УДК/UDC 637.5.037

DOI 10.21323/2414–438X–2017–2–4–20–34

Обзор

УПРАВЛЕНИЕ ХОЛОДИЛЬНОЙ ЦЕПЬЮ ПРИ ПОСТАВКАХ МЯСА: «СТАРЫЕ» И НОВЫЕ СТРАТЕГИИ

Настасиевич И.,*Лакицевич Б., Петрович З.
Институт гигиены мяса и технологии, Белград, Сербия

Ключевые слова: *поставка мяса, порча, холодильнаяцепь, хранение, дистрибуция, розничная торговля*

Аннотация
Мясо это скоропортящийся продукт с коротким сроком годности и, следовательно, с коротким сроком реализации. Поэтому, управление холодильной цепью при поставке имеет первостепенное значение для поддержания качества и безопасности мяса и мясных продуктов. Сырое мясо и мясные продукты могут поддерживать рост патогенных микроорганизмов или микроорганизмов, вызывающих порчу, и, таким образом, должны храниться при температурах, которые исключают возникновение риска здоровью. Холодильная цепь должна соблюдаться на всех этапах реализации. В связи со сложностью глобальной цепи поставок мяса и мясных продуктов, которая нередко бывает достаточно протяженной и связанной с транспортировкой продукта, как в внутри страны, так и при поставках из одной страны в другую, или с одного континента на другой, требуется необходимость соблюдать режимы охлаждения и замораживания, отслеживать время и температуру, чтобы потребитель был уверен в свежести данных продуктов и их безопасности. В настоящее время существует несколько доступных вариантов контроля и управления холодильной цепью, таких как комбинации хранения в охлажденном и замороженном виде, суперохлаждение, ионизирующее излучение, биоконсервация, высокое гидростатическое давление (HHP), активная упаковка, беспроводные датчики поддерживаемые компьютерной базой данных холодильной цепи (CCD).

Review paper

COLD CHAIN MANAGEMENT IN MEAT SUPPLY: «OLD» AND NOVEL STRATEGIES

Ivan Nastasijevic*, Brankica Lakicevic and Zoran Petrovic
Institute of Meat Hygiene and Technology, Belgrade, Serbia

Keywords: *meat supply, spoilage, cold chain, storage, distribution, retail*

Abstract
Meat is a perishable product with a short shelf life and therefore short selling times. Therefore, cold chain management in meat supply is of utmost importance for the maintenance of quality and safety of meat/meat products. Raw meat/meat products are likely to support the growth of pathogenic microorganisms and/or spoilage bacteria, and should be kept at temperatures that do not result in a risk to health. The cold chain should not be interrupted at all times along the meat distribution chain. The complexity of global meat supply chain, with frequently long distribution chains associated with transportation of the product within one country, from one to another country and from one to another continent, makes the solutions for the chilling and freezing regimes, as well as monitoring of time-temperature profiles, very important for the overall success in delivery of product which will be accepted by consumer for its freshness and safety levels. From recently, there are several available options for control and management of the cold chain, such as chilled and frozen storage combinations, superchilling, ionizing radiation, biopreservation, high hydrostatic pressure (HHP), active packaging, wireless sensors, supported with the software-based cold chain database (CCD).

1. Введение

Мясо это скоропортящийся продукт с коротким сроком годности и следовательно с коротким сроком реализации. В отличие от свежих фруктов и овощей, упакованное мясо должно иметь на этикетке обозначенный срок годности [1]. Поддержание холодильной цепи является одним из основных принципов и базовым требованием законодательства Европейского союза (EU) по пищевой гигиене. Сырье, ингредиенты, полуфабрикаты и готовые продукты, которые могут поддерживать рост патогенных микроорганизмов или микроорганизмов, вызывающих порчу, должны храниться при температурах, которые исключают возникновение риска здоровью. Холодильная цепь должна соблюдаться на всех этапах реализации [3].

Общеизвестно, что срок годности охлажденного мяса может быть увеличен с помощью различных ре-

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Настасиевич И., Лакицевич Б., Петрович З. Управление холодильной цепью при поставках мяса: «старые» и новые стратегии. *Теория и практика переработки мяса*. 2017; 2(4):20-34. DOI:10.21323/2414–438X-2017–2–4-20-34

FOR CITATION: Nastasijevic I., Lakicevic B., Petrovic Z. Cold chain management in meat supply: «old» and novel strategies.*Theory and practice of meat processing*. 2017; 2(4):20-34. (In Russ.) DOI:10.21323/2414–438X-2017–2–4-20-34

Рис. 1. Схема холодильной цепи при поставках мяса

шений в области упаковки, такими как вакуумная упаковка или упаковка с модифицированной атмосферой (МАР) [4, 5, 6]. Однако на сроки гожности охлажденного мяса большое влияние оказывает температура. Неадекватная температура при хранении, транспортировании и в точках розничной торговли может привести к значительному сокращению срока годности и продолжительности хранения, и как следствие к порче мяса и мясных продуктов [6].

Здоровые животные, подвергнутые убою с соблюдением правил гигиены после надлежащего отдыха и голодной выдержки, дают практические асептическое мясо. Однако во время операций убоя, нутровки и разделки обычно происходит перекрестная контаминация микроорганизмами, особенно на поверхности мяса в результате контакта с оборудованием, инструментами, руками, одеждой, другими объектами и т. п. Мясо — это особенно благоприятная среда для роста микроорганизмов из-за его химического состава, например, большого количества белков, липидов и воды. Содержание липидов в мясе делает его очень чувствительным к окислению (реакции кислорода с жирными кислотами) и последующему производству пероксидов. Продукты распада пероксидов имеют характерный неприятный запах и вкус прогорклого мяса.

Существует несколько слабых точек в мясной холодильной цепи, как например, охлаждение продуктов во время хранения (перед отправкой), превышение температуры во время транспортировки и передаче продуктов от одного участника холодильной цепи другому, а также время ожидания во время комплектования и расформирования партий продукта в розничной торговле [7, 8, 9]. Нарушения температурных режимов приводит к изменениям качества продукции во время дистрибуции и в конце срока хранения, и может привести к порче до истечения срока годности, вызывая дополнительные затраты на ее утилизацию и, как следствие, к экономическим потерям.

На сегодняшний день были выявлены слабые места в холодильной цепи поставки, где распределение по цепи порой трудоемко и длительно (бойня-транспортировка/поставка-розничная торговля-потребитель является постоянным потоком), например, для поставки мяса из одной страны в другую или с одного континента на другой (Рис. 1).

Поддержание безопасности и свежести охлажденного мяса до тех пор, пока оно не достигнет конечного потребителя является постоянной проблемой, поэтому первостепенное значение имеет управление холодильной цепью.

2. Порча мяса

Туши свиней, крупного рогатого скота (КРС), мелкого рогатого скота (МРС), а также тушки птицы сразу же охлаждаются по окончании послеубойной экспертизы на линии убоя и/или в холодильных камерах скотобойни. Процесс охлаждения — аэробный, так как туши обычно подвергаются воздействию циркулирующего воздуха. Наиболее часто, после 24–96 ч охлаждения, туши обычно перемещаются в помещение для обвалки/разделки, где они дополнительно разделываются на сортовые отруба. Сортовые отруба обычно хранят до 6 недель в вакуумных упаковках при анаэробных условиях [3]. Продукты из измельченного мяса могут быть приготовлены из тримминга от обвалки и/или тримминга от сортовых отрубов после 6 недель анаэробного хранения; они могут храниться аэробно или анаэробно (Рис. 2).

Известно, что охлаждение красного мяса и туш домашней птицы необходимо для задержки роста бактерий. Охлаждение также требуется для сохранения внешнего вида и потребительского качества мяса. Наиболее часто туши КРС, свиней и МРС охлаждают, используя принудительную конвекцию охлажденного воздуха [10], хотя также может использоваться охлаждение распылением (применение тонкого распыления), так как оно более быстрое по сравнению с воздушным охлаждением, и оно в основном используется для птицы, но также может применяться на предприятиях по переработке КРС, свиней и МРС.

В соответствии с Регламентом (ЕС) 853/2004/ЕС туши после убоя должны сразу же охлаждаться по

Рис. 2. Условия охлаждения и холодильного хранения туш КРС, свиней и МРС, и их сортовых отрубов и тримминга (адаптировано из [3])

окончании послеубойной экспертизы (рекомендованная температура для мяса ниже 7 °С и субпродуктов ниже 3 °С). Следует отметить, что временные рамки, в течение которых должна быть достигнута эта температура, не определены. Например, туши КРС и МРС обычно не охлаждают до ниже 10 °С (температура в центре) в течение первых 10 ч, для того, чтобы избежать холодового сокращения и приобретения жесткой структуры мяса. Однако такие условия благоприятны для роста бактерий на поверхности туши, до тех пор пока температура не будет снижена достаточно, чтобы остановить жизнедеятельность бактерий [3].

