УЛЬТРАСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАМОРОЖЕННОГО МЯСА В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ

ULTRASTRUCTURAL CHANGES IN FROZEN MEAT DURING STORAGE

Одна из главных задач мясной промышленности - снабжение населения охлажденным мясом, однако для создания мясных резервов до сих пор крайне необходимо замораживание мяса. В связи с этим большой интерес представляет изучение изменений, протекающих в замороженном мясе в процессе хранения. При этом важным показателем является его микроструктура. Проведенные ранее в этом направлении гистологические исследования позволили выявить различия в форме, количестве и распределении кристаллов льда в замороженном мясе, а также изменения, связанные с механическим воздействием образующихся кристаллов на мышечную ткань. Однако на основании этих данных не представляется возможным со всей достоверностью судить о глубоких структурных изменениях мяса.

Применение более совершенных методов исследований, в том числе и электронной микроскопии, позволит вскрыть сущность процессов, происходящих в мясе при замораживании и последующем хранении.

В работе приведены результаты ультраструктурных исследований мяса, замороженного в парном и охлажденном состоянии, на различных этапах его хранения.

Исследовали m. longissimus dorsi от шести полутуш, замороженных при -I8, -20°С: три в горячем и парном состоянии и три - после суточного охлаждения при 0, -I°С. Пробы мышечной ткани размером 2xIxI мм отбирали из средней части длиннейшей мышцы спины с глубины 3 см после разделки туш (через 20-30 мин. после убоя), через сутки, а затем через 3, 6 и 9 мес. хранения. Замороженные полутуши хранили при -I8, -20°С.

Взятые пробы фиксировали I%-ным раствором OsO_4 по Колфильду и заливали в метакрилат. Срезы изготовляли на ультрамикротоме LKB-480IA, контрастировали в процессе проводки уранил-ацетатом и фосфорновольфрамовой кислотой, а затем - на сеточках - гидроокисью свинца по Рейнольдцу. Просматривали срезы в электронном микроскопе УЭМБ-I00 при 5000-40000 инструментальном увеличении.

Ультраструктура парного и охлажденного мяса перед замораживанием

В парных полутушах (через 20-30 мин. после убоя) волокна мышцы плотно прилегают друг к другу, миофибриллы их как правило расслаблены: хорошо различимы А, I и Н диски, темные Z и М полоски. В саркомерах миофибрилл отчетливо выявляются миозиновые и актиновые протофибриллы. Сарколемма плотно прилегает к мышечному волокну, ядра расположены непосредственно под оболочкой и имеют тонкозернистую структуру. Между миофибриллами хорошо различимы пространства, заполненные зернистой массой саркоплазмы. Сосуды, расположенные между мышечными волокнами в соединительнотканых прослойках, сохранены, форменные элементы крови не разрушены.

В полутушах, охлаждавшихся в течение суток, волокна длиннейшей мышцы спины раздвинуты, в отдельных участках отмечается отслоение сарколеммы. Миофибриллы мышечных волокон сокращены и плотно прилегают друг к другу, структуры их сжаты и уплотнены (рис. I). Обнаруживается смещение отдельных элементов рядом лежащих миофибрилл по отношению друг к другу. Ядерные структуры разрыхлены. Саркосомы сжаты, матрикс их просветлен. В кровеносных сосудах мышечной ткани обнаруживается деструкция белков плазмы крови и гемолиз эритроцитов.

Рис. I. Электронограмма участка мышечного волокна длиннейшей мышцы спины через сутки охлаждения при 0, -I°С

Ультраструктурные изменения замороженного парного мяса в процессе его хранения

Через сутки после начала замораживания полутуш волокна длиннейшей мышцы спины сохраняют в основном то же расположение, конфигурацию и структуру, что и в парном мясе. Миофибриллы мышечных волокон располагаются на некотором расстоянии друг от друга, их тонкая структура отчетливо различима и не изменена (рис. 2). На отдельных участках внутри мышечных волокон обнаруживаются значительные механические повреждения – разрывы миофибрилл. Повсеместно отмечаются деструктивные изменения саркоплазматических мембран и саркосом, а также разрыхление соединительнотканых прослоек.

