УДК 664.8.047:637.52:641.568

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ

[1]Дондокова С.А., [2]Битуева Э.Б., [3]Антипов А.В.

[1]Бурятский республиканский техникум пищевой и перерабатывающей промышленности, Улан-Удэ, e-mail: vvv84@bk.ru

[2]Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, e-mail:bitueva_elv@mail.ru

[3]ООО «НЕД-Центр», Москва, e-mail: a225306@yandex.ru

Разработана технология национальных мясных продуктов с использованием современных методов консервирования. Экспериментально подобраны условия и режимы сушки мяса методом сублимации при атмосферном давлении. Изучены физико-химические, органолептические и микробиологические показатели сублимированного мяса. В процессе исследований установлены технологические параметры, позволяющие сделать атмосферную сублимационную сушку конкурентно-способным вакуумной сублимационной сушке процессом. Определены температуры сублимации соленого сырого и соленого вареного мяса, предложен метод досушивания сублимированного мяса при положительных температурах. Установлен коэффициент сопротивления массопереносу вареного и соленого мяса. В результате проведенных исследований разработаны сублимированные мясные с качеством, соответствующим продуктам вакуумной сублимационной сушки, при этом процесс обезвоживания проводился в обычных низкотемпературных камерах, тепловых сушилках, что существенно влияет на стоимость оборудования.

Ключевые слова: сублимационная сушка, мясо, параметры сушки, физико-химические свойства, массоперенос.

THE USE OF FREEZE-DRYING FOR THE PRODUCTION OF MEAT PRODUCTS

[1]Dondokova S.A., [2]Bitueva E.B., [3]Antipov A.V.

[1]Buryat Republican college of food and processing industry Ulan-Ude, Ulan-Ude, e-mail: vvv84@bk.ru;

[2]East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, e-mail: bitueva_elv@mail.ru;

[3]«NED-Center» Ltd, Moscow, e-mail:a225306@yandex.ru

The technology of national meat products using modern methods of preservation. Experimentally selected conditions and modes of drying meat by sublimation at atmospheric pressure. Investigation of physical-chemical, microbiological and organoleptic parameters of freeze-dried meat products. During the research process parameters are set to allow atmospheric freeze drying to make competitive capable vacuum freeze drying process. Determining the temperature of the sublimation of the crude salt and roast cooked meat, we propose a method of freeze-dried meat dryness at positive temperatures. Established mass transfer coefficient of resistance of cooked and salted meats. These studies are designed to freeze-dried meat quality suitable for vacuum freeze-drying products, and the dehydration process was carried out in conventional low-temperature chamber, thermal dryers that significantly affects the cost of the equipment.

Keywords: freeze drying, meat, drying parameters, physico-chemical properties, mass transfer.

Сушка является одним из распространенных физических методов консервирования. Она производиться с целью предотвращения или замедления физико-химических, биохимических и других процессов, которые могут привести к снижению питательной ценности продуктов и даже к их порче [2, 9, 10]. Сушка материалов может происходить естественным путем (на открытом воздухе) и искусственным (в сушилках). Достоинством искусственной сушки является значительно меньший цикл. Процесс сушки происходит за счет удаления влаги путем перевода последней из жидкого состояния в парообразное. Как известно процесс испарения жидкости протекает при температуре ниже ее точки кипения и при давлениях соответствующих этой температуре. При этом количество абсолютно сухого материала остается на всем протяжении сушильного процесса постоянным и сохраняет свое свойство. По своей сущности сушка является сложным диффузионным процессом, скорость которого определяется скоростью диффузии влаги из глубины высушиваемого материала в окружающую среду с помощью вентилятора. Удаление влаги при сушке сводится к перемещению тепла и влаги внутри материала и их переносу с поверхности материала в окружающую среду [21, 23].

Известны разные способы сушки пищевых продуктов, которые зависят от способа подачи энергии при обезвоживании. Одним

из самых распространенных способов сушки продуктов является конвективный способ сушки. Он основан на передаче тепла высушиваемому продукту за счет энергии нагретого сушильного агента – воздуха или парогазовой смеси. При этом способе сушки за счет сообщаемой продукту тепловой энергии идет испарение влаги, а перенос паров влаги осуществляется сушильным агентом [16, 26].

Кондуктивный способ сушки, основан на передаче тепла высушиваемому продукту путем непосредственного контакта с нагреваемой поверхностью сушильного оборудования. Данный способ сушки для пищевых продуктов используется редко. Не удается достичь высокого качества конечного продукта вследствие неравномерности влажности конечного продукта [2, 9, 27].

Одним из современных способов сушки продуктов является акустический метод, который основан на воздействии на обезвоживаемый продукт интенсивных ультразвуковых волн. Данный процесс сушки носит циклический характер, волна выбивает влагу, находящуюся на поверхности продукта, затем оставшаяся влага равномерно распределяется по капиллярам и процесс повторяется снова.

Принципиальная особенность способа заключается в том, что сушка протекает без повышения температуры продуктов. Данный способ используется для сушки термочувствительных и легко окисляющихся материалов. Сушка продуктов акустическим способом отличается от обычных методов и по скорости выработки сухого продукта. Так, например, при сушке ферментов в акустическом поле скорость сушки повышается в 3-4 раза в сравнении с вакуумным методом [2, 9, 10, 27].

В настоящее время известны методы сушки, позволяющие интенсифицировать процессы и получить сушеную продукцию высокого качества, к которым относятся сушка в поле инфракрасного излучения и сублимационная сушка.

Сублимационная сушка представляет собой процесс обезвоживания продукта путем испарения влаги из твердого состояния, минуя жидкую фазу. При этом молекулярная структура материала мало изменяется, высушенный материал отличается высокой пористостью, в результате чего первоначальные свойства сырья быстро восстанавливаются при обводнении [17, 25, 28].

