

Сравнительная оценка способов замораживания мясного сырья с различным характером автолиза

Литвинова Елена Викторовна¹, Артамонова Марина Петровна¹, Бухтеева Юлия Михайловна¹

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Литвиновой Е.В., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: illusionse@mail.ru

Изучение качественных показателей мяса в процессе криогенного метода замораживания с различным характером автолиза имеет особо актуальное значение в контексте повышения интереса к обеспечению эффективного здоровьесбережения нации и продвижения теории ресурсосберегающих отраслей в рамках соответствия и внедрения лучших доступных технологий. Целью оригинального исследования являлось проведение сравнительной оценки изменения показателей качества говядины и свинины с признаками NOR и DFD в зависимости от различных способов замораживания. В рамках выполнения работы руководствовались ТР ТС 02½11, ТР ТС 034/2013, МУК 4.2.2747-10 и ГОСТ. В результате проведенных исследований выявлен характер изменения свойств мяса в зависимости от способов замораживания (воздушное, криогенное, акустическое) и характера автолиза (говядина DFD, свинина DFD, говядина NOR, свинина NOR). При хранении мяса в замороженном виде в течение 6 месяцев не происходит нарастающего вымораживания влаги из саркоплазмы мышечных волокон, перемещающейся в межволоконное и межпучковое пространство. Установлено, что наименьшие изменения претерпевает мясо, замороженное криогенным методом, а также с применением акустического воздействия. При всех исследуемых режимах замораживания наибольшую стабильность показателей качества продемонстрировала, как говядина, так и свинина с признаками DFD. Результаты исследования раскрывают дополнительные технологические свойства мяса с различным характером автолиза, что играет важную практическую роль для мясоперерабатывающих предприятий отрасли.

Ключевые слова: риозамораживание, DFD мясо, NOR мясо, сравнительный анализ, физико-химические показатели, гистология

Введение

На современном этапе развития пищевой промышленности возникает проблема производства качественных и безопасных пищевых продуктов для жизни и здоровья населения. Это самая главная задача производителей всех стран, заботящихся о здоровье нации и надлежащем уровне жизни граждан (Tarrant, 1989).

Качество замороженных продуктов определяется составом и свойствами объектов замораживания и теми изменениями, которые претерпевают компоненты продуктов на стадиях замораживания и последующего хранения (Tan, 2017).

Изменение свойств мяса и мясопродуктов при замораживании, в первую очередь, связано с про-

цессом кристаллообразования влаги, сопровождающегося механическим повреждением морфологических элементов тканей, перераспределением влаги между структурными образованиями, повышением концентрации растворенных в жидкой фазе веществ, что, в свою очередь, сказывается на развитии физико-химических и биохимических процессов (Damez, 2008).

Указанные изменения зависят от уровня и характера автолиза мышечной ткани, компонентного состава мясного сырья, а также условий и режимов замораживания (Farouk, 2004).

Особенности развития автолитических процессов предопределяют специфику качественных характеристик мяса и изготовленных из них продуктов (Gordon, 1991).

Поскольку на отечественных предприятиях часто приходится иметь дело с мясным сырьем, получаемым от животных, у которых после убоя в мышечной ткани происходят биохимические процессы, существенно отличающиеся от нормального развития автолиза, то вопрос целенаправленного использования сырья с учетом характера автолиза приобрел особое значение, так как существенно возросло количество животных, которые попадают на переработку после откорона на промышленных комплексах (Sales, 2020). У этих животных после убоя в мышечной ткани обнаружаются значительные отклонения от обычного развития автолитических процессов (Beltran, 2019).

Появление мяса с признаками DFD может быть вызвано низким содержанием жиров и белков в корме животных, наличием у них злокачественной гиперпирексии (вирулентная лихорадка), характеризующейся бесконтрольным повышением температуры и жесткостью скелетной мускулатуры (Agnelli, 2002).

Мясное сырье с признаками DFD (темное – dark, плотное – firm, сухое – dry) в отдельных регионах России составляет 28–35%, однако эти данные неоднозначны.

Особенностями послеубойных изменений в мясе с признаками DFD являются низкое содержание гликогена, высокая величина pH и водосвязывающей способности, незначительное накопление молочной кислоты, низкая скорость посола (Damez, 2013). Кроме того, большие проблемы возникают при хранении и переработке DFD мяса, так как оно подвергается микробиологической порче быстрее, чем с нормальным значением pH (Lepetit, 2002). Замораживание – процесс понижения температуры продукта ниже криоскопической на 10–30°C, сопровождающийся переходом в лед содержащейся в нем влаги (Egelandsdal, 2019).

В мировой практике для быстрого замораживания продуктов имеется широкий ассортимент скроморозильных аппаратов (Gorlov, 2013). Можно выделить 5 групп способов замораживания по принципу отвода тепла, осуществляемых за счет контакта продукта:

- с хладоносителем (воздухом или раствором солей), который охлаждается хладагентом;
- с хладагентом через металлическую поверхность;
- с хладагентом напрямую;

- за счет испарения в вакууме содержащейся в продукте влаги;
- комбинированный.

Воздушный способ, при котором теплота от продукта воспринимается воздухом и передается поверхности охлаждающих приборов, нашел наибольшее распространение во всех странах. Воздух – естественная и достаточно инертная среда (George, 1993). Широкое использование этого способа обусловлено его простотой и универсальностью, так как он дает возможность замораживать штучные продукты практически любой формы и размеров, неупакованных и упакованных в полимерную пленку или другую тару. При этом скорость процесса зависит от размера продукта, температуры среды и ее циркуляции (Cassius, 2017). Но так как поток воздуха подается с одной стороны, то не вся поверхность продукта участвует в активном теплообмене, что затрудняет равномерность замораживания (Hanenian, 2004). Еще одним недостатком является относительно низкая способность воздуха аккумулировать тепло и предрасположенность его к поглощению влаги (Birdseye, 1933).