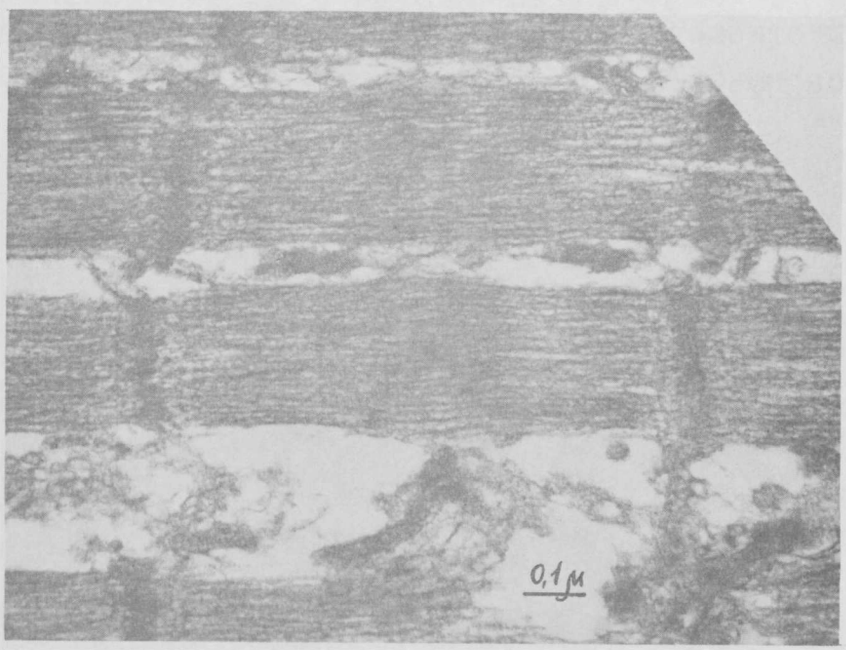

Рис. 2. Участок мышечного волокна длиннейшей мышцы спины через сутки после начала замораживания парных полутуш

Через 3 мес. хранения замороженного мяса в миофибриллах мышечных волокон выявляются уплотненные участки протофибриллярных структур, в основе которых лежит агрегация целых групп

белковых нитей. Развивается агрегация продольно оси миофибрилл и носит локальный характер. Размеры агрегированных уплотненных участков достигают в длину 0,4 μ , в толщину - 0,I μ (рис. 3). Концы протофибрилл расходятся из зоны уплотнения веерообразно в разные стороны. Наряду с сильно уплотненными участками в миофибриллах обнаруживаются также отдельные зоны сгущения протофибрилл - центры начинающейся агрегации. Агрегационные изменения белков обнаруживаются не только в миофибриллах, но и других структурах волокна, чаще всего в ядрах. В последних они выявляются в виде локальных уплотнений внутриядерных структур. В целом, тонкая структура миофибрилл, за исключением агрегированных участков, хорошо сохраняется. Сохраняется взаимное расположение миофибрилл относительно друг друга, а также разграниченность их на саркомеры.

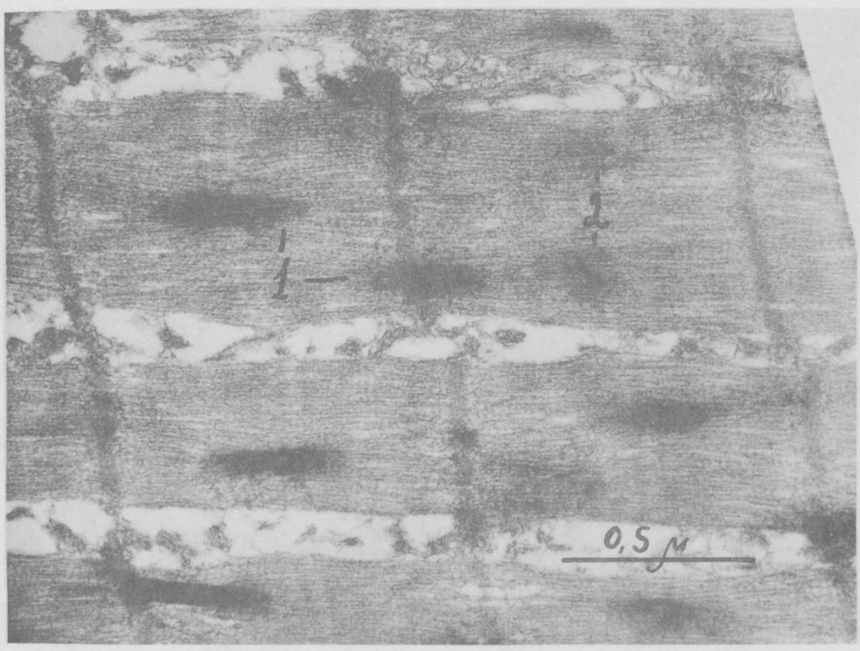

Рис. 3. Электронограмма участка мышечного волокна длиннейшей мышцы спины замороженного парного мяса через 3 мес. хранения:
I - локальная агрегация протофибриллярных структур; 2 - зоны уплотнения протофибрилл

