Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 76, № 2. С. 8–15.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 664 **DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-01** **EDN: CDZKKO**

Воздействие углекислого газа на качество мяса кролика при охлаждении

Нурсултан Эсенбекович Алдаматов[1], Сергей Алексеевич Бредихин[2], Александр Юрьевич Нужденко[3]
[1, 2] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия
[3] Общество с ограниченной ответственностью «Криофрост Инжиниринг», Москва, Россия
[1] Status_Diamond@bk.ru, ORCID: 0009-0005-1492-4508
[2] Sbredihin_kpia@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-6898-0389
[3] Prostoalexsandr4@yandex.ru

Аннотация. Крольчатина является ценным диетическим продуктом, однако короткий срок хранения в охлажденном виде ограничивает возможности её реализации. Цель работы заключалась в разработке и оценке эффективности технологии холодильной обработки тушек кроликов породы «советская шиншилла» с применением газообразного диоксида углерода для продления сроков годности. Объектом исследования служили кроличьи туши массой 1,3 ± 0,15 кг, отобранные после завершения технологической стадии на производственной линии. Опытные образцы охлаждали газообразным CO_2, полученным сублимацией сухого льда в специально разработанном аппарате с замкнутой рециркуляционной схемой движения газо-воздушной среды, контрольные – традиционным воздушным способом при температуре 0 °С до достижения в толще мышц диапазона 0÷4 °С. Аппарат также может использоваться без подачи CO_2, что делает его пригодным для стандартного воздушного охлаждения. Комплексная оценка качества мяса осуществлялась по динамике активной кислотности и водоудерживающей способности в процессе всего периода холодильного хранения. Установлено, что обработка CO_2 способствует более выраженному снижению pH в первые сутки хранения, замедляя гликолитические процессы и фазу rigor mortis. Динамика водоудерживающей способности коррелировала с изменением кислотности, что подтверждает замедление автолитических изменений в мышечной ткани. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что предложенный способ обеспечивает сохранение высоких органолептических характеристик продукта в течение более длительного периода по сравнению с воздушным охлаждением. Полученные результаты обосновывают перспективность внедрения разработанной технологии в промышленных условиях для увеличения сроков хранения охлажденной крольчатины с сохранением ее высоких качественных характеристик и диетических свойств.

Ключевые слова: крольчатина, охлаждённое мясо, срок хранения, диоксид углерода, активная кислотность (pH), водоудерживающая способность, качество мяса

Для цитирования: Алдаматов Н. Э., Бредихин С. А., Нужденко А. Ю. Воздействие углекислого газа на качество мяса кролика при охлаждении // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 8–15.

© Алдаматов Н. Э., Бредихин С. А., Нужденко А. Ю., 2026

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 8-15.

FOOD SYSTEMS

Original article

The effect of carbon dioxide on the quality of rabbit meat during cooling

Nursultan E. Aldamatov[1], Sergey A. Bredihin[2], Alexander Yu. Nuzhdenko[3]
[1, 2] Russian Timiryazev State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia
[3] Kriofrost Engineering LLC, Moscow, Russia
[1] Status_Diamond@bk.ru, ORCID: 0009-0005-1492-4508
[2] Sbredihin_kpia@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-6898-0389
[3] Prostoalexsandr4@yandex.ru

Abstract. Rabbit meat is a valuable dietary product; however, its short shelf life in a chilled state limits the possibilities of its distribution. The aim of this work was to develop and evaluate the efficiency of refrigeration technology for rabbit carcasses of the «Soviet Chinchilla» breed using gaseous carbon dioxide to extend shelf life. The objects of the study were rabbit carcasses weighing 1.3 ± 0.15 kg, selected after completion of the processing stage on the production line. The test samples were cooled with gaseous CO_2 obtained by sublimation of dry ice in a specially designed apparatus with a closed recirculation scheme of gas-air medium movement, while control samples were cooled by the conventional air method at 0 °C until the temperature in the muscle core reached the range of 0÷4 °C. The apparatus can also be used without CO_2 supply, which makes it suitable for standard air cooling. A comprehensive quality assessment of the meat was carried out based on the dynamics of active acidity and water-holding capacity throughout the entire period of refrigerated storage. It was established that CO_2 treatment promotes a more pronounced decrease in pH during the first day of storage, slowing down glycolytic processes and the rigor mortis phase. The dynamics of water-holding capacity correlated with changes in acidity, which confirms the retardation of autolytic changes in muscle tissue. The experimental data obtained indicate that the proposed method ensures the preservation of high organoleptic characteristics of the product over a longer period compared to air cooling. The obtained results substantiate the prospects of implementing the developed technology under industrial conditions to extend the shelf life of chilled rabbit meat while preserving its high quality characteristics and dietary properties.

