

CHANGES IN MOLECULAR-DYNAMIC PROPERTIES OF MEAT COLD STORED UNDER VARIOUS  
CONDITIONS

S.A.YEVELYEV, I.R.SKOMOROVSKAYA, V.M.TCHERNYSHOV

Leningrad Technological Institute of Refrigerating Industry, USSR

Changes in meat texture when cold treated may be evaluated by the molecular mass of dynamic segments i.e. sections of reticulum the muscle tissue consists of.

An approach for defining molecular mass of dynamic segments as well as the possibility of its application have been considered.

The results of the study on molecular dynamic properties of beef cold stored at various conditions are presented in the paper.

DIE VERÄNDERUNG DER MOLEKULAR-DYNAMISCHEN EIGENSCHAFTEN VON FLEISCH IN  
ABHÄNGIGKEIT VOM KÜHLREGIME

S.A.EWELJEW, I.R.SKOMOROWSKAJA, W.M.TSCHERNISCHOW

Leningrader Technologisches Institut für Kältetechnik, UdSSR

Die Veränderung der Fleischstruktur bei der Kältebehandlung kann durch die molekulare Masse der dynamischen Segmente, bzw. durch Teilstücke des Eiweißgerüsts, welche die Grundlage des Muskelgewebes darstellen, eingeschätzt werden.

Es wurde Bestimmungsmethode der molekularen Masse von dynamischen Segmenten und ihre Motivierung bezüglich des tierischen Muskelgewebes behandelt.

Im Vortrag sind die Forschungsergebnisse der molekular-dynamischen Eigenschaften von Rindfleisch bei verschiedenen Kühlregimen dargelegt.

CHANGEMENT DES PROPRIETES MOLECULAIRES-DYNAMIQUES DE LA VIANDE EN FONCTION DU  
REGIME DU REFROIDISSEMENT

S.A.EVELEV, I.R.SKOMOROVSKAYA, V.M.TCHERNICHOV

Institut technologique du Froid de Léningrad, URSS

Le changement de la structure de la viande au traitement frigorifique peut être établi selon la masse moléculaire des segments dynamiques (zones du réseau protéique) étant à la base du tissu musculaire.

On a analysé la méthode de l'évaluation de la masse moléculaire des segments dynamiques et son argumentation conformément au tissu animal.

Le rapport présente les résultats des études sur les propriétés moléculaires-dynamiques de la viande de boeuf aux régimes différents du refroidissement.

ИЗМЕНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЯСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА  
ОХЛАЖДЕНИЯ

С.А. ЕВЕЛЕВ, И.Р. СКОМОРОВСКАЯ, В.М. ЧЕРНЫШЕВ

Ленинградский технологический институт холодильной промышленности, Ленинград, СССР

Изменение структуры мяса при холодильной обработке может быть оценено по молекулярной массе динамических сегментов, участков белковой сетки, составляющей основу мышечной ткани.

Рассмотрена методика определения молекулярной массы и ее обоснование применительно к животной ткани.

Представлены результаты исследования молекулярно-динамических свойств говядины при различных режимах охлаждения.

Изменение молекулярно-динамических свойств мяса в зависимости от режима охлаждения

С.А. ЕВЕЛЕВ, И.Р. СКОМРОВАЯ, В.М. ЧЕРНЫШЕВ

Ленинградский технологический институт холодильной промышленности, Ленинград, СССР

Введение

Рассматривая мышечную ткань в виде сеточной трехмерной системы с химическими и флуктуационными узлами, механо-химические процессы в мясе можно характеризовать по молекулярно-динамическим свойствам, в частности, по молекулярной массе динамических сегментов или массе одного моля отрезка цепи между узлами структурной сетки. Характер упаковки биополимерных молекул тесно связан с их конфигурацией. Последняя может быть оценена путем наложения внешнего механического поля на исследуемый объект. В зависимости от соотношения энергии поля и энергии активационного барьера вращения высокомолекулярные цепи в той или иной степени будут деформироваться. При этом деформационные свойства могут служить мерой молекулярной конфигурации, обеспечивающей данную упаковку, а следовательно и мерой молекулярной массы. Особенностью мышечной ткани является наличие у нее термоупругих свойств [1, 2, 3]. Термоупругость мышцы выражается в следующем: при быстром растяжении температура ее повышается; повышение температуры мышцы ведет к ее укорочению; при растяжении мышца приобретает кристаллические свойства; кривая зависимости удлинения от напряжения имеет S-образную форму. В связи с этим представляет интерес рассмотрение упругости мышечной ткани с термодинамических позиций. Исходя из первого начала термодинамики можно записать выражение

$$dQ = dU + p dV = T \cdot dS \quad (1)$$

где:  $dQ$  - количество тепла, подведенное к системе;  $dU$  - приращение внутренней энергии системы;  $p dV$  - работа, произведенная системой;  $T$  - абсолютная температура;  $dS$  - изменение энтропии. Дифференцирование уравнения (1) по объему системы при постоянной температуре  $T$  приводит к выражению

$$-p = \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T - T \left( \frac{\partial S}{\partial V} \right)_T \quad (2)$$