В настоящее время наибольшее применение получила вакуумная сублимационная сушка, которая используется не только для обезвоживания дорогостоящих продуктов и специфических материалов, но и для обезвоживания продуктов широкого употребления. Например, крупнейшая фирма «Nestle» (Швейцария) по производству детского питания и быстрорастворимых продуктов применяет сублимационную технологию для приготовления продуктов (кофе, молоко, какао т.д.). Фирма «Atlas» (США) в 1980 году выработала продукции сублимационной сушки на 110 тыс. тонн, в настоящее время эта цифра значительно выше. Фирма «Danone» (Франция) много лет использует исключительно лиофилизированные микроорганизмы для производства своей кисломолочной продукции: йогурт, кефир, сметана и т.д. [22, 29].

По информации организации «Green Peace» сублимационная сушка является лидером по экологичности среди традиционных способов обезвоживания, так как в этом процессе используют наиболее безопасные для окружающей среды источники тепла (инфракрасные лампы, токи высокой частоты и т.д.) и энергии (электрический ток) [5, 15, 28].

Особое место среди других способов занимает сублимационная сушка при нормальном атмосферном давлении, которая может протекать как специально организованный процесс, так и самопроизвольно. Например, при замораживании и холодильном хранении пищевых продуктов с открытой поверхностью происходит самопроизвольный процесс сублимации, приводящий к потере массы продукта с образованием корочки подсыхания. Процесс сублимации был известен еще с древнейших времен, так, например, кочевым народам (бурятам, монголам и другим), а также народам, населяющим Аляску, Чукотку, высокогорные районы южной Америки. Мясо или рыбу нарезали полосами и сушили в течение пяти месяцев с января по май на открытом воздухе [4, 10, 20, 24].

Технологический процесс сублимационной сушки при атмосферном давлении пищевых продуктов можно разделить на три периода: замораживание до температуры сублимации, сублимация, тепловая досушка.

В периоде замораживания, температура объекта сушки понижается до температуры

замораживания (обеспечивается вымораживание определенного количества влаги, которое обусловливает качество сублимированного продукта). Затем подается нагрев, и температура объекта поддерживается при температуре сублимации (что обеспечивает удаление вымороженной влаги). Второй период может быть назван периодом изотермической сушки, поскольку температура материала должна быть практически постоянной. В ходе его из материала в основном удаляется вымороженная влага. Нами установлено, что на этом процесс сублимации может быть закончен. Затем, В третьем периоде, температура продукта может быть повышена от температуры сублимации до температуры, которая позволяет досушить продукт с максимальной скоростью, но не допускает денатурации объекта. В этом периоде из продукта удаляется связанная, невымороженная влага [3, 11, 18].

Количественная теория сублимационной сушки при атмосферном давлении и методы инженерного расчета этого процесса в настоящее время пока еще находятся в процессе разработки. Поэтому для исследования массопереноса сублимационной сушки при атмосферном давлении пищевых продуктов использована информация о близких по физической природе процессах в области холодильного консервирования скоропортящихся продуктов [18, 19].

Принципиальная схема переноса тепла и влаги в камере холодильного хранения продуктов разработана Г.Д. Рютовым (1960). Позднее Б.П. Камовниковым (1979) предложена схема внешнего тепломассопереноса для сублимационной сушки при атмосферном давлении (рис.1).

Основными факторами, влияющими на скорость атмосферной сушки, являются соотношение между потоками теплоты, подведенными к продукту (конвекцией, радиацией, кондукцией) и отводимыми при сублимации влаги, температурный напор и температура материала [3, 11, 17].

Процессы тепломассопереноса при сублимации при атмосферном давлении зависят от многих факторов, которые условно можно разделить на три основные группы: действующие внутри сушильной камеры, эксплуатационные (нерегулируемые), конструктивные или технологические.

Факторы первой группы включают режимные параметры сублимационной сушки при атмосферном давлении и отражают теплофизическую установку в сушильной камере (характеристики потоков и потенциалов переноса теплоты и массы внутри камеры). Факторы второй группы не поддаются контролю и регулированию в процессе сушки (изменение внешних тепло- и влагопритоков в камеру, вариации теплофизических характеристик объекта сушки и прочее). В третью группу факторов входят конструктивные особенности систем циркуляции и обработки воздуха [18, 19].

Современные представления о механизме сублимации на молекулярно-кинетическом уровне основаны на теории Я.И. Френкеля (1959). Согласно теории, наибольшую вероятность сублимации имеют те молекулы льда, которые расположены на поверхности тела и обладают максимальной скоростью теплового движения. В момент сублимации молекула затрачивает часть внутренней энергии на преодоление сил взаимодействия в твердом теле и сопротивления внешней среде.

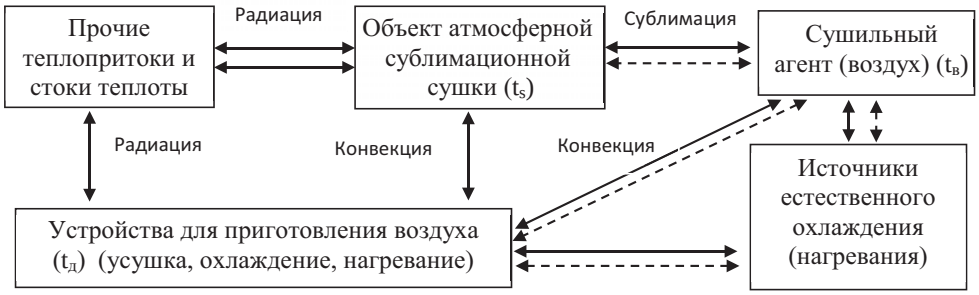

Рис. 1. Схема теплопереноса при сублимационной сушке

Условия обозначения: —— поток тепла; – – поток влаги

Таким образом, существует, некоторый энергетический барьер, преодоление которого необходимо для сублимации молекулы из твердого тела. Очевидно, что наибольшую вероятность преодоления такого барьера имеют молекулы, возбужденные внешним источником энергии.

Возможен выход молекул воды на поверхность из глубинных слоев и их последующая сублимация. Расположенная внутри кристалла молекула, возбужденная внешним источником энергии, срывается из положения равновесия. Такая молекула попадает в междоузлие кристаллической решетки и начинает диффундировать к поверхности. На месте дислоцированной молекулы возникает вакантное место («дырка»). Перемещаясь из одного положения в другое, молекула может попасть на поверхность и сублимировать. Процесс «глубинной сублимации» наиболее вероятен при объемном поглощении материалом внешней энергии. Изложенная теория учитывает лишь среднее значение энергии отрыва молекул от поверхности, которое соответствует теплоте сублимации. В действительности расположенные на поверхности объекта молекулы могут находиться в различных условиях и характеризоваться отличающимися друг от друга энергиями отрыва [11,14, 25].

