

ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ НА ХАРАКТЕР РАВНОВЕСНОГО НАБУХАНИЯ БИОПОЛИМЕРОВ ПИЩЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ В ВОДЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХТ. В. Алексеева¹, К. К. Полянский², Е. А. Климова¹, Ю. О. Калгина¹¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»²ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»

Поступила в редакцию 26.01.2020 г.

Аннотация. В статье представлены результаты исследований водосвязывающей способности пищевой гетерогенной системы с целью ее применения на предприятиях общественного питания для обогащения пищевой продукции алиментарными нутриентами. Наличие воды и гидрофильные свойства различных видов сырья в пищевой отрасли, перераспределение влаги и ее связывание в процессе технологической обработки оказывает существенное влияние на качественные показатели готовой продукции. Содержание связанной влаги в кулинарных изделиях значительно влияет на их массу, выход и стоимость. Поэтому исследованию процессов набухания пищевых субстанций уделяется большое внимание. В данной работе изучалась пищевая гетерогенная система из жмыха зародышей пшеницы, семян фасоли белой и альбумина животного. Установлено, что в процессе гидратации пищевой композиции часть веществ растворяется (49.8 %), остальные (50.2 %) набухают ограниченно. Экспериментально измерены интегральные удельные теплоты набухания набухающей фракции объекта исследований и определена масса гидратной воды. Рассчитаны предельная степень набухания, константа скорости набухания и скорость гидратации пищевого объекта в различных растворителях. В статье сопоставлены аналогичные показатели для различных сред: вода, водные растворы с диапазоном рН 4.0-9.0 и технологические среды. В качестве технологических растворителей применялись традиционные среды, применяемые в отрасли питания. Обсуждены выявленные закономерности, выяснено, что значения предельной степени набухания и содержание гидратной воды в общей массе поглощенной жидкости были максимальными в растворах с нейтральной, слабощелочной и щелочной средах, что согласуется с данными по кислотности традиционных технологических сред, применяемых в отрасли питания. Согласно полученным данным, предельная степень набухания объекта в технологических средах достаточно велика и изменялась в пределах 1.33-3.28 г/г, в растворах сахарозы и хлорида натрия отмечены самые высокие значения и минимальное значение - в растворе сыворотки творожной. Время достижения максимальной степени набухания объекта исследований в разных растворителях составляло 5-20 минут. Полученные результаты могут быть использованы в диетологических исследованиях и при разработке нормативно-технической документации при производстве пищевой продукции для персонализированного питания и специального назначения.

Ключевые слова: набухание, животное и растительное сырье, жмых зародышей пшеницы, семена фасоли, альбумин животный, водосвязывающие свойства, функционально-технологические свойства пищевых систем, технологические среды, калориметрия, гелепроникающая хроматография

Получение готовой продукции в пищевой отрасли с заранее определенными качественными показателями во многом определяется гидрофильными свойствами веществ, входящих в состав сырья, полуфабрикатов и готовых изделий. Наличие влаги в пищевых субстанциях оказыва-

ет существенное влияние на их свойства. Особое внимание на предприятиях общественного питания уделяется процессам перераспределения и связывания влаги в пищевых системах на всех этапах технологического процесса, например при замораживании продуктов, а также в ходе их термообработки. В зависимости от вида гидротермической обработки может существенно изменяться качественные показатели пищевых композиций и

их состав, масса полуфабрикатов и готовой продукции, цена готовых изделий. Поэтому вопросам направленного перераспределения влаги в пищевой промышленности и общественном питании в частности уделяется существенное внимание [1-4].

Объектом наших исследований выступала пищевая комплексная система (ПКС), служащая для обогащения продуктов питания специальной направленности. Компонентный состав ПКС следующий, мас. %: жмых зародышей пшеницы – 30, фасоль – 20, альбумин – 50.

Целью работы являлось исследование процесса набухания биополимеров ПКС в зависимости от pH водных растворов и свойств технологических сред, изучение водосвязывающих свойств компонентов ПКС в процессе набухания при различных температурах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе приготовления объекта исследований применялось сырье, соответствующее действующей нормативной документации: жмых зародышей пшеницы (ТУ 9295-014-18062042-06. Мука зародышей пшеницы пищевого назначения «ВИТАЗАР»); семена фасоли белой (ГОСТ 34299-2017. Фасоль овощная свежая); альбумин пищевой (белок плазмы крови «GITPRO D», производитель Группа Компаний «Перспективные технологии и ингредиенты», г. Мытищи, Россия).

Массовую долю влаги определяли по ГОСТ Р 51479-99 «Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли влаги». Определение массовой доли золы проводили в муфельной печи по ГОСТ 28418-89. «Зерновые, бобовые и продукты их переработки. Методы определения зольности». Массовую долю белка определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 23327-98 «Молоко и молочные продукты. Метод измерения массовой доли общего азота по Кьельдалю и определение массовой доли белка». Массовую долю жира по ГОСТ 13496-85. «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырого жира». Массовую долю углеводов определяли с использованием метода геляпроницающей хроматографии. Хроматограммы регистрировали на хроматографе ЖХ-1307 с применением рефрактометрического детектора. Определение содержания клетчатки проводили по ГОСТ Р 52839-2007. «Корма. Метод определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации». Определение лигнина ГОСТ 26177-84. «Корма, комбикорма. Метод определения лигнина»; целлюлозы

ГОСТ 6840-78. «Целлюлоза. Метод определения содержания альфа-целлюлозы». Для определения аминокислотного состава образцов применяли метод ионообменной хроматографии. Исследования проводили на автоматическом анализаторе аминокислот ААА-339.

