

УДК 664.9.03

ХАРАКТЕР ЛЬДООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ (МЯСА) РЫБЫ, ПТИЦЫ И УБОЙНЫХ ЖИВОТНЫХ

Хвыля С.И., д-р техн. наук, **Корешков В.Н.**, канд. техн. наук,
Лапшин В.А., канд. техн. наук, **Хохлова Л.М.**

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (Москва)

Реферат. Показаны результаты исследования образования кристаллов льда при замораживании рыбы, мяса птицы и мяса убойных животных. Представлена микроструктура и ее особенности в замороженном пищевом сырье, основой которого является мышечная ткань. Указаны различия в интенсивности формирования кристаллов льда у животных различных типов.

Ключевые слова: гистология, замороженные продукты, рыба, мясо птицы, мясо убойных животных, морфометрический анализ, формирование кристаллов льда

Summary. The results of investigations of ice crystals during freezing of fish, poultry meat and meat of slaughter animals are shown. The microstructure and its features are presented in frozen food raw materials, the basis of which is muscle tissue. The differences in the fluxes of ice crystals in animals of various types are indicated.

Key words: histology, frozen foods, fish, poultry meat, meat of slaughter animals, morphometric analysis, formation of ice crystals

Введение. Одним из наиболее распространенных методов сохранения качества пищевого сырья, особенно для длительных сроков, уже много веков является замораживание и хранение в замороженном виде. В настоящее время замораживание мясного сырья также является оптимальной формой для его транспортирования и хранения.

На современном этапе статистические данные свидетельствуют о наращивании в РФ производства рыбы, птицы и мяса всех типов убойных животных. Одновременно возрастает и производство замороженного сырья при сохранении пропорции между охлажденным и замороженным мясом. Огромные расстояния в России требуют транспортировки не только в охлажденном состоянии, но и в том числе с предварительным замораживанием при соблюдении адекватных режимов холодильного хранения.

Одним из достаточно быстрых, эффективных и объективных методов оценки качества мясного сырья является микроструктурный гистологический анализ. При этом содержание и локализация формирующихся в замороженном мышечном сырье кристаллов льда однозначно свидетельствует о будущих характеристиках мяса для использования в качестве пищевого сырья после его последующего размораживания.

Объекты и методы исследования. Для анализа льдообразования в мышечной ткани были использованы: карп (*Cyprinus carpio*), радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*) и тунец (*Thunnus sp.*); птица – куры (*Gallus gallus*), индейка – (*Meleagris gallopavo*); убойные сельскохозяйственные животные: крупный рогатый скот (*Bos taurus taurus*), свиньи (*Sus scrofa domestica*), овцы – (*Ovis aries*). У рыб использовали мышцы спины, у кур грудные мышцы, у индейки большое филе. Образцы говядины, свинины и баранины отбирали от длиннейшей мышцы спины в поясничной области.

Было использовано охлажденное мясо, замороженное в скороморозильных аппаратах, в холодильных камерах, а также в экспериментальных замораживающих камерах с

электромагнитным воздействием различного типа. Замораживание проводили при температуре (-18) °С, либо (- 35) °С.

Материал для микроструктурного анализа изготавливали резкой образцов мяса без предварительного размораживания и воздействия фиксирующих реактивов, перенося непосредственно из морозильной камеры в камеру микротомы-криостата. При формировании кусочков мяса их ориентировали таким образом, чтобы для анализа порозности (пористости) получать преимущественно поперечные срезы мышечных волокон с толщиной срезов около 15 мкм. Подсушенные срезы окрашивали гематоксилином Гарриса и водно-спиртовым эозином, заключая в глицерин-желатин под покровное стекло. Все исследования проводили на световом микроскопе Jenaval (Carl Zeiss) с фотографированием и последующей обработкой полученных изображений на компьютерном графическом редакторе. Фотографирование проводили с использованием объективов с 10- и 20-ти кратным увеличением. Для анализа порозности (пористости) измеряли объем мяса, лишенный окраски, и, соответственно, занимаемый кристаллами льда. Измерение проводили с помощью морфометрической решетки с применением светового микроскопа и с последующей статистической обработкой получаемых данных.

Обсуждение результатов. В настоящий момент в научной литературе достаточно много сведений о кристаллизации влаги в мышечной ткани после замораживания [1 - 7], однако приведенные сведения не всегда однозначны и зачастую являются лишь повторением гораздо более ранних исследований. Мы представляем данные, полученные нами за продолжительный период времени в ходе разноплановых исследований замороженного пищевого сырья, которые в кратком варианте представлены ниже.