На большинстве предприятий замораживание воздушным способом производят при температуре минус 20°C с естественной циркуляцией воздуха или при температуре минус 26–30°C – с принудительной циркуляцией.

Воздушный скроморозильный аппарат представляет собой устройство, имеющее теплоизоляционную ограждающую конструкцию, внутри которой располагаются испарители (воздухохладители), системы подачи воздуха, транспортирования продукта, автоматического управления и регулирования.

Общий парк воздушных механических аппаратов для замораживания штучных пищевых продуктов содержит довольно много разновидностей (Huyn-Wook Kim, 2018). В зависимости от типа транспортирующих средств воздушные аппараты делятся на тележечные, конвейерные и флюидизационные (Bertram, 2007). В тележечных и конвейерных продукты можно замораживать как в мелкой расфасовке, так и в виде блоков, во флюидизационных – в интенсивном и направленном вверх воздушном потоке, в результате чего они поддерживаются во взвешенном состоянии (флюидизированном) (Koohmaraie, 1992). Наибольшее распространение получили морозильные воздушные аппараты тележечного типа (Ma, 2020).

Для замораживания близких по форме и размерам пищевых продуктов используют конвейерные

аппараты, в которых продукт транспортируется конвейером различного типа: цепным, лотковым, пластинчатым, ленточным с электрическим или гидравлическим приводом, действующим непрерывно или циклически (Pearce, 2011).

Особую группу воздушных морозильных аппаратов составляют флюидизационные, замораживающие мелкоштучные продукты в плотном взвешенном воздушном слое, толщина которого регулируется в зависимости от размера и теплофизических свойств продукта (Mortensen, 2006). Флюидизация осуществляется на поддонах с перфорированным днищем или на сетчатых конвейерах, при этом обычно используется двухступенчатая схема организации процесса с передачей подмороженного продукта на ниже лежащий транспортер, где происходит замораживание (Poznyakovskiy, 2015).

Несмотря на то, что воздушные морозильные аппараты получили широкое распространение, у них есть множество недостатков:

- имеют высокую стоимость основных фондов: нуждаются в дорогостоящих производственных помещениях большой площади;
- требуют продолжительных сроков изготовления и введения в эксплуатацию, громоздкого и металлоемкого оборудования; высоких эксплуатационных затрат из-за низкой надежности и недолговечности оборудования, нуждающегося в частых ремонтах, а также высокой стоимости запасных частей и расходных материалов и необходимости содержания большого количества квалифицированного обслуживающего персонала; больших затрат электроэнергии;
- холодильные агенты (хладоны, аммиак) экологически опасны;
- происходят значительные потери массы продукта от усушки (Xu, 2006).

Погружной способ в некипящей жидкости, при котором отвод тепла осуществляется за счет контакта продукта с хладоносителем – жидкостью, характеризуется более эффективным отводом теплоты по сравнению с воздушным способом (Tomovic, 2008). Однако возникающие при этом трудности, связанные с нежелательным проникновением охлаждающего вещества (хладоносителя) в продукт, с соблюдением санитарно-гигиенических условий, с поддержанием концентрации хладоносителя и отсутствием доступных нетоксичных и инертных жидкостей, ограничивают применение такого способа (Pellissery, 2020).

Погружные (иммерсионные) морозильные аппараты подразделяются на две группы: с неподвижным (стационарным) положением продукта в жидким хладоносителе; с перемещением продукта в жидким хладоносителе транспортером (Youling L. Xiong, 2017).

Существенными недостатками таких аппаратов являются низкий уровень механизации, цикличность работы, что не позволяет включать их в общую поточную линию переработки штучных продуктов питания (Xu, 2019). Кроме того, применение специальных устройств, обеспечивающих механическое перемещение продукта, усложняет конструкцию аппарата (Gurinovich, 2013).

Так как в основном в качестве некипящей жидкости используют растворы солей хлорида натрия или хлорида кальция, то детали таких аппаратов подвержены коррозии, что сказывается на надежности их работы (Sebranek, 1979). Выполнение узлов аппарата из нержавеющей стали повышает его стоимость, а значительные размеры и наличие орошающих устройств способствуют дополнительным теплопритокам и деконцентрации раствора.

Контактный способ предусматривает замораживание продукта правильной прямоугольной формы за счет его контакта с хладагентом (реже – с хладоносителем) через поверхность морозильных плит, которые с помощью гидравлического или электрического привода плотно прижимаются к продукту, обеспечивая его формовку, подпрессовку.

Основной недостаток плиточных аппаратов – невозможность замораживания продуктов неправильной формы, а кроме того, к отрицательным моментам можно отнести и периодичность действия, в частности, вертикально- и горизонтально-плиточных аппаратов, что не дает возможности их включения в поточную линию производства пищевых продуктов широкого ассортимента.

Для замораживания пищевых продуктов криогенным способом применяют следующие криогенные агенты: жидкий азот, диоксид углерода и хладон.

Криогенные морозильные аппараты являются более эффективными по сравнению с механическими. Такие аппараты делятся на две группы: погружного и форсуночного типа. В первой используется принцип погружения пищевого продукта в криожидкость, во второй – принцип распыления криожидкости на продукт через форсунки.

