

Зависимость физико-химических и реологических характеристик фарша от pH сырья, температуры греющей среды и продукта

В.И. ХЛЕБНИКОВ, В.Н. МАХОНИНА, И.Л. СТЕФАНОВА, Н.И. КОВШЕВНИКОВА, Х.Н. МУТАЛОВ

Научно-производственное объединение птицеперерабатывающей и клежелатиновой промышленности "Комплекс"

Москва, СССР

Изменения, происходящие в мясе в процессе тепловой обработки, зависят от многих факторов. Потери массы, снижение содержания влаги, изменение водосвязывающей способности обуславливаются, как правило, температурой, до которой нагревается продукт, температурой греющей среды, способом тепловой обработки, скоростью нагрева, pH сырья, размером образца, степенью измельчения (реологические характеристики) фарша, его химическим составом, видом мяса и анатомическим происхождением мышц, возрастом животных, условиями тепловой обработки (скорость движения воздуха, наличие избыточного давления) и т.д. До настоящего времени еще не установлена общая закономерность изменения потерь массы и водосвязывающей способности (ВСС) в зависимости от перечисленных факторов. Нами изучено изменение ВСС и степень потерь массы продукта в процессе тепловой обработки в зависимости от факторов, оказывающих на эти показатели наиболее существенное влияние - pH исходного сырья (от 5,25 до 7,00 с интервалом 0,25), температуры греющей среды (75, 100 и 145°C) и температур образца (35, 45, 50, 55, 65, 75, 90, 115, 125 и 135°C).

Объектом исследования служил соленый мясной фарш (2% соли к массе сырья), приготовленный из длиннейшего мускула спины крупного рогатого скота с добавлением 20% воды к массе сырья. Тот же измельчение фарша проводили на лабораторном куттере марки "Finis". Сдвиг pH фарша в кислую сторону осуществляли добавлением 4%-ного раствора молочной кислоты, в щелочную - 2%-ного раствора NaOH. Для равномерного и быстрого нагрева 5 г фарша распределяли слоем 5 мм в плоских, герметически закрывающихся кюветках. Греющей средой служило минеральное масло. Температуру в образцах измеряли хромель-копелевыми термомпарами ТХК-0033 с записью на потенциометре ЭПП-09М3. Содержание влаги определяли высушиванием образца при температуре 105°C, содержание белков - методом Кьельдаля, потерю массы - прямым взвешиванием, ВСС (по количеству отпрессованной и неотпрессованной влаги) - прессованием на фильтровальной бумаге, pH водной вытяжки - на pH-метре-340.

Нагрев мяса сопровождается конформационными изменениями белков и изменением соотношения заряженных групп, что вызывает сдвиг активной кислотности преимущественно в щелочную сторону. Как показали наши исследования, величина сдвига pH мяса зависит от начального pH сырья и температуры образца. Изменение pH в процессе нагрева в зависимости от температуры образца

(35-135°C), температуры греющей среды (75, 100 и 145°C) и pH сырья (5,25-7,00) описано уравнением регрессии

$$\ln(\Delta pH) = 0,102 - 0,424 \ln t_1 + 0,063 \ln t_2 + 0,18 \ln t_3,$$

где

- t_1 - pH исходного сырья;
- t_2 - температура греющей среды, °C;
- t_3 - температура образца, °C;
- S - стандартное отклонение - 0,19;
- r - коэффициент корреляции - 0,965.

Коэффициенты регрессии показывают, что на изменение pH в процессе нагрева мяса в большей степени влияет pH исходного сырья и температура образца, чем температура греющей среды. Повышение температуры греющей среды вызывает увеличение pH фарша в интервале температур 35-65°C, при температуре фарша 75-90°C изменение pH имеет противоположный характер. С повышением температуры pH возрастает, однако ВСС снижается, так как известно, что параллельно происходит сдвиг изоточки фибриллярных белков к более высоким значениям pH. Изменение ВСС изучали по изменению количества отпрессованной и неотпрессованной влаги. Введены следующие уравнения, описывающие закономерность, которой подчиняется изменение количества отпрессованной (W) и неотпрессованной влаги (W_{связ.}) в зависимости от величины pH