Поскольку количественные характеристики набухания можно определить только при ограниченном набухании ВМС, для проведения исследований была выделена фракция ПКС, нерастворимых в воде. Ее доля в общем содержании сухих веществ ПКС составила 50.2 %. Для ее определения ПКС высушивали до постоянной массы (массу фиксировали), затем тщательно промывали большим количеством воды и снова высушивали до постоянной массы.

В связи с тем, что размер и структура частиц влияет на скорость набухания, для исключения влияния размера частиц на характеристики набухания было выполнено измельчение отмытой и высушенной до постоянной массы фракции ПКС, средний размер частиц которой был определен в результате ситового анализа в соответствии с ГОСТ 27560-87 «Мука и отруби. Метод определения крупности». Средний размер частиц ПКС составил 0.65 мм.

Для изучения кинетики набухания применяли тургометр – колбу, состоящую из двух стеклянных резервуаров, соединенных трубкой с градуированной шкалой. Тургометр позволяет с точностью до 0.01 см³ измерять объем или массу поглощенной воды за время контакта полимера с растворителем. Для этого колбу заполняли соответствующим растворителем (модельные водные растворы с разным значением pH и технологические среды) так, чтобы растворитель соответствовал нулевой отметке градуированной шкалы. Затем в резервуар помещали навеску исследуемого вещества (ПКС), упакованную в легкий водопроницаемый контейнер, масса навески и контейнера контролировалась на аналитических весах с точностью до 0.001 г. Тургометр плотно закрывали пробкой и переворачивали на 180°, приводя образец в контакт с растворителем. По истечении заданного времени контакта полимера с растворителем, прибор возвращали в исходное положение и измеряли по шкале объем поглощенной жидкости или на аналитических весах массу набухшего образца. Измерения повторяли до тех пор, пока в растворе не устанавливалось равновесие и масса набухшего полимера не изменялась [5-7].

Теплоту набухания определяли калориметрическим методом на лабораторной установке – изотермический калориметр, совмещенным с

персональным компьютером, позволяющем фиксировать изменение температуры при протекании процесса с точностью $\pm 0.001^\circ\text{C}$ при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Сущность калориметрических измерений заключалась в установлении температурного хода, другими словами зависимости температуры в калориметре от времени контакта полимера с растворителем в течение всего времени набухания [5-7].

Эксперимент по определению теплоты набухания проводили путем установления температурного хода для определения теплоемкости калориметра. Для этого в сосуд наливали 80 см³ дистиллированной воды, помещали в термостат и закрывали крышкой с термодатчиком, подключенным к контроллеру. Затем включали магнитную мешалку и помещали шприц с навеской стандартного вещества (КСI) в калориметр для термостатирования и снимали температурный ход. Показания термодатчика ($^\circ\text{C}$) отображались на экране монитора, а изменение температуры снимали каждые 5 секунд в течение всего опыта. После того, как устанавливался стационарный режим, высыпали в калориметрическую жидкость навеску КСИ и снимали показания температуры до установления аналогичного состояния системы. По графику определяли изменение температуры при растворении хлорида калия и рассчитывали теплоемкость калориметра.

В работе использовали водопроводную воду (рН 7.1), которая соответствовала ГОСТ 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. Технологические среды готовились в соответствии действующей на предприятиях общественного питания нормативно технической документацией [8-11].

Пищевые субстраты в отрасли питания представляют собой сложные многокомпонентные системы, содержащие высокомолекулярные соединения (ВМС) разной природы и другие компоненты, определяющие гидрофильные свойства объектов в целом. Взаимодействие биополимеров пищевых субстратов с водой в значительной мере определяется их способностью к гидратации, т.е. наличием в макромолекуле ВМС полярных (гидрофильных) групп, которые взаимодействуют с растворителем.

Исследуемый объект содержал вещества, обладающие активными гидрофильными свойствами, массовая доля которых приведена в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что изучаемый объект – сложная гетерогенная система, в ее состав входят полярные мономеры: белки, полисахариды,

клетчатка, гемицеллюлоза, природа и количественное соотношение которых в системе значительно влияет на скорость и характер процесса набухания. Наличие в составе клетчатки, гемицеллюлозы и лигнина позволяют предположить ограниченный характер набухания, поскольку эти вещества имеют разветвленную и сшитую структуру, свободное пространство каркаса полимера может активно заполняется водой при их непосредственном контакте. Процесс взаимодействия вода – полимер носит адсорбционный характер, т.к. набухание происходит за счет образования водородных связей между молекулами воды и полярными группами биополимеров. Очевидно, что в изучаемой пищевой композиции способностью к набуханию обладают, главным образом, белки и полисахариды. Белковая фракция представлена преимущественно альбуминами, глобулинами, проламинами и глобулинами, которые активно взаимодействуют с водой и для них характерен процесс ограниченного набухания, а при нагревании растворителя, процесс может сопровождаться растворением некоторых белков (например, альбуминов). Существенная часть композиции аминокислоты, представляющие собой полиэлектролиты, имеющие в структуре макромолекулы несколько гидрофильных фрагментов, способных в водном растворе диссоциировать на цвиттер-ионы и находится в водных растворах, например, в виде биполярных ионов [6-7, 12-20].

Таблица 1.

