеризационные свойства крахмала – водосвязывающая способность, растворимость в горячей воде, а также набухаемость в холодной воде. Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Набухаемость и клейстеризационные свойства нативного картофельного крахмала

Показатели качества	Образцы крахмала				
	I	II	III	IV	V
Набухаемость при $t=20^{\circ}\text{C}$ , $\text{см}^3/\text{г}$	1,7	1,8	1,7	1,5	1,3
Водосвязывающая способность при $t=83^{\circ}\text{C}$ , $\text{г/г}$	567	558	954	507	539
Растворимость при $t=83^{\circ}\text{C}$ , %	5,3	3,7	14,9	3,5	3,6

В естественном состоянии крахмал нерастворим в холодной воде, однако он способен гидратироваться. Набухаемость в холодной воде характеризует способность крахмальных зерен поглощать влагу при комнатной температуре, при этом они сохраняют свой характерный вид и структуру. При приготовлении макаронного теста крахмальные гранулы, набухая, способствуют повышению пластичности теста. Поэтому для улучшения физических свойств теста и, значит, процесса прессования необходимо использовать крахмал с большей степенью набухаемости. Как видно из таблицы 2, исследуемые образцы картофельного крахмала имеют близкие значения этого показателя и могут в равной степени использоваться в производстве макаронных изделий. Некоторые преимущества по этому показателю имеет образец II, характеризующийся максимальной набухаемостью [1,8].

Величина водосвязывающей способности крахмала в горячей воде позволяет в большей степени оценить его пластифицирующие свойства. Чем больше величина этого показателя, тем более высокой способностью к студнеобразованию характеризуется крахмал и тем в большей степени могут проявляться его пластифицирующие и связующие свойства. Вместе с тем при значительной величине водосвязывающей способности может образоваться непроч-

ный по структуре студень, что нежелательно для макаронного производства. Известно, что картофельный крахмал имеет чрезвычайно большую величину водосвязывающей способности, обусловленную наличием отрицательно заряженных фосфатных групп, определяющих его гидрофильные свойства. По данным литературных источников, при температуре 95°C водосвязывающая способность картофельного крахмала превышает 1000 г/г [6]. В условиях проведения эксперимента (при температуре 83°C) образцы I, II, IV, V показали значения водосвязывающей способности, равные 507–567 г/г. Образец III имел максимальную величину этого показателя – 954 г/г, что нежелательно, так как может привести к нестойкости макаронных изделий в процессе варки и потере их формы.

Растворимость крахмала в горячей воде характеризует количество сухих веществ, которые могут переходить в воду при нагревании крахмальной суспензии. Показатель степени растворимости позволяет прогнозировать возможные потери сухих веществ во время варки макаронных изделий, изготовленных из крахмала: при ее повышении количество сухих веществ, переходящих в варочную жидкость, увеличивается. Как видно из результатов исследований, наименьшим значением этого показателя обладают образцы крахмалов I, II, IV, V, наибольшей растворимостью характеризуется образец под номером III (14,9%), что делает нецелесообразным его использование для приготовления макаронных изделий.

Таким образом, по совокупности полученных результатов для применения в макаронном производстве был выбран образец картофельного крахмала высшего сорта под номером II, который наиболее полно отвечает необходимым требованиям по цвету, кислотности, клейстеризационным характеристикам, набухаемости.

При анализе модифицированных крахмалов также определяли общепринятые показатели и клейстеризационные свойства. Исследование свойств модифицированных крахмалов показало, что они различаются внешним видом и другими свойствами. Так, экструзионный крахмал представляет собой однородный крупитчатый порошок белого с желтоватым оттенком цвета с запахом, свойственным экструзионным зерновым продуктам. Крахмал холодного набухания является белым однородным порошком с кристаллическим блеском.

Исследования физико-химических свойств показали, что влажность экструзионного крахмала равна 9,6%, крахмала холодного набухания – 9,0%. Следует заметить, что кислотность КЭК и КХН несколько выше, чем образцов нативного крахмала, и равна соответственно 9,9 и 9,2 см<sup>3</sup> 0,1 н. раствора NaOH на 100 г сухого вещества, что, возможно, связано со способом модификации. Результаты исследования набухаемости и клейстеризационных свойств модифицированных крахмалов приведены в таблице 3.

