

CHARACTERISTICS OF STRUCTURE FORMATION IN COOKED SAUSAGE PRODUCTS USING SONOCHEMICAL TECHNOLOGIES

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ВАРЕННЫХ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОНОХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Yevtushenko A.M., Krasulya O.N., Krasheninnikova I.G.

The Razumovsky's Moscow State University of Technologies and Management, Moscow, Russia

Ключевые слова: кавитация, рассол, вареная колбаса, формирование структуры, вязкость, энергия активации вязкого течения, константа восстановления структуры, теплота и энтропия активации вязкого течения, релаксация напряжений.

Keywords: cavitation, brine, cooked sausage, formation of structure, viscosity, energy of viscous flow activation, constant for restoring of the structure, heat and entropy of viscous flow activation, stress relaxation.

Аннотация

В работе исследованы особенности формирования структуры колбасных изделий в процессе варки. Показано, что вязкость колбасного фарша изменяется сложным образом и имеет три характерные области. Найдены характеристические параметры, определяющие формирование структуры колбасных изделий для каждой области. Установлено, что использование кавитационно обработанного рассола придает конечному продукту нежную консистенцию, эластичность и ярко выраженный вкус, что делает его более предпочтительным для потребителя.

Abstract

This paper studies the features of formation of sausage product structure in the process of cooking. It is shown that the viscosity of sausage meat varies in a complex manner and has three characteristic areas. The characteristic parameters that determine the formation of the structure of sausages for each area were found. It is established that the use of the cavitation brine gives the finished product a gentle consistence, elasticity and distinct taste that makes it more preferable for the consumer.

Введение

Общая концепция превращений химических компонентов пищевых систем в технологическом потоке базируется на знании их состава, структуры, свойств, а также на теории о множественности и неоднозначности химических превращений, протекающих под влиянием различных факторов (физических, химических, технологических и т.д.). Исследования влияния особенностей строения компонентов, их взаимодействие между собой, характер возникающих связей, механизмы образования устойчивых соединений, комплексов и умение управлять этими процессами — одно из наиболее важных направлений современной пищевой технологии.

Доказано, что использование сонохимической обработки рассола при производстве колбасных изделий позволяет улучшить их качество [1]. Однако механизм влияния жидких пищевых сред (рассола), обработанных в кавитационном реакторе, на формирование структуры готовых изделий при варке колбасных фаршей ранее не изучался.

В работе исследовали механизм влияния рассола, подвергнутого кавитационной обработке, на структурно-механические свойства (вязкость) колбасных изделий в процессе варки.

Материалы и методы

Для проведения исследования были изготовлены опытные образцы колбасных фаршей, рецептура которых приведена в таблице 1.

Introduction

The general concept of transformations in chemical components of food systems in the technological flow is based on the knowledge of their composition, structure and properties, as well as the theory of the multiple and complex chemical transformations occurring under the influence of different factors (physical, chemical, technological and others). Studies on the peculiarities of the component structure, their interactions with each other, the character of emerging bonds, the mechanisms of development of stable compounds and complexes, the ability to manage these processes are among the most important directions of the modern food technologies.

The use of sonochemical processing of brine in the production of sausage products is proved to offer the possibility to improve their quality [1]. However, the mechanism of the effect of liquid food media (brine) treated in a cavitation reactor on the formation of structure of finished products during the cooking of sausage meat has not been previously studied.

The authors studied the mechanism of the effect of brine subjected to the cavitation treatment on structural and mechanical properties (viscosity) of the sausage products during cooking process.

Materials and methods

To conduct the study, the test samples of sausage meat were manufactured, which formulation is given in Table 1.

Table 1. Formulation of sausage meat samples

Табл. 1. Рецептuru образцов колбасных фаршей

Raw materials and ingredients Сырье и ингредиенты	Control sample, % Контрольный, %	Test sample, % Опытный, %
1st grade beef Говядина 1 сорта	20,0	20,0
Semifat pork meat Свинина полужирная	60,0	60,0
Mechanically deboned poultry meat Мясо птицы механической обвалки	15,0	15,0
Skim milk powder Молоко сухое обезжиренное	3,0	3,0
Eggs Яйцо	2,0	2,0
Technological water Вода технологическая	24,0	—
Salt Соль поваренная	2,0	—
Brine Рассол	—	26,0
Complex food additive «Doktorskaya» Комплексная добавка «Докторская»	0,8	0,8

В контрольном образце водопроводную воду добавляли вместе с поваренной солью на первом этапе куттерования (после внесения в куттер говядины 1 сорта).

Комплексную пищевую добавку «Докторская» (производитель — ООО «Коллекция вкусов»), имеющую в своем составе фосфаты, глутамат натрия, эриторбат натрия, натуральный краситель, экстракты специй также вносили на первом этапе куттерования.

В опытном образце использовали рассол, который готовили в соотношении 1:12 (поваренная соль:вода). Рассол обрабатывали в кавитационном реакторе типа «РКУ» с пьезокерамическим преобразователем, производительностью 5 л/мин и вводили на первом этапе куттерования. Алгоритм внесения комплексной пищевой добавки остался прежним.