Наиболее широко применяется жидкий азот. Экономичнее замораживать продукт в криогенном аппарате с двумя зонами: в первой 30–40% теплоты отводится от продукта потоком газообразного азота, а во второй продукт домораживается в жидким азоте.

Если рассматривать все системы азотного замораживания в общем, то, бесспорно, они имеют существенные преимущества, такие как высокая надежность эксплуатации; незначительные затраты на техническое обслуживание и ремонт; высокая хладопроизводительность азотной системы, что позволяет эффективно осуществлять ударную первичную холодильную обработку. Но есть и ряд недостатков, главный из которых – неэкономичный расход достаточно дорогого криовещества, а также высокая интенсивность теплопередачи, что вызывает растрескивание продукта (он теряет товарный вид).

Основываясь на анализе вышеприведенного материала, можно полагать, что показатели качества мяса зависят, как от режимов холодильной обработки, так и от исходного состояния мясного сырья, определяемого характером и глубиной развития автолитических процессов. Направленное использование мясного сырья с учетом его характеристики, зависящих от особенностей развития биохимических процессов в послебойный период, открывает возможность повышения качества продуктов и увеличения их выходов. Новая технология выращивания скота, условия содержания и кормления, организация предубойного содержания и транспортировки обусловили появление не только говядины, но и свинины с нетрадиционными качественными показателями (мяса с признаками DFD).

В этой связи очевидна высокая актуальность исследований и практических разработок, направленных на создание новых и совершенствование существующих технологий и технических средств холодильной обработки мясного сырья.

Целью работы явилось проведение сравнительной оценки изменения показателей качества говядины и свинины с признаками NOR и DFD в зависимости от различных способов замораживания.

Материалы и методы

Объектами исследования служили охлажденные свинина и говядина с признаками NOR ($pH=5,6-6,0$) и DFD ($pH=6,2-6,8$). Опытные образцы мяса подвергались криогенному и акустиче-

скому замораживанию. В качестве контрольных образцов использовали свинину и говядину NOR и DFD, замороженную воздушным способом при $t = -18^{\circ}\text{C}$.

При выполнении исследований по определению показателей пищевой ценности использовали следующие методики: массовую долю влаги – по ГОСТ Р 51479; массовую долю белка – на полуавтоматическом приборе Kjeltec System 1002 «Tecator»; массовую долю жира – по ГОСТ 23042.

Оксипролин в мясных образцах определяли, ориентируясь на ГОСТ 23041-2015, триптофан – на ГОСТ 34132-2017, КБП – расчетным методом (как отношение триптофана к оксипролину).

Структурно-механические свойства мясных продуктов, в частности, напряжение среза и работу резания, оценивали с помощью универсальной испытательной машине «Instron – 1140» с использованием приставки «Kramer Shear Press».

Руководствуясь ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 034/2013 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции», МУК 4.2.2747-10 Методы санитарно-паразитологической экспертизы мяса и мясной продукции, проводили микробиологические исследования и изучали показатели безопасности разработанных продуктов питания.

Органолептическим испытаниям подвергали образцы, ориентируясь на ГОСТ ISO 11037-2013.

Микроструктурные исследования, а также расчет порозности мясных образцов проводили в соответствии с ГОСТ 19496–2013 «Мясо и мясные продукты. Метод гистологического исследования» с применением светового микроскопа «AxioImager A1» (Carl Zeiss, Германия), видеокамеры «AxioCam MRc 5» и компьютерной системы анализа изображений «AxioVision 4.7.1.0».

Полученные результаты обрабатывали, используя общепринятые методы вариационной статистики. Различия показателей считали достоверными при значениях достоверного интервала $> 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Изменение свойств мяса и мясопродуктов при замораживании, в первую очередь, связано с процессом кристаллообразования влаги, сопровождающего-

ся механическим повреждением морфологических элементов тканей, перераспределением влаги между структурными образованиями, повышением концентрации растворенных в жидкой фазе веществ, что, в свою очередь, сказывается на развитии физико-химических и биохимических процессов.

Указанные изменения зависят от уровня и характера автолиза мышечной ткани, компонентного состава мясного сырья и условий и режимов замораживания.

Особенности развития автолитических процессов предопределяют специфику качественных характеристик мяса и изготовленных из них продуктов.

Мясо DFD до замораживания имело темно-красный цвет, близкий к коричневому. Консистенция характеризовалась большей жесткостью и сухостью по сравнению с мясом, отнесенным к группе NOR, поверхность мяса DFD также отличалась повышенной липкостью. Мясо NOR в охлажденном состоянии имело красно-розовый цвет и имело упругую консистенцию.

Анализ полученных данных при изучении мясного сырья позволяет сделать вывод о том, что массовая доля влаги в сырье DFD выше, чем в мясе NOR

на 1%, содержание белка выше на 8%, содержание жира меньше на 12%. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 1.

При определении качественного белкового показателя, установлено, что значение показателя триптофана 380,1 мг/100г для мяса DFD, 347 мг/100 г для мяса NOR. Значение показателя оксипролина составило 46,3 мг/100 г для NOR, 42,9 мг/100 г – для DFD.

Опираясь на представленные результаты, качественный показатель говядины DFD составил 8,86, для говядины NOR – 7,51.

Для оценки интенсивности ферментативного распада гликогена, а также интерпретации данных по изменению белковых веществ при низкотемпературном воздействии изучалось изменение величины pH и ВСС мяса в процессе замораживания и последующего хранения.

Данные изучения концентрации ионов водорода и величины ВСС в исследуемых образцах, представленные в таблице 3, позволяют с уверенностью утверждать о правильности выбранных образцов, что коррелирует с данными органолептических исследований.