Фракционный состав пищевой комплексной системы

Наименование компонента ПКС	Содержание, % масс. (в пересчете на а.с.в.)
Влага	6.29
Углеводы	25.0
Пищевые волокна, в том числе:	1.36
пектиновые вещества	0.21
лигнин	0.28
клетчатка	0.33
гемицеллюлоза	0.54
Белки, в том числе:	62.10
глобулины	1.4
проламины	1.6
глобулины	1.8
альбумины	57.3
Жиры	3.24
Зола	2.01

Вода является одним из основных растворителей в технологических циклах пищевых технологий. В этой связи в работе были получены кинетические характеристики набухания пищевой

системы в воде. Изучение кинетики набухания пищевой композиции производили по стандартной методике [6-7]. Степень набухания - количественную характеристику, показывающую относительное увеличение массы ВМС в процессе гидратации i рассчитывали по формуле:

$$i = \frac{m - m_0}{m_0} = \frac{m_{ж}}{m_0}, \quad (1)$$

где m_0 , m – масса сухого и набухшего вещества; $m_{ж}$ – масса поглощенной жидкости.

Кинетическая кривая зависимости степени набухания от времени контакта полимера с растворителем соответствовала процессу ограниченного набухания. На кривой наблюдалось линейное увеличение степени набухания первые две минуты, что характерно для стадии гидратации и формирования слоя связанной воды, дальнейшее плавное увеличение степени набухания вплоть до максимального его значения соответствовало осмотической стадии, где происходит диффузия свободной воды в матрицу полимера до установления равновесия и предельного значения степени набухания [5-6].

Зависимость степени набухания от времени взаимодействия полимера с растворителем описывается известным эмпирическим уравнением вида:

$$i = i_{max} \cdot \frac{\alpha\tau}{1 + \alpha\tau}; \quad (2)$$

где i_{max} – максимальная (предельная) степень набухания (г/г); τ – время (с); α – эмпирическая константа [5-7].

При аппроксимировании полученных данных $i=f(\tau)$ формулой 2 можно определить предельную степень набухания образца. Для этого уравнение 2 привели к линейному виду и графическим методом нашли константы i_{max} и α :

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{i_{max}} + \frac{1}{\alpha i_{max}} \cdot \frac{1}{\tau}; \quad (3)$$

Используя программу Excel 2010 построили график в координатах $1/i = f(1/\tau)$ и определили по уравнению тренда угловой коэффициент $1/\alpha \cdot i_{max} = 16.9$ и свободный член в уравнении прямой $1/i_{max} = 0.3$. Найденные константы позволили определить максимальную степень набухания i_{max} (3.3 г/г) и коэффициент $\alpha = 1/i_{max}$ (0.02). С точки зрения химической кинетики процесс набухания ВМС относится к реакциям первого порядка, поэтому для математических расчетов кинетических характеристик: скорости процесса (di/dt), константы скорости набухания (k) использовали дифференциальное уравнение вида:

$$\frac{di}{d\tau} = k(i_{max} - i), \quad (4)$$

Расчет средней скорости процесса проводили по формуле, полученной дифференцированием уравнения 2:

$$\frac{di}{d\tau} = \frac{\alpha \cdot i_{max}}{(1 + \alpha \cdot \tau)^2}, \quad (5)$$

Подставив константы i_{max} и α в формулу 5, рассчитали скорость процесса за определенное время контакта полимера с растворителем. Аналогично рассчитали скорости к каждому отрезку времени и затем определили среднюю скорость набухания, как среднее арифметическое полученных значений. Анализ полученных данных показал, что с увеличением времени контакта полимера с растворителем скорость процесса набухания уменьшается и по истечению 15 минут значительно убывает до величины $2.0 \cdot 10^{-4}$ г/г·с. Это свидетельствовало о том, что за это время контакта скорость набухания стремится к нулю и процесс достигает равновесия, а степень набухания становится постоянной и достигает максимального значения. В итоге было установлено, что оптимальное время контакта ПКС с водой составляет 10-15 минут, что весьма удобно не сложно внедрить в производственный процесс на предприятиях общепита.

Также определяли скорость гидратации ПКС в водопроводной воде (рН = 7.1) при комнатной температуре ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) методом графического дифференцирования кинетической кривой, для этого определяли тангенс угла наклона начального линейного участка кривой к оси абсцисс. В соответствии с уравнением зависимости тренда: $i = 0.0215\tau$, величина скорости гидратации 0.0215 г/г·с. Константу скорости набухания рассчитывали по формуле, полученной интегрированием уравнения 4:

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{i_{max}}{i_{max} - i}. \quad (6)$$

где k – константа скорости набухания (с^{-1}); i_{max} – максимальная (предельная) степень набухания (г/г); τ – время (с).

Расчет k проводили к каждому отрезку времени по формуле 6, а затем определяли среднюю величину (табл. 2). Анализ кинетических расчетов показал, что процесс набухания биополимеров ПКС в водопроводной воде протекает с достаточно большой скоростью ($k_{cp} = 0.0090, \text{с}^{-1}$). Также вы-

Таблица 2.

Значения констант скорости набухания ПКС в водопроводной воде (рН 7.1)

τ , с	30	60	90	120	180	240	300
i , г/г	0.84	1.69	2.09	2.28	2.55	2.70	2.73
$k \cdot 10^3$, с ⁻¹	9.69	11.81	10.98	9.62	8.07	6.94	5.71

яснено, что время контакта полимера с растворителем, за которое достигается предельная степень набухания достаточно короткое (10-15 мин), что свидетельствует о гидрофильной природе компонентов, входящих в состав объекта и подтверждает наличие активного взаимодействия входящих биополимеров ПКС с водой.

Подтверждением полученных выводов также являются результаты калориметрических опытов, представляющие собой изменение температуры калориметрической системы при набухании объекта в воде (рис. 1), которые позволили рассчитать удельную теплоту набухания (ΔH) и массу воды (x), связанной единицей массы полимера по методике, приведенной выше. Тепловое значение калориметра (C_k) и изменение температуры в главном периоде набухания объекта были найдены опытным путем и равнялись соответственно $C_k = 755$ Дж/К, $\Delta T = 0.172$ °С.