Из образцов фарша отбирали пробы в кювету вибровискозиметра «SV-100» (фирмы A&D Co. LTD, Япония), диапазон измерения вязкости варьируется от 1 до 100 Па·с. На данном приборе исследовали кинетику процесса изменения температуры и вязкости. Полученные результаты фиксировались на дисплее компьютера в реальном времени и в дальнейшем обрабатывались с помощью программы Excel.

Выбор вибровискозиметра «SV-100» был обусловлен тем, что измерение вязкости на нем, в отличие от ротационных вискозиметров, не приводит к разрушению формирующейся структуры.

Результаты и их обсуждение

Из данных кинетики процесса изменения вязкости и температуры при термической обработке, представленных на рисунке 1, видно, что сдвиговые характеристики колбасного фарша претерпели сложные изменения и образовались три характерные области на реограммах течения (рис. 1). Причем их протяженность для контрольного и опытного образца не совпадает.

Первая область (1а, 2а, рис. 1) связана с увеличением вязкости при практически постоянной температуре. Такое поведение, по-видимому, объясняется восстановлением структуры колбасного фарша после её разрушения при куттеровании и внесении в кюве-

In the control sample, tap water was added together with sodium chloride at the first step of cutting (after adding 1st grade beef to cutter).

Complex food additive «Doktorskaya» (produced by Kolleksiya Vkusov LLC) containing phosphate, monosodium glutamate, sodium erythorbate, natural coloring, and spice extracts in its composition also was added at the first stage of cutting.

Brine prepared with a ratio of 1:12 (salt:water) was used in the test sample. Brine was treated in the cavitation reactor of «RKU» type with a piezoceramic transducer and the capacity was 5 L/min. According to formulation, it was added at the 1st stage of cutting. Algorithm for addition of complex food additive remained unchanged.

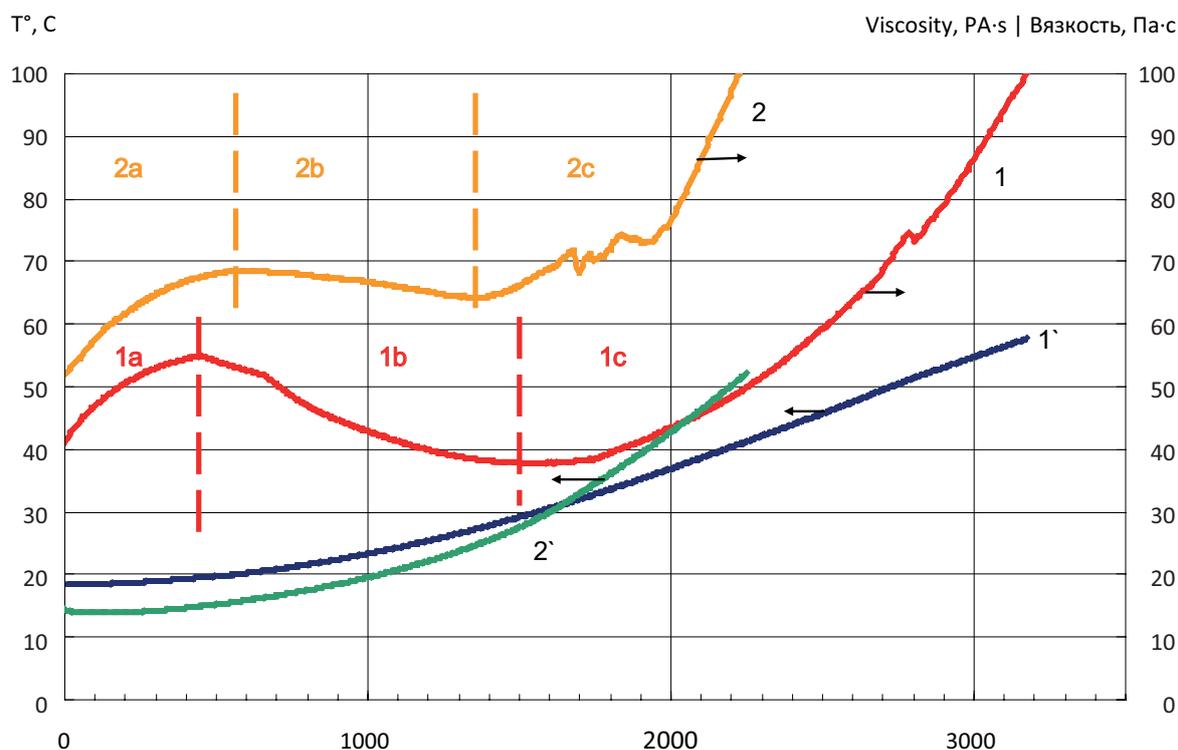
The samples of minced meats were taken into the cuvette of vibro viscosimeter «SV-100» (manufactured by A&D Co. LTD, Japan), whose measurement limits range from 1 to 100 Pa·s. Using this instrument, the kinetics of changes in temperature and viscosity was investigated. The results obtained were registered on a computer display in a real-time mode and subsequently were processed using Excel software.

The vibro viscosimeter «SV-100» was chosen because the viscosity measurement using it does not lead to the destruction of the forming structure as opposed to rotary viscometer.

