

Исследование механоструктурных изменений мышечной ткани говядины в зависимости от условий охлаждения

Н.А.ГОЛОВКИН, С.А.ЕВЕЛЕВ

Ленинградский технологический институт холодильной промышленности, Ленинград, СССР

А.Ф.САВЧЕНКО

Всесоюзный научно-исследовательский институт мясной промышленности, Москва, СССР

284

Методами механоструктурного анализа рассмотрены изменения мяса при различных режимах охлаждения. Оценку состояния животной ткани проводили по ряду показателей, характеризующих активные и пассивные механические свойства. Показано наличие холодового сокращения мышечной ткани при температурах ниже 10°C и степень его проявления в зависимости от условий хранения мяса. Предложена методика выбора режима охлаждения животной ткани с учетом предотвращения холодового сокращения мышечных волокон.

Investigation of mechanical structural changes of beef muscular tissue depending on refrigerating conditions

Meat changes under different refrigerating conditions are investigated due to some methods of mechanical structural analysis. Determination of tissue state was made by using data characterizing active and passive mechanical properties. The existence of muscle cold shortening at the temperatures below 10°C and the degree of its demonstration as related to meat storage conditions are shown. Methods of choosing refrigeration regimens of tissue with due regard for preventing from muscle cold shortening are suggested.

Перспектива увеличения производства охлажденного мяса и объемов его поставки населению требует дальнейшего совершенствования технологии холодильной обработки. Получившие распространение интенсивные способы охлаждения наряду с целым рядом преимуществ могут привести к нежелательным изменениям качества мяса вследствие возникновения сокращения мышечных волокон под действием холода. Отсутствие единства взглядов специалистов о характере и существе этого явления требует проведения его дальнейших исследований. В работе рассмотрены механоструктурные изменения мышечной ткани говядины в зависимости от условий охлаждения.

Объекты, методы исследования, постановка экспериментов

В качестве объектов исследования выбраны длиннейшая и полусухожильная мышцы говядьей полутуши. Мышцы доставляли в лабораторию через 1,5-2,0 часа после прекращения жизни животного. Оценку состояния мяса при его холодильном консервировании проводили по сократительной способности мышечной ткани и ее реологическим характеристикам. Сократительную способность оценивали по изменению длины образца, а также периметра и массы фотоплана (масса фотоплана – масса фотобумаги, вырезанной по контуру проекции образца мышечной ткани), которые определяли на тензометрической (рис. 1) и фотопланиметрической (рис. 2) установках. В качестве реологических показателей выбраны модули упругости, эластичности, упруго-эластичных свойств, равновесной упругости, а также вязкость и период релаксации. Реологические характеристики определяли квазистатическим методом постоянной нагрузки на автоматической установке (рис. 3) по методике /1/. С целью исследования влияния условий охлаждения на механоструктурные изменения мяса было проведено несколько экспериментов. Эксперимент №1. Образцы мышц, вырезанные вдоль волокон, размером (0,06 x 0,04 x 0,01) м помещали в полиэтиленовые пакеты, охлаждали и хранили при температурах -30, -25, -20, -15, -10, -5, 0, -2 °С. Скорость движения воздуха при охлаждении составляла 1,5-2,0 м/с. До технологической обработки и в процессе ее проводили фотопла-

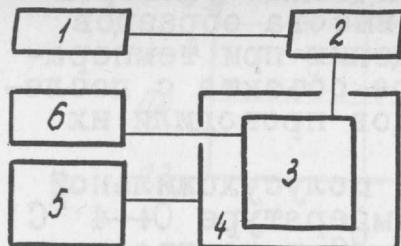


Рис. 1 Блок-схема тензометрической установки: 1-самописец; 2-усилитель; 3- измерительный стенд; 4-холодильная камера; 5-холодильная машина; 6-блок питания

Fig. 1. Flow chart of strain-measuring device: 1. recorder, 2- amplifier, 3-test bed, 4- refrigerating chamber, 5-refrigerating machine, 6-supply unit