Известно, что пищевые продукты достаточно высокого качества могут быть получены при умеренно низких температурах сублимации от минус 4 до минус 30°С [18,19].

При разработке режимов сушки пищевых продуктов должны учитываться особенности состава и свойств основных компонентов продукта и характер их изменений в процессе обезвоживания [9, 10, 11, 25].

Преимуществами сублимационной сушки при атмосферном давлении в сравнении с вакуумной сублимационной сушкой являются: исключение из технологического процесса дорогостоящего вакуумного оборудования; при атмосферном давлении открывается перспектива интенсификации тепломассопереноса за счет конвекции сушильного агента, что исключено в условиях вакуума.

О значении мяса в питании человека известно задолго до рождения мясной промышленности из кустарных боен и мясных лавок. Еще в XIX веке Ф. Энгельсом было подчеркнуто, что мясо содержит «в почти готовом виде наиболее важные вещества, в которых нуждается организм для своего обмена веществ». К таким веществам относятся белки, жиры, пищевые волокна животного происхождения (соединительнотканные белки), аминокислоты, жирные кислоты, водо- и жирорастворимые витамины, микро- и макроэлементы.

Мясо-продукт с промежуточной влажностью, следовательно, опасность микробиальной порчи достаточно высока, поэтому для прекращения или торможения микробиологических процессов используют разные способы консервирования, основанные на принципах биологического регулирования жизнедеятельностью микроорганизмов. Наиболее распространены методы консервирования солью, сахаром и использование сушки при высоких температурах. Однако методы сушки при положительных температурах имеют ряд недостатков, к которым относятся: воздействие высоких температур, способствующее развитию окислительных процессов и приводящее к потерям витаминов и биологически активных веществ; снижение качества сушеного продукта вследствие образования пленки, которая затрудняет процесс и приводит как к изменению органолептических показателей, так и снижению восстанавливаемости при вторичном обводнении перед употреблением в пищу [9, 17, 18, 27].

Целью настоящей работы является разработка технологии мясных продуктов с использованием сублимационной сушки при атмосферном давлении.

При сублимационной сушке любых пищевых продуктов необходима предварительная подготовка: зачистка, мойка, сортировка, при необходимости измельчение или нарезка и другие. Проведена предварительная подготовка сырья: зачистку мяса от соединительной и жировой тканей. До измельчения был введен процесс посола с целью улучшения органолептических характеристик. Установлено, что оптимальным способом посола мяса является шприцевание 10%-ным раствором поваренной соли в количестве 5% от массы сырья при температуре (3±1)°С в течение 12 часов. Также установлен оптимальный размер нарезки мяса – кубиками 5х5х5 мм.

Образцы сырого мяса и мяса после тепловой обработки направлялись на сублимационную сушку.

Длительность процесса сушки, уровень температур на разных этапах процесса зависят от характера связи влаги с материалом. Согласно классификации П.А. Ребин-

дера, формы связи влаги подразделяются на 3 группы: вода, удерживаемая силами физико-механической связи (свободная); вода, удерживаемая силами физико-химической связи (связанная); вода, связанная силами химической связи. Для получения высококачественного сублимированного продукта необходимо удаление фазовым переходом «лед-пар» (65-90)% влаги, которая удерживается за счет физико-механической связи в макро- и микрокаппиллярах.

Нами разработана технология сублимационной сушка при атмосферном давлении включающая: процесс замораживания до температуры сублимации, процесс удаления вымороженной влаги при температуре сублимации и процесс досушки при положительных температурах до заданной конечной влажности.

Условия замораживания влияют на качественные показатели высушенных продуктов и продолжительность процесса сушки. Степень изменения материала при замораживании зависит от исходных свойств, глубины и скорости замораживания. Изменение свойств в процессе замораживания связано с кристаллообразованием. Размер, количество и распределение кристаллов зависят от глубины и скорости процесса. При медленном замораживании образуются единичные крупные кристаллы во внеклеточном пространстве. При быстром замораживании образуются мелкие равномерно распределенные кристаллы и миграция влаги в межклеточное пространство невелика. О преимуществах быстрого замораживания пищевых продуктов с точки зрения скорости сушки сообщали А.С. Гинзбург, М.В. Подольский и Ю.И. Новиков (1967). Ученые установили, что сушка быстрозамороженных образцов с мелкокристаллический структурой в большинстве случаев более продолжительна, чем при медленном замораживании. Однако противоположенная точка зрения была представлена И.А. Куприяновым (1970). По его мнению, целесообразнее проведение медленного замораживания, так как образующиеся в продукте большие поры облегчают массоперенос во время сушки и восстановления.

Анализ представленных работ свидетельствует, что нет единого подхода к процессу замораживания перед сублимацией. Аналогичная ситуация прослеживается по режимам собственно сублимации при атмосферном давлении. При сохранении на достаточно высоком уровне питательных веществ, время сушки, у разных авторов, варьирует в пределах (12-96) часов. Кроме всего, в процессе предварительной подготовки сырья введен процесс посола, который отсутствует в существующих технологиях сублимирования пищевых продуктов. Поэтому были экспериментально подобраны режимы сублимационной сушки опытных образцов.

На первом этапе сублимационной сушки проводили замораживание образцов при температуре минус (18-20)°С, в течение 30 минут. Учитывая размеры нарезки, данный промежуток времени был достаточным для вымораживания большей части влаги в образцах. После замораживания мясо подвергали сублимационной сушке при атмосферном давлении.

При выборе температурных режимов учитывали рекомендации А.Ф. Савченко (1970) и А.В. Антипова (1990). Для сушки пищевых продуктов животного и растительного происхождения, возможно использование достаточно широкого диапазона температур от минус 4 до минус 30ºС. Для мяса и мясных продуктов рекомендуемая температура в лежит диапазоне от минус 4 до минус 18ºС [1].