Results and discussion

The data on the kinetics of the viscosity and temperature changes upon thermal treatment presented in Figure 1 show that the shearing characteristics of the sausage meat underwent complex changes and three characteristic areas were formed (figure 1). Moreover, their sizes for control and test samples do not match.

The first area (1a, 2a, figure 1) is associated with an increase in viscosity at a substantially constant temperature. Such a behavior seems to be explained by the restoring of the structure of sausage meat after its destruction during chopping and transferring into the cuvette of vibro visco-



The processing time for the sausage meat, in seconds | Продолжительность обработки колбасного фарша, сек.

- 1' The temperature change for a control sample | Изменение температуры для контрольного образца
- 1 The change in viscosity for control sample | Изменение вязкости для контрольного образца
- 2 The change in viscosity of a test sample | Изменение вязкости для опытного образца
- 2' The temperature change for a control sample | Изменение температуры для контрольного образца

Figure 1. Kinetics of changes in viscosity and temperature of sausage meat samples during heat treatment
Рис. 1. Кинетика изменения вязкости и температуры в образцах колбасного фарша при термообработке

ту вибровискозиметра. Кинетика изменения вязкости в этом случае может быть описана уравнением вида:

$$\eta = \eta_1 + (\eta_2 - \eta_1) \cdot e^{-k \cdot \tau}, \quad (1)$$

где η_1, η_2 — значения вязкости в начальный момент времени и при достижении максимума в первой области процесса Па·с; k — константа, характеризующая процесс восстановления структуры сек⁻¹; τ — время термообработки, сек.

Методами нелинейного регрессионного анализа [2] были определены константы уравнения (1) для контрольного и опытного образцов колбасного фарша (табл. 2).

Константа (k) процесса восстановления структуры (табл. 2) для колбасного фарша, содержащего кавитационно обработанный рассол, оказывается несколько меньше, чем у контрольного образца. На наш взгляд, это явление может быть связано с увеличением объема и степени структурированности гидратной обо-

simeter. In this case, the kinetics of viscosity changes can be described by the following equation:

$$\eta = \eta_1 + (\eta_2 - \eta_1) \cdot e^{-k \cdot \tau}, \quad (1)$$

where η_1, η_2 — viscosity values at the initial time and when reaching a maximum in the first area of the process Pa·s; k — constant characterizing the process of structure restoring s⁻¹; τ — time, in seconds.

Using nonlinear regression analysis methods [2] the constants of equation (1) for control and experimental samples of sausage meat were determined (table 2).

The constant (k) of the structure restoring process (table 2) for the sausage meat containing a cavitation-treated brine is somewhat less than the constant for control sample. In our opinion, this phenomenon may be due to the increase in the volume and degree of structuring in the hydration shell of protein macromolecules of test sample [3], which complicate the process of the structure

Table 2. Kinetic constants of structure restoring process for sausage meat samples

Табл. 2. Кинетические константы процесса восстановления структуры образцов колбасного фарша

Constants Константы	Control sample Контрольный	Test sample Опытный
$\eta_1, \text{Па}\cdot\text{Ч} / \eta_1, \text{Па}\cdot\text{s}$	41,34	52,01
$\eta_2, \text{Па}\cdot\text{Ч} / \eta_2, \text{Па}\cdot\text{s}$	57,21	69,98
$k, \text{с}^{-1} / k, \text{s}^{-1}$	0,00440	0,00403
r^2	0,9998	0,9999

лочки белковых макромолекул у опытного образца [3], которые затрудняют процесс восстановления структуры. Кроме этого, температура восстановления структуры колбасного фарша опытного образца ниже, чем у контрольного (см. рис. 1), что также снижает скорость и увеличивает время структурирования пищевой системы.

Вторая область (рис. 1, 1b, 2b), связанная с уменьшением показателя вязкости, обусловлена разрушением структуры при термическом воздействии. Изменение вязкости в этом случае определяется изменением свободной энергии активации $-\Delta G_B$ (кДж/кмоль) вязкого течения, которую можно определить из уравнения Френкеля-Эйринга (2) [4].

$$\eta = A_0 \cdot e^{\frac{-\Delta G_B}{R \cdot T}}, \quad (2)$$

где A_0 — постоянный коэффициент, Па·с, $R = 8,3144$ Дж/(моль·°К) — универсальная газовая постоянная; T — температура, °К;

Величина ΔG_B , в свою очередь, зависит от теплоты (ΔH_B) и энтропии (ΔS_B) активации вязкого течения [4]:

$$\eta = A_0 \cdot e^{\frac{-\Delta H_B}{R \cdot T}} \cdot e^{\frac{-\Delta S_B}{R}} = A' \cdot e^{\frac{-\Delta H_B}{R \cdot T}}, \quad (3)$$

где:

$$A' = A_0 \cdot e^{\frac{-\Delta S_B}{R}}, \quad (4)$$

Следовательно, величина, рассчитанная по тангенсу угла наклона логарифма вязкости от обратной температуры $\ln \eta \sim f(1/T)$, является теплотой активации течения. Для нахождения энтропии и свободной энергии активации вязкого течения, прежде всего следует определить величину постоянного коэффициента A_0 , что затруднительно.

