

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ЖИВОТНЫХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ АВТОЛИЗА

Леготина А.В.

Научный руководитель – доцент Онищук С.А..

Кубанский государственный университет

После смерти животного, в связи с прекращением поступления в организм кислорода и питательных веществ, происходит автолиз. Автолиз – процесс самопроизвольного распада веществ и тканей под действием собственных ферментов, который состоит из четырех этапов: парное мясо, посмертное окоченение, разрешение посмертного окоченения и созревание, глубокий автолиз. В результате автолиза происходит распад тканевых компонентов, изменяются качественные характеристики мяса (механическая прочность, вкус, цвет, аромат). Исследования, направленные на изучение этих процессов имеют большое значение для пищевой промышленности. Они позволяют определить срок хранения продукта, его качество. Существуют множество методов, которые изучают изменения показателей мяса под действием автолиза. Но большинство этих методов достаточно сложные, трудоемкие и требуют длительных процедур для предварительной подготовки мясной пробы: измельчение, растворение и т.д. Поэтому необходимо развитие экспресс-методов, которые позволяют быстро и легко исследовать и получать информацию о свежести и качестве мясного продукта.

В проведенной ранее работе была исследована возможность применения метода ГРФ как экспресс-анализа мяса в процессе автолиза. Результат исследования показан на рис. 1. Как мы видим, наиболее ярко выраженные различия длины, расположение и формы стримеров газоразрядной фотографии наблюдается только по истечении достаточного срока времени. Это показывает, что достоверные различия в газоразрядной фотографии можно наблюдать только при долговременном гниении мяса. Таким образом, было показано отсутствие возможности создания экспресс-метода на основе ГРФ, и необходимость поиска нового экспресс-анализа мясных продуктов.

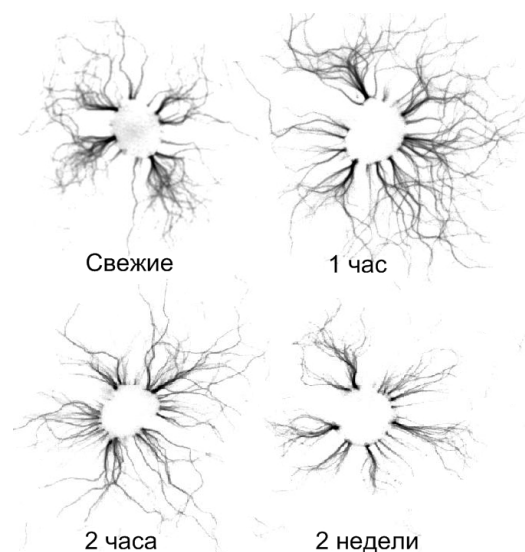


Рис. 1. ГРФ мышечной ткани свиньи.

В результате этого было взято моделирование зависимости показателей мяса от времени в процессе автолиза.

Выбранные для моделирования показатели можно разделить на два класса: быстродействующие, изменяющиеся в течение 10 часов, и долговременные, эффективное время которых достигает 120 часов. К первому классу относятся такие параметры как уровень аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) и рН, а ко второму модуль упругости и напряжение среза.

pH - мера активности ионов водорода в растворе, и количественно выражающая его кислотность, вычисляется как отрицательный (взятый с обратным знаком) десятичный логарифм активности водородных ионов, выраженной в молях на литр:

$$pH = -\lg[H^+]$$

АТФ - нуклеотид, играет исключительно важную роль в обмене энергии и веществ в организмах; в первую очередь соединение известно как универсальный источник энергии для всех биохимических процессов, протекающих в живых системах.

Модуль упругости — общее название нескольких физических величин, характеризующих способность твёрдого тела (материала, вещества) упруго деформироваться (то есть не постоянно) при приложении к ним силы. В области упругой деформации модуль упругости тела определяется производной (градиентом) зависимости напряжения от деформации, то есть тангенсом угла наклона диаграммы напряжений-деформаций):

$$\lambda \stackrel{\text{def}}{=} \frac{P}{\varepsilon}$$

где λ - модуль упругости; p — напряжение, вызываемое в образце действующей силой (равно силе, делённой на площадь приложения силы); ε — упругая деформация образца, вызванная напряжением (равна отношению размера образца после деформации к его первоначальному размеру).