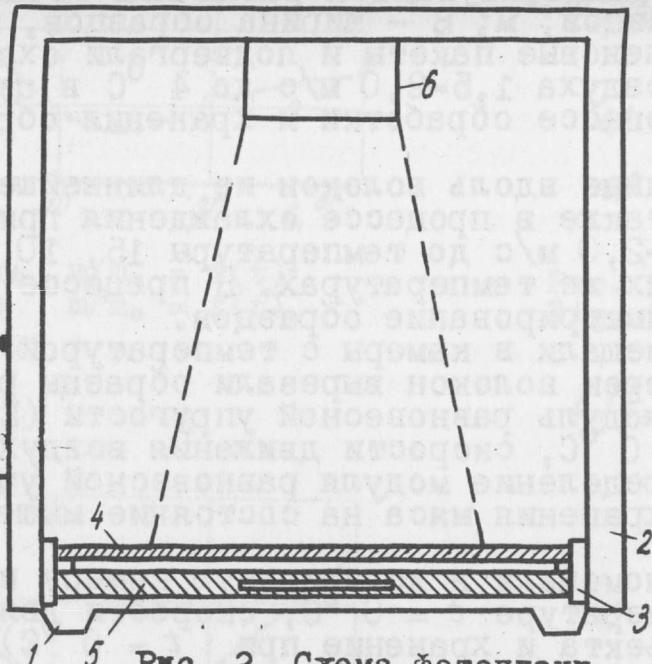


Рис. 2. Схема фотопланиметрического прибора: 1- основание; 2-стойка; 3- направляющие; 4-стеклянnyй столик; 5-фотокассета; 6-источник света.

Fig. 2. Line diagram of photoplaniometer: 1-foundation, 2-pillar, 3-guides, 4-glass table, 5-cassette, 6-light source.

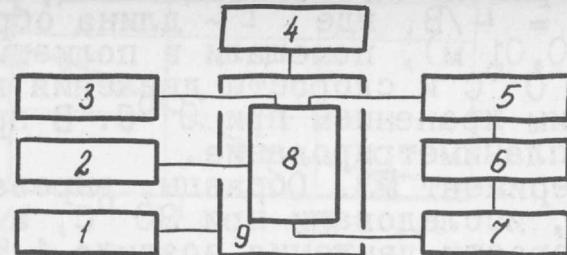


Рис. 3. Блок-схема реологической установки: 1-холодильная машина; 2-блок питания; 3-измеритель температуры; 4-самописец; 5,7-исполнительные импульсные механизмы; 6-программатор; 8- измерительный стенд; 9-термостат.

Fig. 3. Flow-chart of rheological plant: 1-refrigerating machine, 2-supply unit, 3-temperature meter, 4-recorder, 5,7-pulsed actuators, 6-programming device, 8-test bed, 9-thermostat

ниметрирование образцов.

Эксперимент №2. Образцы мышц, характеризующиеся различным геометрическим фактором Φ ($\Phi = L/B$, где L - длина образцов, м; B - ширина образцов, м; высота образцов $H = 0,01$ м), помещали в полиэтиленовые пакеты и подвергали охлаждению при температуре 0 °C и скорости движения воздуха 1,5-2,0 м/с до 4 °C в центре объекта с последующим хранением при 0 °C. В процессе обработки и хранения образцов проводили их фотопланиметрирование.

Эксперимент №3. Образцы, вырезанные вдоль волокон из длиннейшей и полусухожильной мышц, исследовали при 30 °C, а также в процессе охлаждения при температуре 0-4 °C и скорости движения воздуха 1,5-2,0 м/с до температуры 15, 10, -2 °C в центре и при последующем хранении при этих же температурах. В процессе холодильного консервирования осуществляли фотопланиметрирование образцов.

Эксперимент №4. Образцы мышц помещали в камеры с температурой 30, 25, 20, 15, 12 °C. В процессе хранения от мышц поперек волокон вырезали образцы размером (0,06 x 0,04 x 0,01) м и определяли их модуль равновесной упругости (E). После этого образцы охлаждали при температуре 0 °C, скорости движения воздуха 1,5-2,0 м/с до 8-10 °C в центре и повторяли определение модуля равновесной упругости (E). Влияние быстрого охлаждения в процессе хранения мяса на состояние мышечной ткани оценивали по отношению E/E₀.

Эксперимент №5. Образцы мышц помещали в холодильную камеру и охлаждали с помощью постоянного (охлаждение при температуре $t = 0$ °C, скорости движения воздуха $V = 1,5-2,0$ м/с до 4 °C в центре объекта и хранение при $t = 0$ °C) и переменного (охлаждение при $t = 0$ °C, $V = 1,5-2,0$ м/с до температуры в поверхностном слое 12 °C, выдерживали в течение 18-20 часов при $t = 12$ °C, доохлаждали и хранили при $t = 0$ °C) температурных режимов. Исследование сократительной способности мышечной ткани с помощью тензометрической установки проводили на образцах размером (0,2 x 0,04 x 0,04) м, реологических свойств - на образцах диаметром 0,04 м и высотой 0,01 м.