Тогда теплота набухания исследуемого объекта массой 1 г составила:

$$\Delta H = \frac{C_k \Delta T}{m} = \frac{755 \cdot 0,172}{1} = 129,86, \text{ Дж/г},$$

А масса воды, связанной единицей массы полимера:

$$x = \frac{\Delta H}{334,4} = \frac{129,86}{334,4} = 0,39 \text{ г/г}.$$

Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что полимеры ПКС при взаимодействии с водопроводной водой, проявляют активные гидрофильные свойства. Процесс набухания протекает с достаточно высокой скоростью ($k_{cp} = 0.0056$, с⁻¹). За достаточно небольшое время контакта время образца с растворителем (10-15 мин) в общей массе поглощенной жидкости i_{max} (4.48 г/г) массовая доля связанной воды составила 8.7 %, что составляет достаточно высокий процент и свидетельствует о проявлении хорошей гидрофильной природы ПКС. Данный фактор благоприятно влияет на структурно-механические и реологические показатели пищевой системы. Включение исследуемого объекта в рецептуры продуктов растительного и животного происхождения позволит увеличить в них содержание влаги, что способствует образованию более однородной массы и регулированию консистенции технологического продукта, а также образованию

более пористых структур после термической обработки. Способность ПКС активно сорбировать и удерживать влагу благоприятно сказывается на процессе хранения полуфабрикатов и готовой продукции.

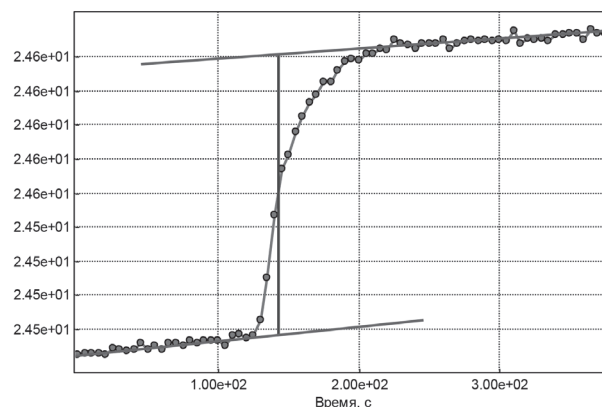


Рис. 1. Температурный ход калориметрического опыта набухания ПКС в водопроводной воде (рН 7.1) при $T = 20 \pm 2$ °С

Также в работе изучали влияние рН среды на кинетические характеристики набухания образцов ПКС. Выбор рН осуществлялся на основании кислотности реальных технологических объектов. Известно, что в соках, газированных и кисломолочных напитках рН меняется в диапазоне 2-4, в мясных и молочных продуктах – 4-7, в овощах и овощных бульонах 8-9 [8-11]. Нами опытным путем были получены кинетические зависимости степени набухания от времени контакта образца с растворителем при различных значениях рН. Вид и характер зависимостей во всем интервале изменения рН растворов, свидетельствовал о наличии ограниченного механизма набухания образцов ПКС. Равновесие в системах также устанавливалось в течение 10-15 мин, а степень набухания к этому времени достигала максимального значения и далее не менялась с увеличением времени контакта.

Результаты опытов были аппроксимированы уравнениями первого порядка, также были произведены расчеты основных характеристик набухания объекта в растворах с разным значением рН аналогично, как указано выше. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Кинетические показатели набухания образцов ПКС при разных значениях рН

Показатель	рН среды					
	1.68	4.01	5.50	6.86	8.69	9.72
Предельная степень набухания i_{max} , г/г	2.48	2.29	2.30	3.32	3.15	3.11
Константа скорости набухания $k \cdot 10^2$, с ⁻¹	1.06	0.95	0.96	1.36	1.21	1.19
Скорость гидратации ω , г/г·с	0.019	0.018	0.016	0.022	0.023	0.019

Анализ результатов показал достаточно высокие гидрофильные свойства пищевых волокон ПКС в исследуемом интервале рН среды. Предельная степень набухания достигала значений 2.3-3.3 г воды на 1 г полимера в зависимости от рН раствора (табл. 3). Установлено, что наибольшее значение предельной степени набухания наблюдается в растворах в нейтральной, слабощелочной и щелочной среде. Другими словами, так как технологические среды имеют аналогичную кислотность, изучаемый объект целесообразно применять в пищевой отрасли.

Полученный результат полностью зависит от свойств веществ, входящих в состав ПКС (табл. 1), а также от изоэлектрических точек (ИЭТ) белков и аминокислот, присутствующих в объекте. Известно, что в изоэлектрическом состоянии полиамфолитов заряды функциональных групп положительного и отрицательного знака чередуются в определенной последовательности вдоль пептидной цепи, что способствует сжатию и даже скручиванию ее в глобулу [5-7]. В этой области рН степень набухания и предельная степень набухания ПКС незначительно снижается. Индивидуальные значения ИЭТ белков и аминокислот, входящих в состав ПКС известны: альбумин – 4.7; глобулин – 6.5; проламины – 4.5-5.5; глютелины – 5.9; лейцин, изолейцин – 6.0; треонин – 4.5-5.5. Ввиду того, что в составе объекта преобладают полиамфолиты, ИЭТ которых находится в кислой среде: альбумины, проламины, глобулины и др. (табл. 1), в растворах с рН 4 наблюдается некоторое снижение i_{max} до значения 2.29 г воды на 1 г полимера (табл. 2). В этой области рН происходят структурные изменения макромолекулы белков и аминокислот, наличие одинакового количества катионных и анионных групп способствует с одной стороны изменению пространственной структуры белка, происходит конформация полипептидной цепи, с

другой стороны заряд молекулы стремится к нулю. В результате макромолекула белков сворачивается в глобулу, а гидратные слои связанной воды при этом разрушаются. В конечном итоге конформационные изменения и нулевой заряд молекулы полимера в ИЭТ ослабевают действие кулоновских сил электростатического притяжения между полимером и молекулами воды, что затрудняет проникновение растворителя в матрицу биополимера и снижает максимальную степень набухания. Процесс набухания ПКС протекает с достаточно высокой скоростью во всем диапазоне изменения рН, о чем свидетельствуют значения констант скорости (0.0096-0.014 с⁻¹), а также существенная величина средней скорости гидратации – 0.02 г/г·с.