Через 6 мес. хранения мяса, замороженного в парном состоянии, степень агрегационных изменений усиливается: отмечено более значительное слияние групп рядом лежащих протофибрилл на участке, часто захватывающем по длине 2-3 саркомера (рис. 4). Тонкая структура миофибрилл в подавляющем большинстве участков мышечных волокон хорошо сохранена. Повсеместно выявляются деструктивные изменения мембранных структур и саркосом, а в отдельных участках отмечаются механические разрушения миофибрилл.

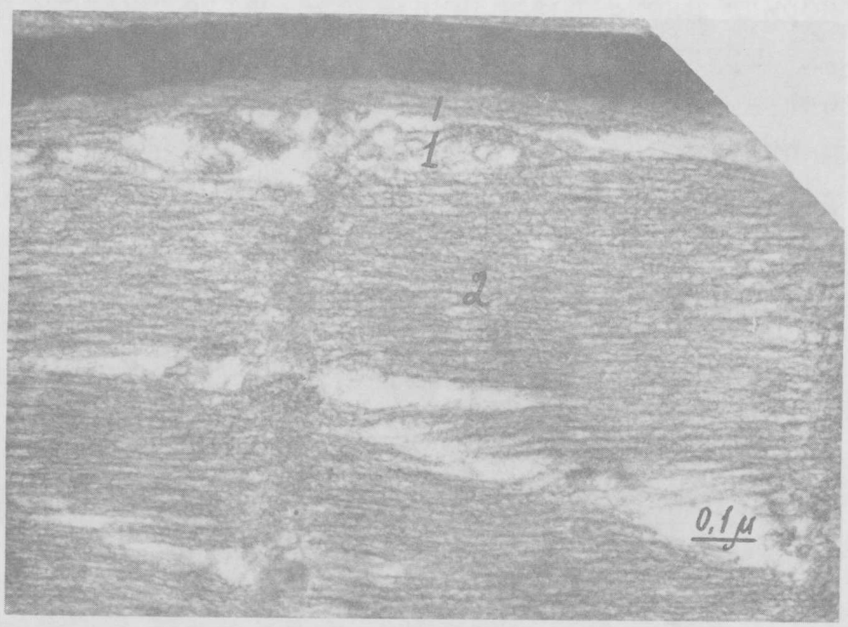

Рис. 4. Участок мышечного волокна длиннейшей мышцы спины замороженного парного мяса через 6 мес. хранения: I - сильная локальная агрегация протофибрилл; 2 - хорошо сохранившиеся структуры миофибриллярных белков

Через 9 мес. хранения, наряду с наличием в мышечных волокнах локальных агрегированных участков, обнаруживаются небольшие деструктивные изменения в структуре миофибрилл, выражающиеся в появлении множественной агрегации белковых нитей, небольшом разрыхлении протофибриллярных структур и началом разрушения Z-пластинок.

Ультраструктурные изменения охлажденного замороженного мяса в процессе хранения

После 3 мес. хранения мышечные волокна мяса, замороженного в охлажденном состоянии, значительно раздвинуты. Миофибриллы их плотно прилегают друг к другу и находятся в сокращенном состоянии. В отдельных участках они повреждены кристаллами льда. Повсеместно выявляются деструктивные изменения саркосом и мембранных структур. В миофибриллах наблюдается значительное количество плотных агрегированных участков, расположенных локально по длине волокна (рис. 5). В целом тонкая структура миофибрилл плохо различима, вследствие значительного уплотнения их структур, Z-пластинки местами распались. Между миофибриллами и внутри их обнаруживаются небольшие неправильной формы пустые полости, оставшиеся на месте локализации кристаллов льда.