Микроструктурные особенности формирования кристаллов льда в мышечной ткани замороженной рыбы. Мышечная ткань во всех анализированных образцах рыбы содержит многочисленные кристаллы льда, располагающиеся как между мышечными волокнами, так и внутри самих мышечных волокон. Граница между отдельными мышечными волокнами определяется достаточно четко. Форма мышечных волокон на поперечных срезах полигональная либо более сложная, в зависимости от степени их деформации кристаллами льда.

Мышечные массы содержат большее число кристаллов в области межпучковых пространств и перимизия. В зависимости от режимов замораживания мышечные волокна могут сохранять свою целостность, когда сарколемма на основном своем протяжении непрерывна. При этом пустоты на месте кристаллов льда обнаруживаются преимущественно в межклеточных пространствах. Также кристаллы льда могут располагаться в массе мышечной ткани единично, либо сливаются в комплексы сложной формы, формируя достаточно крупные образования. Наиболее крупные комплексы чаще всего располагаются в мышечной массе относительно равномерно. Соединительнотканые прослойки между мышечными волокнами очень тонкие и могут быть существенно разрыхлены. Это не относится к септальным перегородкам, внутри которых формирование кристаллов льда не отмечено. В целом же повреждения мышечной ткани рыбы после ее замораживания значительны, хотя и колеблются в разных образцах в существенной степени (рис. 1). Максимальный размер кристаллов льда отмечен для замороженной мышечной ткани карпа.

Измеренная морфометрическим методом порозность замороженного мяса рыбы составила для различных образцов: у карпа – от 35 % до 45 %, у тунца – от 33 % до 42 %, у форели – от 27 % до 40 %. Различия в интенсивности формирования кристаллизованной влаги отмечаются как в зависимости от вида рыбы, так и от условий замораживания тушек рыбы. Повышенная порозность мяса тунца скорее всего связана с большими размерами рыбы и вследствие этого с более выраженным развитием автолитических процессов до

начала замораживания. Об этом однозначно свидетельствуют значительные деструктивные изменения мышечной ткани тунца.

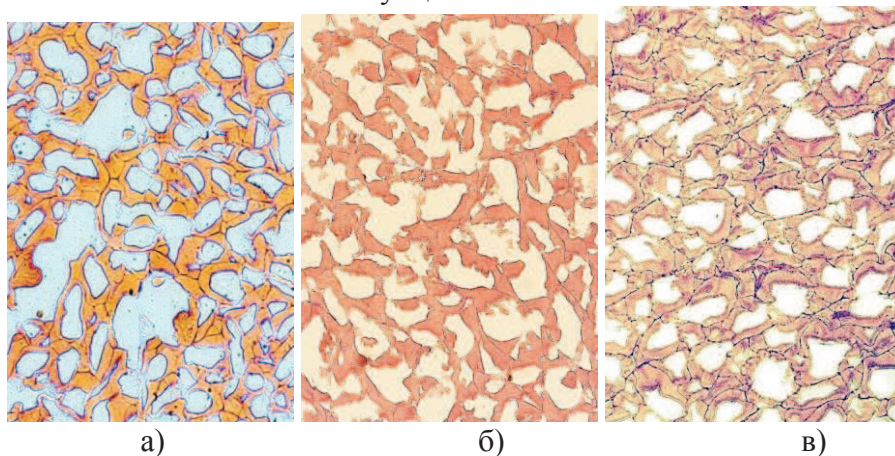


Рис. 1. Микроструктурные особенности формирования кристаллов льда в мышечной ткани замороженной рыбы: а) карп; б) тунец; в) форель

Микроструктурные особенности формирования кристаллов льда в мышечной ткани замороженной птицы. Мясо и, соответственно, мышечная ткань замороженной птицы содержит достаточно много льда, несколько больше в областях, сформированных соединительнотканым каркасом мышц. Кристаллы льда также располагаются между отдельными мышечными волокнами внутри мышечных пучков. Сами мышечные волокна даже после инъектирования солевыми растворами преимущественно сохраняют свою целостность и разрывов сарколеммы обычно не наблюдается, а формирующиеся кристаллы льда находятся в зонах перимизия. На поперечных срезах мышечных волокон можно отметить, что они деформированы в незначительной степени. Мышечные волокна в первичном пучке упакованы не очень плотно, между ними всегда наблюдаются светлые промежутки, частично появившиеся в результате образования кристаллов льда в межклеточных пространствах. Соединительнотканые прослойки умеренно разрыхлены кристаллизованной влагой.

В случае инъектирования сырья солевыми смесями замораживание приводит к образованию очень крупных неокрашиваемых полостей, заполненных по всей видимости комплексами слившихся многочисленных кристаллов льда. Подобный морфологический признак существенно отличает микроструктуру интактного замороженного мяса от предварительно инъектированного солевыми растворами и после этого замороженного.