Высокие гидрофильные свойства ПКС во всей области исследуемой рН были также подтверждены калориметрическими опытами, связанными с измерением удельные теплоты набухания (ΔH) фракций ПКС и расчетом массы гидратной воды ($x_{z.g.}$), поглощенной компонентами ПКС на стадии гидратации, а также определением в общей массе поглощенной жидкости массовой доли связанной воды ($w_{z.g.}$) в растворах с разным значением рН. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Как показали результаты наших исследований, первая стадия набухания – гидратация протекает как слабая экзотермическая реакция с выделением теплоты (теплота набухания), причем выяснено, что количество гидратной воды в ПКС пропорционально теплоте набухания. То есть чем выше тепловой эффект гидратации, тем больше масса связанной воды, приходящейся на единицу массы полимера. Второй этап набухания – осмотическая стадия сопровождается поглощением свободной воды, в результате которой заполняются пустоты в каркасе полимера, протекает без ощутимого изменения энергии. Поэтому массу связанной воды определяли по теплоте набухания как описано выше [5-7].

Таблица 4.

Термодинамические характеристики набухания ПКС

Показатель	рН среды					
	1.68	4.01	5.50	6.86	8.69	9.72
D	53.7	47.7	46.4	130.0	46.4	51.3
$x_{z.g.}$, г(H ₂ O)/г(ВМС)	0.16	0.14	0.14	0.39	0.14	0.15
$w_{z.g.}$, %	6.5	6.1	6.1	13.5	4.4	4.5

Результаты по влиянию pH раствора на массу связанной воды практически повторяют аналогичные зависимости для максимальной степени набухания. Минимальные значения этих величин наблюдались в области pH близкой к ИЭТ биополимеров, входящих в состав ПКС (pH 4-6). Наибольшее содержание гидратной воды в общей массе поглощенной жидкости установлено в нейтральной среде (при pH 6.86 ее доля составила 13.5 %).

На следующем этапе нами были проведены исследования по изучению водосвязывающей способности ПКС в технологических средах. В качестве растворителей использовали технологические среды, широко применяемые в мясной, рыбной, молочной отраслях пищевой промышленности (мясные бульоны, растворы поваренной соли, сыворотка и др.). В качестве технологических сред использовали растворы хлорида натрия и сахарозы с массовой долей вещества 1.5 % и pH 6.7-7.0. В качестве белковых растворов использовали сыворотку творожную (pH 4.5), молоко пастеризованное торговой марки «Богдаша» (жирность 2.5 %, pH 6.67) и мясной бульон из говядины (pH 6.50). Выбор указанных сред в растворах был обоснован среднестатистическими данными содержания этих веществ в водных фракциях рыбного, мясного и растительного сырья (супах, бульонах, морсах), традиционно применяемых на предприятиях общественного питания [8-11, 19-20].

Следует отметить, что в составе сырья преобладают белки разной природы, которые как указывалось ранее, являются полиамфолитами и поэтому способны к гидратации и конформационным изменениям при изменении температуры и состава среды, что в значительной степени влияет на гидрофильные свойства используемого сырья и конечного продукта. Изначально объекты мясного, рыбного и молочного сырья характеризуются высоким содержанием влаги, которая в значительной мере уменьшается при термической обработке вследствие денатурации и дегидратации входящих в состав белков. В результате возникают нежелательные технологические потери, которые

можно существенно снизить при внесении в пищевые массы водосвязывающих компонентов, в данном случае в этом аспекте мы рассматриваем свойства ПКС.

Кинетические характеристики набухания объекта в технологических средах определяли в соответствии с методикой и алгоритмом решений, приведенных выше. По полученным данным определены и построены кинетические зависимости, степени набухания образцов ПКС в технологических средах (рис. 2).

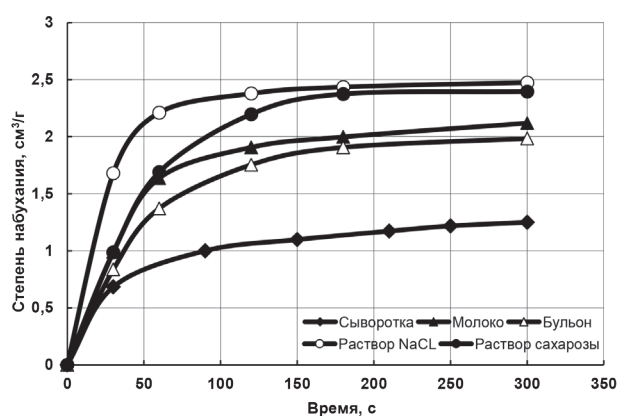


Рис. 2. Зависимость степени набухания образцов ПКС от времени в технологических средах при температуре 20 ± 2 °C

Анализ результатов позволяет утверждать, что кинетические кривые степени набухания образцов в разных технологических средах отличаются. Наименьшая степень набухания (рис. 2) наблюдается в творожной сыворотке (нижняя кривая), где ее величина не превышает значение 1.5 г воды на 1 г полимера, это связано с кислой средой (pH 4.5) раствора творожной сыворотки соответствующей ИЭТ белков, входящих в состав набухающих образцов. Вид кинетических кривых набухания в технологических средах аналогичен кривым в чистом растворителе и соответствовал ограниченному характеру набухания объекта. Оптимальное время набухания составило 5-20 минут и последующий контакт образца с растворителем был нецелесообразен ввиду достижения равновесия и максимальной степени набухания. Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Таблица 5.