Таблица 1
Нутриентный состав говядины (длиннейшей мышцы) и свинины нежирной (н/ж)

Показатели	Говядина NOR	Говядина DFD	Свинина NOR	Свинина DFD
Массовая доля влаги, %	75,30±3,28	76,10±3,81	69,50±3,25	71,30±3,18
Массовая доля белка, %	19,80±1,18	21,40±1,21	17,20±1,32	17,40±1,26
Массовая доля жира, %	4,50±0,23	3,00±0,26	14,10±0,28	12,00±0,25

Таблица 2
Отдельные показатели биологической ценности говядины (длиннейшей мышцы)

Показатели	Говядина NOR	Говядина DFD	Свинина NOR	Свинина DFD
Оксипролин, мг%	46,30±0,21	42,90±0,21	38,30±0,21	42,30±0,21
Триптофан, мг%	347,50±10,16	380,10±10,16	241,70±8,61	295,30±8,61
Качественный белковый показатель (КБП)	7,51	8,86	6,31	6,98

Таблица 3
pH и физико-химические характеристики мяса NOR и DFD

Показатели	Говядина NOR	Говядина DFD	Свинина NOR	Свинина DFD
pH	5,91±0,05	6,67±0,07	5,70±0,04	6,40±0,08
Содержание прочно-связанной влаги, % к общей влаге	75,24±0,21	88,26±0,23	72,28±0,23	82,31±0,23

Мясо с признаками DFD характеризуется более высокой, чем в мясе NOR, разницей между pH мяса и изоэлектрической точкой мышечных белков, а также неглубокими изменениями белков миофибрил в процессе автолиза из-за отсутствия ярко выраженной стадии посмертного окоченения.

Вследствие этого изменение растворимости белков миофибрилл и гидрофильных свойств мяса в процессе последующего хранения выражено не-значительно. В частности, во время хранения мяса с высоким pH наряду с увеличением общего содержания высокомолекулярных фракций не происходит значительных конформационных изменений актомиозиновой фракции, которая способствует поддержанию относительно высокого и стабильного уровня гидрофильности этого мяса в процессе последующего хранения. Это и определяет более высокое значение показателя влагосвязывающей способности мяса с признаками DFD по сравнению с мясом NOR.

Известно, что в мясе с признаками DFD, несмотря на прижизненные потери запасов АТФ, не происходит образование актомиозинового комплекса. Как следствие отсутствует фаза посмертного окоченения и не происходит сокращение мышечных волокон, что выражается в повышении механической прочности. Результаты проведенных исследований структурно-механических характеристик сырья NOR и DFD представлены в таблице 4.

Анализ современного состояния и развития технологий хранения замороженных продуктов животного происхождения, в частности, мяса, показывает, что приоритетным направлением решения проблемы сохранения качества и увеличения срока хранения замороженного мяса является применение дополнительных к холоду вспомогательных технических и технологических средств (физических, химических и биологических методов) (Youling L. Xiong, 2017).

Во время замораживания продукта происходит трансформация агрегатного состояния воды из жидкой стадии в твердую. Условно этот процесс можно разделить на три основные фазы.

Фаза предзамораживания: понижение температуры продукта до начала кристаллизации влаги (начальная точка).

Фаза замораживания: температура продукта не снижается, а находится в пределах от 1 до 4°C, потому что выделение теплоты кристаллизации внутри продукта (из-за перехода воды в лед) в течение некоторого времени компенсирует действие хладагента на продукт. Эта фаза также называется латентной.

Фаза понижения температуры продукта до заданного значения: температура продукта снижается до заданного уровня. Продолжительность латентной фазы оказывает наибольшее воздействие на конечные физико-химические и вкусовые свойства продукта. Чем выше скорость отвода тепла из продукта, тем лучше качество продукта. При недостаточной скорости отвода тепла первоначально происходит кристаллизация воды в межклеточных зонах, а затем внутри клетки, что и разрушает клеточную структуру продукта, и ухудшает его физико-химические и органолептические свойства (Tomovic, 2008).

Одним из путей сохранения качества, обеспечения безопасности и увеличения срока хранения мяса при минимальной технологической переработке сырья является применение технологий криогенного и акустического замораживания.

Сущность криогенного замораживания заключается в том, что вследствие высокой скорости прохождения фазы кристаллизации свободная вода замерзает одновременно внутри и снаружи клетки, не разрушая структуры тканей, позволяет сохранить межклеточную структуру продукта, обеспечить минимальную дегидратацию продукта (испарение из него влаги) и предотвратить вытекание влаги при размораживании.

Рядом научных исследований установлено (Tan, 2017), что криогенный способ замораживания способствует:

- улучшению санитарно-гигиенических условий производства;

Таблица 4
Структурно-механические характеристики мяса NOR и DFD

Показатели	Говядина NOR	Говядина DFD	Свинина NOR	Свинина DFD
Напряжение среза, кПа	57,70±0,14	68,50±0,16	55,40±0,18	56,70±0,15
Работа резания, Па*10-5	1,48±0,06	1,58±0,08	1,26±0,09	1,32±0,07

- увеличению производительности благодаря значительному сокращению времени замораживания продукции;
- низкому потреблению электрической энергии (криогенные системы от 2 до 10 кВт, механические системы от 50 до 200 кВт);
- сокращению рабочей площади криогенных морозильных аппаратов по сравнению с механическими системами на 50%.