Keywords: rabbit meat, chilled meat, shelf life, carbon dioxide, active acidity (pH), water-holding capacity, meat quality

For citation: Aldamatov N. E., Bredihin S. A., Nuzhdenko A. Yu. The effect of carbon dioxide on the quality of rabbit meat during cooling. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):8–15. (In Russ.).

Введение

Крольчатина представляет собой диетический продукт, характеризующийся превосходными вкусовыми качествами и высокой пищевой ценностью. Отличительной особенностью данного вида мяса является низкое содержание жиров и холестерина в сочетании с богатым составом биологически активных веществ. Благодаря этим свойствам, диетологи рекомендуют включать крольчатину в рацион питания при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, патологиях печени и желчевыводящих путей, аллергических реакциях, а также при артериальной гипертензии и других состояниях [1, 2].

В отличие от более тяжелых видов мяса, таких как говядина, свинина и баранина, крольчатина отличается легкостью усвоения и высокой степенью перевариваемости. Особую пользу данный продукт приносит лицам, подверженным повышенным физическим и психическим

нагрузкам, включая спортсменов, водолазов, пилотов, работников вредных производств и жителей регионов с неблагоприятной экологической обстановкой. Крольчатина служит ценным источником полноценного белка для детей, подростков, беременных и кормящих женщин, а также для лиц пожилого возраста. Жир кролика обладает регенеративными и антиаллергенными свойствами и находит применение в фармацевтической и косметической промышленности [3, 4].

Мясо кролика содержит лецитин, способствующий профилактике атеросклероза, отличается высоким содержанием никотиновой кислоты и богато такими минералами, как калий, кальций и фосфор. Дополнительным преимуществом крольчатины являются ее высокие органолептические свойства [5].

Для сохранения полезных свойств крольчатины рекомендовано хранение и реализация в охлажденном виде при температуре от минус 1,5 до 4 °С. Стандартный срок годности продукта в данных условиях ограничен пятью сутками [6, 7, 8].

Объект и методы исследования

Для увеличения срока хранения охлажденной крольчатины была разработана технология, использующая прямой контакт газообразного диоксида углерода с мясной продукцией.

В ходе исследования, посвящённого холодильной обработке кроличьих туш породы «советская шиншилла» в среде газообразного диоксида углерода, была проведена оценка изменения качественных характеристик в процессе охлаждения и последующего хранения.

На рис. 1 представлен аппарат для охлаждения пищевых продуктов в газовоздушной среде сублимирующего диоксида углерода [9].