Однако во всех исследованиях сублимацию проводили без предварительного посола сырья. Поэтому необходимо было уточнить режимы сублимационной сушки при атмосферном давлении для соленого сырого мяса и соленого мяса после тепловой обработки. Сублимационную сушку мяса проводили при температурах: (минус 5±1)ºС, (минус 11±1)ºС и (минус 17±1)°С.

При выборе режимов сушки мяса основным параметром являлась массовая доля влаги в продукте. Изучены изменения массовой доли влаги при разных температурах сублимации соленого мяса. Как показывают экспериментальные данные, процесс сублимации протекал по-разному в зависимости от температуры. Однако во всех случаях, процесс изотермической сушки сначала протекал интенсивно, затем замедлялся. По этому моменту определялся собственно период сублимации. Остаточная влажность образцов, при которой происходило замедление процесса, составляла в среднем 20%. Так, при сушке соленого сырого мяса при температурах минус (5±1)°С, минус (11±1)°С и минус (17±1)ºС данное значение достигалась через 8, 12, 18 часов соответственно (рис. 2).

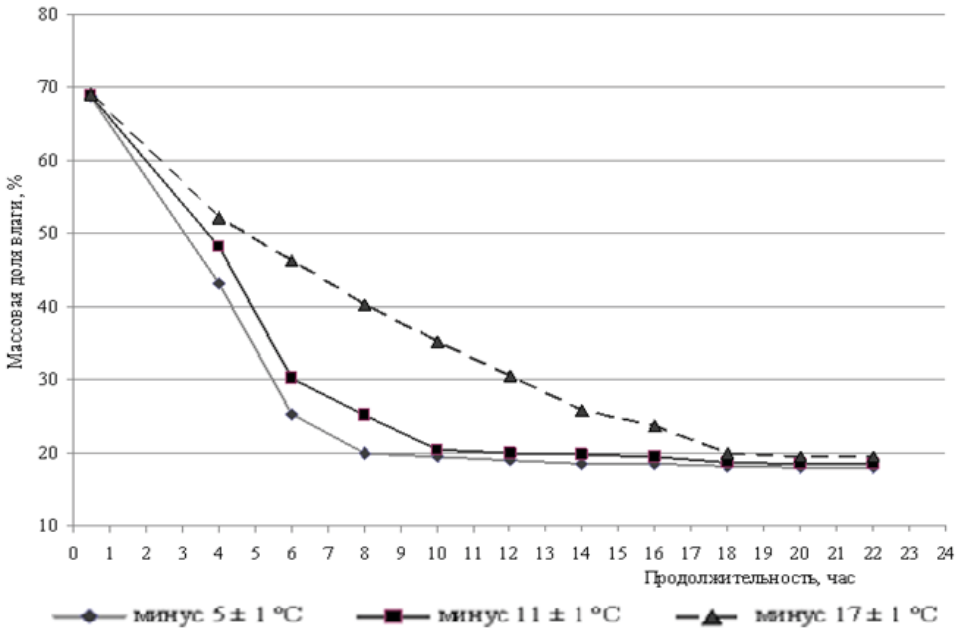

Рис. 2. Содержание влаги в образцах в зависимости от времени сублимации

Поэтому учитывая энергозатраты, дальнейшая сушка образцов была не целесообразной.

Для определения качества сушки и выбора оптимального режима сублимации проведены исследования функционально-технологических показателей: степени восстановления, водосвязывающей способности и усилия среза. Восстановление проводили при температуре (20±2)°С в течение 15 минут, гидромодуль 1:5.

Коэффициент восстановления определяли отношением массы восстановленного продукта к массе сухого. В образцах, полученных при температуре минус (11±1)°С и (17±1)°С, значение коэффициента восстановления составляет 2,70 (рис. 3).

Водосвязывающая способность восстановленных образцов мяса, полученных при минус (5±1)°С, составляла 56,3%. Тогда как в образцах мяса, полученных при температуре минус (11±1)°С и минус (17±1)°С она составляла 63,5% (рис. 4). Образцы с более низким коэффициентом восстановления имели низкую водосвязывающую способность.

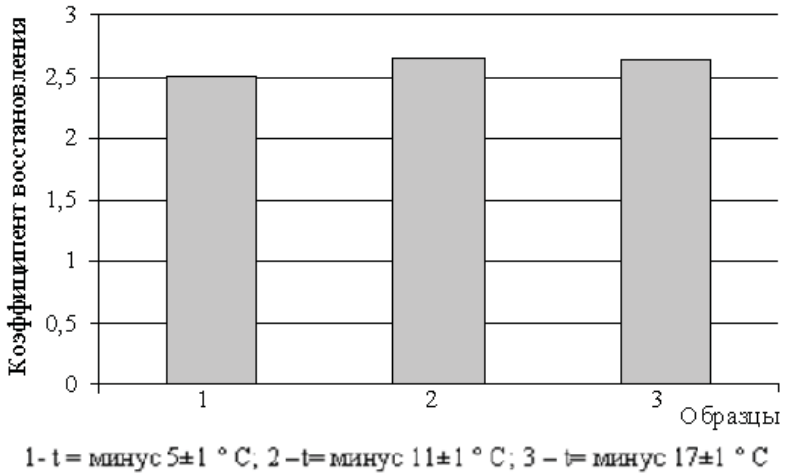

Рис. 3. Изменение коэффициента восстановления соленого сырого мяса при разных температурах сублимации