Показатели набухаемости и водосвязывающей способности – наиболее важные свойства модифицированных крахмалов, которые характеризуют их способность поглощать воду при различной температуре. В массе крахмального теста набухший модифицированный крахмал, распределяясь между частицами нативного крахмала и ограниченно поглощая большое количество воды, создает своеобразный каркас, подобно тому, который создает клейковина в тесте традиционных макаронных изделий, и таким образом обеспечивает пластичность и связанность теста. Величина этих показателей, как известно из литературы, зависит от природы крахмала, способа его модификации и степени расщепления.

Было установлено, что показатели набухаемости для обоих видов модифицированных крахмалов намного превышают соответствующие значения для нативного картофельного крахмала и значительно отличаются между собой. Так, для КХН величина набухаемости почти в 15 раз больше величины данного показателя для нативного картофельного крахмала и более чем в четыре раза превышает значение набухаемости КЭК.

Исследования показали, что оба модифицированных крахмала имеют значительную водосвязывающую способность при температуре 83°C, причем значение данного показателя для КХН почти в два раза выше, чем для КЭК. Анализ этой характеристики выявил, что величина водосвязывающей способности для КЭК ниже, а для КХН выше, чем среднее

Таблица 3 – Набухаемость и клейстеризационные свойства модифицированных крахмалов

Показатели качества	Виды модифицированных крахмалов	
	КЭК	КХН
Набухаемость при $t=20^{\circ}\text{C}$ , $\text{см}^3/\text{г}$	6	26
Водосвязывающая способность при $t=83^{\circ}\text{C}$ , $\text{г}/\text{г}$	380	690
Растворимость при $t=83^{\circ}\text{C}$ , %	5,2	7,6

значение аналогичного показателя для образцов нативного картофельного крахмала. Кроме того, было установлено, что исследуемые виды модифицированных крахмалов характеризуются значительно большей величиной водосвязывающей способности,

чем нативный кукурузный крахмал, для которого, согласно литературным данным, этот показатель равен 24 г/г [6].

Возрастание значений набухаемости и водосвязывающей способности модифицированных крахмалов объясняется разрушением структуры нативного кукурузного крахмала с образованием полисахаридов, обладающих значительными гидрофильными свойствами [11]. Можно предположить, что при модификации крахмала холодного набухания этот процесс прошел более интенсивно; экструзионный крахмал, напротив, при его изготовлении претерпел в основном деструкцию гранул с образованием меньшего количества гидрофильных полисахаридов.

Полученные результаты набухаемости и водосвязывающей способности показывают наличие у обоих видов модифицированных крахмалов студнеобразующих свойств, способных в определенных дозировках обеспечивать пластичность и связанность макаронного теста из нативного картофельного крахмала. Можно предположить, что для придания макаронному тесту заданных реологических свойств потребуется меньше крахмала холодного набухания, чем экструзионного крахмала. Однако дозировка модифицированных крахмалов может быть ограничена показателем их растворимости (таблица 3), значительная величина которой, как было показано выше, носит отрицательный характер. Как видно из представленных данных, значения растворимости КЭК и КХН (5,2 и 7,6% соответственно) превышают этот показатель большинства исследуемых образцов нативного крахмала, что говорит о большем содержании в их составе водорастворимых веществ, образовавшихся в процессе модификации и представленных, вероятно, соединениями с низкой степенью полимеризации [12]. Необходимо отметить, что количество водорастворимых веществ в КХН больше, чем в КЭК, что подтверждает предположение о большей степени разрушения крахмальных полисахаридов в крахмале холодного набухания.

Как указывалось выше, назначение модифицированных крахмалов при производстве макаронных изделий состоит в обеспечении необходимой структуры изделий за счет процесса студнеобразования. Поэтому для установления возможности использования модифицированных крахмалов в макаронном производстве представляет интерес исследование свойств их студней и клейстеров.