Мясо считается испорченным, когда проявляются изменения органолептических показателей, например, меняется цвет, возникает посторонний запах или слизь, что обычно обусловлено вызывающими порчу бактериями (Табл. 1), хотя к этому могут быть причастны эндогенные ферменты [11]. Например, *Pseudomonads, Lactobacillus* и *Enterococcus* влияют на образование слизи на мясе, в то время как *Enterococcus* продуцирует пероксид водорода, приводящий к образованию зеленых пятен, аналогичных позеленению, вызванному *Clostridium spp.* Рост бактерий на поверхности мяса вызван влиянием температуры, показателем pH, активностью воды, доступность нутриентов, атмосферой хранения (аэробная или анаэробная) и взаимодействием с другими микроорганизмами, присутствующими на мясе [12].

Таблица 1. Обзор основных причин возникновения порчи мяса/мясных продуктов и связанные с этим бактерии (адаптированный из [8])

Дефект	Мясо/мясные продукты	Вызывающие порчу бактерии
Слизь	**Свежее мясо**	***Pseudomonads, Lactobacillus, Enterococcus, Weissella, Brochothrix***
Позеленение, вызванное перекисью водорода	**Свежее мясо**	***Weissella, Leuconostoc, Enterococcus, Lactobacillus***
Образование сероводорода	**Посоленные мясопродукты**	***Vibrio, Enterobacteriaceae***
Запах серы	**Вакуум-упакованное охлажденное мясо**	***Clostridium, Hafnia***
Запах капусты	**Бекон**	***Providencia***
Сырный или молочный аромат	**Вакуум-упакованное охлажденное мясо**	***Brochothrix thermosphacta***
Гниение	**Окорок**	***Enterobacteriaceae, Proteus***
Порча мяса у кости	**Цельномышечные мясные продукты**	***Clostridium, Enterococcus***
Закисание	**Вакуум-упакованные мясные продукты**	***Lactic acid bacteria, Enterococcus, Micrococcus, Bacillus, Clostridium***

3. Управление холодильной цепью поставок мяса

Для успешной внутренней и международной торговли и при экспорте очень важно вакуумное хранение красного мяса и мяса птицы в виде герметично упакованного продукта в охлажденном или в замороженном состоянии при достаточно низких температурах [13]. Ранее были проведены полные исследования по влиянию длительного холодильного хранения и хранения при замораживании мяса и мясных продуктов для целей экспорта. [12, 14]. Было доказано, что при заморозке продолжительность хранения может быть увеличена на срок более одного года [15]. Несмотря на эти преимущества, улучшение в технологиях консервирования в современной экспортной холодильной цепи остается актуальным вопросом, особенно на промышленном уровне, включая потенциал развития суперохлаждения, ионизирующего излучения, биоконсервирования и обработку высоким гидростатическим давлением или обработку высоким давлением (HHP) [16].

3.1. Холодильная цепь в скотобойне

В скотобойне холодильная цепь начинается с двух основных этапов:

(a) первичное охлаждение (быстрое охлаждение туш после убоя), таким образом, чтобы в наиболее теплой точке туши (центр задней ноги) достигалась температура около 7 °C и 3 °C (для пищевых субпродуктов) и приблизительно 4 °C для тушек птицы для предотвращения роста микроорганизмов и увеличения продолжительности хранения. При современных технологиях эти температуры можно получить спустя 16–24 часа в маленьких тушках (MPC), в течении 48 часов в больших тушах (говяжья, свиная) и менее чем за 2 ч для тушек птицы (глубоко внутри грудок). Средние и поверхностные температуры намного ниже, достигая 0 °C в течение 4 часов. Это очень важно для замедления пролиферации микроорганизмов;

(b) вторичное охлаждение (поддержание температуры мяса ниже 7 °C (красное мясо) и ниже 4 °C (мясо птицы) в течение всего времени во время холодильного хранения, разделки, обвалки, измельчения перед транспортировкой.

Для охлаждения мяса перед транспортировкой наиболее распространенны такие технологии, как: (i) воздушное охлаждение, (ii) иммерсионное охлаждение, (iii) охлаждение распылением, и (iv) вакуумное охлаждение [8].

3.1.1. Воздушное охлаждение. Эффективность применения воздушного охлаждения зависит от ряда факторов включая температуру воздуха, скорость воздушного потока, относительную влажность среды, массу туши, толщину шпика туш, а также загрузки холодильной камеры. Температура воздуха должна быть около 0 °C, не снижаясь ниже минус 1°C, что может привести к замораживанию поверхности мяса и ухудшению его внешнего вида. Скорость воздуха может колебаться в диапазоне от 0, 25 до 3, 0 м/с. Однако по экономическим причинам, наиболее широко применяемые скорости находятся в диапазоне от 0, 75 до 1, 5 м/с. в пустой холодильной камере. Во время процедуры охлаждения должен поддерживаться высокий уровень влажности чтобы предотвратить чрезмерную потерю массы. Рекомендуемый уровень 90 % — 95 %, хотя это наиболее трудный для контроля параметр. Стоит отметить, что иногда быстрое охлаждение представляет собой проблемы из-за «холодового сокращения». Холодовое сокращение может часто наблюдаться в говядине и баранине, когда мясо, все еще в фазе посмертного окоченения, достигает температур 10 °C и ниже. Эти условия вызывают необратимые сокращения мышечной ткани, что увеличивает жесткость мяса даже после продолжительного созревания. Быстрое первичное охлаждение приводит к увеличению стоимости продукции и более высоким эксплуатационным затратам. Период охлаждения может быть уменьшен, снижением температуры воздуха (риски замораживания поверхности) или увеличением скорости воздуха (более высокие эксплуатационные затраты), или одновременным применением двух способов. Чтобы получить более низкие температуры, чем в предыдущих процедурах, иногда холодильные камеры охлаждают заранее (до температуры минус 5–6 °C для говядины и минус 10–12 °C для свинины), получая преимущества термической инерции, чтобы компенсировать влияние теплого мяса [8].

3.1.2. Иммерсионное охлаждение. Это наиболее старый и наименее дорогой способ охлаждения, который обеспечивает очень быстрое охлаждение без риска замораживания. Иммерсионное охлаждение — это система вне линии, которая не позволяет автоматизировать взвешивание до и после охлаждения, и обычно используется в США для охлаждения тушек птицы. Аппараты для иммерсионного охлаждения занимают небольшую площадь и обычно очень энергоэффективные. Процесс может быть осуществлен, используя водопроводную воду с добавлением или без добавления чешуйчатого льда или предварительно охлажденную воду для создания более низких температур иммерсионных ванн. Такая система способна понизить температуру водопроводной воды до 1 °C. Данный процесс может привести к увеличению массы продукта до 12 % в результате контролируемой абсорбции воды.

3.1.3. Охлаждение орошением. Это альтернативный иммерсионному охлаждению метод, который все чаще используется, в США для охлаждения тушек птицы. Охлаждение орошением может быть применено при переработке и производстве «замороженных продук-

тов» или «птиц интенсивной шпарки», а также «свежих продуктов» или «птиц мягкой шпарки». Этот метод охлаждения основан на комбинации прерывистого распыления холодной воды и потока холодного воздуха по всей поверхности продукта (начальный этап охлаждения) и использование только потока воздуха (финишная часть охлаждения). При его использовании не происходит высыхание поверхности туш, ускоряется процесс охлаждения, сохраняется цвет мяса. Как правило, камеры (туннели) охлаждения с распылителями разработаны специально для обработки тушек птиц расположенных в один слой, для предотвращения перекрестной контаминации. Возможно расположение и в два слоя, но в этом случае нижний слой должен быть размещен таким образом, чтобы предотвратить попадание загрязненных капель от тушек верхнего слоя, и для этого требуются дополнительные емкости под сток.

3.1.4. Вакуумное охлаждение. Это быстрый периодический процесс, при которой сырые продукты, содержащие свободную воду, охлаждаются путем испарения воды в условиях вакуума. Преимуществом данной технологии является существенное снижение количеств психрофильных и мезофильных бактерий после хранения мяса в течение нескольких дней. У охлажденного мяса в вакуумной упаковке срок годности значительно дольше, чем у охлажденного мяса в традиционной упаковке. Например, вакуум-упакованные говяжьи отруба могут храниться до 12 недель, в то время как отруба баранины и свинины имеют продолжительность хранения до 5 и 8 недель при хранении при температуре 0 °C, соответственно. Недостатком является большие потери массы мяса.