В мясной отрасли криогенные фризеры применяются как для замораживания, так и для подмораживания продукции перед нарезкой, например, можно подвергнуть замораживанию только поверхностный слой мясного отруба толщиной около 5 мм и затем использовать слайсер для нарезки на ровные части. Такой способ замораживания не требует большого расхода азота (0,5 кг N2 на 1 кг продукта), что приобретает особую актуальность для компаний, деятельность которых направлена на реализацию свежего мяса.

Акустическое замораживание Acoustic Extra Freezing (AEF) – это современная технология замораживания продуктов питания при совместном воздействии низких температур и акустических волн. Она разработана на основе исследований российских ученых в области нано-кристаллизации льда при хранении продуктов в замороженном состоянии. Суть технологии AEF заключается в действии акустических волн, которые создают внутри клеточной структуры и в межклеточном пространстве микроскопические ледяные кристаллы. Под воздействием волн и отрицательных температур кристаллы увеличиваются, замещая воду, но при этом не нарушают структуру продукта, так как они не соединяются между собой даже при длительном хранении.

Технология реализуется с использованием установки AEF, которая состоит из акустических блоков и охлаждающего процессора, управляемых встроенным программным обеспечением. Настройки программ зависят от вида замораживаемого продукта – полуфабрикаты, рыба, овощи, мясо и прочие.

AEF-система может быть встроена в имеющееся холодильное оборудование. В зависимости от типа холодильника способ установки системы может быть туннельного, стеллажного, порционного, контактного или спирального типа. Готовым оборудованием являются морозильные камеры с предустановленной AEF-системой. Так, например, под брендом APACH выпускаются шкафы шокового акустического замораживания APACH SH05 AEF и APACH SH20 AEF. Особенность процесса состоит в том, что продукт, предвари-

тельно охлажденный до 5°C, отправляют в камеру, где производится его замораживание до минус 18. После этого он помещается на последующее хранение при аналогичной температуре в любую морозильную камеру.

Процесс криогенного замораживания осуществляли следующим образом: куски мяса, массой не более 300 г помещали во фризер с диоксидом углерода. В состоянии сухого льда его температура достигала минус 79°C, в результате чего происходила практически мгновенная кристаллизация влаги в продукте.

Акустическое замораживание проводили в морозильной камере с AEF-системой. Отдельно хочется отметить, что потери влаги в опытных образцах составили всего 0,4 – 0,6%, что связано с сохранением влаги в мясном сырье за счет высокой скорости замораживания.

Выбранные способы замораживания не повлияли на показатели пищевой и биологической ценности мяса, а также нутриентного состава мясного сырья.

При хранении мяса четко обнаруживается специфика его микроструктуры, обусловленная режимами замораживания и характером автолиза. Результаты гистологических исследований приведены на рисунках 1–3.

Результаты гистологических исследований свидетельствуют о том, что высокая скорость замораживания (криогенное) и применение акустического воздействия обеспечивают наибольшую степень сохранения исходной структуры мяса.

Акустическое замораживание предотвращает диффузионное перераспределение влаги и растворенных веществ, что способствует образованию мелких, равномерно распределенных кристаллов. В этом случае характер распределения вымороженной влаги мало отличается от ее состояния в охлажденном мясе.

При принятых условиях замораживания микроструктура мяса DFD в меньшей степени зависит от температурных режимов.

Образцы говядины и свинины с признаками DFD имели монолитную структуру, при этом зафиксировано наличие сокращенных участков мышечных волокон. Мясо NOR характеризовалось менее плотной структурой. Среди пучков и обрывков мышечных волокон фиксируются пустоты от ранее залегавших кристаллов льда.

Рисунок 1

Микроструктура образцов говядины NOR в зависимости от способа замораживания



после воздушного замораживания



после криогенного замораживания



после акустического замораживания

Рисунок 2

Микроструктура образцов говядины DFD в зависимости от способа замораживания



после воздушного замораживания



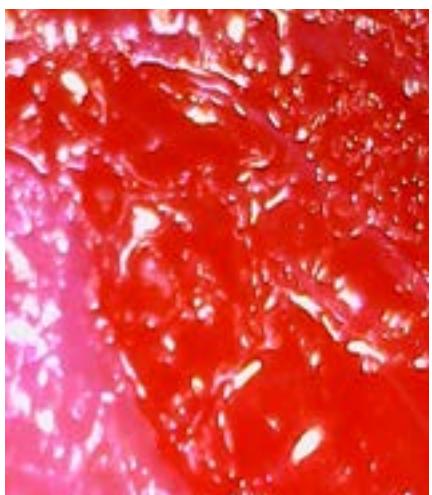
после криогенного замораживания



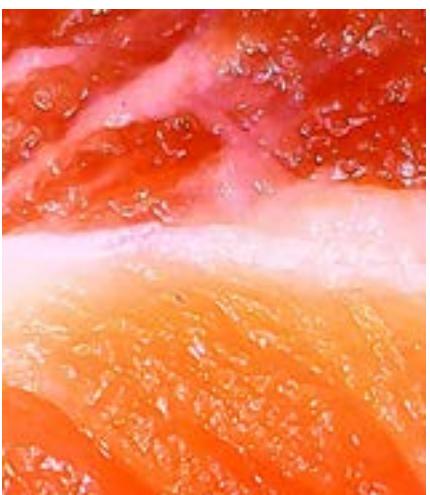
после акустического замораживания

Рисунок 3

Микроструктура образцов свинины DFD в зависимости от способа замораживания



после воздушного замораживания



после криогенного замораживания



после акустического замораживания

Результаты гистологического исследования подтверждают более высокие гидрофильные свойства говядины и свинины с признаками DFD.