Исходя из второго начала термодинамики

$$dS = \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T} (dU + p dV) \quad (3)$$

После ряда преобразований можно показать, что

$$\left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_V = \frac{1}{T} \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] = \left( \frac{\partial S}{\partial V} \right)_T \quad (4)$$

Учитывая уравнения (2) и (4), упругость при квазистатическом наложении внешнего механического поля на биополимер можно представить в виде

$$k = -pF = F \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T - FT \left( \frac{\partial S}{\partial V} \right)_T = \left( \frac{\partial U}{\partial L} \right)_T - FT \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_V \quad (5)$$

$$k = \left( \frac{\partial U}{\partial L} \right)_T + T \left( \frac{\partial k}{\partial T} \right)_L \quad (6)$$

где:  $p$  - нагрузка;  $F$  - площадь поперечного сечения исследуемого фрагмента;  $V$  - объем;  $L$  - длина. Первое слагаемое в уравнении (6) представляет собой потенциальную упругую составляющую, определяемую силами сцепления, а второе - термокинетическую составляющую.

Для мышечной ткани при сравнительно небольших деформациях потенциальная упругая составляющая близка к нулю, о чем косвенно можно судить по S-образной зависимости деформации мышц от удельной нагрузки. На основании представлений, развитых для эластомеров [4],

исходя из первого и второго начал термодинамики термокинетическая составляющая может быть представлена следующим образом

$$\left(\frac{\partial K}{\partial T}\right)_L = -\left(\frac{\partial S}{\partial L}\right)_T \quad (7)$$

Уравнение (7) выражает энтропийную природу упругости мышечной ткани. Отсюда количественно связь между конфигурационной упругостью и молекулярной массой можно оценить рассмотрев взаимосвязь между макроскопическими термодинамическими величинами и поведением молекул. Как известно, такая взаимосвязь выражается законом Больцмана

$$S = K \cdot \ln W \quad (8)$$

где:  $K$  - константа Больцмана;  $W$  - термодинамическая вероятность.

При воздействии внешнего механического поля на живую ткань происходит деформация биополимерных цепей. При этом уменьшается число способов расположения звеньев, то есть уменьшается энтропия. Исходя из статистической теории [4] число конформаций, которое может принять цепь или термодинамическая вероятность цепи выражается формулой Гаусса

$$W(h) = \left(\frac{3}{2\pi N \cdot A^2}\right)^{3/2} \cdot 4\pi e^{-\frac{3h^2}{2NA^2}} \cdot \frac{1}{h^2} \quad (9)$$

где:  $N$  - число сегментов цепи;  $A$  - статистический элемент;  $h$  - расстояние между концами цепи.

Допуская, что термодинамическая вероятность цепей в мышечной ткани подчиняется распределению Гаусса, из уравнения (8) и (9) после преобразований вытекает выражение для молекулярной массы одного моля отрезка цепи между узлами структурной сетки

$$M_c = \frac{\rho RT}{G} \left[ \lambda - \frac{1}{\lambda^2} \right] = \frac{3RT\rho}{G} \quad (10)$$

где:  $R$  - газовая постоянная;  $\rho$  - плотность;  $G$  - удельная нагрузка;  $G$  - модуль конфигурационной упругости. Частота структурной сетки может быть представлена уравнением

$$n = \sqrt[3]{V} = \rho / M_c \quad (11)$$

где:  $n$  - частота сетки;  $\sqrt[3]{V}$  - число молей отрезков;  $V$  - объем образца.

#### Материалы и методы

Данный метод определения молекулярно-динамических свойств был применен при исследовании механоструктурных изменений в мышечной ткани говядины быстрого и ступенчатого охлаждения. Быстрое охлаждение осуществлялось в потоке воздуха (скорость - 2 м/с, температура -2°C) до 0°C с последующим хранением при 0°C. Ступенчатое охлаждение состояло из трех этапов: охлаждение полутуши до температуры 15°C на поверхности; выдержка мяса при 15°C в течение 10-12 часов; доохлаждение до 0°C с последующим хранением при этой температуре. Анализ ползучести производился на тензометрическом пенетрометре. Модуль определяли по реограмме ползучести, плотность - на гидростатических весах. На рисунке 1 представлены зависимости плотности, модуля, молекулярной массы и числа молей отрезков цепи между узлами структурной сетки мышечной ткани в зависимости от условий охлаждения и хранения мяса.