287

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 4 представлено изменение максимального значения относительной массы фотопланов образцов мышечной ткани в период окоченения в зависимости от температуры. Снижение температуры холодильной обработки и хранения от 30 до 10 °C приводит к уменьшению значения m/m_0 (где m_0 - масса фотоплана образца мышечной ткани до холодильного консервирования мяса, кг; m - масса фотоплана образца в процессе холодильного консервирования мяса, кг), в то время как в области температур 10-2 °C имеет место увеличение m/m_0 . Это можно объяснить тем, что по мере понижения температуры от 30 до 10 °C происходит снижение интенсивности биохимических

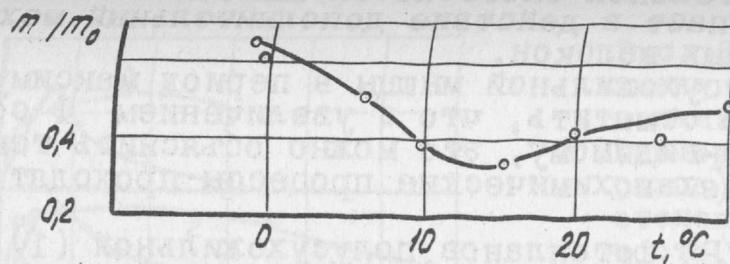


Рис. 4. Зависимость $m/m_0 = f(t)$
Fig. 4. Dependence $m/m_0 = f(t)$

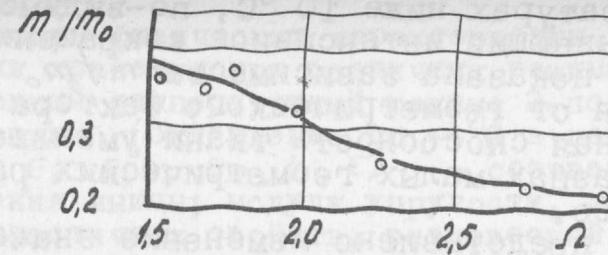


Рис. 5. Зависимость $m/m_0 = f(\varrho)$
Fig. 5. Dependence $m/m_0 = f(\varrho)$

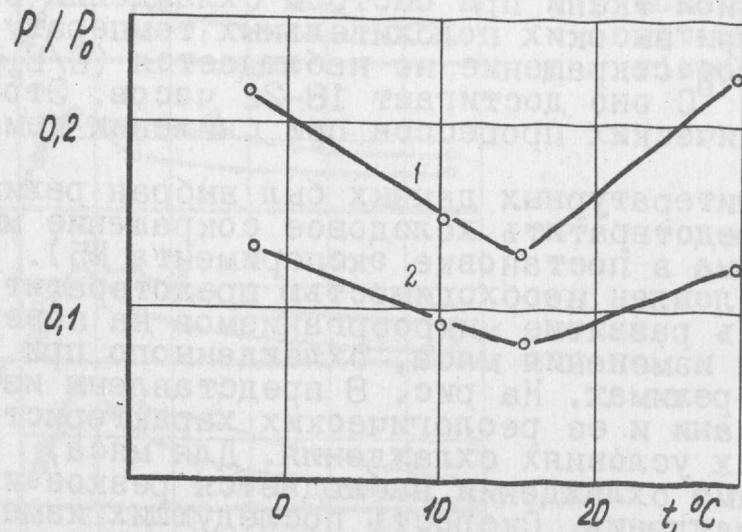


Рис. 6. Зависимость $P/P_0 = f(t)$
Fig. 6. Dependence $P/P_0 = f(t)$
1-Gluteus; 2-Longissimus.