Порозность замороженного мяса птицы заметно различалась у кур без инъектирования (рис. 2а), с инъектированием мяса солевыми смесями (рис. 2б) и у индейки (рис. 2в).

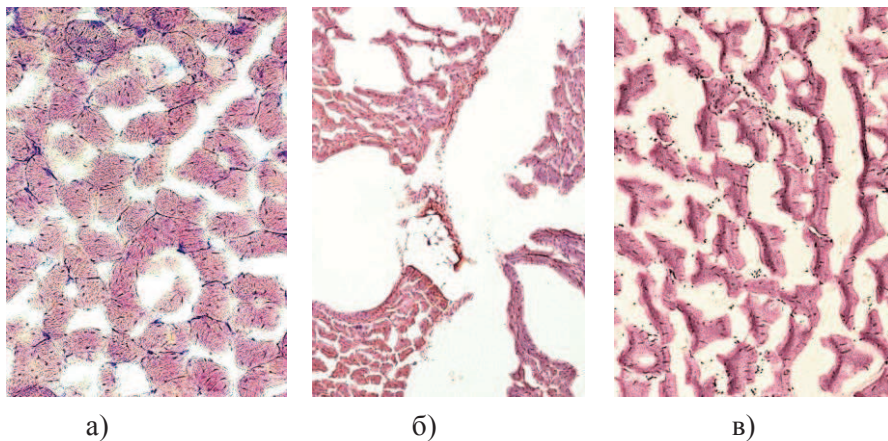


Рис. 2. Микроструктурные особенности формирования кристаллов льда в мышечной ткани замороженной птицы: а) курица; б) курица с инъектированием; в) индейка

Измеренная морфометрическим методом порозность составила для различных образцов: курицы без инъектирования от 25 % до 35 %, с инъектированием – от 40 % до 65 %, для филе индейки – от 30 % до 40 %. Различия интенсивности льдообразования отмечаются в зависимости от условий замораживания, так и от вида птицы. Максимальная порозность была зафиксирована для инъектированного соевыми растворами мяса, что может служить диагностическим признаком для определения неинъектированного мяса птицы.

Микроструктурные особенности формирования кристаллов льда в мышечной ткани убойных животных. При комплексном исследовании мышц убойного скота методами оптической гистологии и морфометрического измерения порозности были выявлены особенности формирования кристаллизации воды при замораживании мяса убойных животных (рис. 3).

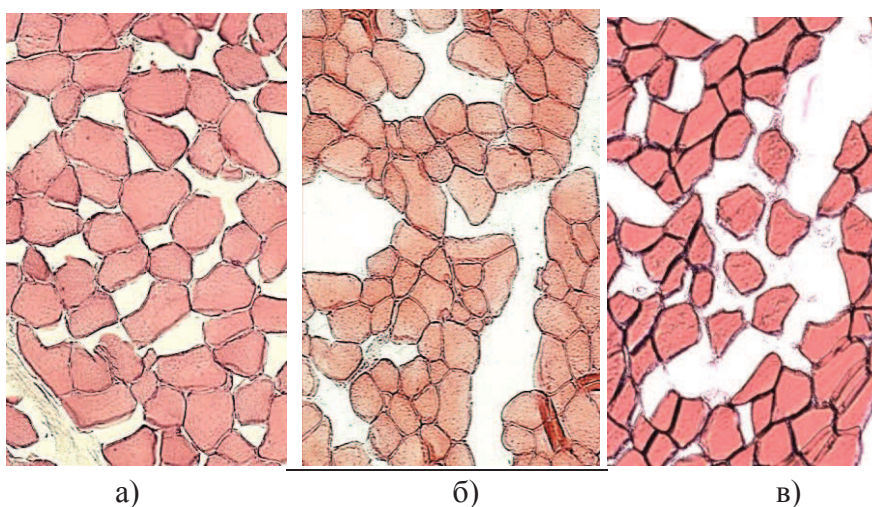


Рис. 3. Микроструктурные особенности формирования кристаллов льда в мышечной ткани убойных животных: а) свинина; б) говядина; в) баранина

Основная масса мышечной ткани имеет умеренно губчатую структуру. В части межпучковых пространств могут образовываться достаточно крупные пустоты, заполненные льдом. Более мелкие кристаллы льда окружают практически каждое мышечное волокно. Сарколемма подавляющего большинства мышечных волокон сохраняет свою целостность. В результате процесса формирования льда сильно разрыхляются не только толстые прослойки перимизия, но и прилегающий непосредственно к мышечным волокнам эндомизий. Сами мышечные волокна удерживаются друг относительно друга разреженной и растянутой сетью волокнистой части соединительнотканного каркаса мышц. Эта сеть косвенно свидетельствует о множественности формирования именно мелких кристаллов, а не преимущественном росте единичных кристаллов льда.