В диапазоне температур от 20 до 30 °С для контрольного и от 15 до 25 °С для опытного образцов (рис. 1, область 1b, 2b) зависимость $\ln \eta \sim f(1/T)$ не линейна, что затрудняет экстраполяцию кривых к значению $T^{-1} = 0$, необходимую для расчета A_0 [4].

Определение энергий активации в зависимости от температуры позволяет судить о происходящих структурных изменениях в колбасном фарше, выработанном по традиционной технологии и с применением кавитационно обработанного рассола.

В последнее время этому направлению исследований уделяется значительное внимание [3–6].

Расчет значений показателей свободной энергии, теплоты и энтропии активации течения, приведен ниже.

Для вязких систем колбасных фаршей в области температур (1b, 2b) зависимость $\ln \eta \sim f(T^{-1})$ не линейна (рис. 2).

Изменение вязкости системы в зависимости от температуры может быть описано эмпирическим уравнением Аллена-Фокса [4]:

$$\ln \eta = B + \frac{K}{T^m}, \quad (5)$$

где B , K и m — постоянные коэффициенты, значения которых можно определить, используя методы изложенные в [2, 7], причем оба метода дают аналогичные результаты.

restoring. In addition, the temperature of the structure restoring for sausage meat test sample is lower than for control sample (figure 1), and that also reduces the speed and increases the structuring time of the food system.

The second area (1b, 2b), associated with a decrease in viscosity index is due to the destruction of the structure during thermal exposure. In this case, changes in viscosity are determined by the change in free energy of viscous flow activation $-\Delta G_B$ (kJ/kmole), which can be determined from the equation of Frenkel-Eyring (2) [4]:

$$\eta = A_0 \cdot e^{\frac{-\Delta G_B}{R \cdot T}}, \quad (2)$$

where A_0 = constant coefficient, Pa·s; $R = 8.3144$ J/(mole·°K) — the universal gas constant; T — temperature, °K).

The value ΔG_B , in turn, depends on the heat (ΔH_B) and entropy (ΔS_B) of viscous flow activation [4]:

$$\eta = A_0 \cdot e^{\frac{-\Delta H_B}{R \cdot T}} \cdot e^{\frac{-\Delta S_B}{R}} = A' \cdot e^{\frac{-\Delta H_B}{R \cdot T}}, \quad (3)$$

where:

$$A' = A_0 \cdot e^{\frac{-\Delta S_B}{R}}, \quad (4)$$

Therefore, the value calculated from the tangent of slope angle of the viscosity logarithm from the inverse temperature $\ln \eta \sim f(1/T)$ is the heat of viscous flow activation. To find the entropy and free energy of viscous flow activation, first we must determine the value of A_0 , which is difficult.

In the temperature range 20 to 30 °C for control sample and 15 to 25 °C for test sample (Figure 1, area 1b, 2b) the dependence of $\ln \eta \sim f(1/T)$ is not linear, which makes it difficult to extrapolate the curves to the value of $T^{-1} = 0$ that is necessary for calculating A_0 [4].

Determination of activation energies depending on temperature gives an indication of ongoing structural changes in sausage meat produced following the traditional technology and using the cavitation-treated brine.

In recent years, this line of research has received considerable attention [3–6].

The calculation of the parameters of the free energy, heat and entropy of viscous flow activation is shown below.

For viscous sausage meat systems in temperature area (1b, 2b) dependence of $\ln \eta \sim f(T^{-1})$ is nonlinear (fig. 2).

Changing the viscosity of the system depending on temperature can be described by the empirical Allen-Fox equation [4]:

$$\ln \eta = B + \frac{K}{T^m}, \quad (5)$$

where B , K and m — constant coefficients, which values can be determined using the methods described in [2, 7] and both methods give similar results.

The results of calculations of constant values for Allen-Fox equation are presented in Table. 3. Substituting the calculated values B , m and K in the equation (5) allows to calculate the viscosity indices of the food system at temperatures in the area (1b, 2b) with a high degree of approximation (r^2).

The above algorithm allows to calculate the values of the viscosity as a function of temperature and to extrapo-