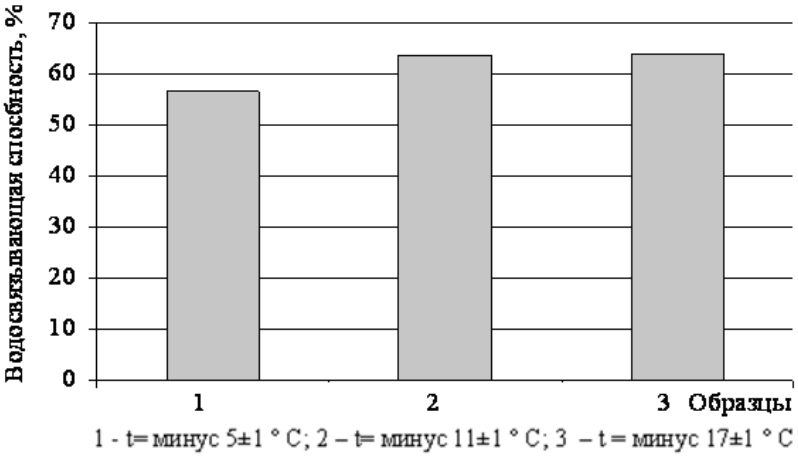

Рис. 4. Водосвязывающая способность соленого сырого мяса, сублимированного при разных температурах

Коэффициент восстановления и водосвязывающая способность образцов, полученных при минус (11±1)°С и минус (17±1)°С, были практически одинаковыми и превышали на 7 и 11% соответственно значения таковых в образцах, сублимированных при температуре минус (5±1)°С. Если сравнивать два образца, полученных при минус (11±1)°С и минус (17±1)°С, то в первом случае процесс сублимации был на 6 часов короче.

Для дополнительного подтверждения выбора режима сублимации, изучали степень жесткости восстановленного мяса, которую характеризует показатель усилия среза. Усилие среза исследуемых образцов, полученных при температуре минус (5±1)°С, составляло 3,40 кПа. Тогда как значение этого показателя в образцах, сублимированных при минус (11±1)°С и минус (17±1)°С, составляло в среднем 3,10 кПа, что ниже на 11% по сравнению с образцами, полученными при минус (5±1)°С. Таким образом, исследуемые образцы при сушке при температурах минус (11±1)°С и минус (17±1)°С, менее жесткие, чем образцы мяса, полученные при температуре минус (5±1)°С (рис. 5). Вероятно, это связано с низким обводнением мяса при восстановлении.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что сушка соленого сырого мяса при температуре минус (5±1)°С проходит быстрее, однако функционально-технологические показатели образцов уступали образцам, полученным при минус (11±1)°С и минус (17±1)°С. Остаточная влажность продукта, сублимированного при температуре минус (11±1)°С, составляла 19,8%.

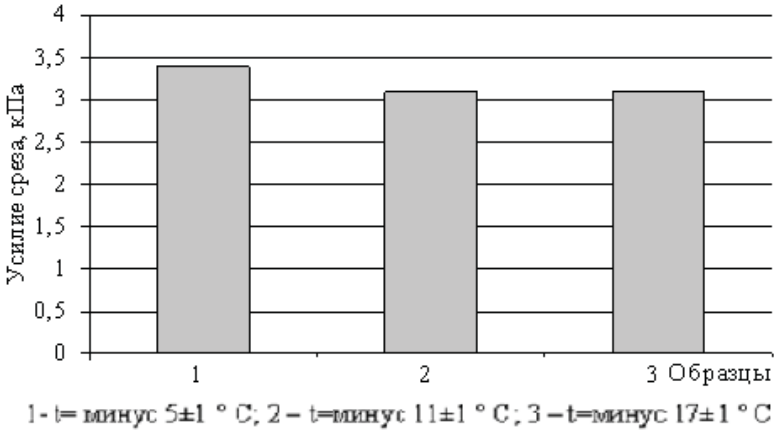

Рис. 5. Изменение усилий среза образцов мяса в зависимости от температуры сублимационной сушки

Данная серия экспериментов, позволила нам сделать вывод о том, что сублимационная сушка соленого сырого мяса может проводиться при температуре сублимации ниже -10°С, и этого достаточно, чтобы получать продукт высокого качества. Дальнейшее понижение температуры сублимации приводит к существенному увеличению продолжительности сублимации, не оказывая при этом влияния на качество сублимированного продукта.

При сублимации соленого мяса после тепловой обработки исследовали аналогичные температуры, что и в случае соленого сырого мяса. Экспериментальные данные показали, что в начале процесса содержание влаги снижалось достаточно резко. Однако по достижению остаточной влаги около 20% процесс замедлился, как при сушке сырого соленого мяса. Тем не менее, процесс сублимации соленого мяса после тепловой обработки протекал на 2 часа быстрее, чем при сушке сырого соленого мяса. Это вероятно связано с тем, что частично свободная влага была удалена при предварительной тепловой обработке. Продолжительность сушки при минус (5±1)°С составила 6-7 часов, при минус (11±1)°С – 10-11 часов и при минус (17±1)°С – 16-17 часов (рис. 6).

Сублимированное соленое мясо после тепловой обработки может быть использовано в пищу без предварительной обработки, в качестве пищевого мясного концентрата (сухом виде) или же, как дополнение к продуктам быстрого приготовления (восстановленное). Для определения качества процесса сублимации изучены функционально-технологические свойства. Исследовали восстановленное мясо, для чего опытные образцы вносили в воду с температурой около 80°С, гидромодуль 1:5, время – 20 минут.

Коэффициент восстановления всех образцов мяса, полученных при разных температурах сублимации, составлял 2,5, что ниже на 7,4% по сравнению с образцами сублимированного соленого сырого мяса (рис. 7).

Проведены исследования водосвязывающей способности мяса после восстановления. Данный показатель во всех исследуемых образцах также был одинаковым, в пределах разброса и составлял в среднем 60,1%. Водосвязывающая способность сублимированного мяса после тепловой обработки на 6,1% ниже значений таковых в случае сублимированного соленого сырого мяса (рис. 8).