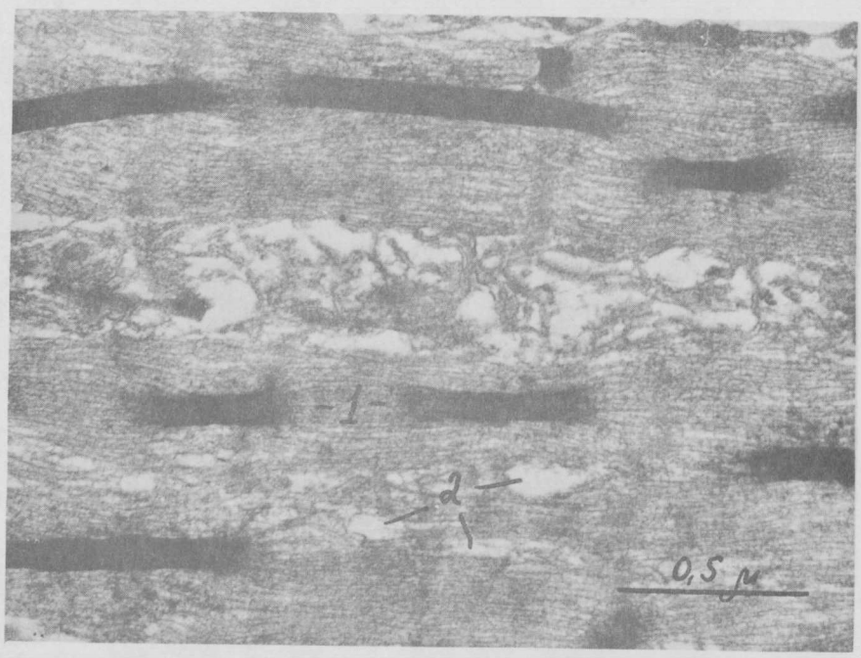

Рис. 5. Электроннограмма мышечного волокна длиннейшей мышцы спины охлажденного замороженного мяса через 3 мес. хранения:
I - локальная агрегация протофибрилл; 2 - микропустоты на месте локализации кристаллов льда

Через 6 мес. хранения мяса в миофибриллах мышечных волокон наряду с плотными агрегированными участками протофибриллярных структур повсеместно обнаруживается их множественная агрегация (рис. 6). Часто наблюдается переход крупных очаговых уплотнений протофибрилл в множественные локальные слияния отдельных участков рядом лежащих белковых нитей. Первоначальная структура миофибрилл подвергается сильным изменениям: Z-пластинки повсеместно разрушены, протофибриллы в отдельных участках порваны. Одновременно между протофибриллами и миофибриллами выявляются полости неправильной формы различной величины - места локализации кристаллов льда.

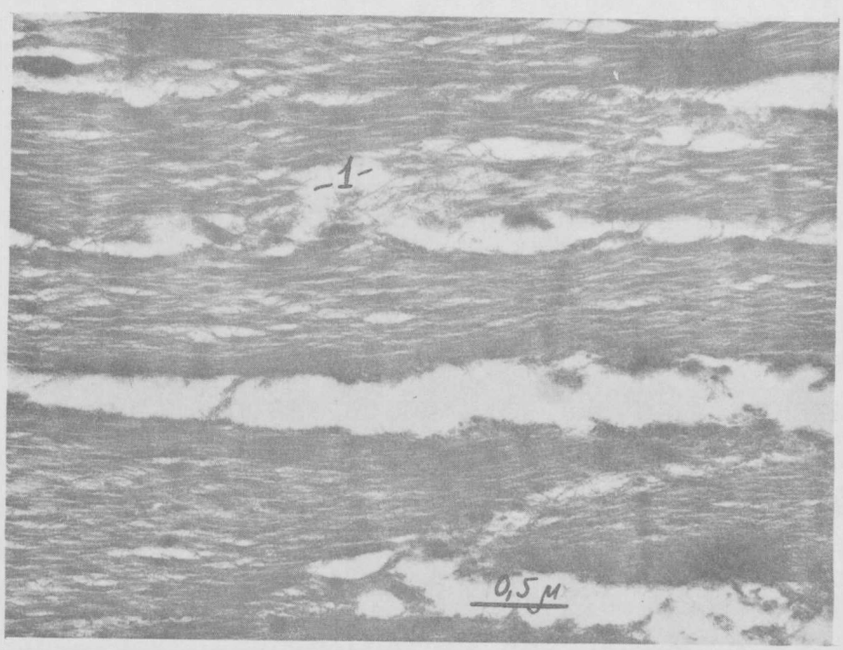

Рис. 6. Участок мышечного волокна длиннейшей мышцы спины охлажденного замороженного мяса через 6 мес. хранения:
I - разрывы протофибрилл на месте локализации кристаллов льда