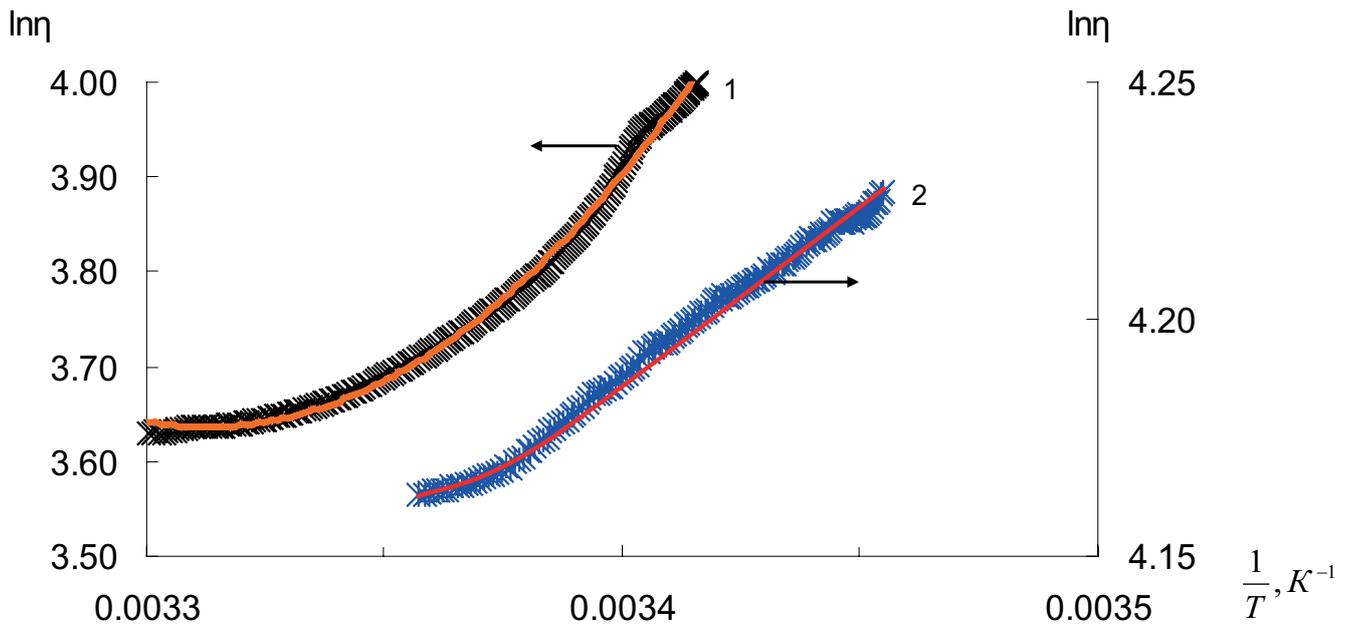


Figure 2. The viscosity changes depending on the temperature of the sausage meat samples during thermal treatment: 1 — control sample; 2 — test sample

Рис. 2 — Зависимость изменения вязкости от температуры в образцах колбасного фарша при термообработке: 1 — контрольный; 2 — опытный

Результаты расчетов значений констант уравнения Аллена-Фокса представлены в **таблице 3**. Подстановка рассчитанных значений B , m и K в уравнение (5) позволяет вычислить показатели вязкости пищевой системы при температурах в области (1b, 2b) с высокой степенью аппроксимации (r^2).

Изложенный выше алгоритм позволяет рассчитать значения показателей вязкости в зависимости от температуры и экстраполировать полученные экспериментальные зависимости вида $\ln \eta \sim f(T^{-1})$. При этом, очевидно, что $\ln \eta_{T \rightarrow \infty} = B$. Следовательно, коэффициент B равен логарифму предэкспоненциального множителя $\ln A_0$:

$$B = \ln \eta_{T \rightarrow \infty} = \ln A_0, \quad (6)$$

Зная значения показателя A_0 , можно рассчитать ΔG_B , ΔH_B и ΔS_B .

Теплота активации вязкого течения рассчитывается по формуле:

$$\frac{d \ln \eta}{d(T^{-1})} = \frac{\Delta H_B}{R}, \quad (7)$$

откуда:

$$R \cdot \frac{d \ln \eta}{d(T^{-1})} = \Delta H_B, \quad (8)$$

Свободная энергия и энтропия активации вязкого течения могут быть вычислены по формулам 9, 10 [4]:

$$R \cdot \frac{\ln \eta - \ln A_0}{T^{-1}} = \Delta G_B, \quad (9)$$

late experimental dependencies of $\ln \eta \sim f(T^{-1})$. Moreover, it is obvious that $\ln \eta_{T \rightarrow \infty} = B$. Consequently, B coefficient is equal to the logarithm of the preexponential factor $\ln A_0$:

$$B = \ln \eta_{T \rightarrow \infty} = \ln A_0, \quad (6)$$

Knowing the parameters A_0 we can calculate ΔG_B , ΔH_B and ΔS_B .

Heat of viscous flow activation is calculated by the following equation:

$$\frac{d \ln \eta}{d(T^{-1})} = \frac{\Delta H_B}{R}, \quad (7)$$

from where:

$$R \cdot \frac{d \ln \eta}{d(T^{-1})} = \Delta H_B, \quad (8)$$

Free energy and entropy of viscous flow activation can be calculated by the following equations 9, 10 [4]:

$$R \cdot \frac{\ln \eta - \ln A_0}{T^{-1}} = \Delta G_B, \quad (9)$$

$$\frac{\Delta H_B - \Delta G_B}{T} = \Delta S_B, \quad (10)$$

According to equations (8), (9), and (10) the values of ΔG_B , ΔH_B , ΔS_B for sausage meat were calculated depending on the temperature (**figure 3, 4**).

For the control sample, the heat of viscous flow activation dramatically decreases with the increase of temperature, and for test sample, it substantially does not change

Table 3. The values of the constants of Allen-Fox equation
Табл. 3. Значения констант уравнения Аллена - Фокса

Samples Образцы	B	K	m	r^2
Control sample Контрольный	3,60	$3,58 \cdot 10^{203}$	82,68	0,992
Test sample Опытный	3,59	$3,42 \cdot 10^9$	3,95	0,999

$$\frac{\Delta H_B - \Delta G_B}{T} = \Delta S_B, \quad (10)$$

По уравнениям (8), (9) и (10) были рассчитаны значения ΔG_B , ΔH_B и ΔS_B колбасного фарша в зависимости от температуры (рис. 3, 4).