исходного сырья, температуры греющей среды и (t_1) температуры образца (t_2):

$$W = 6,855 \cdot pH^{-0,96} \cdot t_1^{0,0019} \cdot t_2^{0,008}$$

$$r = 0,6; \quad S = 0,198$$

$$W_{\text{связ.}} = 0,616 \cdot pH^{1,442} \cdot t_1^{-0,042} \cdot t_2^{-0,23}$$

$$r = 0,874; \quad S = 0,31.$$

Установлено, что количество отпрессованной влаги в большей степени зависит от величины pH сырья ($r=0,61$) и температуры образца, в меньшей - от температуры греющей среды. Максимальное количество влаги было отпрессовано из фарша с исходным значением pH 5,25, нагрев до 75°C. При увеличении pH и нагреве до той же температуры количество отпрессованной влаги уменьшилось. Особенно резко количество отпрессованной влаги снижалось при нагреве фарша до 35-45°C и увеличении pH от 5,25 до 5,75. С увеличением температуры до 75-90°C и ростом pH процесс меняется на противоположный, причем наибольшее увеличение количества отпрессованной и снижение неотпрессованной влаги происходит при температуре от 45 до 50°C в зависимости от pH сырья: при низких pH, например, 5,5, температура греющей среды 145°C вызывает увеличение количества отпрессованной влаги на 0,2 г/г белка, при pH = 7,0 - только на 0,09 г/г белка. Это дает основание предположить, что тепловая коагуляция мышечных белков соленого фарша

начинается при 45°C, увеличивается до 50°C, вызывая значительное отделение влаги в результате снижения количества полярных групп и образования новых прочных перекрестных связей. Дальнейшее повышение температуры до 50-55°C вызывает увеличение количества отпрессованной и снижение неотпрессованной влаги, до 65°C при pH 5,25-6,00 и до 75°C при pH 6,25-7,00 - снижение неотпрессованной влаги и увеличение отпрессованной влаги. Следовательно, изменение ВСС мяса при нагреве - ступенчатый процесс.

При температуре выше 65 (75°C) образовавшаяся структура приобретает дополнительную плотность за счет дисульфидных связей и выпрессовывания влаги, идет процесс формирования белкового каркаса продукта, в котором ведущая роль принадлежит миофибриллиарным белкам, в частности миозину [1].

При нагреве фарша до 135°C количество отпрессованной влаги уменьшается, неотпрессованной - увеличивается. Интенсивность этих изменений зависит от pH сырья, температуры образца и температуры греющей среды. Так, в образцах, достигших температуры 90°C, потери массы и снижение количества отпрессованной влаги наибольшие при температуре греющей среды 100°C, что, по-видимому, является следствием незначительной дезагрегации коллагена и преобладающего влияния длительности нагрева в интервалах температур 75-90°C (длительность нагрева при температуре греющей среды 100°C составляет 359 с, 145°C - 34 с).

Изменение структуры мяса в процессе тепловой обработки и снижение ВСС сопровождаются потерями массы, величина которых зависит от ряда факторов, в том числе от pH исходного сырья (t_1), температуры греющей среды (t_2) и температуры, до которой нагревается продукт (t_3).

Обработка полученных результатов с помощью регрессионного анализа позволила выразить зависимость потерь массы (Π , %) от перечисленных факторов с помощью следующей формулы:

$$\Pi = 2,587 \cdot t_1^{-3,36} \cdot t_2^{0,144} \cdot t_3^{1,496}$$

$$r = 0,973; \quad S = 0,16$$

Потери массы, зависящие от pH ($r=0,68$) и температуры греющей среды, происходят в основном за счет снижения влаги ($r=0,996$), величина которого может быть найдена из уравнения

$$G = \exp(2,475 - 0,62t_1 + 9,6 \cdot 10^{-4}t_2 + 0,022t_3)$$

$$r = 0,954; \quad S = 0,23$$

Коэффициенты регрессии уравнения свидетельствуют о том, что на снижение влаги в процессе нагрева соленого фарша большее влияние оказывает величина pH сырья и температура образца, меньше - температура греющей среды.

Изменение потерь масс соленого и несоленого фарша в процессе нагрева СВЧ-энергией и в воде иллюстрирует рис. 1, из которого видно, что с повышением температуры потери массы фарша, особенно несоленого, увеличивается. При нагреве в воде потери массы соленого фарша всегда выше, чем при СВЧ-нагреве. Нагрев несоленого фарша в воде до 55°C вызывает значительно большие потери массы, чем СВЧ-нагрев, после достижения 65°C процесс приобретает противоположный характер.

Рис. 1. Зависимость потерь массы соленого и несоленого фарша от способа нагрева и температуры образца:

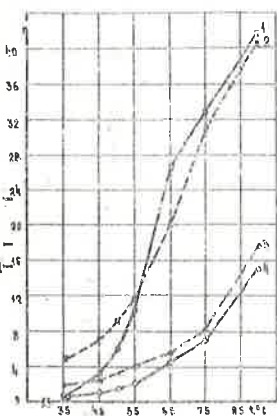


Fig. 1. The dependence of salted and unsalted force-meat mass losses on the way of heating and sample temperature.