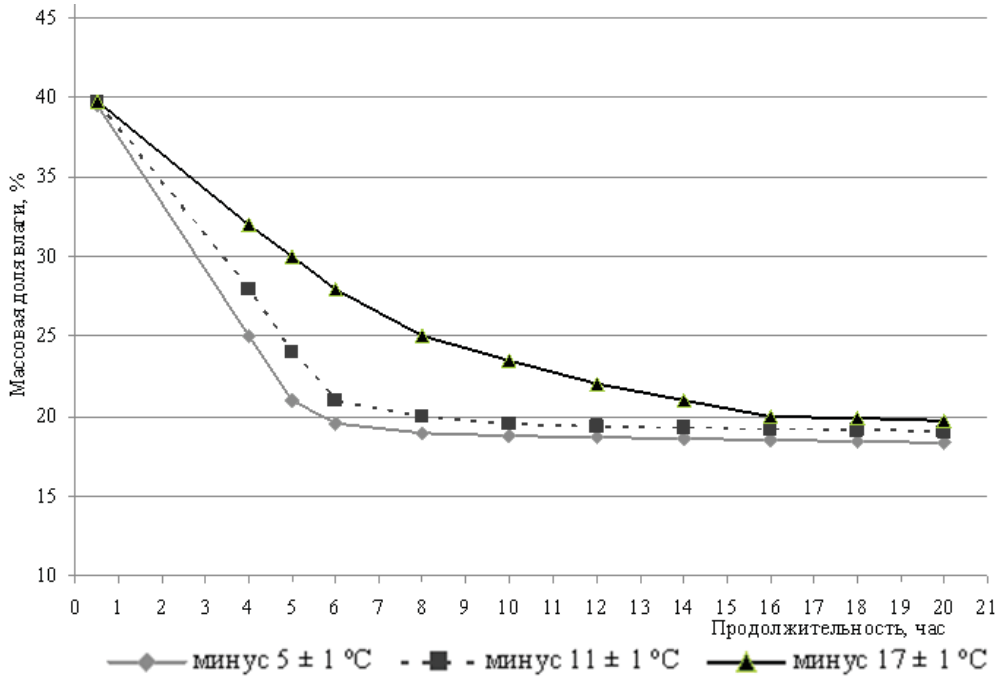

Рис. 6. Изменение массовой доли влаги в образцах соленого мяса после тепловой обработки

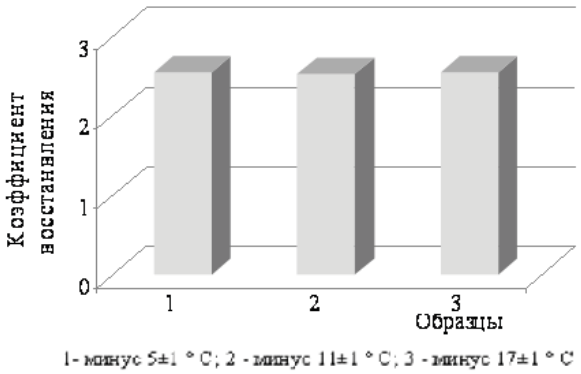

Рис. 7. Коэффициента восстановления соленого сырого мяса после тепловой обработки при разных температурах сублимации

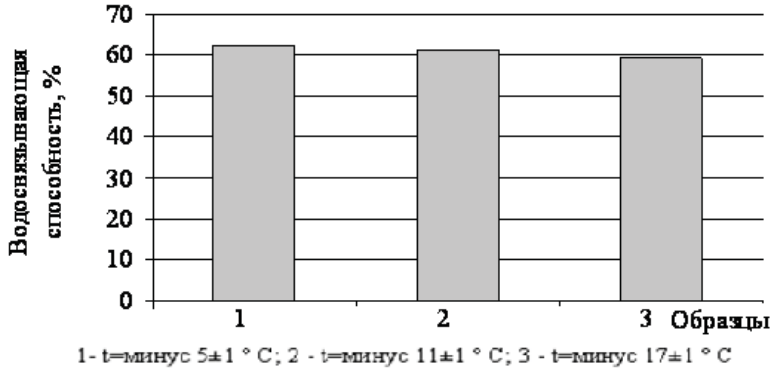

Рис. 8. Влияние температуры сушки на водосвязывающую способность соленого мяса после тепловой обработки

Исследования усилия среза образцов мяса также не дали исчерпывающего ответа о преимуществе температурного интервала (рис. 9). Так усилие среза образцов, полученных при температуре минус (5±1)°С, составляло 3,54 кПа, при минус (11±1)°С – 3,52 кПа, при минус (17±1)°С – 3,53 кПа. Тогда как значение этого показателя в образцах соленого сырого мяса в среднем составлял 3,1 кПа.

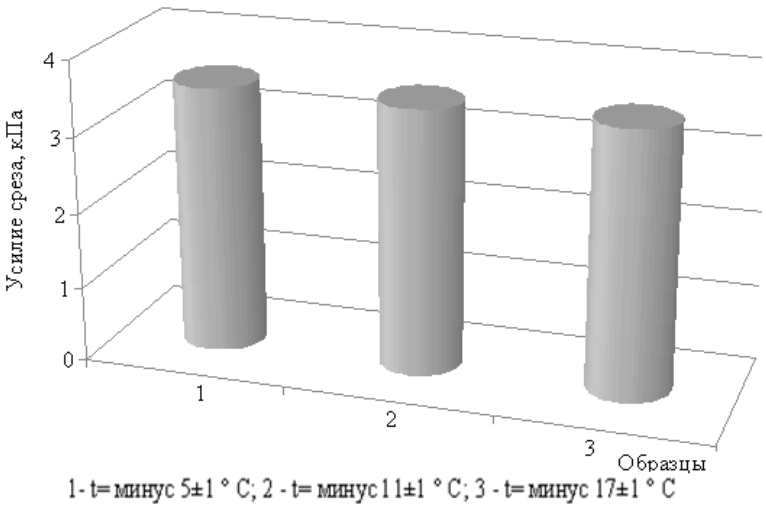

Рис. 9. Влияние температуры сушки на усилие среза образцов соленого мяса после тепловой обработки

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что разные температуры сублимации не оказывают существенного влияния на функционально-технологические показатели соленого мяса после тепловой обработки. Коэффициент восстановления и водосвязывающая способность ниже при сравнении с таковыми показателями соленого сырого мяса. Возможно, это объясняется снижением степени регидратации мяса в результате денатурации белков в процессе предварительной тепловой обработки. Таким образом, выбор температуры сублимации исследуемых образцов был определен продолжительностью процесса сушки, а именно 6-7 часов при температуре сублимации минус (5±1)°С. Сушка при данной температуре экономичнее на 4-10 часов, по сравнению с другими температурами сублимации. Массовая доля влаги в сублимированном продукте составляла 18,4%. В данном случае, результаты эксперимента дали возможность сделать вывод, о том, что температура сублимации вареного соленого мяса составляет ниже минус 5°С, а дальнейшее понижение существенно увеличивает продолжительность процесса, не оказывая при этом влияния на качество сублимированного продукта.