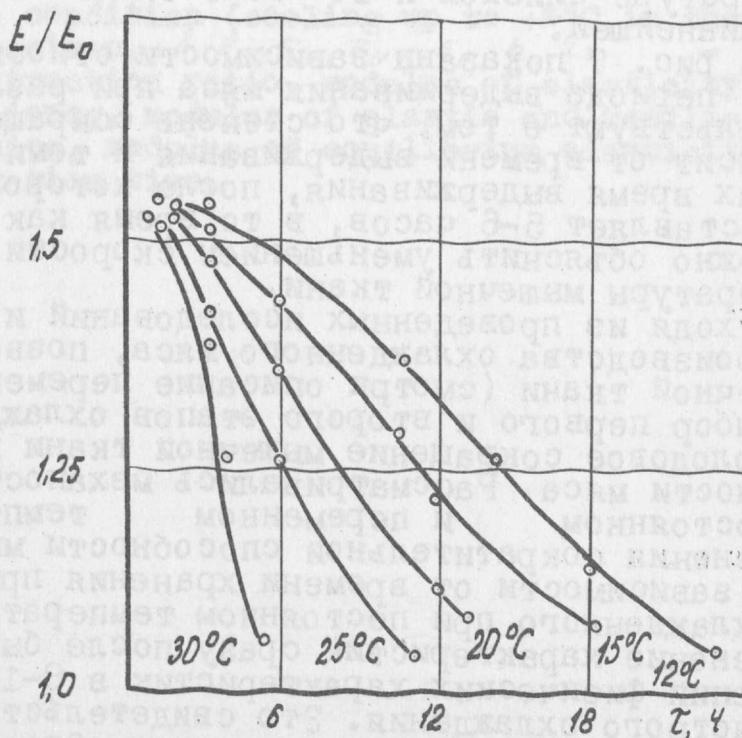


Рис. 7. Зависимость $E/E_0 = f(\zeta)$
Fig. 7. Dependence $E/E_0 = f(\zeta)$

процессов, что выражается в уменьшении сократительной способности мышечной ткани. При температурах ниже 10°C, по-видимому, вступает в действие дополнительный механизм, вызывающий интенсивное сокращение мышечных волокон. На рис. 5 показана зависимость t/t_0 для полусухожильной мышцы в период максимума окоченения от геометрического фактора Φ . Можно отметить, что с увеличением Φ сократительная способность ткани уменьшается. По-видимому, это можно объяснить тем, что в образцах малых геометрических размеров механохимические процессы проходят интенсивнее.

На рис. 6 представлено изменение значений R/R_0 фотопланов полусухожильной (1) и длиннейшей (2) мышц в зависимости от температуры. Значения R/R_0 (где R_0 — períметр фотоплана образца до холодильной обработки мяса, м; R — períметр фотоплана образца в процессе холодильной обработки мяса) имеют минимальные величины при температуре близкой к 10°C. Степень сокращения полусухожильной мышцы выше, чем длиннейшей.

На рис. 7 показаны зависимости относительных модулей равновесной упругости E/E_0 от периода выдерживания мяса при различных температурах хранения. Данные свидетельствуют о том, что степень сокращения мышечной ткани при быстром охлаждении зависит от времени выдерживания и температуры. При высоких положительных температурах время выдерживания, после которого холодовое сокращение не наблюдается ($E/E_0 \approx 1$), составляет 5-6 часов, в то время как при 12-15°C оно достигает 18-22 часов. Это можно объяснить уменьшением скорости механохимических процессов при снижении температуры мышечной ткани.

Исходя из проведенных исследований и анализа литературных данных был выбран режим производства охлажденного мяса, позволяющий предотвратить холодовое сокращение мышечной ткани (смотри описание переменного режима в постановке эксперимента №5). Выбор первого и второго этапов охлаждения обусловлен необходимостью предотвратить холодовое сокращение мышечной ткани и задержать развитие микроорганизмов на поверхности мяса. Рассматривались механоструктурные изменения мяса, охлажденного при постоянном и переменном температурных режимах. На рис. 8 представлены изменения сократительной способности мышечной ткани и ее реологических характеристик в зависимости от времени хранения при различных условиях охлаждения. Для мяса, охлажденного при постоянном температурном режиме охлаждения наблюдается резкое изменение характеристик сразу после быстрого охлаждения. Скорость последующих изменений физических характеристик в 8-10 раз уступает скорости их изменения после быстрого охлаждения. Это свидетельствует о присутствии различных механизмов, вызывающих сжатие мышечных волокон. Сразу после быстрого охлаждения изменения, по-видимому, вызваны холодовым сокращением мышечной ткани, а затем уже окоченением

