

УДК 664.31

## **Влияние структурообразования на связывание воды и механические свойства мясных систем**

**С. В. МУРАШЕВ**

[s.murashev@mail.ru](mailto:s.murashev@mail.ru)

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО  
Институт холода и биотехнологий  
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

*Рассмотрен механизм формирования гелей в мясных системах и факторы, влияющие на развитие этого процесса. Показано, что структурирование мясных систем сопровождается переходом воды из связанного состояния в свободное. Вследствие этого невозможен одновременный рост влагосодержания и увеличение структурно-механических характеристик (модуль упругости и др.) в мясных продуктах.*

*Ключевые слова:* гели, мясопродукты, модуль упругости, свободная и связанная вода.

---

## **The influence of structuring on the binding of water and the mechanical properties of meat systems**

**S. V. MURASHEV**

*National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics  
Institute of Refrigeration and Biotechnologies  
191002, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

*The mechanism of formation of gels in meat systems and the factors influencing the development of this process is considered. It is shown that the structuring of systems of meat accompanied by a transition of water from a bound state in free. Thereof simultaneous growth of moisture content and increase in structural and mechanical characteristics (the module of elasticity, etc.) in meat products is impossible.*

*Keywords:* gels, meat products, elasticity module, free and connected water.

---

Колбасный фарш для вареных колбас, не подвергнутый тепловой обработке, имеет коагуляционную или точнее коагуляционно-тиксотропную структуру. После нагревания она превращается в конденсационно-кристаллизационную структуру. В соответствии с экспериментальными данными прочность последней обусловлена прочностью структуры до тепловой обработки и способностью денатурированных белков удерживать воду [1], чем больше содержание слабосвязанной влаги, тем рыхлее готовый продукт. Прочность структуры зависит от качества измельчения мышечной, соединительной и жировой тканей, а также от влагосодержания продукта. При увеличении влагосодержания готового продукта максимальное напряжение среза уменьшается [1]. Следовательно, структурно-механические характеристики продукта зависят от свойств структуры до тепловой обработки и тесно связаны как с общим содержанием воды в продукте, так и ее состоянием (энергия связи). Выводы, сделанные из экспериментальных

исследований в работе [1], нуждаются в теоретическом рассмотрении. Возможность их обоснования с позиций физико-химической механики и составляет цель данной работы.

Механические свойства дисперсных тел, прежде всего, зависят от взаимодействия между частицами дисперсной фазы. Главным образом имеют значение силы обеспечивающие взаимодействие между частицами дисперсной фазы, определяющие прочность контактов между ними. У тел с жидкой дисперсионной средой имеющих коагуляционно-тиксотропную структуру отсутствуют сильные взаимодействия между частицами дисперсной фазы. Поэтому существующие слабые Ван-дер-Ваальсовы силы притяжения и водородные связи создают подвижную структуру дисперсной системы сырого фарша.

При образовании прочных связей между частицами дисперсной фазы система приобретает прочность и жесткость. Поэтому трансформация структур одного типа в другой сопровождается изменением характера взаимодействия между частицами дисперсной фазы. Конденсационно-кристаллизационные структуры, формирующиеся из коагуляционных структур, возникают вследствие образования прочных контактов между частицами их дисперсной фазы в результате уменьшения толщины и разрыва слоев разделяющих эти частицы. Характер взаимодействия между частицами определяет классификацию структур на коагуляционно-тиксотропные и конденсационно-кристаллизационные.

Фарш представляет собой свободнодисперсную систему с подвижной дисперсной фазой. Поскольку между частицами дисперсной фазы фарша отсутствуют прочные связи, то его механические свойства зависят, преимущественно, от свойств прослоек между дисперсными частицами, так как именно через прослойки дисперсионной среды осуществляется взаимодействие частиц дисперсной фазы между собой. Прослойки среды в местах наибольшего приближения частиц дисперсной фазы обеспечивают подвижность структуры.