Физико-химические характеристики набухания ПКС в технологических средах

Предельная степень набухания i_{max} , г/г	Константа скорости набухания $k \cdot 10^2$, с ⁻¹	Теплота набухания ΔH , Дж/г	Масса связанной воды $x_{св}$, г(Н ₂ O)/г(ВМС)	Технологическая среда
1.33	1.43	44.56	0.13	Сыворотка творожная
3.28	1.78	71.77	0.21	Раствор сахарозы (1.5 %)
2.70	2.00	62.70	0.19	Раствор хлорида натрия (1.5 %)
2.61	1.73	48.92	0.15	Молоко (жирность 2.5 %)
2.57	1.69	58.19	0.17	Бульон (говяжий)

Согласно полученным данным, предельная степень набухания объекта достаточно велика и изменяется в пределах 1.33-3.28 г/г (табл. 4). В растворах сахарозы (3.28 г/г) и хлорида натрия (2.70 г/г) i_{max} выше, немного меньше в бульоне (2.57 г/г), молоке (2.61 г/г) и минимальная i_{max} (1.33 г/г) в растворах сыворотки творожной (табл. 5). Как предполагалось ранее, кислая среда творожной сыворотки (рН 4.5) способствует переходу белковых фракций (альбумин, проламин) в изоэлектрическое состояние и как следствие изменение пространственной структуры белка, скручивание их макромолекул в глобулы, что способствует снижению гидрофильных свойств и предельной степени набухания образцов ПКС.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам исследований установлено, что процесс набухания ПКС протекает с высокой скоростью в растворах с рН 4.0-9.0, о чем свидетельствовали значения констант скорости гидратации (табл. 2). Растворитель проникает в пустоты каркаса полимера с наибольшей скоростью в нейтральной среде (рН 6.86) и значении рН удаленной от ИЭТ (табл. 2). Вероятно, в изоэлектрическом состоянии вследствие конформации и утраты суммарного заряда макромолекул, происходит сжатие объема матрицы биополимера и частичное разрушение гидратных слоев, средняя скорость процесса и скорость гидратации при этом незначительно снижаются. Незначительное снижение средней скорости процесса наблюдается в области, удаленной от ИЭТ, в кислой и щелочной средах, несмотря на достаточно большую величину предельной степени набухания (табл. 2). Скорее всего, в результате воздействия агрессивной среды, разрушаются внутренние связи в матрице полимера, и происходит высвобождение заряженных звеньев ВМС, которые образуют мицеллярные структуры, внутри которых распределяется выделившаяся вода [5-7]. Полученные данные свидетельствуют о том, что исследуемый объект, способствует повышению водосвязывающих и водоудерживающих свойств пищевых масс различного происхождения, с той лишь разницей, что при введении ПКС в пищевые продукты с слабодиссоциирующей и нейтральной средой (мясной фарш, молоко, тесто) вода поглощается в большем количестве, чем для объектов с кислой средой (сыворотка, творог, томатные пасты).

Общая скорость набухания в технологических средах достаточно велика, константа скорости ме-

няется незначительно ($0.014-0.020 \text{ с}^{-1}$), что можно объяснить влиянием компонентов технологического раствора на гидрофобные взаимодействия в системе. Присутствие в растворах минеральных солей, растворимых белков и других компонентов в виде экстрактивных веществ, снижают межмолекулярные взаимодействия в матрице набухающих полимеров и тем самым, увеличивают скорость проникновения воды в структуру образцов ПКС, повышая их гидратационную активность. Что, безусловно, свидетельствует о перспективности применения ПКС в виде обогащающей добавки в мясные, рыбные, молочные и растительные пищевые массы [12-20]. Процесс гидратации биополимеров в технологических средах протекает достаточно активно, но в меньшей степени, чем в водопроводной воде. Наибольшая масса связанной воды наблюдается в образцах, набухающих в растворе сахарозы и поваренной соли, что вызвано, вероятно, присутствием в растворе минеральных веществ, которые ослабляют структурные связи ВМС. Растворы исследуемых составов по способности к гидратации можно расположить в следующий убывающий ряд, хг.в., г/г: раствор сахарозы (0.21 г/г), раствор поваренной соли (0.19), бульон мясной (0.17), молоко (0.15) и сыворотка творожная (0.13).

Полученные данные калориметрических экспериментальных исследований подтвердили высокие гидрофильные свойства ПКС. Наибольшее содержание связанной воды в общей массе поглощенной жидкости было установлено в нейтральной среде, при этом в кислых и щелочных средах доля гидратной воды уменьшалась практически в 2-3 раза (табл. 4). Гидратная вода прочно связана с функциональными группами полимера водородными связями и имеет более низкую температуру замерзания, чем свободная вода, более высокую вязкость и низкую растворимость в ней солей. В отрасли питания гидратная вода оказывает положительное влияние на пищевые объекты разной природы. Связанная вода не выделяется из пищевых продуктов при сильном механическом воздействии, чем больше гидратной воды в пищевых системах, тем сложнее при механических воздействиях выделить ее в свободное состояние. При этом, в процессах технологической обработки сырья, связанная вода ведет себя как свободная, ее можно удалить при термической обработке и превратить в лед при замораживании, что очень удобно в условиях производственного процесса [6-7]. Другими словами, включение ПКС в пищевые