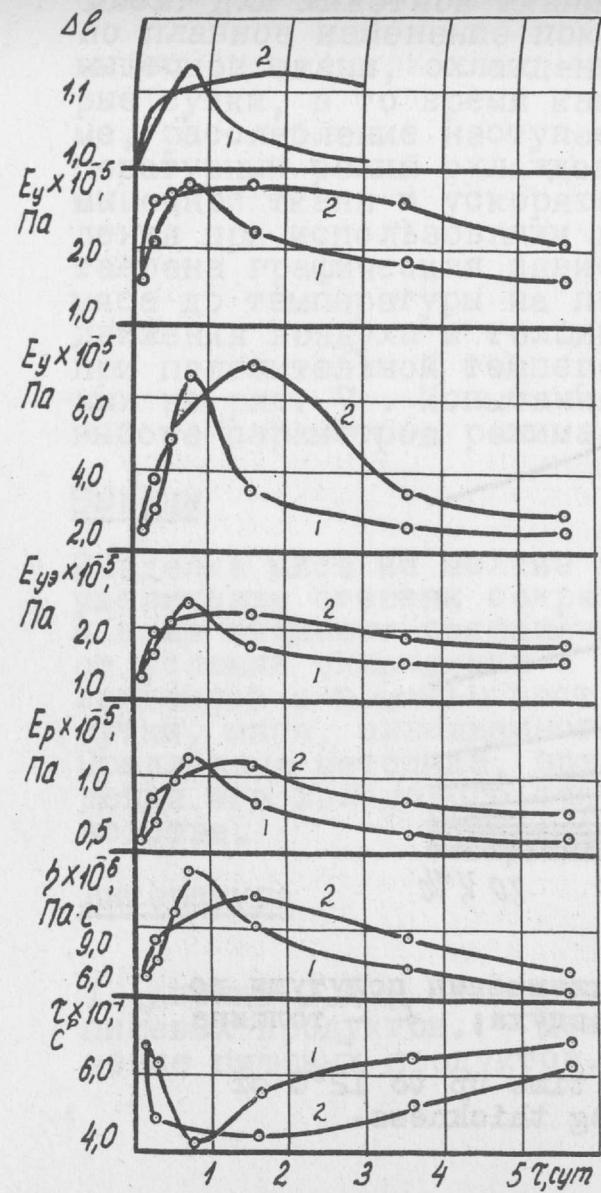


Рис. 8. Зависимость физических характеристик мышечной ткани от времени хранения при различных режимах охлаждения: 1-переменный температурный режим; 2-постоянный температурный режим (охлаждение до +4°C в центре образца); $\Delta\ell$, E_y , E_ε , $E_{y\varepsilon}$, E_p , ζ , τ_r - соответственно степень сокращения мышцы, модули упругости, эластичности, упруго-эластичных свойств, равновесной упругости, вязкость, период релаксации.

Fig. 8. Dependence of muscle tissue physical characteristics on storage time for different cooling conditions: 1. variable temperature condition, 2. invariable temperature condition (cooling up to +4°C in the centre of the specimen, $\Delta\ell$, E_y , E_ε , $E_{y\varepsilon}$, E_p , ζ , τ_r - mean: muscle contraction ratio, modulus of elasticity, modulus of resiliency, modulus of elastic and resilient characteristics, modulus of equilibrium elasticity, viscosity, relaxation time.