3.2. Холодильная цепь при транспортировке мяса

Для обеспечения стабильного качества и безопасности продукции холодильная цепь должна стабильно поддерживаться о всей цепи транспортировки мяса до конечного потребителя — оптового холодильного хранения или холодильной витрины предприятия розничной торговли. При этом холодильные камеры, оборудованные в специальном транспорте или в кузове грузовика, имеют различные особенности и производительность. Их размер, начальная температура отгружаемого мяса, время достижения рекомендуемой температуры во время транспортировки, конструктивные особенности (например, мощность компрессоров, вентиляции и изоляции), а также вопросы энергозатрат — являются приоритетными при транспортировке мяса [8]. В целом, транспортные средства должны быть оснащены необходимым холодильным оборудованием и системами охлаждения, способных поддерживать нужный температурный режим для мяса и субпродуктов в течение всего времени транспортирования (3. 1.).

3.3. Холодильная цепь в розничной торговле

Поддержание холодильной цепи во время размещения в холодильной витрине розничной торговли имеет огромное значение для предотвращения микробиологической порчи, а также для поддержания свежести и безопасности мяса. Размер и производительность холодильных камер на предприятиях розничной торговли, размер помещений, исходная температура поступающего мяса, процедура обработки мяса (разделка, измельчение), температура окружающей среды, расположение холодильного оборудования, вентиляция и свет — это все возможные слабые точки, на которые необходимо обращать внимание. Особое внимание необходимо уделять температуре при комплектовании/расформировании партий во время переработки мяса (например, ежедневное перемещение мясных отрубов из холодильных камер до витрины розничной торговли и наоборот (при этом, температура внутри кусков мяса должна быть постоянно меньше чем 7 °C). Управленческий подход, который доминирует на мясном рынке связан с принципом «первый поступил- первый отправлен». Однако такой подход также должен применяться на всех стадиях холодильной цепи (Рис. 1), и он может быть достигнут с помощью правильно разработанных регламентов перемещения продукции в холодильных камерах хранения мяса и мясных продуктов и витринах розничной торговли. В целом, все точки в цепи транспортировки от холодильного хранения на скотобойне до предприятия розничной торговли, а затем до холодильника потребителя являются критическими точками для общего качества и безопасности мяса.

4. Доступные варианты управления холодильной цепью при поставках мяса

Как было сказано, если холодильная цепь нарушается, то возникает ряд проблем, связанных с качеством мясных продуктов и продуктов из мяса птицы, как например, усушка, гниение, потери при зачистке, неприятный запах, изменения цвета и текстуры, а также усугубленные риски для здоровья со стороны таких патогенов как *Salmonella, Campylobacter*, вырабатывающие шига-токсин *E. coli* (STEC) и *Listeriamonocytogenes.* Несмотря на многочисленные исследования, нацеленные на лучшее понимание микробной экологии микроорганизмов в мясе (микроорганизмы, вызывающие порчу и пищевые патогены) и ее взаимоотношения с температурой/временем в сложной цепи поставок мяса (например, хранение мяса, транспортировка, дистрибуция и розничная торговля), поддержание холодильной цепи, а также качество и безопасность мяса все еще остаются проблемой. На сегодняшний день, существует несколько вариантов/мер контроля, которые могут быть эффективно и синергетически применены для улучшения контроля в «классической» холодильной цепи поставок мяса.

4.1. Комбинации хранения в охлажденном и замороженном виде

В течение предыдущих двух десятилетий были проведены многочисленные исследования для оценки увеличения продолжительности хранения, а также улучшения качества и безопасности мяса, достигаемых с помощью режимов охлаждения и замораживания. Однако, следует отметить, что было проведено ограниченное количество исследований по оценке комбинированных практик холодильного и морозильного хранения, особенно в отношении длительного холодильного хранения, а затем морозильного хранения с общей продолжительностью свыше 3–4 мес.

По всей вероятности, продолжительное холодильное хранение в вакуум-упакованном виде (две недели для говядины и баранины при 4 °С и даже до 30 недель для говядины при –0,5 °С и 7 недель для баранины при –1,5 °С) в комбинации с последующим морозильным хранением (до одного года при –18 °С) оказывает благоприятное влияние на параметры качества (усилие среза, нежность, влагоудерживающую способность, флейвор и цвет) мяса; улучшенная нежность была подтверждена как основное достижение [15, 19, 20]. Очевидно, что пролонгированное комбинированное холодильное/морозильное хранение может обладать благоприятным эффектом для экспорта мяса. Необходимы дальнейшие и более глубокие исследования для изучения цветовых характеристик и микробиологического профиля охлажденного, а затем замороженного мяса, так как эти исследования тесно связаны с доверием потребителя и вопросами здоровья [20].

4.2. Суперохлаждение

Суперохлаждение используется для обеспечения сохранности пищевых продуктов путем их обработки, при которой температура пищевого продукта снижена на 1–2 °С ниже исходной точки замерзания (для большинства продуктов между 0,5 °С и 2,8 °С). Технология суперохлаждения является комбинацией благоприятного эффекта низких температур с превращением некоторого количества воды в лед, что является недостатком из-за ухудшения качества. Суперохлаждение обеспечивает пищевой продукт внутренним льдом, так что нет необходимости во внешнем льде вокруг продукта во время транспортировки или хранения в течение более коротких периодов времени. В общем, суперохлаждение позиционируется между замораживанием и охлаждением (традиционное охлаждение), где температура окружающей среды устанавливается ниже исходной точки замерзания. Хранение пищевого продукта при температурах суперохлаждения имеет три основных преимущества: поддержание свежести и обеспечение высокого качества пищевого продукта, а также подавление роста вредных микроорганизмов. Кроме того, оно может снизить применение замораживания/размораживания и, таким образом, увеличить выход, снизить энергию, трудовые затраты и затраты на транспортировку [21].

4.3. Ионизирующее излучение

Обработка пищевых при помощи ионизирующего излучения обладает рядом положительных эффектов, имеет благоприятное воздействие, которые не может быть достигнуто другими способами и, в частности, традиционными методами, такими как например охлаждение. Облучение пищевых продуктов, применяемое при низкой дозе (до 1 кГр) может быть очень эффективным против паразитов, присутствующих в красном мясе, а также для инактивации патогенных и вызывающих порчу бактерий в охлажденном и/или замороженном мясе и птице.

С другой стороны, с самого начала несколько общественных организаций по защите прав потребителей выражали обеспокоенность в отношении безопасности облученных продуктов для потребления. Однако после более 100 лет исследований, возникшие вопросы разрешены, и потребители принимают облученные пищевые продукты там, где они доступны с понятным объяснением этой новой технологии. Например, в Китае, имеют свою долю рынка фирменные блюда — маринованные куриные ножки (обработанные излучением). В ЕС количество облученных пищевых продуктов на рынке и существенно отличается от США. Последние исследования в ЕС по опросу потребителей в отношении употребления облученных пищевых продуктов на данный момент не доступны. Использование ионизирующего излучения при переработке пищевых продуктов все еще остается недооцененной и недостаточно используемой технологией, несмотря на большой потенциал [22].

4.4. Биоконсервирование

Натуральные компоненты, такие как эфирные масла, низин, лизоцим, а также естественная или контролируемая микробиота, например, молочнокислые бактерии (МКБ) и их антимикробные продукты, такие как молочная кислота и бактериоцины, также были исследованы для увеличения срока хранения мяса и мясных продуктов, и для получения продуктов с «зеленой этикеткой». Например, низин является единственным коммерчески доступным бактериоцином и показал хорошее антибактериальное действие в искусственно контаминированной свинине, а в комбинации с 2 % хлоридом натрия превосходный противолистериозный эффект в говяжьем фарше; пентоцин 31–1 (вырабатываемый *Lactobacilluspentosus* 31–1, который был выделен из традиционного китайского ферментированного окорока Xuanwei) эффективно ингибировал азот летучих оснований (АЛО) и подавлял рост индигенной микробиоты, особенно *Listeria* и *Pseudomonas* в свинине при холодильном хранении [16].

4.5. Высокое гидростатическое давление (HHP)

Процесс сохранения мяса с использованием высокого гидростатического давления (HHP) — нетермической технологии, может инактивировать вызывающие порчу продукта микроорганизмы и ферменты при низких температурах без существенного изменения органолептических или пищевых характеристик продукта; нежность даже улучшается, в то время как цвет сырого мяса несколько изменяется после обработки HHP. HHP также является мощным средством контроля рисков, ассоциированных с *Salmonella* и *Listeria*monocytogenes в сырых или маринованных мясных продуктах [23]. Обработка давлением обычно производится в цилиндрах из нержавеющей стали, которые содержат передающую давление среду, например, воду, в то время как продукт защищен от прямого контакта с помощью применения герметичной пластичной упаковки [16]. Рекомендуемая комбинация давления/времени для мяса и мясных продуктов (600–700 МПа в течение 2–5 мин.) показала быструю инактивацию *L. monocytogenes*, а также другой индигенной микробиоты [24].