Отдельно хочется отметить факт изменения порозности в процессе хранения мясного сырья. Установлено, что порозность нарастает, что объяс-

няется увеличением кристаллообразования в межволоконном пространстве и перемещением воды из мышечных волокон в межклеточное пространство для двукратно замороженной говядины при хранении в течение 6 месяцев. Полученные результаты для мяса NOR и DFD представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5

Сводная таблица порозности мышечной ткани при замораживании – размораживании мяса NOR после 6 месяцев хранения

Образец	Температурный режим	Среднее значение	Среднее общее значение	Стандартное отклонение	Стандартное общее отклонение
1		24,3		6,2	
2	Однократное замораживание	24,5	24,6	6,4	6,2
3		25,1		6,1	
1		28,6		8,7	
2	Двукратное замораживание	29,1	28,5	8,3	8,0
3		27,8		7,1	

Таблица 6

Сводная таблица порозности мышечной ткани при замораживании – размораживании мяса DFD после 6 месяцев хранения

Образец	Температурный режим	Среднее значение	Среднее общее значение	Стандартное отклонение	Стандартное общее отклонение
1		24,6		6,1	
2	Однократное замораживание	24,8	24,9	6,4	6,2
3		25,4		6,2	
1		28,5		8,8	
2	Двукратное замораживание	29,8	28,7	8,4	8,2
3		27,8		7,5	

Заключение

Опираясь на представленные результаты, можно сделать вывод о том, что при однократном и двукратном замораживании процесс порозности в говядине и в свинине NOR и DFD отличается незначительно.

При хранении мяса в замороженном виде в течение изучаемого срока не происходит нарастающего вымораживания влаги из саркоплазмы мышечных волокон, перемещающейся в межволоконное и межпучковое пространство. При постоянной

температуре хранения формирование кристаллов льда собственно внутри мышечного волокна отмечалось лишь изредка.

В результате проведенных исследований выявлен характер изменения свойств мяса в зависимости от способов замораживания и характера автолиза. Установлено, что наименьшие изменения претерпевает мясо, замороженное криогенным методом, а также с применением акустического воздействия. При всех исследуемых режимах замораживания наибольшую стабильность показателей качества имела, как говядина, так и свинина с признаками DFD.

Литература

- Agnelli, M. E., & Mascheroni, R. H. (2002). Quality evaluation of foodstuffs frozen in a cryomechanical freezer. *Journal of Food Engineering*, 52(3), 257–263. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00113-3)
- Beltrán, J. A., & Bellés, M. (2019). Effect of Freezing on the Quality of Meat. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability* (vol. 2, pp. 493–497). Elsevier
- Bertram, H. C., Andersen, R. H., & Andersen, H. J. (2007). Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage. *Meat Science*, 75(1), 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.06.020>
- Birdseye, C. (1933). Preservation of perishable foods by new quick-freezing methods. *Journal of the Franklin Institute*, 215(4), 411–424. [https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(33\)90043-5](https://doi.org/10.1016/S0016-0032(33)90043-5)
- Cassius, E. O. (2017). Long-term red meat preservation using chilled and frozen storage combinations: A review. *Meat Science*, 125, 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.025>
- Damez, J. L., & Clerjon, S. (2008). Meat quality assessment using biophysical methods related to meat structure. *Meat Science*, 80(1), 132–149. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.039>
- Damez, J. L., & Clerjon, S. (2013). Quantifying and predicting meat and meat products quality attributes using electromagnetic waves: An overview. *Meat Science*, 95(4), 879–896. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.037>
- Egelandsdal, B., Bjarnadottir, S., Mebre Abie, S., Zhu, H., Kolstad, H., Bjerke, F., Martinsen, Ø. G., Mason, A., & Münch, D. (2019). Detectability of the degree of freeze damage in meat depends on analytic-tool selection. *Meat Science*, 152, 8–19. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.002>
- Farouk, M. M., Wieliczko, K. J., & Merts, I. (2004). Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. *Meat Science*, 66(1), 171–179. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00081-0](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00081-0)
- George R.M. (1993). Freezing processes used in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 4, 134–138. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(93\)90032-6](https://doi.org/10.1016/0924-2244(93)90032-6)
- Gordon G.G., Murray A.C. (1991). Freezing Effects on Quality, Bacteriology and Retail Case Life of Pork. *Food Science*, 56(4), 891–894. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb14599.x>
- Gorlov, I. F., Pershina, E. I., & Tikhonov, S. L. (2013). Identification and prevention of the formation of meat with PSE and DFD properties and quality assurance for meat products from feedstocks exhibiting an anomalous autolysis behavior. *Foods and Raw Materials*, 1, 15–21.
- Gurinovich, G. V., & Patrakova, I. S. (2013). Effect of wheat germ on the functional properties and oxidation stability of ground meat systems. *Foods and Raw materials*, 1, 3–10.
- Hanenian, R., & Mittal, G. S. (2004). Effect of freezing and thawing on meat quality. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2, 74–80.
- Kim, H.-W., Kim, J.-H., Seo, J.-K., Setyabrata, D., & Brad Kim, Y. H. (2018). Effects of aging/freezing sequence and freezing rate on meat quality and oxidative stability of pork loins. *Meat Science*, 139, 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.024>
- Kooohmaraie, M. (1992). Effect of pH, temperature, and inhibitors on autolysis and catalytic activity of bovine skeletal muscle μ -calpain. *Journal of Animal Science*, 70(10), 3071–3080. <https://doi.org/10.2527/1992.70103071x>
- Lepetit, J., Salé, P., & Dalle, R. (2002). Electrical impedance and tenderisation in bovine meat. *Meat Science*, 60(1), 51–62. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00104-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00104-8)
- Ma, J. (2020). Prediction of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids of various processed pork meats using improved hyperspectral imaging technique. *Food Chemistry*, 321(15). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126695>
- Mortensen, M., Andersen, H. J., Engelsen, S. B., & Bertram, H. C. (2006). Effect of freezing temperature, thawing and cooking rate on water distribution in two pork qualities. *Meat Science*, 72(1), 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.05.027>
- Pearce, K. L., Rosenvold, K., Andersen, H. J., & Hopkins, D. L. (2011). Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes – A review. *Meat Science*, 89(2), 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.007>
- Pellissery, A. J., Vinayamohan, P. G., Amalaradjou, M. A. R., & Venkitanarayanan, K. (2020). Spoilage bacteria and meat quality. *Meat Quality Analysis*, 307–334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819233-7.00017-3>
- Poznyakovskiy, V. M., Gorlov, I. F., Tikhonov, S. L., & Shelepo, V. G. (2015). About the quality of meat with PSE and DFD properties. *Foods and Raw Materials*, 3, 104–110.
- Ryu, Y. C., & Kim, B. C. (2006). Comparison of histochemical characteristics in various pork groups categorized by postmortem metabolic rate and pork quality. *Journal of Animal Science*, 84(4), 894–901. <https://doi.org/10.2527/2006.844894x>
- Sales L.A., Mendes Rodrigues, L., Guimarães Silva, D. R., Fontes, P. R., de Almeida Torres Filho, R., de Lemos Souza Ramos, A., & Ramos, E. M. (2020). Effect