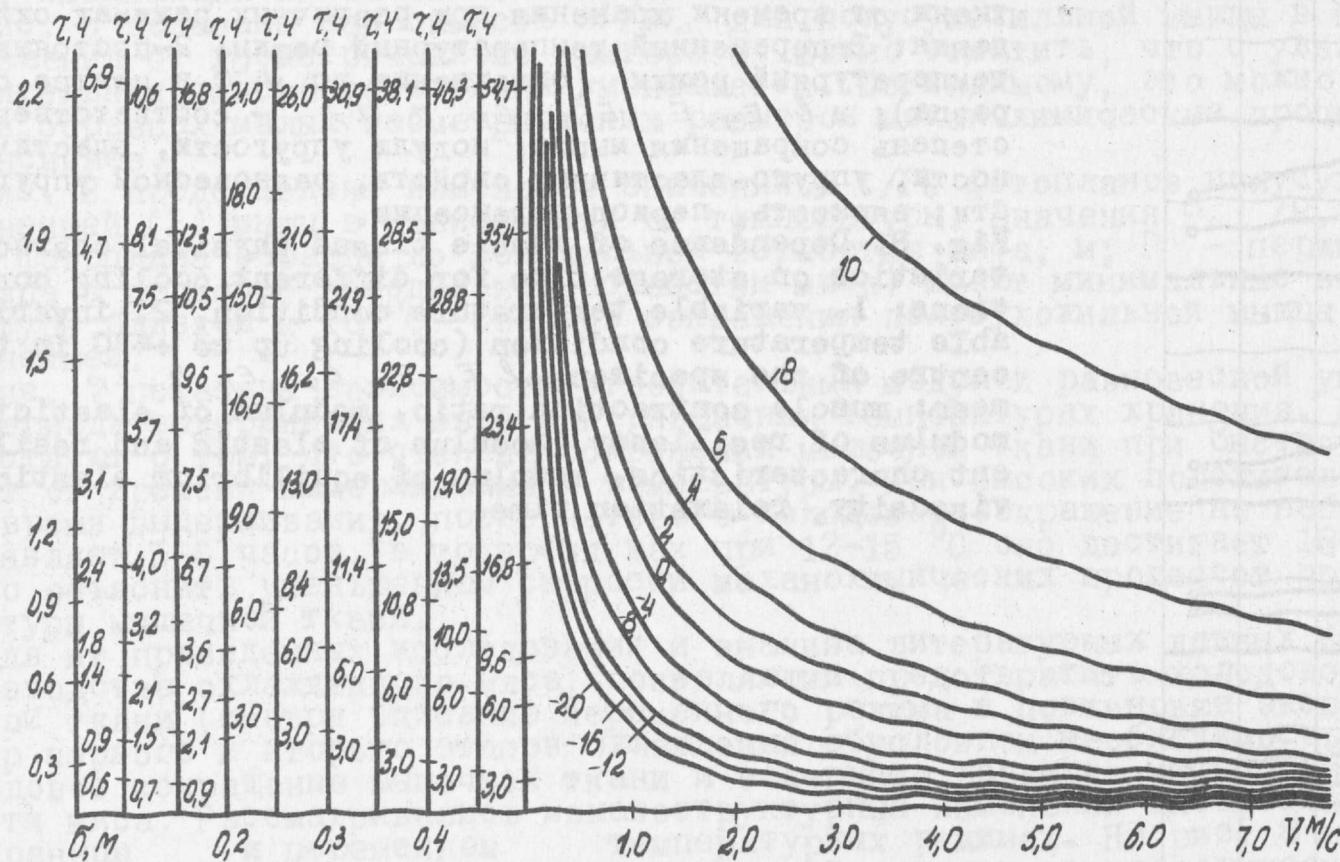


Рис. 9. Зависимость $\Sigma = f(t, v, \delta)$: Σ – время охлаждения полутуши до 12°C ; t – температура воздуха; v – скорость движения воздуха; δ – толщина бедра.

Fig. 9. Dependence $\Sigma = f(t, v, \delta)$: Σ – cooling time up to 12°C of half-carcass, t – air temperature, v – air speed, δ – leg thickness.

мяса. Для животной ткани, охлажденной при переменном температурном режиме характерно плавное изменение показателей в процессе развития окоченения мяса. Расслабление мышечной ткани, охлажденной при переменном температурном режиме наблюдается на вторые сутки, в то время как для мяса, охлажденного при постоянном температурном режиме, расслабление наступает примерно на пятые сутки. Таким образом, переменный температурный режим охлаждения является способом, предотвращающим холодовое сокращение мышечной ткани и ускоряющим ее расслабление. Учитывая то, что этап быстрого охлаждения при использовании данного способа является наиболее ответственным, была составлена графическая зависимость, позволяющая осуществить выбор режима охлаждения мяса до температуры на поверхности 12°C в зависимости от температуры, скорости движения воздуха и толщины бедра полутуши (рис. 9). Второй этап - выдерживание мяса при положительной температуре может быть осуществлен исходя из данных, представленных на рис. 7. Испытания показали приемлемость использования предложенной методики выбора параметров режима охлаждения мяса на производстве.

Выводы

292

Разделка мяса на мелкие куски до прохождения механохимических процессов вызывает увеличение степени сокращения мышечной ткани. Охлаждение мяса до температуры 10°C и ниже вызывает сокращение мышечной ткани. Степень холодового сокращения зависит от условий охлаждения и хранения животной ткани. Расслабление мышечной ткани, охлажденной с помощью постоянного температурного режима, наступает примерно на пятые сутки, мяса, охлажденного с помощью переменного температурного режима - на вторые. Предложена методика, позволяющая выбрать режим охлаждения мяса с учетом предотвращения его холодового сокращения и показана возможность ее использования на производстве.

Литература

1. Евелев С.А., Скоморовская И.Р. Моделирование в механоструктурном анализе пищевых продуктов. - Межвуз. сб. науч. тр. Л., 1979. Холодильная обработка и хранение пищевых продуктов. с. 144-151.