Для контрольного образца теплота активации вязкого течения с увеличением температуры резко уменьшается, а для опытного образца практически не меняется в области (1b, 2b). Энтропия активации течения контрольного образца также резко уменьшается в зависимости от температуры, а для опытного образца указанный процесс незначителен.

Очевидно, что причины изменения теплоты и энтропии активации течения связаны с процессами разрушения структуры пищевых систем.

Для колбасного фарша, выработанного по традиционной технологии (контроль, рис. 3, кривая 1) характерно резкое уменьшение теплоты активации течения при нагревании, что обуславливает более высо-

in the area (1b, 2b). Flow activation entropy for the control sample was also dramatically reduced depending on the temperature while this process was negligible for the test sample.

Obviously, the reasons for changing the heat of viscous flow activation and flow activation entropy are associated with the destruction of the structure of food systems.

Sausage meat produced using traditional technology (control sample, figure 3, curve 1) is characterized by a dramatic decrease in the heat of viscous flow activation during heating, which leads to a higher rate of the structure destruction. For sausage meat containing a cavitation-treated brine (test sample, figure 3, curve 2), the heat of viscous flow activation is nearly constant during heating, which leads to a slight degradation of the structure.

Changes in entropy of viscous flow activation depending on the heating temperature are also illustrative (Figure 4). In the control sample, the food system is more

ΔH , кJ/mol | ΔH , кДж/моль

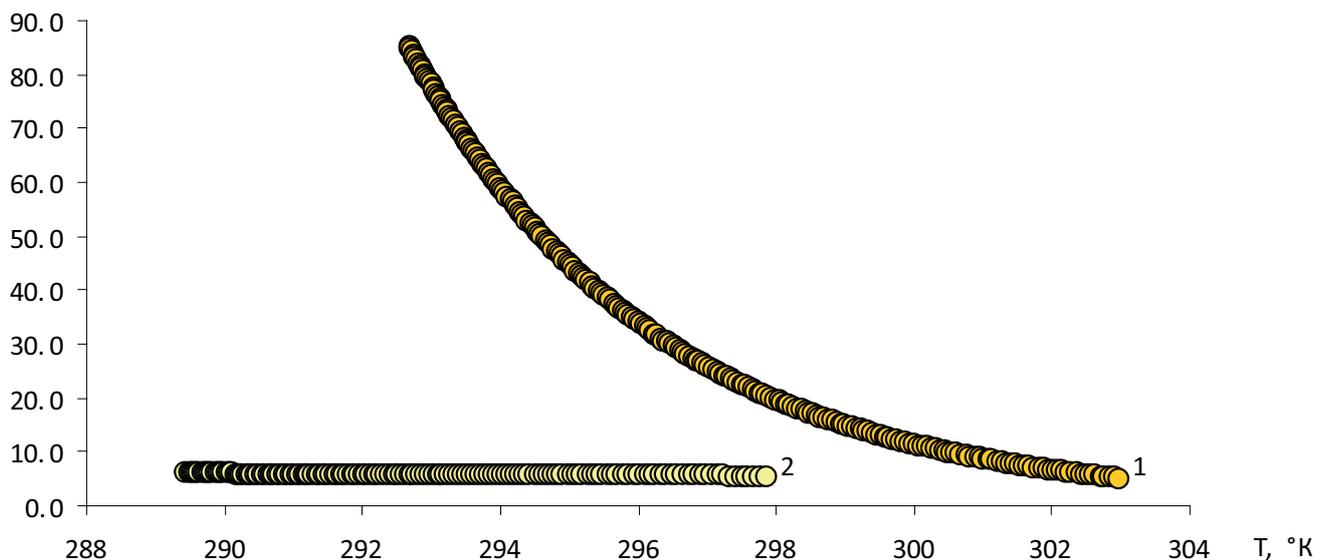


Figure 3. The dependence of the heat of viscous flow activation on the temperature in sausage meat samples: 1 – control sample; 2 – test sample
Рис. 3. Зависимость теплоты активации вязкого течения в образцах колбасного фарша от температуры: 1 – контрольный; 2 – опытный