4.6. Активная упаковка

Активная упаковка — это инновационная технология, которая позволяет взаимодействовать продукту и его окружающей средой для увеличения срока хранения продукта и обеспечения его микробиологической безопасности, при поддержании качества упакованного пищевого продукта. В соответствии, с законодательством ЕС, активная упаковка — это тип упаковки с дополнительной функцией, помимо обеспечения защитного барьера против внешнего влияния. Это означает, что химические вещества, полученные из пищевого продукта и окружающей среды могут абсорбироваться в упаковку, или сама упаковка выделяет вещества в пищевой продукт или окружающую среду, например, консерванты, антиоксиданты и вкусо-ароматические вещества [25]. Существует три основных типа активной упаковки, которые были разработаны к настоящему времени: антимикробная активная упаковка, антиоксидантная активная упаковка, выделяющая/генерирующая диоксид углерода упаковка.

4.6.1. Антимикробная активная упаковка. Это одна из наиболее важных концепций активной упаковки мяса. Существуют четыре основных категории антимикробной упаковки: (i) внесение антимикробных веществ в мягкую подложку внутри упаковки для обеспечения медленного высвобождения антимикробных веществ, (ii) прямое введение антимикробных агентов в упаковочную пленку путем тепловой обработки (ко-экструзия упаковочных пленок с антимикробными веществами), таким образом, что антимикробные вещества могут постепенно высвобождаться из упаковочных пленок в свободное от продукта пространство в упаковке или на поверхность продукта, (iii) покрытие упаковки матрицей, которая действует как носитель для антимикробных агентов, так чтобы выделить антимикробных веществ на поверхность пищевого продукта через испарение в свободное от продукта пространство (летучие вещества) или миграцию в пищевой продукт через диффузию (нелетучие вещества) и (iv) использование полимеров, которые обладают антимикробной активностью (например, хитозан, поли-L-лизин). Кроме того, были проведены исследования большого количество антимикробных веществ для ингибирования роста микроорганизмов в пищевых продуктах, например, этанол, диоксид углерода, ионы серебра, диоксид хлора, антибиотики, бактериоцины, органические кислоты, эфирные масла, специи, растительные экстракты (розмарин), пептиды и т. д. [26].

4.6.2. Антиоксидантная активная упаковка. Высокие уровни кислорода в упаковке мяса могут способствовать росту микроорганизмов, окислению липидов, образованию постороннего флейвора и запаха, изменению цвета и потерям питательных веществ. Таким образом, контроль уровня кислорода в упаковке мяса очень важен для предотвращения ухудшения качества и порчи мяса. Системы антиоксидантной активной упаковки могут быть подразделены на 2 группы: (i) независимые антиоксидантные приспособления (саше, мягкие подложки или этикетки с поглотителями кислорода — мелкий порошок железа и оксид железа) и (ii) антиоксидантные упаковочные материалы (антиоксидантные активные агенты вводятся в стенки упаковочной пленки (например, терпеноиды из прополиса).

4.6.3. Упаковка, выделяющая диоксид углерода. Диоксид углерода обладает доказанным ингибирующим эффектом в отношении ряда аэробных бактерий и грибков при пониженном содержании кислорода и прямого антимикробного эффекта (путем удлинения лаг-фазы и времени генерации во время логарифмической фазы роста микроорганизмов). Таким образом, генерирующая CO_2 упаковочная система — это метод, дополняющий поглощение кислорода. Уровни CO_2, применяемые для сохранения красного мяса и мяса птицы, относительно высокие (10–80 %). Например, для ингибирования *Pseudomonas* необходимо 10–20 % CO_2, в то время как для контроля пролиферации *C. perfringens, C. botulinum и Listeriamonocytogenes* нужно 50 % CO_2.

4.7. Беспроводные сенсоры

Производители в пищевой промышленности часто сталкиваются с дилеммой относительно типа управления холодильной цепью при поставках пищевых продуктов до розничной торговли или конечных потребителей, стараясь выбрать между хранением в замороженном состоянии или холодильным хранением

(охлаждение, замораживание, поставка и хранение). Температура — это основной параметр после процесса переработки в определении продолжительности хранения в холодильной цепи охлажденных или замороженных пищевых продуктов. Хранение в замороженном состоянии требует больших энергетических затрат для сохранения пищевых продуктов, в то время при холодильном хранении существует постоянная угроза порчи, вызванной бактериями. Современное управление холодильной цепью включает контроль и регулирование температуры и сфокусирован на простой логистической цепи, а не на обработке нескольких каналов. Для преодоления вышеуказанных недостатков разработана система холодильной цепи на основе температурно-временного индикатора (TTI), в которой используются беспроводные сенсоры для сбора температурных данных на протяжении цепи поставок мяса (от холодильного хранения на скотобойне до розничной торговли) и внедряются положения критериев критических контрольных точек (ККТ) на протяжении всего процесса поставок. При строгом контроле температуры, возможен перевод ряда пищевых продуктов с замороженного хранения на охлажденное, для преодоления недостатков, связанных с замороженным хранением (высокоэнергетическое потребление, ухудшение вкуса, ограниченное число продаж). Создаются контрольные диаграммы для контроля каждой точки процесса. Этот подход основан на архитектуре «Интернет вещей» Internet of Things (IoT) и Международном стандарте по безопасности и качестве пищевых продуктов (ISO 22000). IoT является растущей тенденцией из-за сильного влияния в результате развития информационно-коммуникационных технологий (ICT), например, бирки радиочастотной идентификации животных и пищевой продукции (RFID), датчики, исполнительные механизмы и даже интеллектуальные устройства такие как мобильные телефоны [28]. На практике, ожидается, что IoT будет развиваться в таких областях, как беспроводные сенсорные сети с целью сбора контекстуальных данных. В последнее время идет разработка программного обеспечения для расширения сетевых услуг, используя возможности IoT (сеть вещей — Web of Things, WoT). Наконец, также были разработаны новые бизнес модели в пищевой промышленности: (i) холодильная цепь в службах доставки продуктов на дом; (ii) непрямая доставка из магазинов «шаговой доступности»; (iii) прямая доставка из магазинов «шаговой доступности»; (iv) служба комбинатов бортового питания [28].

4.8. База данных холодильной цепи (CCD)

Эффективное управление холодильной цепью может оптимизировать свежесть и безопасность продукта от фермы/скотобойни до конечного потребителя. Целенаправленный сбор данных профилей температуры-времени (t – T) в системе поставок мяса, а также в пределах определенного модуля стадии холодильной цепи (например, холодильное хранение на скотобойне, транспортировка/доставка, розничная торговля) может служить ценным вкладом для прогнозирования статуса срока годности пищевого продукта. Недавно была разработана сетевая платформа, в рамках европейского проекта ФРИСБИ (http://frisbee-project. eu), для сбора данных температурных условий по всей системе поставок охлажденных и замороженных пищевых продуктов. Были собраны данные всех холодильных модулей цепи (промышленность, дистрибьюторы, розничная торговля и потребители), для создания обширной базы данных, включающей более чем 14000 профилей времени/температуры (t/T). Такая платформа может служить ценным инструментом управления холодильной цепью. Компьютерная программа по прогнозированию в холодильной цепи (CCP) на основе базы данных холодильной цепи (CCD) позволяет рассчитывать статус срока хранения на различных этапах холодильной цепи на основе существующих или определенных пользователем программы кинетических данных. Разработанные средства обладают потенциалом проверки модельных сценариев на основе реальных данных холодильной цепи и дают возможность совершенствовать систему и управление холодильной цепью [29].

5. Заключение

Управление холодильной цепью при поставках мяса имеет высокое значение для сохранения безопасности и качества мяса/мясных продуктов. В связи со сложностью глобальной цепи поставок мяса и мясных продуктов, которая нередко бывает достаточно протяженной и связанной с транспортировкой продукта, как в внутри страны, так и при поставках из одной страны в другую, или с одного континента на другой, требует необходимости соблюдать режимы охлаждения и замораживания, отслеживать время и температуру, чтобы потребитель был уверен в свежести данных продуктов и их безопасности. Хотя режимы охлаждения и замораживания эффективны, как и контроль температуры в течении всего периода поставок мяса, это остается постоянной проблемой для промышленности, дистрибьюторов, ритейлеров и потребителей. В настоящее время существует несколько доступных вариантов контроля и управления холодильной цепью, таких как комбинации хранения в охлажденном и замороженном виде, суперохлаждение, ионизирующее излучение, биоконсервирование, высокое гидростатическое давление (HHP), активная упаковка, беспроводные датчики поддерживаемые компьютерной базой данных холодильной цепи (CCD).