Вследствие того, что прослойки среды разделяют частицы, то силы притяжения между ними зависят от расстояния и представляют собой слабые ван-дер-ваальсовы силы. В свою очередь силам притяжения противостоят силы отталкивания между частицами дисперсной фазы, имеющие разную природу. Тесному контакту между противоположно заряженными группами, принадлежащими разным молекулам, препятствуют упругие сольватные (гидратные) слои окружающие заряды. Кроме того, не смотря на наличие как положительно, так и отрицательно заряженных групп, молекулы белков имеют преобладающий отрицательный заряд при рН фарша ( $\approx 6,3$ ), который вызывает взаимное отталкивание молекул белков.

Следовательно, подвижность коагуляционных структур возникает вследствие ослабления сил сцепления между частицами дисперсной фазы и повышения агрегативной устойчивости.

Конденсационно-кристаллизационные структуры возникают из коагуляционных структур в результате контакта между частицами

дисперсной фазы. Различие в механических свойствах конденсационных и кристаллизационных структур заключается в том, что первые более эластичны, чем вторые. Причина этого различия состоит в природе связей возникающих между частицами при образовании сплошной пространственной структуры. В конденсационных структурах между частицами возникают некристаллические продукты химических реакций. Это могут быть продукты реакции поликонденсации, вследствие чего образующиеся структуры более эластичны, чем кристаллизационные.

В белках агрегация молекул может происходить вследствие возникновения разных по своей природе связей. Во-первых, это могут быть взаимодействия различных полярных групп и возникновение водородных связей. Однако водородные связи слабые и существенный агрегационный эффект стабильный при тепловой обработке невозможен. Во-вторых, возможно возникновение ковалентных связей. Наконец наиболее характерно для всех белковых молекул взаимодействие через ионогенные группы:–COOH и  $-\text{NH}_2$ , наличие заряда на которых зависит от pH. В ионизированном состоянии эти противоположно заряженные группы образуют прочные межмолекулярные связи.

Между ионизированными карбоксильными и аминогруппами возникают силы электростатического притяжения двух противоположных зарядов, следовательно, образующаяся связь не ковалентная, она имеет ионный характер. Образование ионной связи происходит в кристаллизационных структурах, не отличающихся эластичностью. Однако, не смотря на электростатический характер межмолекулярных связей, возникающая из белков пространственная структура имеет механические свойства конденсационных структур, обладающих большей эластичностью по сравнению со структурами кристаллизационными. Эластичность появляется вследствие того, что ковалентные  $\sigma$ -связи в белковых молекулах позволяют атомам легко изменять свое пространственное положение. Происходят конформационные изменения в деформированных под действием внешней силы белковых цепях.

Межмолекулярные агрегационные взаимодействия белков с участием заряженных групп изменяют соотношение прочно и слабо связанной воды в мясной системе. Наиболее прочно, химически связанная вода, возникает при сольватации (гидратации), т.е. связывании молекул воды ионами или ионизированными группами в составе белков ( $-\text{COO}^-$  или  $-\text{NH}_3^+$ ). Возникающая связь настолько прочная, что молекулы воды входят в состав структуры и удалить их можно только при сильном нагреве. В не заряженном состоянии  $-\text{COOH}$  или  $-\text{NH}_2$  группы связывают воду только водородными связями, что существенно уступает прочности связи воды этими группами в заряженном состоянии.

Как уже было сказано гидратные оболочки окружающие заряды и другие силы препятствуют межмолекулярному притяжению и взаимодействию. Нагревание усиливает подвижность атомов и молекул, вследствие чего происходит ослабление всех возможных связей. Однако

прочные связи, к числу которых принадлежат электростатические притяжения между противоположными зарядами, ослабевают в меньшей степени, чем слабые, которые вообще могут полностью разрушиться. Поэтому, в силу того что, энергия взаимодействия противоположных зарядов между собой превышает энергию взаимодействия любого из них с диполями воды, при повышении температуры во время тепловой обработки фарша происходит дегидратация заряженных групп и возникает электростатическое притяжение между ними. Возникают солевые мостики между соседними молекулами, с помощью которых формируется связнодисперсная система. Этому процессу способствует тепловая денатурация белков. Тепловая денатурация вызывает разрыхление белков и открытие дополнительных функциональных групп и смещает изоэлектрическую точку мышечных белков в нейтральную область. Таким образом, тепловая обработка стимулирует трансформацию структуры сырого фарша.