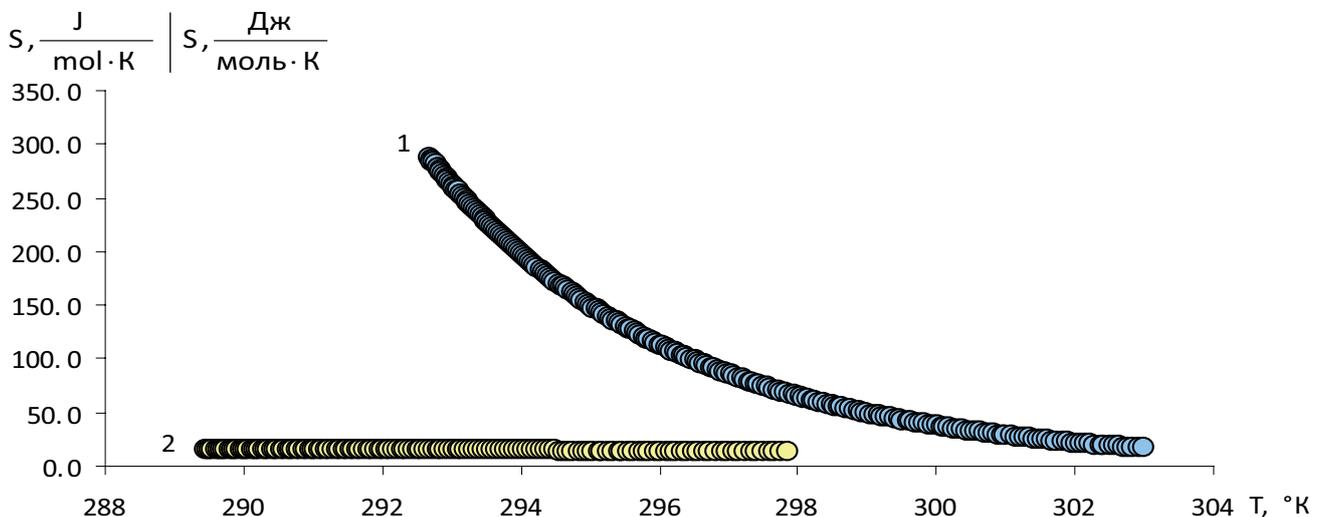


Figure 4 – The dependence of entropy of viscous flow activation on the temperature in sausage meat samples: 1 – control sample; 2 – test sample
Рис. 4. Зависимость энтропии активации вязкого течения от температуры образцов мясного фарша: 1 – контрольный; 2 – опытный

кий темп разрушения структуры. Для колбасного фарша, содержащего кавитационно обработанный рассол (опыт, рис. 3, кривая 2), теплота активации течения при нагревании практически постоянна, что приводит к незначительному разрушению структуры.

Показательны также изменения энтропии активации течения колбасного фарша в зависимости от температуры нагрева (рис. 4). В контрольном образце пищевая система более структурирована, так как изменения энтропии почти в 20 раз выше по сравнению с опытным при 293 °K (20 °C). В дальнейшем, изменения энтропии при повышении температуры резко уменьшаются в контрольном образце по сравнению с опытным.

В третьей области (рис. 1, области 1c, 2c) наблюдается увеличение вязкости при дальнейшем нагревании колбасного фарша, что обусловлено формированием структуры колбасы за счет денатурации мышечных белков. Для контрольного образца процесс структурирования начинается при 32 ÷ 33 °C, а для опытного — при 26 ÷ 27 °C (рис. 1). Из рис. 1 видно, что увеличение вязкости идет не монотонно. Достигая значений 70 ÷ 75 Па·с показатель вязкости изменяется скачкообразно: такое поведение, вероятно, связано с релаксацией сдвиговых напряжений в пищевой системе.

Выводы

Формирование структуры колбасных изделий начинается с поверхности и протекает более интенсивно, чем внутри образца. Такая неравномерность в формировании структуры приводит к возникновению напряжений, снятие которых в пищевой системе происходит за счет их релаксации.

Таким образом, при формировании структуры при варке колбасных изделий можно говорить о двойственном процессе: с одной стороны, идет структурирование, а с другой, имеет место релаксация, т.е. выравнивание напряжений в объеме колбасного изделия [5].

Данные, представленные на реограмме течений (рис. 1), свидетельствуют о том, что релаксационные процессы более активно происходят в колбасных изделиях с кавитационно обработанным рассолом, что приводит к ослаблению формирующейся структуры колбасного изделия. Получающийся продукт имеет нежную, эластичную консистенцию и ярко выраженный вкус, более предпочтительный для потребителя.

Благодарность

Работа выполнена в рамках Гранта на 2015 г., выделенного Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ), для финансирования научно-го проекта №15-58-45028 «Теоретические аспекты сонохимического воздействия на пищевые эмульсии»

structured, as the changes in entropy are almost 20 times higher as compared with test sample at 293 °K (20 °C). Subsequently, changes in entropy with increasing temperature for the control sample dramatically decrease as compared with the test sample.

In the third area (figure 1, area 1c, 2c) there is an increase in viscosity when sausage meat is heated, which is caused by the formation of structure due to muscle protein denaturation. For the control sample, the structuring process starts at 32 ÷ 33 °C, and for the test sample, it starts at 26 ÷ 27 °C (figure 1). Figure 1 shows that the viscosity increase is not monotonic. At the values of 70 ÷ 75 Pa·s, viscosity index changes abruptly: such a behavior is probably due to the relaxation of shear stresses in the food system.

Conclusion

Structure formation in sausage products starts at the surface and proceeds more rapidly than inside the sample. Such an unevenness in the formation of structure leads to stresses, removal of which in the food system is due to their relaxation.

Thus, the formation of structure during the cooking of sausage products is a dual process: on the one hand, the structuring is going on, and on the other hand, the relaxation takes place, i.e. equalization of stresses in the bulk sausage product [5].

Data presented on the flow rheogram (figure 1) show that the relaxation processes occur more extensively in sausages containing cavitation-treated brine, which leads to a weakening of forming structure of the sausage product. The finished product has a gentle and elastic consistency and a distinct taste that makes it more preferable for the consumer.