1. Introduction

Meat is a perishable product with a short shelf life and therefore short selling times. In contrast to fresh fruit and vegetables, packaged meat has to be declared with a «use by» date [1]. The maintenance of the cold chain is also one of the main principles and basic requirements of European Union (EU) legislation on food hygiene [2]. Raw materials, ingredients, intermediate products and finished products that are likely to support the growth of pathogenic microorganisms and/or spoilage bacteria, are to be kept at temperatures that do not result in a risk to health. The cold chain should not be interrupted at all times along the meat distribution chain [3].

It is known that shelf life of chilled fresh meat can be extended by various packaging solutions, such as vacuum or modified atmosphere packaging (MAP) [4, 5, 6]. However, a freshness of chilled meat is strongly influenced by temperature. Inadequate storage, distribution and retail temperatures can lead to a significant reduction in shelf life and early spoilage of meat and meat products [6].

Healthy animals that are hygienically slaughtered after proper resting and fasting provide a practically aseptic meat. However, during slaughter, evisceration and dressing operations the microbialcross-contamination usually occurs, especially on the surface of meat, via contact with equipment, tools, hands, clothes, objects, etc. Meat is a particularly favorable substrate for the growth of microorganisms due to its chemical composition, e. g. rich in proteins, lipids and water. The lipid content of meat also makes it very sensitive to oxidation (the reaction of oxygen with fatty acids) and subsequent production of peroxides. The breakdown products of the peroxides produce the characteristic objectionable odor and flavor of rancid meat.

Several weak points exist in meat cold chain, such as the chilling of products during storage — before shipping, temperature abuse during transport and transferring products from one actor to another and waiting times during consolidation and deconsolidation at retail [7, 8, 9]. Temperature abuses result in variations of product quality during distribution and at the end of shelf life and may cause spoilage before the use by date is reached, leading to food waste and economical losses. The vulnerability of meat cold chain became very important in modern, global meat trade where distribution chain is sometimes very complex and long (slaughterhouse-transportation/distribution-retail-consumer continuum), where meat has to be shipped from one to another country or from one to another continent (Figure 1). Therefore, the management of cold chain is of paramount importance and presents a permanent challenge to maintain the safety and freshness of chilled fresh meat until it reaches the final consumer.

2. Meat spoilage

Pork, beef, lamb and poultry carcasses are chilled immediately after *post-mortem* inspection at slaughter line and/or in slaughterhouse chilling rooms. The chilling process is aerobic as the carcasses are exposed to air circulation. Most often, after 24–96h of chilling, the carcasses are usually moved to a boning/cutting room where they are further cut into primary cuts (primals). The primals can be typically stored up to 6 weeks in vacuum packs under anaerobic conditions [3]. Ground meat products may be prepared from trimmings from deboning and/or trimmings from primals after 6 weeks of anaerobic storage; these may be stored aerobically or anaerobically (Figure 2).

It is well known that chilling of red meat and poultry carcasses is essential to retard bacterial growth. Chilling is also required for appearance and eating quality of meat. Most frequently bovine, pork and lamb carcasses are chilled using a forced convection of chilled air [10], although spray chilling (application of a fine spray) may also be used since it is faster than air chilling and it is primarily used in poultry, but may be also used in beef, pork and lamb processing plants.

According to Regulation (EC) 853/2004/EC the carcasses should be immediately chilled after post-mortem inspection to ensure that the temperature throughout the meat(carcass)is lower than 7 °C, and lower than 3 °C for offal. Interestingly, the provision on time limit by when this temperature must be achieved, is not defined. For example, beef and lamb carcasses are usually not chilled to the temperature lower than 10 °C (core temperature) within the first 10 h, to avoid cold shortening and toughening of the meat. Therefore, such conditions are favorable for the bacterial growth on the surface of the carcass, until the temperature is sufficiently reduced to retard bacterial activity [3].

Meat is considered to be spoiled when certain sensory changes occur, e. g. discoloration, off-odor and/or slime development and is usually primarily triggered by spoilage bacteria (Table 1) although indigenous enzymes may

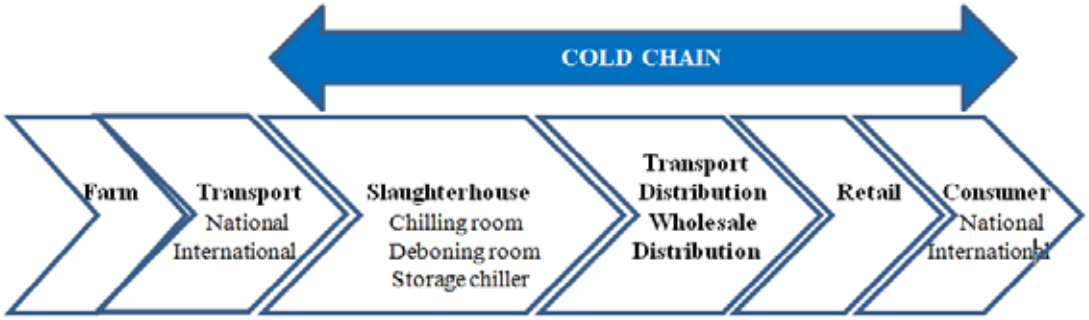

Figure 1. The schematic layout of meat supply cold chain

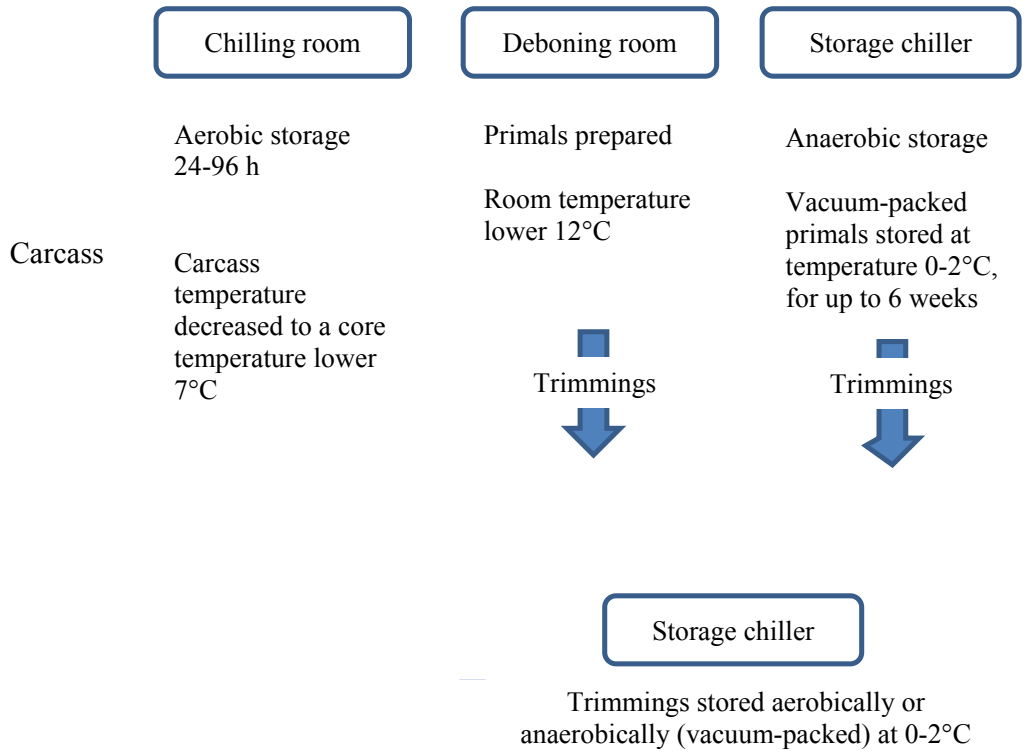

Figure 2. The chilling and chilled storage conditions for beef, pork and lamb carcasses and their primals and trimmings (adapted from [3])

also be involved [11]. For instance *Pseudomonads*, *Lactobacillus* and *Enterococcus* produce slime on meat, while *Enterococcus* produce hydrogen peroxide greening spots, similar to greening caused by *Clostridium* spp. The growth of bacteria on meat surface is influenced by temperature, pH, water activity, nutrient availability, storage atmosphere (aerobic or anaerobic) and competition with other microbiota present on meat [12].

3. Meat supply cold chain management

Preservation of red and poultry meat for trade and export purposes as anaerobic vacuum-packed product in either chilled or frozen form at sufficiently cold temperatures is essential for successful national and international trade [13]. The impact of long-term chilled storage, as well as frozen storage for export purposes was thoroughly investigated [12, 14]. It was proved that frozen storage durations were extended for more than one year [15]. In spite of these advances, improvement of preservation technologies within the current export cold chain remains an issue, in particular at industrial level, with potential for advancements encompassing superchilling, ionizing radiation, biopreservation and high hydrostatic pressure or high pressure processing (HPP) [16].