К 9 мес. хранения процессы агрегации, представленные множественными диффузно расположенными уплотнениями протофибриллярных структур значительно усиливаются, вследствие чего происходит резкое разрыхление миофибрилл, появление в них значительного количества небольших полостей, нарушение

целостности протофибрилл. Структура миофибрилл в значительной степени нарушена. Между миофибриллами выявляются крупные полости с неровными контурами, местами вклинивающиеся непосредственно в миофибриллы. В этих же участках отмечены механические разрушения миофибрилл. Усиливаются также деструктивные изменения в мембранных структурах и саркосомах.

В Ы В О Д Ы

Исследования показали, что в процессе хранения замороженного мяса аутолитические процессы резко заторможены, а происходящие в мышечной ткани изменения связаны, главным образом, с механическими нарушениями и агрегационными изменениями белков мяса. Характер и степень этих изменений в значительной мере зависят от развития аутолитичееких процессов в мясе, поступающем на замораживание.

Так, при замораживании парного мяса, несмотря на значительные механические нарушения в целостности мышечных волокон кристаллами льда, их ультраструктуры сохраняются в процессе хранения значительно лучше и более длительное время, чем при замораживании мяса в стадии посмертного окоченения.

При хранении мяса, замороженного в стадии посмертного окоченения, уже к 3 мес. обнаруживается сильно развитая локальная агрегация протофибриллярных белков, захватывающая целые пучки белковых нитей по длине миофибрилл. К этому же времени начинает развиваться и множественная агрегация всего протофибриллярного аппарата. Следует полагать, что указанные изменения связаны с более низкой влагоудерживающей способностью белков, когда значительное количество связей может принимать участие в процессе агрегации. Удлинение сроков хранения такого мяса свыше 3 мес. приводит к значительному усилению агрегационных изменений. При этом характер агрегации меняется - она распространяется на весь протофибриллярный аппарат и из локальной переходит в диффузную. Вследствие такой агрегации структура миофибрилл в целом резко разрыхляется, разграниченность на саркомеры стирается, Z-пластинки фрагментируются. В результате усиления агрегационных изменений происходит перераспределение влаги с выходом ее как между протофиб-

риллами с образованием там небольших кристаллов, так и между миофибриллами с увеличением размеров уже имеющихся там кристаллов. Перекристаллизация воды в мясе, замороженном в стадии посмертного окоченения, возрастает к 6 мес. и прогрессирует в процессе дальнейшего хранения мяса, что приводит к значительным деструктивным нарушениям, носящим повсеместный характер.

Таким образом, известное из литературы резкое понижение влагоудерживающей способности мороженого мяса можно объяснить, прежде всего, развитием агрегационных изменений белков и связанными с этим явлениями перераспределения влаги, а также усилением деструктивных процессов при хранении мяса.

Выполненные исследования показали, что в мясе, замороженном в охлажденном состоянии, по сравнению с парным замороженным, агрегационные и деструктивные изменения выражены более значительно и в процессе его хранения прогрессируют более интенсивно.

LIST OF FIGURES

FIG.1. Electrongraph of the muscle fiber of l.dorsi after 1-day chilling at 0° and $-1^{\circ}C$.

FIG.2. The muscle fiber of l.dorsi 1-day after the beginning of fresh sides.

FIG.3. Electrongraph of the muscle fiber of l.dorsi of fresh-frozen meat after a 3-month storage:
1 - local aggregation of protofibrillar structures;
2 - zones of protofibrils compacting.

FIG.4. The muscle fiber of l.dorsi of fresh-frozen meat after a 6-month storage:
1 - intensive local aggregation of protofibrils;
2 - well-preserved structure of myofibrillar proteins

FIG.5. Electrongraph of the muscle fiber of l.dorsi of frozen pre-chilled meat after a 3-month storage:
1 - local aggregation of protofibrils;
2 - microcavities in places of ice crystals localization.

FIG.6. The muscle fiber of l.dorsi of frozen pre-chilled meat after a 6-month storage:
1 - protofibril breakages in places of ice crystals localization