Acknowledgments

The study was carried out in the framework of the Grant for 2015, awarded by the Russian Foundation for Fundamental Research (RFFR) for financing the scientific project No 15-58-45028 «The theoretical aspects of the sonochemical effect on food emulsions».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красуля О.Н. Использование сонохимии при производстве вареных колбасных изделий [Текст]/О.Н. Красуля, В.И. Богуш, О.А. Долгова, Т.А. Мишарина // Мясная индустрия, №7, 2013.
2. Ларсен, Рональд У. Инженерные расчеты в Excel [Текст]/ Рональд У. Ларсен. — Москва: Издательский дом «Вильямс», 2004.
3. Евтушенко, А.М. Влияние сонохимической обработки рас-сола на свойства мясных эмульсий [Текст]/ А.М. Евтушенко, Н.А. Дроздова, И.Г. Крашенинникова, О.Н. Красуля // Мясная индустрия, №10, 2011.
4. Тагер, А. А. Физико-химия полимеров [Текст]/ А. А. Тагер. — Москва: Научный мир. 2007.
5. Косой В. Д. Инженерная реология в производстве колбас [Текст]/В.Д. Косой, А. Д. Малышев, С. Б. Юдина. — М.: КолосС, 2005.
6. Малкин, А.Я. Реология: концепции, методы, приложения [Текст]/ А.Я. Малкин, А.И. Исаев. - С-Пб.: Профессия, 2007.
7. Подгорнова, Н.М. Термодинамические функции вязкого течения водных растворов стевииозидов [Текст]/ Н.М. Подгорнова, С.М. Петров, Ю.Н. Сорокина, Д.Н. Варламов // Хранение и переработка сельхозсырья, №1, 2005.

REFERENCES

1. O. N. Krasulya, V.I. Bogush, O.A. Dolgova, T.A. Misharina. Use of sonochemistry in production of cooked sausage products. Meat Industry, 2013, 7.
2. Ronald W. Larsen Engineering with Excel. Moscow, Publishing house "Williams", 2004.
3. A.M. Evtushenko, N.A. Drozdova, I.G. Krashennnikova, O.N. Krasulya. Effect of sonochemical treatment of brine on properties of meat emulsions. Meat Industry, 2011, 10.
4. Tager A. A. Physical chemistry of polymers, Moscow, Nauchny Mir, 2007.
5. V.D. Kosoy, A.D. Malyshev, S.B. Yudina — Engineering reology in sausage production. M. Kolos, 2005.
6. A.Ya. Malkin, A.I. Isaev Reology: concepts, methods, applications, S-Pb.: Professia, 2007.
7. N.M. Podgornova, S.M. Petrov, Yu.N. Sorokina, D.N. Varlamov. Thermodynamic functions of viscous flow of aqueous solutions of stevioside // Khranenie i Pererabotka Sel'khozsyriya).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Евтушенко Анатолий Михайлович — доктор химических наук, профессор кафедры «Технология продуктов питания», ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского»

Тел.: 8-926-6089350

E-mail: igkrashenin1@rambler.ru

Красуля Ольга Николаевна — доктор технических наук, профессор кафедры «Регулирование продовольственного рынка пищевой, перерабатывающей промышленности и экспертиза товаров» ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского»

Тел.: 8-915-3118930

E-mail: okrasulya@mail.ru

Крашенинникова Ирина Геннадьевна — доктор технических наук, профессор кафедры «Технология продуктов питания», ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского»

Тел.: 8-926-8129174

E-mail: irina2011@rambler.ru

Колкин Артур Владимирович — аспирант, кафедры «Технология продуктов питания», ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского»

Тел.: 8-919-9981200

E-mail: kolkin.artur@yandex.ru

Критерии авторства

Ответственность за работу и предоставленные сведения несут все авторы.

Все авторы в равной степени участвовали в этой работе.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 11.01.2016

AUTOR INFORMATION

Affiliation

Evtushenko Anatoly Mikhailovich — doctor of chemical Sciences, Professor of the Department «Technology of food products», FGBOU VPO «Moscow state University of technologies and management. K. G. Razumovsky»

Ph.: 8-926-6089350

E-mail: igkrashenin1@rambler.ru

Krasulya Olga Nikolaevna — doctor of technical Sciences, Professor of the Department «Regulation of the food market the food industry and examination of goods», FGBOU VPO «Moscow state University of technologies and management. K. G. Razumovsky»

Ph.: 8-915-3118930

E-mail: okrasulya@mail.ru

Krashennnikova Irina Gennad'evna — doctor of technical Sciences, Professor of the Department «Technology of food products», FGBOU VPO «Moscow state University of technologies and management. K. G. Razumovsky»

Ph.: 8-926-8129174

E-mail: irina2011@rambler.ru

Kolkin Arthur Vladimirovich — postgraduate student of the Department «Technology of food products», FGBOU VPO «Moscow state University of technologies and management. K. G. Razumovsky»

Ph.: 8-919-9981200

E-mail: kolkin.artur@yandex.ru

Contribution

All authors have responsibility for the information in manuscript. All authors involved in this work in equal parts.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 11.01.2016