- of freezing/irradiation/thawing processes and subsequent aging on tenderness, color, and oxidative properties of beef. *Meat Science*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108078>
- Sebranek, J. G., Sang, P. N., Topel, D. G., & Rust, R. E. (1979). Effects of Freezing Methods and Frozen Storage on Chemical Characteristics of Ground Beef Patties. *Journal of Animal Science*, 48(5), 1101–1108. <https://doi.org/10.2527/jas1979.4851101x>
- Tan, Y., №okuea, W., Li, H., Thorin, E., & Yan, J. (2017). Cryogenic technology for biogas upgrading combined with carbon capture – a review of systems and property impacts. *Energy Procedia*, 142, 3741–3746. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.270>
- Tarrant, P. V. (1989). The Effects of Handling, Transport, Slaughter and Chilling on Meat Quality and Yield in Pigs: A Review. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 13(2), 79–10. <https://www.jstor.org/stable/25619576>
- Tomovic, V. M. (2008). Effects of rapid chilling of carcasses and time of deboning on weight loss and technological quality of pork semimembranosus muscle. *Meat Science*, 80(4), 1188–1193. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.013>
- Xiong, Y. L. (2017). The Storage and Preservation of Meat: I-Thermal Technologies. *Lawrie's Meat Science*, 8, 205–230. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00007-8>
- Xu, Z. (2019). The effect of freezing time on the quality of normal and pale, soft and exudative (PSE)-like pork. *Meat Science*, 152, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.003>

Comparative evaluation of methods for freezing meatraw materials with a different nature of autolysis

Elena V. Litvinova¹, Marina P. Artamonova¹, Julia M. Bukhteeva¹

¹**ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»**

*Correspondence concerning this article should be addressed to Elena V.
Litvinova, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe
highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: illusionse@mail.ru*

Learning of quality indicators of meat in the process cryogenic freezing method with different nature of autolysis has a special relevant meaning in the context of increasing interest in ensure effective health saving of nation and promotion of the theory of resource saving industries as part of accordance and introduction of the best technologies. Realization of comparative assessment of changes in meat quality indicators of NOR and DFD beef and pork depending on various freezing ways was the goal of original research. As part of the work we have been using TR CU 0212011, TR CU 034/2013, Guidelines 4.2.2747-10 and State Standard. As a result of research we have found nature of the change in the properties of meat depending on freezing ways (aerial, cryogenic, acoustic) and autolysis (DFD beef, DFD pork, NOR beef, pork NOR). During storage of freezing meat within 6 months moisture doesn't freeze from sarcoplasm of muscle fibers, which moves into interfiber space. We established that frozen meat by cryogenic method has smallest changes and also with using of the acoustic influence. In any modes of freezing both DFD beef and pork showed the greatest stability of indicators. Results of the research open additional technological properties of meat with different nature of autolysis, what plays important practical role for meat processing industries.

Keywords: cryogenic freezing, DFD meat, NOR meat, comparative analysis, physicochemical parameters, histology

References

- Agnelli, M. E., & Mascheroni, R. H. (2002). Quality evaluation of foodstuffs frozen in a cryomechanical freezer. *Journal of Food Engineering*, 52(3), 257–263. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00113-3)
- Beltrán, J. A., & Bellés, M. (2019). Effect of Freezing on the Quality of Meat. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability* (vol. 2, pp. 493–497). Elsevier
- Bertram, H. C., Andersen, R. H., & Andersen, H. J. (2007). Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage. *Meat Science*, 75(1), 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.06.020>
- Birdseye, C. (1933). Preservation of perishable foods by new quick-freezing methods. *Journal of the Franklin Institute*, 215(4), 411–424. [https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(33\)90043-5](https://doi.org/10.1016/S0016-0032(33)90043-5)
- Cassius, E. O. (2017). Long-term red meat preservation using chilled and frozen storage combinations: A review. *Meat Science*, 125, 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.025>
- Damez, J. L., & Clerjon, S. (2008). Meat quality assessment using biophysical methods related to meat structure. *Meat Science*, 80(1), 132–149. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.039>
- Damez, J. L., & Clerjon, S. (2013). Quantifying and predicting meat and meat products quality attributes using electromagnetic waves: An overview. *Meat Science*, 95(4), 879–896. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.037>
- Egelandsdal, B., Bjarnadottir, S., Mebre Abie, S., Zhu, H., Kolstad, H., Bjerke, F., Martinsen, Ø. G., Mason, A., & Münch, D. (2019). Detectability of the degree of freeze damage in meat depends on analytic-tool selection. *Meat Science*, 152, 8–19. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.002>
- Farouk, M. M., Wieliczko, K. J., & Merts, I. (2004). Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. *Meat Science*, 66(1), 171–179. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00081-0](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00081-0)
- George R.M. (1993). Freezing processes used in the food industry. *Trends in Food Science*