объекты повышает их способность удерживать как свободную, так и связанную воду, что положительно влияет на срок их годности, способствует повышению устойчивости пищевых волокон (мышечных тканей) к воздействию температурных изменений при замораживании и оттаивании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенных исследований были выявлены и подтверждены кинетическими и термодинамическими характеристиками высокие гидрофильные свойства исследуемого объекта. Полученные результаты позволяют рекомендовать ПКС для использования в технологических процессах, связанных с регулированием структурно-механических и реологических свойств (упругости, вязкости, плотности, консистенции) пищевых систем. Выяснено, что процесс набухания в технологических средах протекает с большой скоростью и достигает предельной степени набухания во всех исследованных средах, кроме того, присутствие в растворе минеральных веществ, белков и других растворенных компонентов не снижает гидрофильных свойств ПКС. Установлено оптимальное время контакта образца с растворителем, что позволяет прогнозировать время набухания пищевой пасты при разработке технологии производства конкретного ассортимента продуктов. Полученные результаты позволяют рекомендовать применение ПКС в системах, состав которых близок к изученным. Учитывая, что в результате необходимых производственных процессов на предприятиях питания происходит существенное снижение влажности перерабатываемого животного-растительного сырья, неизбежно приводящее к технологическим и экономическим потерям, применение ПКС в качестве водоудерживающего компонента при соблюдении основной задачи повышения пищевой ценности может быть весьма перспективным. Данные могут быть применены при проектировании рецептур и разработке технологий пищевых продуктов с увеличенным сроком годности, для персонализированного питания и специального назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева Т.В., Агаева Н.Ю., Калгина Ю.О. // Теория и практика персонализированного питания. 2019. № 2. С. 75-85.
2. Криштафович В.И., Маракова А.В., Суржанская И.Ю. // Мясная индустрия. 2011. № 5. С. 48-51
3. Рудаков О.Б., Рудакова Л.В. // Переработка молока. 2019. № 12. С. 32-35.
4. Шульгин Р.Ю., Приходько Ю.В., Шульгин Ю.П. // Техника и технология пищевых производств. 2014. № 4. С.81-86.
5. Бондарева Л.П., Мастюкова Т.В. // Лабораторный практикум по физической и коллоидной химии. 2018. С.114.
6. Нечаев А.П. // Учебник. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/69876>. - Загл. с экрана.
7. Гельфман М.И. // Учебник. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91307>. - Загл. с экрана.
8. Сборник рецептур для предприятий общественного питания // Учебник. [Электронный ресурс]: Режим доступа: [https:// http://padabum.com/d.php?id=42166](https://http://padabum.com/d.php?id=42166). - Загл. с экрана.
9. СанПиН 2.3.2.1293-03 «Гигиенические требования по применению пищевых добавок», 2003.
10. СанПиН 42-123-5777-91 «Санитарные правила для предприятий общественного питания», 1991.
11. ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции», 2011.
12. Рудаков О.Б., Рудакова Л.В. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2020. № 1. С. 8-21.
13. Намсараева З.М., Хамнаева Н.И., Олмоева В.Д. // Вестник ВСГУТУ. 2017. № 1. С. 53-61.
14. Никонович Ю.Н., Тарасенко Н.А. // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2014. № 5. С. 27-32.
15. Алексеева Т.В., Калгина Ю.О., Родионов А.А. // Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология. 2016. № 4. С. 133-138.
16. Хвыля С.Е., Габараев А.А., Пчелкина В.А. // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 2. С. 71-75.
17. Елисеева Л.И., Мартынов А.А., Гоголева П.А. // Sciences of Europe. 2019. № 37. С. 3-11
18. Эшбоев Ф.Б.У., Юсупова Э.Г., Пякина Г.А. и др. // Universum: химия и биология. 2019. Т. 65. № 11-1. С. 62-65.
19. Алексеева Т.В., Калгина Ю.О., Фурсова А.П. // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2020. № 1. С. 31-37.
20. Родионова Н.С., Алексеева Т.В., Соколова О.А. // Актуальная биотехнология. 2014. № 2. С. 7-9.

Алексеева Т. В., Полянский К. К., Климова Е. А., Калгина Ю. О.

Воронежский государственный университет
инженерных технологий

Алексеева Т. В., д.т.н., профессор кафедры
сервиса и ресторанного бизнеса
E-mail: zyablova@mail.ru

Климова Е. А., к.т.н., доцент кафедры сервиса
и ресторанного бизнеса
e-mail: katenka.83@inbox.ru

Калгина Ю. О., аспирант кафедры сервиса и
ресторанного бизнеса
e-mail: yuliya_kalgina@bk.ru

Воронежский филиал Российского экономиче-
ского университета имени Г.В. Плеханова

Полянский К. К., д.т.н., профессор кафедры
товароведения и товарной экспертизы
E-mail: ktte-reu@rea.ru

Voronezh State University of Engineering
Technologies

Alekseeva T. V., PhD., DSci., head of Department
of service and restaurant business
e-mail: zyablova@mail.ru

Klimova E. A., PhD., head of Department of
service and restaurant business
e-mail: katenka.83@inbox.ru

Kalgina Y. O., post-graduate student of the
department of service and restaurant business
e-mail: yuliya_kalgina@bk.ru

Voronezh Branch of the Russian Economic
University named after G.V. Plekhanova

Polyansky K. K., PhD., DSci., head of Department
of commodity science and commodity expertise
e-mail: ktte-reu@rea.ru

INFLUENCE OF THE ACIDITY OF THE MEDIUM ON THE CHARACTER EQUILIBRIUM SWELLING OF BIOPOLYMERS FOOD COMPOSITION IN WATER AND PROCESS ENVIRONMENTS