Было выявлено, что экструзионный крахмал так же, как и крахмал холодного набухания, образует студень в холодной воде (температура  $20^{\circ}\text{C}$ ). Органолептический анализ показал, что студень, полученный из КХН, прозрачный, просвечивающий, имеет мажущуюся, пластичную консистенцию, студень из КЭК – матово-белый, непрозрачный, обладает более плотной консистенцией. Клейстер крахмала холодного набухания имеет короткокапельный характер стекания, клейстер экструзионного крахмала – тянущийся, что, вероятно, также обусловлено различными способами модификации крахмалов.

Более полную характеристику модифицированных крахмалов можно получить с помощью исследования реологических свойств их дисперсий, в частности, щелочной текучести и вязкости [9]. Как было установлено, показатель щелочной текучести для КЭК равен 23,7 мл, что почти в пять раз превышает значение аналогичного показателя для КХН (5,0 мл). На рисунке 2 представлена диаграмма, отражающая величину кинематической вязкости крахмальных дисперсий концентрации 5% при температуре 20, 40 и  $60^{\circ}\text{C}$ . Диапазон температур вы-

бран исходя из возможности приготовления макаронных изделий различными способами.

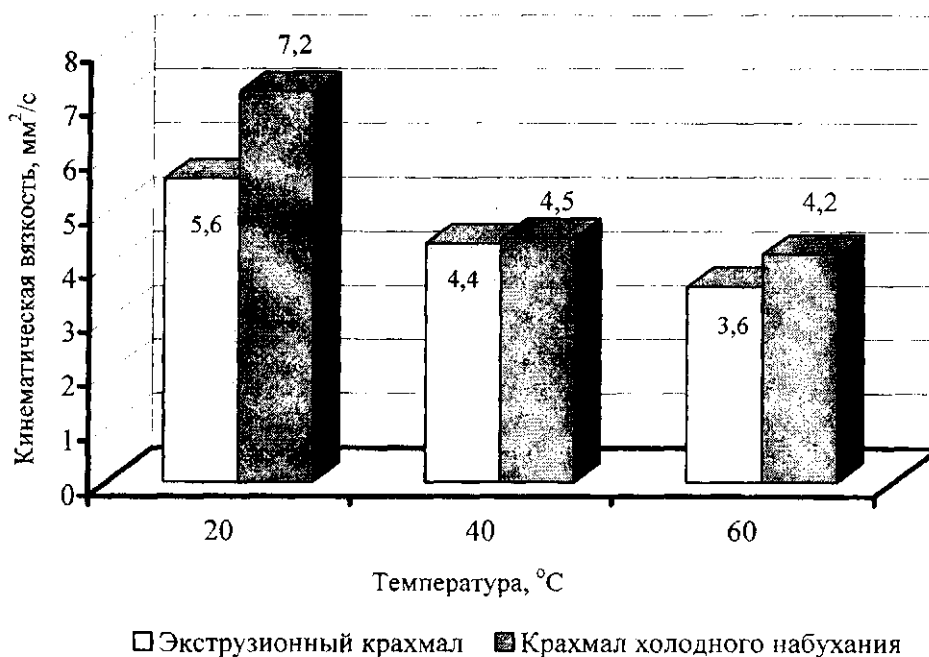


Рисунок 2 – Кинематическая вязкость крахмальных дисперсий

Из приведенной диаграммы видно, что в измеряемом диапазоне температуры дисперсия крахмала холодного набухания имеет бóльшую кинематическую вязкость в сравнении с дисперсией кукурузного экструзионного крахмала. Так, при температуре, равной 20°C, величина этого показателя для КХН составляла 7,2, для КЭК – 5,6 мм<sup>2</sup>/с. Полученные данные находятся в соответствии с результатами исследования щелочной текучести: бóльший показатель текучести клейстера определяет его меньшую вязкость, что обусловлено бóльшим содержанием в клейстере производных с низкой степенью полимеризации. С увеличением температуры с 20 до 40°C вязкость дисперсии КХН уменьшается на треть, при дальнейшем увеличении температуры до 60°C кинематическая вязкость дисперсии крахмала холодного набухания снижается незначительно. Для КЭК характерна примерно такая же зависимость – при повышении температуры вязкость дисперсии экструзионного крахмала также снижается, однако ее абсолютное значение незначительно отличается от соответствующего значения для КХН.