- & Technology, 4, 134–138. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(93\)90032-6](https://doi.org/10.1016/0924-2244(93)90032-6)
- Gordon G.G., Murray A.C. (1991). Freezing Effects on Quality, Bacteriology and RetailCase Life of Pork. *Food Science*, 56(4), 891–894. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb14599.x>
- Gorlov, I. F., Pershina, E. I., & Tikhonov, S. L. (2013). Identification and prevention of the formation of meat with PSE and DFD properties and quality assurance for meat products from feedstocks exhibiting an anomalous autolysis behavior. *Foods and Raw Materials*, 1, 15–21.
- Gurinovich, G. V., & Patrakova, I. S. (2013). Effect of wheat germ on the functional properties and oxidation stability of ground meat systems. *Foods and Raw materials*, 1, 3–10.
- Hanenian, R., & Mittal, G. S. (2004). Effect of freezing and thawing on meat quality. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2, 74–80.
- Kim, H.-W., Kim, J.-H., Seo, J.-K., Setyabrata, D., & Brad Kim, Y. H. (2018). Effects of aging/freezing sequence and freezing rate on meat quality and oxidative stability of pork loins. *Meat Science*, 139, 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.024>
- Koochmaraie, M. (1992). Effect of pH, temperature, and inhibitors on autolysis and catalytic activity of bovine skeletal muscle μ -calpain. *Journal of Animal Science*, 70(10), 3071–3080. <https://doi.org/10.2527/1992.70103071x>
- Lepetit, J., Salé, P., & Dalle, R. (2002). Electrical impedance and tenderisation in bovine meat. *Meat Science*, 60(1), 51–62. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00104-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00104-8)
- Ma, J. (2020). Prediction of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids of various processed pork meats using improved hyperspectral imaging technique. *Food Chemistry*, 321(15). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126695>
- Mortensen, M., Andersen, H. J., Engelsen, S. B., & Bertram, H. C. (2006). Effect of freezing temperature, thawing and cooking rate on water distribution in two pork qualities. *Meat Science*, 72(1), 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.05.027>
- Pearce, K. L., Rosenvold, K., Andersen, H. J., & Hopkins, D. L. (2011). Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes – A review. *Meat Science*, 89(2), 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.007>
- Pellissery, A. J., Vinayamohan, P. G., Amalaradjou, M. A. R., & Venkitanarayanan, K. (2020). Spoilage bacteria and meat quality. *Meat Quality Analysis*, 307–334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819233-7.00017-3>
- Poznyakovskiy, V. M., Gorlov, I. F., Tikhonov, S. L., & Shelepopov, V. G. (2015). About the quality of meat with PSE and DFD properties. *Foods and Raw Materials*, 3, 104–110.
- Ryu, Y. C., & Kim, B. C. (2006). Comparison of histochemical characteristics in various pork groups categorized by postmortem metabolic rate and pork quality. *Journal of Animal Science*, 84(4), 894–901. <https://doi.org/10.2527/2006.844894x>
- Sales L.A., Mendes Rodrigues, L., Guimarães Silva, D. R., Fontes, P. R., de Almeida Torres Filho, R., de Lemos Souza Ramos, A., & Ramos, E. M. (2020). Effect of freezing/irradiation/thawing processes and subsequent aging on tenderness, color, and oxidative properties of beef. *Meat Science*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108078>
- Sebraneck, J. G., Sang, P. N., Topel, D. G., & Rust, R. E. (1979). Effects of Freezing Methods and Frozen Storage on Chemical Characteristics of Ground Beef Patties. *Journal of Animal Science*, 48(5), 1101–1108. <https://doi.org/10.2527/jas1979.4851101x>
- Tan, Y., Nøkuea, W., Li, H., Thorin, E., & Yan, J. (2017). Cryogenic technology for biogas upgrading combined with carbon capture – a review of systems and property impacts. *Energy Procedia*, 142, 3741–3746. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.270>
- Tarrant, P. V. (1989). The Effects of Handling, Transport, Slaughter and Chilling on Meat Quality and Yield in Pigs: A Review. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 13(2), 79–10. <https://www.jstor.org/stable/25619576>
- Tomovic, V. M. (2008). Effects of rapid chilling of carcasses and time of deboning on weight loss and technological quality of pork semimembranosus muscle. *Meat Science*, 80(4), 1188–1193. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.013>
- Xiong, Y. L. (2017). The Storage and Preservation of Meat: I-Thermal Technologies. *Lawrie's Meat Science*, 8, 205–230. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00007-8>
- Xu, Z. (2019). The effect of freezing time on the quality of normal and pale, soft and exudative (PSE)-like pork. *Meat Science*, 152, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.003>