T. V. Alekseeva¹, K. K. Polyansky², E. A. Klimova¹, Yu.O. Kalgina¹

¹ Voronezh State University engineering technology, Voronezh

² Russian University of Economics G.V. Plekhanova, Voronezh

Abstract. The article presents the results of studies of the water-binding ability of a heterogeneous food system with the aim of its application in catering enterprises for the enrichment of food products with nutritional nutrients. The presence of water and the hydrophilic properties of various types of raw materials in the food industry, the redistribution of moisture and its binding in the process of processing has a significant impact on the quality indicators of the finished product. The moisture content of culinary products significantly affects their weight, yield and cost. Therefore, much attention is paid to the study of the processes of swelling of food substances. In this work, we studied the food heterogeneous system of cake from wheat germ, white bean seeds, and animal albumin. It was found that during the hydration of the food composition, some substances dissolve (49.8 %), while the rest (50.2 %) swell only slightly. The integral specific heat of swelling of the swelling fraction of the object of research was measured experimentally and the mass of hydrated water was determined. The pre-determined degree of swelling, the constant rate of swelling, and the rate of hydration of the food object in various solvents were calculated. The article compares similar indicators for various media: water, aqueous solutions with a pH range of 4.0-9.0 and process fluids. Traditional media used in the food industry were used as process solvents. The revealed regularities were discussed, and it was found that the values of the maximum degree of swelling and the content of hydrate water in the total mass of the absorbed liquid were maximal in solutions with neutral, slightly alkaline and alkaline media, which is consistent with the data on the acidity of traditional technological media used in the food industry. According to the obtained data, the maximum degree of swelling of the object in technological media is sufficiently large and varied within the range of 1.33-3.28 g/g, the highest values were observed in solutions of sucrose and sodium chloride, and the minimum value - in a solution of cottage cheese serum. The time to reach the maximum degree of swelling of the object of research in different solvents was 5-20 minutes. The results obtained can be used in dietary research and in the development of regulatory and technical documentation for the production of food products for personalized nutrition and special purposes.

Key words: swelling, animal and vegetable raw materials, wheat germ cake, bean seeds, animal albumin, water - binding properties, functional and technological properties of food systems, technological media, calorimetry, gelpenetrating chromatography

REFERENCES

1. Alekseyeva T.V., Agayeva N.YU., Kalgina YU.O. Teoriya i praktika personaliziro-vannogo pitaniya, 2019, No 2, pp. 75-85.
2. Krishtafovich V.I., Marakova A.V., Surzhanskaya I.YU. Myasnaya industriya, 2011, No. 5, pp. 48-51.
3. Rudakov O.B., Rudakova L.V. Pererabotka moloka, 2019, No. 11, pp. 32-35. DOI: 10.33465.2222-5455-2019-12-32-35
4. Shul'gin R.YU., Prikhod'ko YU.V., Shul'gin YU.P. Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv, 2014, No. 4, pp. 81-86.
5. Bondareva L.P., Mastuykova T.V. Laboratornyy praktikum po fizicheskoy i kolloidnoy khimii, 2018, pp. 114.
6. Nechayev A.P. Uchebnik. [Elektronnyy resurs]: Rezhim dostupa: <https://e.lanbook.com/book/69876>. - Zagl. s ekrana.
7. Gel'fman M.I. Uchebnik. [Elektronnyy resurs]: Rezhim dostupa: <https://e.lanbook.com/book/91307>. - Zagl. s ekrana.
8. Sbornik retseptur dlya predpriyatiy obshchestvennogo pitaniya // Uchebnik. [Elektronnyy resurs]: Rezhim dostupa: [https:// http:// padabum.com/d.php?id=42166](https://padabum.com/d.php?id=42166). - Zagl. s ekrana.
9. SanPiN 2.3.2.1293-03 «Gigiyenicheskiye trebovaniya po primeneniyu pishchevykh dobavok», 2003.
10. SanPiN 42-123-5777-91 «Sanitarnyye pravila dlya predpriyatiy obshchestvennogo pitaniya», 1991.
11. TR TS 021/2011 Tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti pishchevoy produktsii», 2011.
12. Rudakov O.B., Rudakova L.V. Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy, 2020, No. 1, pp. 8-21. DOI: <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2020.20/2375>
13. Namsarayeva Z.M., Khamnayeva N.I., Olmoyeva V.D. Vestnik VSGUTU, 2017, No. 1, pp. 53-61.
14. Nikonovich YU.N., Tarasenko N.A. Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya, 2014, No. 5, pp. 27-32.
15. Alekseyeva T.V., Kalgina YU.O., Rodionov A.A. Izvestiya VUZov. Prikladnaya khi-miya i biotekhnologiya, 2016, No. 4, pp. 133-138. DOI: 10.21285/2227-2925-2016-6-4-133-138
16. Khvylya S.Ye., Gabarayev A.A., Pchelkina V.A. Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv, 2013, No. 2, pp. 71-75.
17. Yeliseyeva L.I., Martynov A.A., Gogoleva P.A. Sciences of Europe. 2019, No. 37, pp. 3-11
18. Eshboyev F.B.U., Yusupova E.G., Pyakina G.A. Universum: khimiya i biologiya, 2019, Vol. 65, No. 11-1, pp. 62-65.
19. Alekseyeva T.V., Kalgina YU.O., Fursova A.P. Tekhnologiya i tovarovedeniye inno-vatsionnykh pishchevykh produktov, 2020, No. 1, pp. 31-37.
20. Rodionova N.S., Alekseyeva T.V., Sokolova O.A. Aktual'naya biotekhnologiya, 2014, No. 2, pp. 7-9.