В общей теории сушки изучаются процессы внешнего и внутреннего массопереноса. К процессам внешнего массопереноса (внешней задачи) относятся параметры сушильного агента, контактирующего с объектом сушки: химический состав и скорость этого агента, его температура и влажность, парциальное давление компонентов сушильного агента, направление движения агента относительно поверхности объекта сушки.

К процессам внутреннего массопереноса (внутренней задачи) относятся технологические свойства объекта сушки. Под технологическими свойствами материалов, по А.С. Гинзбургу (1973), понимают различные свойства (биологические, физико-химические, структурно-механические, теплофизические и др.), специфические для каждого материала и зависят от условий, режимов и способов его обработки.

Одним из решений внутренней задачи наряду с активностью воды может быть использован коэффициент сопротивления испарению, определяющий качество процесса сублимации. Данный коэффициент является характеристикой конкретного продукта, его химического состава, структуры, условий сушки и т.д. Известны коэффициенты (Н.А. Бабицкая, 1986) для разных продуктов: творога диетического – 0,551; картофельного пюре – 0,523; мясного фарша – 0,623. Чем ближе коэффициент к 1 (лед из чистой воды), тем быстрее происходит процесс сушки. Для оценки качества процесса сублимации рассчитывали коэффициент сопротивления испарению на основе экспериментальных данных, как отношение продолжительности сублимации для льда к продолжительности сублимации для продукта. Продолжительность процесса сублимации для льда массой G и толщиной h определяли по формуле:

$$\tau = \frac{G(h+l)R}{SD\left(\frac{p''_{П}}{T_{П}} - \frac{p''_{0}}{T_{0}}\right)}$$

где p''_0 – парциальное давление водяного пара на поверхности испарителя при температуре испарителя T_0;

$p''_П$ – парциальное давление над поверхностью льда при температуре льда $T_П$;

l – расстояние между продуктом и поверхностью охлаждающих приборов, м;

S – площадь поверхности, м^2;

D – коэффициент диффузии, м^2/с.

Экспериментальные коэффициенты сопротивления испарению сублимированных продуктов говядины соленой сырой составил 0,658, говядины соленой после тепловой обработки – 0,723. Следовательно, предварительный посол мясного сырья в совокупности с тепловой обработкой способствуют повышение скорости сублимационной сушки при низких температурах.

Процесс досушки является обязательным и необходимым процессом, так как влажность сублимированных продуктов не должна превышать 5%, и не должна быть менее 3%, так как удаление химически связанной влаги приведет к необратимым изменениям сырья. Однако получение такой влажности при изотермической сушке при отрицательных температурах возможно лишь при очень продолжительном процессе, что делает атмосферную сублимационную сушку экономически нецелесообразной. Поэтому сублимированные образцы с влажностью 19,8% (мяса соленое сырое) и 18,4% (мясо соленое после тепловой обработки) подвергали досушке при положительных температурах в поле инфракрасного излучения. Выбор ИК- сушки обусловлен

тем, что при данном способе обезвоживания в наибольшей степени сохраняются макро- и микронутриенты. Рассматривали известные и используемые в пищевой промышленности диапазоны температур (40-80)°С.

В результате проведенных исследований установлены режимы процесса доведения до конечной влажности в поле инфракрасного излучения для сырого соленого мяса – температура 60°С, время 12 минут; для соленого мяса после тепловой обработки – 80°С, время 8 минут [6].

На основе проведенных экспериментов предложена и запатентована технология мясных продуктов, полученных с использованием сублимационной сушки при атмосферном давлении [7, 8].

В традиционном питании кочевых народов, в частности бурят, для хранения мяса использовали удаление влаги на открытом воздухе. Поэтому в названии разработанных продуктов отражена преемственность национальных традиций и современных достижений: сублимированное сырое мясо названо «Борсо», а сублимированное мясо после тепловой обработки – «Бурдуун».

Качество является интегральным показателем, который определяется пищевой ценностью, органолептическими показателями и безопасностью пищевых продуктов. Пищевая ценность характеризуется содержанием алиментарных компонентов, биологической и энергетической ценностью. Так в сублимированных мясных продуктах «Борсо» и «Бурдуун» содержание белка составило в среднем 80%, содержание жира – 9%, содержание золы – 6,4%. Значения химического состава мясных продуктов, полученных с использованием сублимационной сушки при атмосферном давлении, коррелируются с данными мясных продуктов вакуумной сублимационной сушки (белка – 65-85%, жира – 8-25%). Энергетическая ценность составляла для «Борсо» 453,0 ккал, для «Бурдуун» – 445,7 ккал [12, 13].

Для потребителя в первую очередь важным является органолептические характеристики пищевых продуктов: внешний вид, цвет и запах. Сублимированные продукты представляют собой концентраты с эластичной консистенцией с легкой хрупкостью, по вкусу и запаху, соответствующие исходному сырью, с розовато-серым («Борсо») или серым оттенком («Бурдуун»).

Также оценивали органолептические свойства бульона, так как «Борсо» предназначен для приготовления первых блюд. В качестве контроля исследовали бульон из охлажденной говядины I категории. Органолептические показатели исследовали в соответствии с ГОСТ 7269-79. Установлено, что мясной бульон опытных образцов не отличается от бульона из сырой говядины по внешнему виду, вкусу и запаху.

Еще одним показателем пищевой ценности является безопасность сублимированных мясных продуктов, которую оценивали по микробиологическим показателям. Показатели безопасности должны соответствовать гигиеническим нормативам, установленным Санитарными правилами и нормами (СанПиН) 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». По микробиологическим показателям сублимированные мясные продукты не превышали допустимый уровень.

Таким образом, в результате теоретических и экспериментальных исследований установлено, что разработанная технология сублимационной сушки мяса позволяет создать мясопродукты, отвечающие требованиям безопасности и качества.