Π - потери массы, г/100 г сырья; t - температура образца, °C; 1, 2 - несоленое мясо; 3, 4 - соленое мясо; 1, 4 - нагрев СВЧ-энергией; 2, 3 - нагрев в воде.

Π - mass losses, g/100g of raw material; t - sample temperature, °C; 1, 2 - unsalted meat; 3, 4 - salted meat; 1, 4 - heating by SHF-energy; 2, 3 - heating in water.

Рис. 2. Потери массы фарша, нагретого СВЧ-энергией до готовности, в зависимости от количества добавленной воды и шпика:

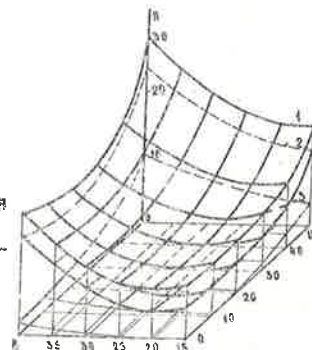


Fig. 2. Mass losses of force-meat heated up by SHF-energy to readiness depending on the amount of added water and salted pork fat.

Π - потери массы, г/100 г сырья; B - количество добавленной воды, г/100 г сырья; III - количество шпика, заменяющего постную свинину, г/100 г сырья. 1 - общие потери массы готового продукта (после охлаждения), г/100 г сырья; 2 - общие потери массы горячего продукта; 3 - потери жира горячим продуктом.

Π - mass losses, g/100g of raw material; B - the amount of added water, g/100g of raw material; III - the amount of salt pork fat being used instead of lean pork, g/100g of raw material. 1 - total mass losses of ready product (after cooling), g/100g of raw material; 2 - total mass losses of hot product; 3 - fat losses of hot product.

При нагреве несоленого фарша в воде до температуры выше 55°C потери увеличиваются пропорционально повышению температуры вплоть до 90°C. Нагрев СВЧ-энергией от 55 до 65°C сопровождается более интенсивным увеличением потерь массы. Потери массы фаршевых изделий в значительной степени зависят от количества добавленной в рецептурную смесь воды, химического состава и реологических характеристик фарша. Зная количество добавленной воды ($X = 15-40\%$ к исходной массе сырья) и одну из реологических характеристик фарша (Q - динамическое напряжение сдвига, Па; Q_0 - статическое напряжение сдвига, Па или η - пластическую вязкость, Па·с), можно рассчитать потери массы достигших кулинарной готовности в процессе тепловой СВЧ-обработки фаршевых изделий:

$$1. \quad P_{(x, Q)} = 7,87 + 0,0183 X^2 + 0,45 \cdot 10^{-4} Q_0^2 - 0,45 \cdot 10^{-7} X Q_0$$

$$h = 0,92; \quad s = 1,31.$$

$$2. \quad P_{(x, Q_0^h)} = 8,53 + 0,61 X^2 + 0,99 \cdot 10^{-5} (Q_0^h)^2 - 0,3 \cdot 10^{-7} X Q_0^h$$

$$n = 0,93; \quad s = 1,2.$$

$$3. \quad P_{(x, \eta_{пл})} = 11,7 + 0,84 \cdot 10^{-2} X^2 + 0,6 \cdot 10^{-3} \eta_{пл} - 0,2 \cdot 10^{-3} \eta_{пл}$$

$$0,95; \quad s = 1,07.$$

Минимальные потери массы при нагреве СВЧ-энергией обеспечивало введение в рецептуру фарша 50% говядины, 30% нежирной свинины, 20% шпика и 20% воды к массе сырья (рис.2). В результате выполненных исследований установлены эмпирические зависимости потерь массы и ВСС в процессе нагрева фарша от pH сырья (5,25-7,00), температуры греющей среды (75-145°C), температуры, достигаемой образцом (35-135°C), способа нагрева и реологических характеристик фарша. Показано, что потери массы зависят преимущественно от температуры образца и pH сырья. СВЧ-нагрев в меньшей степени влияет на потери массы, чем нагрев в воде.

Л и т е р а т у р а

1. Хлебников В.И., Абалдова В.А., Стефанова И.Л. Изменение физико-химических показателей растворов мышечных белков в зависимости от температуры, достигаемой ими в электромагнитном поле СВЧ. Труды ВНИИМП, 1975, т. XIX, стр. 24-32.