Предположительно, показатель вязкости крахмальных дисперсий будет оказывать влияние на прочность сваренных макаронных изделий, однако для окончательного вывода необходимо проведение дополнительных исследований прочности студней из обоих видов модифицированных крахмалов.

### Заключение

Таким образом, исследования свойств нативного картофельного крахмала показали возможность его использования в качестве сырья для изготовления безбелковых макаронных изделий. Установлено, что выбор образцов картофельного крахмала необходимо осуществлять в основном по показателям, характеризующим степень очистки при его промышленном получении – цвету, количеству крапин, зольности. Показано, что с этих позиций наиболее предпочтительно применение картофельного крахмала сортов экстра и высший.

Изучение свойств модифицированных крахмалов показало наличие у них функции структурообразователя теста и макаронных изделий из нативного картофельного крахмала. Установлено, что крахмал холодного набухания является более эффективным пластификато-

ром и связующим компонентом в сравнении с экструзионным крахмалом. Показано, что для получения безбелкового теста и макаронных изделий с требуемыми свойствами необходимо устанавливать оптимальную дозировку модифицированных крахмалов с учетом их клейстеризационных характеристик.

### Литература

1. Большая медицинская энциклопедия: в 30 т. Изд. 3-е. / редкол.: Б.В. Петровский (гл. ред.) [и др.]. - М.: Сов. энциклопедия, 1977. - Т.20 - 1983. - С. 411 - 417; Т.26 - 1985. - С. 252 - 253; Т.27 - С. 151-153.
2. Кондратова, И.И. Разработка кондитерских изделий и пищевых концентратов для больных фенилкетонурией / И.И. Кондратова, Д.Н. Болтик, Л.В. Филатова, И.П. Волчанина, И.А. Машкова // Современные технологии и оборудование для хлебопекарного и кондитерского производства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21-22 сентября 2005г. / ИЧУП «Хлебопек-Медиа»; под ред. Овсянниковой Л.А. - Минск, 2005. - С.71-72.
3. Медведев, Г.М. Технология макаронного производства / Г.М. Медведев. - М.: Колос, 1998. - 272 с.
4. Жушман, А. Низкобелковые продукты питания для детей / А. Жушман, В. Карпов, Т. Калинина, Л. Бакунина // Хлебопродукты. - 2006. - №6. - С. 42-43.
5. Крахмал. Правила приемки и методы анализа: ГОСТ 7698-93.- Введ. 01.01.1995. - Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Изд-во стандартов, 1994. - 53 с.
6. Swinkels, J.J.M. / Composition and Properties of Commercial Native Starches / J.J.M. Swinkels // S. Stärke. - 1985. - Vol.37. - №1. - P.1-5.
7. Рихтер, М. Избранные методы исследования крахмала / М. Рихтер, З. Аугустат, Ф. Ширбаум; Пер. с нем. Л.В.Бабиченко, Е.А.Вороновой, К.Н.Чижовой под ред. Н.П.Козьминой, В.С.Грюнера. - М.: Пищевая промышленность, 1975. - 183 с.
8. Трегубов, Н.Н. Технохимический контроль крахмалопаточного производства: учебное пособие / Н.Н. Трегубов, В.Г. Костенко. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1991. - 271 с.
9. Ловкис, З.В. Технология крахмала и крахмалопродуктов: учебное пособие / З.В. Ловкис, В.В. Литвяк, Н.Н. Петюшев. - Минск: Асобны, 2007. - 178 с.
10. Крахмал картофельный. Технические условия: ГОСТ 7699-78. - Введ. 01.01.1980. - М.: Государственный комитет по стандартам: Изд-во стандартов, 1988. - 6 с.
11. Пищевая химия: учебн. для вузов / А.П. Нечаев [и др.]; под общ. ред. А.П. Нечаева. - 2-е изд. перераб. и испр. - СПб.: ГИОРД, 2003. - 640 с.
12. Остриков, А.Н. Экструзия в пищевой технологии / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, А.С. Рудометкин. - СПб.: ГИОРД, 2004. - 288 с.

*Поступила в редакцию 17.03.2009*