3.1. Cold chain in slaughterhouse

In slaughterhouse the meat chill chain starts with two main steps: (a) the primary chilling (rapid cooling of meat carcasses after slaughter) so that the warmest point of the carcass (center of the hind leg) has to reach a temperature lower than 7 °C and 3 °C for edible offal and lower than 4 °C for poultry carcasses, to prevent microbial growth and extend the shelf life; with current technology these temperatures can be arrived at in 16–24 hours in small carcasses (lamb), in less than 48 hours in large carcasses (beef, pork) and less than 2h for poultry carcasses (internal deep breast); average and surface temperatures are obviously much lower, reaching 0 °C on the surface within four hours; this is very important to slow microbial proliferation; and (b) secondary chilling (maintenance of the meat temperature below 7 °C (red meat) and below 4 °C (poultry

Table 1. The overview of the main meat/meat products spoilage defects and causal bacteria (adapted from [8]).

Defect	Meat/Meat product	Causal bacteria
Slime	Fresh meat	*Pseudomonads, Lactobacillus, Enterococcus, Weissella, Brochothrix*
Hydrogen peroxide greening	Fresh meat	*Weissella, Leuconostoc, Enterococcus, Lactobacillus*
Hydrogen sulfide production	Cured meats	*Vibrio, Enterobacteriaceae*
Sulfide odour	Vacuum-packed fresh meat	*Clostridium, Hafnia*
Cabbage odour	Bacon	*Providencia*
Cheesy or dairy odour	Vacuum-packed fresh meat	*Brochothrixthermosphacta*
Putrefaction	Ham	*Enterobacteriaceae, Proteus*
Bone taint	Whole meats	*Clostridium, Enterococcus*
Souring	Vacuum-packed meats	*Lactic acid bacteria, Enterococcus, Micrococcus, Bacillus, Clostridium*

meat) at all times during chill storage, cutting, deboning, mincing), before transportation.

The most common technologies to chill meat before transportation are: (i) air chilling, (ii) immersion chilling, (iii) spray chilling, and (iv) vacuum chilling [8].

3.1.1. Air chilling. The effectiveness of air chilling applications depends on a number of factors including air temperature and velocity, relative humidity, weight, fat cover of carcasses and loading of chilling chamber. Air temperature must be within the region of 0 °C, with no decrease below minus 1 °C, which could freeze the meat surface and impair its appearance. Air speed can range from 0. 25 to 3. 0 m/s. However, for economic reasons the most common speeds in use are from 0. 75 to 1. 5 m/s in the empty section of the cold chamber. Relative humidity during the chilling operation should be kept high to prevent excessive weight loss. The recommended rate is between 90 and 95 %, though this is the most difficult factor to control. It is worth of note that sometimes quick chilling has its problems because of the «cold shortening». Cold shortening can often be seen in beef and mutton, when the meat, still in its pre-rigor phase, reaches temperatures of 10 °C or lower. These conditions cause irreversible contractions of the muscle tissue which toughen the meat even after prolonged ripening. Quick primary chilling also signifies an increase in investment and higher operational costs. The chilling period can be reduced by lowering the air temperature (surface freezing risks) or increasing air speed (higher operational costs) or both. Occasionally cold chambers are refrigerated in advance to reach lower temperatures than those in operation (minus 5–6 °C for beef; minus 10–12 °C for pork), taking advantage of thermal inertia to offset the effect of warm meat loads [8].

3.1.2. Immersion chilling. This is the oldest chilling method and also the least expensive method and provides very rapid cooling with no risk of freezing. Immersion chilling is an off-line system that does not allow automatic weighing before and after chilling and is commonly used for the chilling of poultry carcasses, predominantly in USA. Immersion chillers use little floor space and are very energy efficient. The process can be accomplished using just tap water with or without flaked ice or pre-chilled water to create lower temperatures in the immersion bath. Such system is capable of lowering the temperature of the tap water to 1 °C. This process can result in product weight increase by means of a controllable water pick-up. An increase of up to 12 % can be achieved.

3.1.3. Spray chilling. This is an alternative method to immersion chilling which has been increasingly used especially in the USA for the chilling of poultry carcasses. Spray chilling can be applied in the processing and production of «frozen products» or «hard scalded birds», as well as «fresh products» or «soft scalded birds». This chilling method is based on combination of sprays and air during the initial stage of the chilling cycle and the use of air for the rest of the chilling period; it uses a cold airflow across the surface of the product and intermittent spraying with cold water. This system prevents the skin from drying out and speeds up the chilling process. With this technique, the discolouration of the skin, which can occur with hard scalded birds, is prevented. Usually, spray chilling tunnels are designed to take one layer of birds in order to prevent cross contamination. Two layers are possible, but the bottom layer must be positioned in between the lines of the top layer to prevent drip contamination and additional drip troughs are required.

3.1.4. Vacuum chilling. This is a rapid batch process whereby moist products containing free water are cooled by evaporation of moisture under vacuum. The advantage of this technology is that it significantly reduces bacterial counts of phychrophiles and mesophiles after the meat was stored for several days. Vacuum packed chilled meat has significantly longer shelf life compared with conventionally chilled wrapped meat. For instance, vacuum packed beef cuts can be stored for up to 12 weeks, while lamb and pork cuts can have a shelf life for up to 5 and 8 weeks, stored at 0 °C, respectively. The disadvantage is the large weight loss of meats.

3.2. Cold chain in meat distribution

During meat distribution (transportation) route to the final user — wholesale cold storage and/or display at retail, the cold chain must be maintained vigorously. Industrial and/or truck chambers have different characteristics and performances. Its size, initial temperature of incoming meat, targeted temperature during transportation, mechanical characteristics (e. g. power of compressors, ventilation and insulation), as well as energy/cost matters are issues of first priority when considering the meat distribution/transportation [8]. In general, the vehicle must be provided with a good refrigerated system, capable to maintain the required temperature of meat/offal at all times during distribution (see 3.1.).

3.3. Cold chain in meat retail

The maintenance of cold chain during display at retail is of crucial importance for prevention of microbial spoilage, as well as maintenance of meat freshness and safety. The size and capacity of chilling chambers at retail establishment, the size of cabinets, initial temperature of incoming meat, meat handling procedures (cutting, mincing), temperatures of surroundings, location of refrigeration machinery, ventilation and light are the possible weak points to be addressed. The special focus should be put on temperature consolidation/deconsolidation during meat handling (e. g. daily transfer of meat cuts from the chilling chamber to the retail cabinet and vice versa, where internal temperature of meat cuts should be at all times lower than 7 °C). The management approach that dominates in the meat market is related to the principle «First In — First Out». However, such approach should also adhere to all stages of the cold chain

(Figure 1) and has to be achieved through properly designed handling procedures in the chill storage rooms and retail cabinets. In all, different points of transport, from cold storage in slaughterhouse to retail outlet, and then to consumer refrigerator, are critical points for the overall meat quality and safety.

4. Available options in meat supply cold chain management

As said, if the cold supply chain is breached, meat and poultry products will suffer from a range of quality problems such as shrinkage, rotting, trim loss, unpleasant odor, color and texture changes, as well as exacerbated health risks from pathogens such as *Salmonella*, *Campylobacter*, Shiga toxin-producing *E. coli* (STEC) and *Listeria monocytogenes*. Despite a numerous studies targeted to better understanding of meat microbial ecology (spoilage microorganisms and food borne pathogens) and its relation to temperature/time within the complex meat supply chain, e. g. meat storage, transportation, distribution and retail, the maintenance of cold chain, as well as meat quality and safety remains a challenge. From recently, there are several options/control measures which can be effectively and synergistically applied to improve the control over the «classic» meat supply cold chain.

4.1. Chilled and frozen storage combinations

Over the previous two decades a numerous studies had been carried out to assess the enhancement of shelf life, as well as quality and safety of meat achieved by chilling and freezing regimes. However, a limited number of studies were conducted to evaluate combined chilled and frozen storage practices, particularly regarding long-term chilled-than-frozen beyond 3–4 months of total duration.

It appeared that prolonged vacuum-packed chilled storage (two weeks for beef and lamb, at 4 °C and even up to 30 weeks for beef, at minus 0.5 °C and 7 weeks for lamb, at minus 1.5 °C)combined with subsequent frozen storage (up to one year, at minus 18 °C) had the beneficial effect to quality parameters (shear force, tenderness, fluid levels, flavor and color) of meat; the improved tenderness was confirmed as a major achievement [15, 19, 20]. Obviously, the prolonged chilled-frozen storage combinations can have a beneficial effect for export of fresh meat. Further and deeper studies are needed to investigate instrumental color and microbial profile of chilled-then-frozen meat, as these studies are highly relevant for consumer approval and health issues [20].