Установлены неизвестные ранее технологические параметры, позволяющие сделать атмосферную сублимационную сушку конкурентно-способным вакуумной сублимационной сушке процессом. Определены температуры сублимации сырого соленого и вареного соленого мяса, предложен метод досушивания сублимированного мяса при положительных температурах. Установлен коэффициент сопротивления массопереносу вареного и соленого мяса, что дает возможность разработать математическую модель процесса. Все это в комплексе, позволяет получить продукты сублимационной сушки с качеством, соответствующим продуктам вакуумной сублимационной сушки, причем процесс обезвоживания проводится в обычных низкотемпературных камерах, тепловых сушилках, что существенно влияет на стоимость оборудования.

Список литературы

1. Антипов А.В. Опыт создания лабораторных и промышленных установок для вакуумной и атмосферной сублимационной сушки / А.В. Антипов, Н.Н. Мизерецкий, Ц.Б. Дугаров // Материалы международной технической конференции «Сублимационная сушка в фармацевтической и пищевой промышленности». – М.: МГУПБ, 2005. – С. 2-6.

2. Атаназевич В.И. Сушка пищевых продуктов. – М.: ДеЛи, 2000. – 294 с.

3. Бабицкая Н.А. Разработка процесса атмосферной сублимационной сушки для продуктов животного происхождения. – М.: Колос, 1990. – С. 40.

4. Бабуева В.Д. Мир традиций бурят: научное издание. – Улан-Удэ: Улзы, 2001. – С. 73.

5. Белоусова Н.И. Анализ экологического состояния отраслей АПК РФ и проблемы экологизации в мясной промышленности / Н.И. Белоусова, Т.А. Мануйлова, Н.Ф. Панков // Все о мясе. – 2006. – № 4. – С. 44-48.

6. Битуева Э.Б. Разработка технологии национального мясного продукта / Э.Б. Битуева, С.А. Дондокова // Мясная индустрия. – 2009. – № 6. – С. 55-57.

7. Битуева Э.Б., Дондокова С.А., Антипов А.В. Способ получения национального мясного продукта «Борсо» // Патент России № 2395972. – 2010. – Бюл. № 22.

8. Битуева Э.Б., Дондокова С.А., Антипов А.В. Способ получения национального мясного продукта «Бурдуун» // Патент России № 2399275. – 2010. – Бюл. № 26.

9. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – С. 528.

10. Готовимся к празднику: [На рус. и бурят. яз.] / сост. М.Н. Намжилова, З.Б. Мункуева, Е.Б. Намжилон. – Улан-Удэ: ФГОУ ВПО БГСХА, 2006. – С. 87.

11. Гуйго Э.И. Сублимационная сушка в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – С. 472.

12. Дондокова С.А. Мясные снэки – национальный продукт россиян / С.А. Дондокова, Э.Б. Битуева, А.В. Антипов // Мясные технологии. – 2011. – № 4. – С. 26-28.

13. Дондокова С.А. Сублимационная сушка: национальные традиции и современные технологии / С.А. Дондокова, Э.Б. Битуева, А.В. Антипов // Мясопереработка. – СПб.: Партнеры, 2011. – № 38. – С. 64-66.

14. Ермаков С.А. Новые направления повышения эффективности оборудования для вакуумной сублимационной сушки // Материалы международной технической конференции «Сублимационная сушка в фармацевтической и пищевой промышленности». – М.: МГУПБ, 2005. – С. 37-42.

15. Загойти Л.А. Опыт промышленного производства сублимированных пищевых продуктов // Материалы международной технической конференции «Сублимационная сушка в фармацевтической и пищевой промышленности». – М.: МГУПБ, 2005. – С. 24-28.

16. Касьянов Г.И. Сушка сырья и производство сухих завтраков. – Ростов-на-Дону: Март, 2004. – 159 с.

17. Каминарская А.И. Сублимационная сушка пищевых продуктов. – М.: Торгиздат, 1963. – С. 52.

18. Камовников Б.П. Атмосферная сублимационная сушка пищевых продуктов / Б.П. Камовников, А.В. Антипов, Г.В. Семенов и др. – М.: Колос, 1994. – С. 190-224.

19. Камовников Б.П. Техника и технология консервирования методом сублимационной сушки при атмосферном давлении. – М.: ЦНИИТЭИМясомолпром, 1986. – С. 48.

20. Кайшев В.Г. Анализ макроэкономических показателей развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации за 1995-2006 гг. // Пищевая промышленность. – 2007. – № 4. – С. 22-26.

21. Куликовская Л.В. Замороженные продукты в сети быстрого питания / Л.В. Куликовская, Э.М. Шаройка // Мороженные и быстромороженные продукты. – 2004. – № 3. – С. 26-27.

22. Литвинюк Н.Ю. Способ криогенного замораживания для последующей сублимационной сушки в потоке инертного газа / Н.Ю. Литвинюк, К.В. Анисимова, А.Б. Анисимов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 9. – С. 39-41.

23. Лыкова А.В. Физико-химические основы теории сушки и хранения пищевых продуктов / А.В.Лыкова, И.И. Ивлев, Н.Н. Мизерский. – М.: МГУПБ, 2001. – С. 136-139.

24. Михайлова В.Т. Традиции бурятской кухни. – Улан-Удэ: Изд-во ГУЗ РЦМП МЗ РБ, 2008. – С. 93.

25. Покровский В.Г. Сублимационная сушка пищевых продуктов растительного происхождения. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – С. 135.

26. Семенов Г.В. Сушка сырья: мясо, рыба, овощи, фрукты, молоко. – Ростов-на-Дону: Март, 2002. – 112 с.

27. Технология консервирования плодов, овощей, мяса и рыбы / под ред. Г.Л. Флауменбаума. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1993. – 320 с.

28. Claussen I.C. Relationship of product structure, sorption, characteristics and freeze point of atmospheric freeze-dried foods / I.C. Claussen, I. Strommen, T. Rustand // Drying Technology. – 2007. – № 25. – P. 853-856.

29. Sablani S.S. Drying of fruits and vegetables: Retention of nutritional functional quality // Drying Technology. – 2006. – № 24. – P. 123-135.