Для моделирования была выбрана S-функция:

$$S = HGe^{1-G} + S_{st} \text{ где } G = D^c - u^c + 1, \text{ а } D = u \frac{x-a}{b-a}$$

Здесь x – часы аволиза, S_{st} - уровень стабилизации показателя. При $x=a$ и $x=b$ определяется положение экстремумов функции, а величина u задает крутизну функции

между экстремумами. Параметр c влияет на форму функции $H = M - S_{st}$, где M – уровень показателя в экстремуме.

На рис. 2 показаны результаты

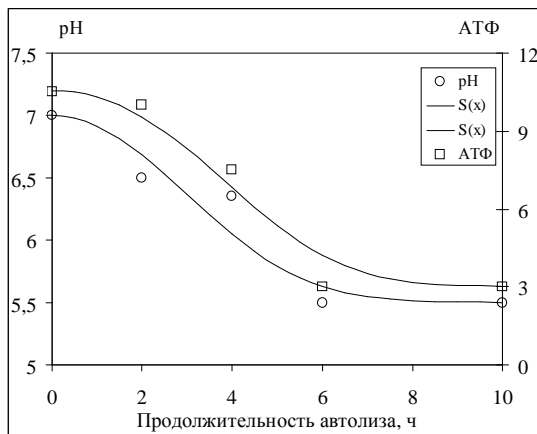


Рис. 2. Динамика показателей мышечной ткани животных при автолизе.

моделирования уровня pH и запасов АТФ в мышечной ткани в процессе 10 часов автолиза, имеющие непосредственно после убоя значения, равные 7 и 10,5. В течении первых 8 часов эти показатели снижаются, после чего выходят на стабильные уровни, равные 5,5 и 3 соответственно.

Зависимости, полученные в

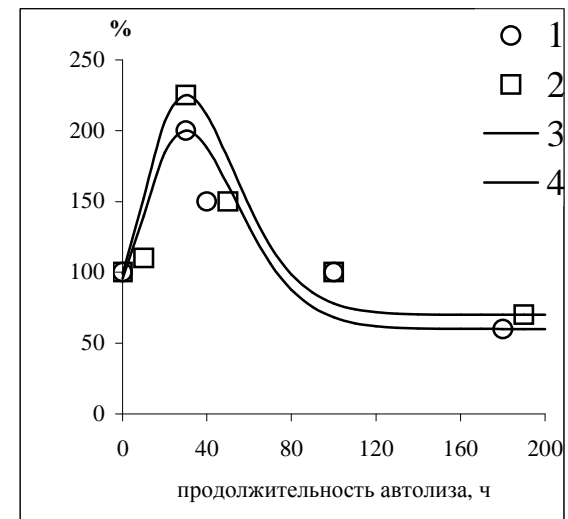


Рис. 3. Изменение физических характеристик мяса при автолизе: 1 – напряжение среза, 2 – модуль упругости, 3, 4 – S-функции.

результате моделирования изменения модуля упругости и напряжения среза мяса, представлены на рис. 3. В отличие от уровней рН и АТФ, при моделировании этих показателей сначала наблюдается увеличение значений, достигающих максимальных значений за первые 30 часов автолиза. При этом модуль упругости повышается от изначальных 100% до примерно 225%, а напряжение среза до 200%. В течение следующих 90 часов происходит уменьшение показателей и выход на стабильные уровни, равные 70% для модуля упругости и 60% для напряжения среза.

Таким образом, на основе полученных результатов была обоснована возможность создания метода для экспресс-анализа степени автолиза на основе моделирования таких показателей как рН, АТФ, напряжение среза и модуль упругости. Так рН и АТФ являются кратковременными параметрами, позволяющими выявлять парное мясо как начальный этап автолиза, в то время как напряжение среза и модуль упругости – среднедействующие показатели, диагностирующие более поздние стадии автолиза. Также выявлен долгосрочный метод – ГРФ, определяющий мясо в поздней стадии глубокого автолиза. Необходимость прибора следует из большого разнообразия мясных продуктов различной степени свежести и качества на рынке.

В ходе работы были проведены исследования, направленные на проверку пригодности метода газоразрядной фотографии для создания метода экспресс-анализа мяса, и показавшие необоснованность данного направления.

Также построены математические модели изменения показателей мышечной ткани в процессе автолиза, позволяющие в будущем разработать способы экспресс-анализа состояния мяса, основанные на измерении этих показателей.