4.2. Superchilling

Superchillingis used for preserving foods by process in which the temperature of a food product is lowered to 1–2 °C below the initial freezing point (for most foods between 0.5 °C and 2.8 °C). The superchilling technology combines the favorable effect of low temperatures with the conversion of some water into ice, which makes it less available for deteriorative processes. Superchilling gives the food product an internal ice reservoir so that there is no need for external ice around the product during transportation or storage for shorter periods. Generally, superchilling is positioned between freezing and refrigeration (conventional chilling), where the surrounding temperature is set below the initial freezing point. Storing food at superchilling temperature has three major advantages: maintaining food freshness, retaining high food quality and suppressing growth of harmful microbes. It can also reduce the use of freezing/thawing for production and thereby increase yield, reduce energy, labor and transport costs [21].

4.3. Ionizing radiation

Processing of food by ionizing radiation offers arrange of beneficial effects, which can»t be achieved by other and, in particular, traditional techniques such as chilling alone. Food radiation, if applied at low dose (up to1kGy) can be very effective against parasites presented in red meat, as well as for inactivation of spoilage and pathogen bacteria in chilled and/or frozen meat and poultry.

On the other hand, several consumer organizations raised concerns from the beginning whether it would be «safe» to consume irradiated food? However, after more than 100 years of research, the questions raised are resolved and the consumers accept irradiated food where it has become available together with an understandable explanation of the new technology. For example, in China very special items, as pickled chicken feet (irradiated), appear to have a certain market share. In the European Union the amount of irradiated food on the market place is marginal; however, varying drastically between Member States. More recent consumer studies are not available for the EU. The use of ionizing radiation in food processing remains still to be an under-estimated and under-exploited technology, in spite of its great potential [22].

4.4. Biopreservation

Natural compounds, such as essential oils, nisin, lysozyme, as well as natural or controlled microbiota, e. g. lactic acid bacteria (LAB) and their antimicrobial products such as lactic acid and bacteriocins, were investigated to extend the shelf life of meat/meat products and to obtain «green label» products. For example, nisin is only commercially available bacteriocin and showed good antibacterial action in artificially contaminated pork and in combination with 2 % sodium chloride an excellent anti-listerial effect in minced beef; pentocin 31–1 (produced by Lactobacillus pentosus 31–1 isolated from the traditional Chinese fermented Xuanwei ham) effectively inhibited volatile basic nitrogen (VBN) and suppressed the growth of indigenous microbiota, especially *Listeria* and *Pseudomonas*, in chilled pork storage [16].

4.5. High hydrostatic pressure (HHP)

The meat preservation process using HHP, a non-thermal technology, can effectively inactivate product-spoiling microorganisms and enzymes at low temperatures without changing dramatically the sensory or nutritional characteristics of the product; the tenderness is even improved, while the fresh meat color is slightly changed, after the HHP treatment. HHP is also a powerful tool to control risks associated with *Salmonella* and *Listeria monocytogenes* in raw or marinated meats [23]. Pressure processing is usually carried out in a steel cylinder containing a liquid pressure-transmitting medium, e. g. water, while the product is protected from direct contact by using sealed flexible packaging [16]. The recommended pressure/time combination for meat/meat products of 600–700 MPa for 2–5 minutes showed quick inactivation of *L. monocytogenes*, as well as other indigenous microbiota [24].

4.6. Active packaging

Active packaging is an innovative technology that allows the product and its environment to interact to extend the product shelf life and to ensure its microbial safety, while maintaining the quality of packed food. According to EU legislation, active packaging is a type of food packaging with an extra function, in addition to that of providing a protective barrier against external influence. It means that the packaging can absorb food- and environment-derived chemicals within the packaging surrounding the food or its releases substances into the food or the environment surrounding the food, e. g. preservatives, antioxidants, and flavorings [25]. There are three main types of active packaging which were developed so far: antimicrobial active packaging, antioxidant active packaging, carbon-dioxide emitting/generating packaging.

4.6.1. Antimicrobial active packaging. This is one of the most important concepts of active packaging of meat. There are four basic categories of antimicrobial packaging: (i) incorporation of antimicrobial substances into a pad inside the package, with aim to provide a slow release of antimicrobials, (ii) direct incorporation of the antimicrobial agents into the packaging film, by heat treatment (co-extrusion of packaging films with antimicrobials), so that antimicrobials can be gradually released from the packaging films to the packaging head space or food surface, (iii) coating of packaging with a matrix that acts as a carrier for antimicrobial agents, so to allow the release of antimicrobials onto the food surface through evaporation into the headspace (volatile substances) or migration into the food through diffusion (non-volatile substances), and (iv) use of polymers that have antimicrobial activity (e. g. chitosan, poly-l-lysine). In addition, a large number of antimicrobials were tested for inhibiting the growth of microorganisms in food, e. g. ethanol, carbon dioxide, silver ions, chlorine dioxide, antibiotics, bacteriocins, organic acids, essential oils, spices, plant extracts (rosemary), peptides, etc [26].

4.6.2. Antioxidant active packaging. High levels of oxygen in meat packaging can facilitate microbial growth, lipid oxidation, development of off-flavors and off-odors, color changes and nutritional losses. Therefore, control of oxygen level in meat packaging is important to prevent/retard the deterioration and spoilage of meat. Antioxidant active packaging systems can be classified into 2 groups: (i) independent antioxidant devices (sachets, pads or labels with oxygen scavengers — fine iron powder and ferrous oxide), and (ii) antioxidant packaging materials (antioxidant active agent is incorporated into the walls of the packaging film (e. g. terpenoids from the propolis).

4.6.3. Carbon-dioxide emitting/generating packaging. Carbon dioxide has proven inhibitory effect for a range of aerobic bacteria and fungi via reduced oxygen level and through direct antimicrobial effect (by prolonging a lag phase and generation time during the logarithmic phase of microbial growth). Therefore, a CO_2 generating packaging system is a technique complementary to oxygen scavenging. The levels of CO_2 applied for meat and poultry preservation are relatively high (10–80 %). For example 10–20 % of CO_2 is needed for the inhibition of Pseudomonas, while 50 % of CO_2 is necessary for control of proliferation of *C. perfringens, C. botulinum* and *Listeria monocytogene*s.

4.7. Wireless sensors

The manufacturers in the food industry frequently face the dilemma regarding the type of cold chain management in delivering products to retailers or end consumers, having to choose between frozen storage and cool storage (cooling, freezing, delivering and storage). Temperature is the main post-processing parameter in the determination of shelf-life in a cold chain of chilled and frozen food products. Frozen storage includes high-energy consumption for the preservation of food products, whereas cool storage involves the constant threat of bacterial-induced spoilage. Contemporary cold chain management encompasses temperature control and is focused on single logistic chain rather than serving multiple channels. In order to overcome the aforementioned deficiency, a time-temperature indicator (TTI) based cold-chain system is developed, which uses wireless sensors for collecting temperature data along the meat supply chain (from cold storage in slaughterhouse to retail) and implements the formulation of Critical Control Point (CCP) criteria throughout the entire delivery process. Under strict temperature monitoring, switching a number of products from frozen storage to cool storage seems to be feasible to improve the shortcomings associated with frozen storage (high-energy consumption, deterioration of taste, limited number of sale channels). Control charts are formulated for monitoring each point in the process. This approach is based on Internet of Things (IoT) architecture and international food standard (ISO 22000). IoT is a growing trend with a powerful influence in shaping the development of the in-

formation and communication technology (ICT) sector, e. g. radio frequency identification (RFID) tags, sensors, actuators, and even smart devices like mobile phones [27]. In practice, the IoTis expected to develop in areas such as wireless sensor networks with the aim of collecting contextual data. Further, a software approach to expanding web-based services using the capabilities of IoT (Web of Things, WoT) were recently developed. Lastly, a new business models in the food industry have been also developed: (i) cold chain home delivery service; (ii) convenience store (CVS) indirect delivery; (iii) CVS direct delivery; (iv) flight kitchen service [28].

4.8. Cold chain database (CCD)

The effective cold chain management can optimize freshness and safety of the product from farm/slaughterhouse up to the final consumer. The targeted data acquisition of time-temperature (t - T) profiles along the meat supply chain, as well as within the specific module of the cold chain stage (e. g. cold storage in slaughterhouse, transportation/delivery, retail) can serve as a valuable input for prediction of a product shelf-life status. From recently, a web-based platform was developed, within FRISBEE European project (http://frisbee-project. eu), for temperature conditions data collection throughout the chilled and frozen food supply chain. Data including all cold chain modules (industry, distributors, retailers and consumers), were collected to create the extensive database comprising more than 14, 000 time/Temperature (t/T) profiles. Such platform can serve as a valuable Cold Chain Management tool. The Cold Chain Predictor (CCP) software based on the Cold Chain Database (CCD) allows calculation of product shelf-life status at different cold chain stages based on existing or user defined kinetic data. The developed tools offer the potential to run simulation scenarios based on real cold chain data and contribute to effective cold chain improvement and management [29].