Кристаллизация льда внутри мышечных волокон наблюдается лишь отчасти, преимущественно в мясе PSE или же является результатом грубых нарушений режимов холодильного хранения. Эти признаки в замороженном мясе несколько варьируют, проявляясь в большей или меньшей степени в зависимости от принадлежности сырья к тому или иному виду убойных животных. Однако они в большей мере определяются морфологическими характеристиками составляющих мышечных волокон и развитию ее соединительнотканного каркаса.

Порозность замороженного мяса использованных убойных животных, измеренная морфометрическим методом, составила для различных образцов: свинины от 18 % до 23 %, говядины – от 20 % до 27 %, у баранины – от 23 % до 30 %. Различия отмечаются в зависимости от условий замораживания и вида животного, а также, как было установлено ранее, группы качества мяса.

Рост кристаллов тесным образом связан со сложнейшими физико-химическими и биохимическими процессами, происходящими в мясе в период раннего автолиза, и замораживании. При понижении температуры окружающей среды ниже криоскопической происходит процесс агрегирования белков в сложные комплексы, с понижением их растворимости и высвобождением связанной влаги. При замораживании и, в последующем, при хранении внутриклеточная вода перемещается от клеточных структур в межклеточное пространство. При этом в первую очередь в кристаллическую форму переходит вода в зонах с развитой соединительной тканью, включая ее аморфную составляющую. При этом часто происходит нарушение целостности мышечных волокон, разрыхление соединительнотканых образований, приводя к снижению водосвязывающей способности мяса, ухудшению вкуса и консистенции мяса, значительным потерям мясного сока после его размораживания.

Выводы. При замораживании пищевого сырья, основу которого составляет мышечная ткань, интенсивность образования кристаллов льда максимальна в рыбе и минимальна в мясе убойных животных. Мясо птицы в этом отношении находится в промежуточном положении.

В замороженных тканях рыб происходит существенное разрушение мышечных волокон, в том числе включая сарколемму. Нередко наблюдается формирование кристаллов льда внутри собственно мышечных волокон, что в последующем при его размораживании приводит к потерям водорастворимых компонентов мяса.

Широко практикуемое поставщиками мяса птицы для мясоперерабатывающих предприятий инъекционное филе и тушек солевыми смесями приводит к выраженной деструкции мышечной ткани в результате формирования кристаллов льда и последующей потере пищевых веществ при размораживании и технологической переработки мясного сырья птицы.

При инъекции мясного сырья кристаллы льда в первую очередь локализируются в ассоциации с соединительнотканым каркасом мышц. Внутри мышечных волокон в мясе убойных животных образование кристаллов льда происходит в относительно меньшем объеме и лед преимущественно локализован в зонах эндомизия и перимизия.

При формировании крупных полостей в замороженном мясе с помощью использованных методов исследования крайне затруднительно однозначно определить, состоят ли они из монолитных кристаллических образований значительного размера или комплекса мелких кристаллов льда.

Литература

1. Винникова, Л.Г. Влияние параметров замораживания на микроструктуру мяса / Л.Г. Винникова, А.А., Шарпе, Е.Д. Янковая // Харчова наука і технологія. – 2011. – №2 (15). – С. 5-7.
2. Коржевский, Д.Э., Основы гистологической техники. Практическое руководство, /Д.Э. Коржевский, А.В. Гиляров. - М.: Изд-во СпецЛит, 2010. – 95 с.
3. Товароведение и экспертиза мясных и мясосодержащих продуктов: учебник / под общей ред. В.И. Криштафович. – 2-е изд. стер. – СПб.: Изд-во «Лань», 2018. – 432 с.
4. Кудряшов, Л.С. Физико-химические основы производства мяса и мясных продуктов. / Л.С. Кудряшов. - М.:Изд-во Дели принт, 2008. – 160 с.
5. Микротехника: практикум / сост. И. П. Комарова; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2013. – 60 с.
6. Стефановский, В.М. Влияние дохолодильной обработки рыбы и рыбной продукции на продолжительность морозильного хранения. / В.М. Стефановский. //Рыбное хозяйство. – 2016. – №4. – С. 103-105.
7. Хвьяля, С.И. Оценка качества и биологической безопасности мяса и мясных продуктов микроструктурными методами. Учебное пособие. /С.И. Хвьяля, Т.М. Гиро. – Саратов: Изд-во СГАУ, 2015. – 240 с.