#### Результаты и обсуждение

Известно, что интенсивность окоченения и расслабления животной ткани определяется особенностью конфигурационных изменений контрактных белков, характером их межмолекулярного взаимодействия. Процесс развития сокращения и расслабления мышечных волокон в известной степени асинхронный и зависит от среднестатистического числа сокращенных и расслабленных волокон. Исходя из представленных на рисунке данных можно отметить, что плотность мышечной ткани в процессе холодильной обработки и хранения изменяется незначительно, в то время как  $M$  и  $\sqrt[3]{V}$  претерпевают значительные изменения, что отражается на существенных колебаниях  $G$ . Минимум молекулярной массы и соответственно максимум  $G$  наблюдается в период сжатия волокон. Это подтверждает тот факт, что механоструктурные изменения в животной ткани связаны в основном с конфигурационными изменениями высокомолекулярных цепей в структурной сетке мяса. Процессы, происходящие в мясе быстрого охлаждения в целом аналогичны изменениям в

мясе ступенчатого охлаждения. Однако, существуют и различия. В говядине быстрого охлаждения в начале холодильной обработки наблюдаются более резкие изменения молекулярных свойств мышечной ткани. По-видимому, этот процесс связан с холодовым сжатием волокон. Для мяса ступенчатого охлаждения характерно наличие двух минимумов молекулярной массы. Первый минимум связан с сокращением мышечной ткани вследствие активного прохождения посмертного сокращения при положительной температуре. Второй минимум, по всей вероятности, связан холодовым сжатием мышечной ткани из-за недостаточной выдержки мяса перед доохлаждением.

#### Выводы

Холодильная обработка и хранение говядины сопровождается изменением частоты структурной сетки мышечной ткани, молекулярной массы отрезков цепи между узлами сетки, что отражается на изменении конфигурационного модуля. Проведенные исследования показали, что молекулярно-динамические свойства мышечной ткани являются достаточно чувствительными для характеристики механоструктурных процессов в мясе. Ступенчатый режим вызывает ускорение процессов созревания за счет предварительной выдержки животной ткани в результате чего влияние низкой температуры в период доохлаждения на консистенцию мяса значительно уменьшается. В целях предупреждения холодового сжатия говядину рекомендуется выдерживать при  $15^{\circ}\text{C}$  не менее 12 часов.

#### Литература

1. Байер В. Биофизика. М., 1962, 426 с.
2. Хилл А. Механика мышечного сокращения. М., 1972, 183 с.
3. Бендсолл Д. Мышцы, молекулы и движение. М., 1970, 253 с.
4. Волькенштейн М.В. Конфигурационная статистика полимерных цепей. М.-Л. 1959, 463 с.

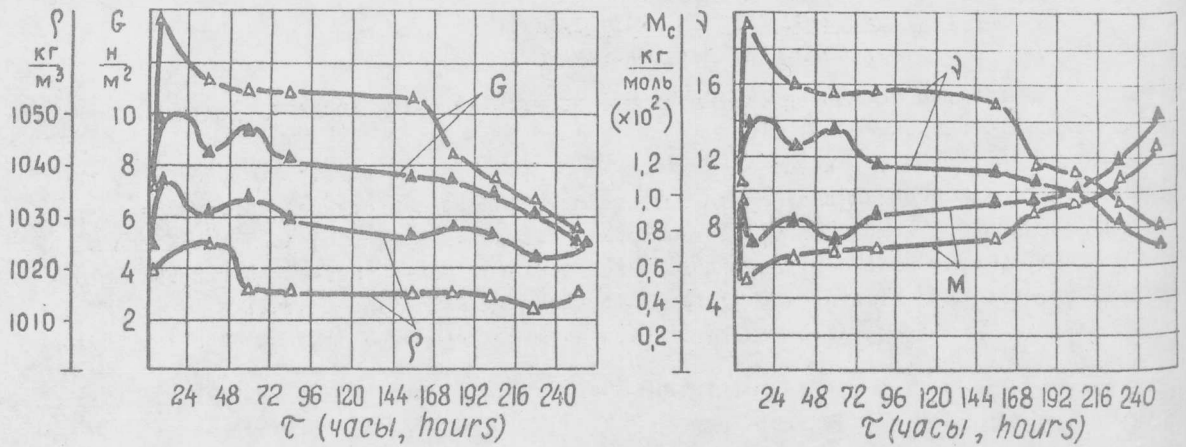


Рис. 1 Изменение некоторых физических показателей говядины в зависимости от условий охлаждения и хранения: (Δ-Δ-Δ) - быстрое охлаждение; (▲-▲-▲) - ступенчатое охлаждение; G - модуль; ρ - плотность; M<sub>c</sub> - молекулярная масса; ν - число молекул между узлами структурной сетки мышечной ткани.

Fig. 1 Changes of some physical properties of meat in dependence of cooling and storage: (Δ-Δ-Δ) - fast cooling; (▲-▲-▲) - step cooling; G - modul; ρ - density; M<sub>c</sub> - molecular mass; ν - quantity of molecules between the structural netting nodes of muscle tissue