5. Conclusion

The cold chain management in meat supply is of utmost importance for the maintenance of quality and safety of meat/meat products. The complexity of global meat supply chain, with frequently long distribution chains associated with transportation of the product within one country, from one to another country, and from one to another continent, makes the solutions for the chilling and freezing regimes, as well as monitoring of time-temperature profiles, very important for the overall success in delivery of product. These products shouldbe than accepted by consumer for its freshness and safety levels. Although the importance of chilling and freezing regime effectiveness and temperature monitoring along the meat supply chain are well known, it remains a permanent challenge for the industry, distributors, retailers and consumers. From recently, there are several available options for control and management of the cold chain, such as chilled and frozen storage combinations, superchilling, ionizing radiation, biopreservation, high hydrostatic pressure (HHP), active packaging, wireless sensors, supported with the software-based cold chain database (CCD).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК/ REFERENCES

1. The European Parliament and the Council. (2011). Regulation (EU) No 1169/2011 of 25 October 2011 on the provision of food information to consumers. *Official Journal of the European Union,* OJ (L 304), 18–63.
2. Regulation (EC) 853/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004, laying down specific hygiene rules for on the hygiene of foodstuffs. *Official Journal of the European Union,* OJ (L 304), L139/55.
3. EFSA (2016). Growth of spoilage bacteria during storage and transport of meat. *Official Journal of the European Union,* 14 (6), 4523.
4. Lambert, A. D., Smith. J. P., Dodds, K. L. (1991). Shelf life extension and microbiological safety of freshmeat — a review. *Food Microbiology,* 8 (4), 267–297.
5. Kiermeier, A., Tamplin, M., May, D., Holds, G., Williams, M., Dann, A. (2013). Microbial growth, communities and sensory characteristics of vacuum andmodified atmosphere packaged lambshoulders. *Food Microbiology,* 36 (2), 305–315.
6. Berruga, M. I., Vergara, H., Gallego, L. (2005). Influence of packaging conditions on microbial andlipid oxidation in lamb meat. *Small Ruminant Research*, 57 (2–3), 257–264.
7. Raab, V., Petersen, B., Kreyenschmidt, J. (2011). Temperature monitoring in meat supply chains. *British Food Journal,* 113 (10), 1267–1289.
8. Nychas, G. E., Skandamis, P. N, , Tassou, C. C., Koutsoumanis, K. P. (2008). Meat spoilage duringdistribution. *Meat Science,* 78 (1–2), 77–89.
9. Olsson, A. (2004). Temperature controlled supply chains call for improved knowledge andshared responsibilities. In *Conf. Proc. NOFOMA 2004* (ed. H. Aronsson), 569–582. Sweden: Linköping.
10. James, S. J., James, C. (2004). Meat marketing (d) transport of meat and meat products. In: Jensen, W. K., Devine, C. Dikeman, M. (eds.). Encyclopedia of Meat Sciences. Academic Press, Elsevier Science, Ltd. 696–702.
11. Tsigarida, E., Nychas, G. — J. E. (2001). Ecophysiological attributes of a Lactobacillus spp. and a Pseudomonas spp. on sterile beef fillets in relation to storage temperature and film permeability. *Journal of Applied Microbiology,* 90 (5), 696–705.
12. Sumner, J., Jenson, I. (2011). The effect of storage temperature on shelf life of vacuum-packed lamb shoulders. *Food Australia*, 63 (6), 249–251.
13. Deards, B., Leith. R., Mifsud, C., Murray, C., Martin. P., Gleeson, T. (2014). Live export trade assessment. Canberra: Department of Agriculture. [Electronic resource: http://www. herefordsaustralia. com. au/Portals/0/PDF/ABARES%20Live%20Export%20Trade%20Assessment. pdf. Access date 30. 06. 2017]
14. Kiermeier, A., Tamplin, M., May, D., Holds, G., Williams, M., Dann, A. (2013). Microbial growth, communities, and sensory characteristics of vacuum and modified atmosphere packaged lamb shoulders. *Food Microbiology,* 36 (2), 305–315.
15. Muela, E., Monge, P., Safiudo, C., Campo, M. M., Beltran, J. A. (2015). Meat quality of lamb frozen stored up to 21 months: instrumental analysis on thawed meat during display. *Meat Science,* 102, 35–40.
16. Zhou, G. H., Xu, X. L., Liu, Y. (2010). Preservation technologies for fresh meat — A review. *Meat Science,* 86(1), 119–28.
17. UN FAO, (1991). Manual on meat cold storage operation and management. [Electronic resource: http://www. fao. org/docrep/004/T0098E/T0098E02. htm. Access date 29.06.2017].
18. Hagyard, C. J, Keiller, A. H., Cummings, T. L., Chrystall, B. B. (1993). Frozen storage conditions and rancid flavor development in lamb. *Meat Science,* 35 (2), 305–312.
19. Muela, E., Monge, P., Sanudo, C., Campo, M. M., Medel, I., Beltran, J. A. (2016). Sensory quality of lamb following long-term frozen storage. *Meat Science,* 114, 32–37.

20. Coombs, C. E. O., Holman, B. W. B., Friend, M. A., Hopkins, D. L. (2017). Long-term red meat preservation using chilled and frozen storage combinations: A review. *Meat Science,* 125, 84–94.
21. Kaale, L. D., Eikevik, T. M., Rustad, T., Kolsake, r K. (2011). Superchilling of food: A review. *Journal of Food Engineering*, 107 (2), 141–146.
22. Ehlermann, D. A. E. (2016). Particular applications of food irradiation: Meat, fish and others. *Radiation Physics and Chemistry*, 129, 53–57.
23. Garriga, M., Grebol, N., Aymerich, M. T., Monfort, J. M., Hugas, M. (2004.)Microbial inactivation after high-pressure processing at 600 MPa in commercial meat products over its shelf life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5 (4), 451–457.
24. Lucore, L. A., Shellhammer, T. H., Yousef, A. E. (2000). Inactivation of *Listeria monocytogenes* on artificially contaminated frankfurters by high-pressure processing. *Journal of Food Protection*, 63 (5), 662–664.
25. EU. (2009). Guidance to the Commission Regulation (EC) 450/2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food. Version 10. European Commission Health and Consumers Directorate, General Directorate E — Safety of the Food Chain, E6 — Innovation and sustainability.
26. Fang, Z., Zhao, Y., Warner, R. D., Johnson, S. K. (2017). Active and intelligent packaging in meat industry. *Trends in Food Science and Technology,* 61, 60–71.
27. Kang, Y. S., Lee, Y. H. (2013). Development of generic RFID traceability services. *Computers in Industry*, 64 (5), 609–623.
28. Shih, C. W., Wang, C. H., (2016). Integrating wireless sensor networks with statistical quality control to develop a cold chain system in food industries. *Computer Standards & Interfaces*, 45, 62–78.
29. Gogou, E., Katsaros, G., Derens, E., Alvarez, G., Taoukis, P. S. (2015). Cold chain database development and application as a tool for the cold chain management and food quality evaluation. *International Journal of Refrigeration,* 52, 109–21.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Настасиевич Иван — адъюнкт-директор, Институт гигиены и технологии мяса.
Kaćanskog 13, 11000, Belgrade, Serbia
Тел. : +381-11-2650-722
E-mail: ivan.nastasijevic@inmes.rs
*автор для контактов

Лакицевич Бранкика — Научный сотрудник, Институт гигиены и технологии мяса.
Kaćanskog 13, 11000, Belgrade, Serbia
Тел. : +381-11-2650-722
E-mail: brankica.lakicevic@inmes.rs

Петрович Зоран — Научный сотрудник, Институт гигиены и технологии мяса.
Kaćanskog 13, 11000, Belgrade, Serbia
Тел. : +381-11-2650-722
E-mail: zoran.petrovic@inmes.rs

Критерии авторства

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 20.10.2017

AUTHOR INFORMATION

Affiliation

Nastasijevic Ivan — Associate Director, Institute of Meat Hygiene and Technology.
Kaćanskog 13, 11000, Belgrade, Serbia
Tel. : +381-11-2650-722
E-mail: ivan.nastasijevic@inmes.rs
*corresponding author

Lakicevic Brankica—Research Associate, Institute of meat hygiene and technology.
Kaćanskog 13, 11000, Belgrade, Serbia
Tel. : +381-11-2650-722
E-mail: brankica.lakicevic@inmes.rs

Petrović Zoran — Research Associate, Institute of meat hygiene and technology.
Kaćanskog 13, 11000, Belgrade, Serbia
Tel. : +381-11-2650-722
E-mail: zoran.petrovic@inmes.rs

Contribution

The authors equally contributed to the writing of the manuscript and are equally responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 20.10.2017