Дегидратация и возникновение электростатического притяжения между противоположно заряженными группами в составе белков приводит к тому, что химически связанная вода превращается в свободную воду, которая легко удаляется при тепловой обработке мясных изделий.

Освобождение химически связанной воды усиливается при наиболее благоприятных для гелеобразования условиях. Наиболее глубоко гелеобразование в водных белковых системах протекает вблизи изоэлектрической точки белков, поскольку в этом состоянии белковая молекула содержит равные количества положительно и отрицательно заряженных групп. Они взаимодействуют с противоположно заряженными группами других молекул с образованием максимального количества межмолекулярных связей. В тоже время в изоэлектрической точке белки в минимальной степени связывают воду. Вследствие чего максимальное гелеобразование сопровождается наибольшей потерей связанной воды.

Отклонение от изоэлектрической точки сопровождается появлением преобладающего отрицательного или положительного заряда на молекуле белка, в зависимости от того в щелочную или кислую сторону смещается рН водной среды. Появление преобладающего заряда одного знака на белковых молекулах вызывает их отталкивание и препятствует агрегации. В тоже время этот заряд притягивает диполи воды, что способствует связыванию влаги.

Добавление веществ вызывающих дегидратацию биополимеров усиливает процесс гелеобразования. Макромолекулы, лишенные воды более активно взаимодействуют между собой. Агрегацию макромолекул и процесс гелеобразования стимулируют ионы, интенсивно связывающие воду и превосходящие по этой способности молекулы биополимеров. Стимулирование гелеобразования веществами вызывающими дегидратацию служит еще одним подтверждением того факта, что структурообразование в белковых системах сопровождается понижением энергии взаимодействия воды с полимерами участвующими в формировании пространственной структуры.

Такое характерное свойство твердообразных гелиевых структур как синерезис также свидетельствует о том, что по мере развития процесса структурообразования геля освобождается вода. Для белковых гелей максимальная скорость синерезиса наблюдается в изоэлектрической точке белков.

Менее прочно связанной водой является физико-химически связанная вода, возникающая благодаря водородным связям и межмолекулярным силам Ван-дер-Ваальса. Физико-химически связанная вода содержится в микропорах с размером пор до 2 нм. Наконец наименее прочно удерживается физико-механически связанная вода. Она обусловлена капиллярными силами и находится в переходнопористых материалах с размером пор от 2 до 200 нм и в более крупных порах. С увеличением размера пор происходит уменьшение энергии связи воды.

В ячейках пространственной структуры геля находится физико-химически и физико-механически связанная вода. С увеличением размера ячеек пространственной структуры возрастает количество наименее прочной, физико-механически связанной воды. Размер ячеек зависит от соотношения воды и гелеобразователя в фарше. При их стабильном соотношении размер ячеек также изменятся мало.

Таким образом, структурообразование в белковых системах сопровождается возникновением двух противоположных эффектов: прочность и жесткость связнодисперсной системы возрастает, а количество наиболее прочно химически связанной со структурой воды уменьшается. Последнее обстоятельство вызывает увеличение потерь мясных изделий после тепловой обработки.

## **Выводы**

С точки зрения физико-химической механики рассмотрены процессы, происходящие при превращении мясных белковых свободнодисперсных систем в связнодисперсные системы. Показано, что уменьшение количества наиболее прочно химически связанной воды сопровождается увеличением прочности твердообразной структуры.

## **Список литературы**

1. *Косой В.Д., Дорохов В.П.* Совершенствование производства колбас. — М.: ДеЛи принт, 2006. — 766 с.