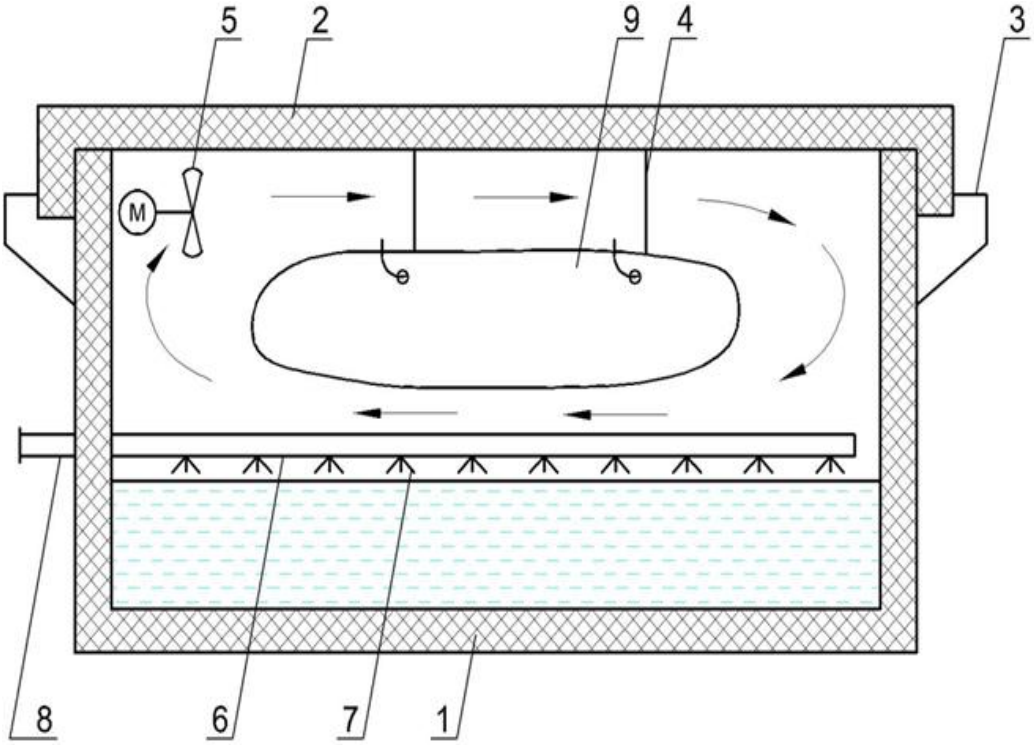

Рис. 1. Аппарат для охлаждения пищевых продуктов в газовоздушной среде сублимирующего диоксида углерода. Позиции аппарата: 1 – теплоизолированный корпус; 2 – крышка; 3 – фиксатор; 4 – крюк; 5 – вентилятор; 6 – распределительный трубопровод; 7 – дроссельные форсунки; 8 – входной патрубок подачи жидкого CO_2; 9 – охлаждаемый продукт. Составлено авторами

Fig. 1. Apparatus for cooling food products in a gas-air medium of sublimating carbon dioxide. Apparatus components: 1 – heat-insulated case; 2 – lid; 3 – retainer; 4 – hook; 5 – fan; 6 – distribution pipeline; 7 – throttle nozzles; 8 – liquid CO_2 inlet pipe; 9 – product to be cooled. Compiled by the authors

Сублимация (возгонка) – переход вещества из твёрдого состояния сразу в парообразное, минуя стадию плавления (перехода в жидкое состояние) и кипения. Поскольку при возгонке изменяется удельный объём вещества и поглощается энергия (теплота сублимации), возгонка является фазовым переходом первого рода [10].

Теплоизолированный контур (поз. 1) и крышка (поз. 2) с фиксаторами (поз. 3) предназначены для эффективного ограничения тепловых поступлений в охлаждаемый объем через ограждающие конструкции установки, что позволяет минимизировать теплопритоки из окружающей среды и снизить нагрузку на холодильную систему.

В качестве продукта была выбрана продукция животного происхождения – кроличьи туши. Заполнение установки снегообразной углекислотой производится через входной патрубок подачи жидкого CO_2 (поз. 8), при этом хладагент, распределяясь через распределительный трубопровод (поз. 6) и дросселируясь в форсунках (поз. 7), равномерно поступает в нижнюю часть аппарата.

Для обеспечения принудительной циркуляции газовоздушной среды используется вентилятор (поз. 5). Охлаждаемый продукт (поз. 9) подвешивается на крючки (поз. 4) таким образом, что продукт не соприкасается со снегообразной фракцией углекислоты. Такое конструктивное решение способствует эффективной циркуляции воздушно-газовой среды вокруг каждой тушки, исключая локальное переохлаждение и обеспечивая равномерность теплосъёма. Принцип работы заключается в следующем: вентилятор (поз. 5) направляет холодный воздушно-газовый поток в пространство между сырьем и крышкой (поз. 2), где он, омывая поверхность продукта (поз. 9), захватывает тепло. Нагретый поток отражается от стен теплоизолированного корпуса (поз. 1) и направляется вниз, в пространство между нижней частью продукта (поз. 9) и снегообразным диоксидом углерода, отдавая тепло последнему и одновременно захватывая тепло от нижней части продукта (поз. 9). За счет подводимой теплоты углекислота интенсивно сублимирует, а воздушно-газовый поток при этом эффективно охлаждается [9].

Сублимация происходит в результате разности парциальных давлений (концентраций) пара CO_2 у поверхности снега и в окружающей среде. Быстро протекающий процесс сублимации приводит к образованию над поверхностью твердой фазы пограничного слоя, насыщенного пара CO_2, парциальное давление которого соответствует температуре поверхности сублимирующегося снега. Данный механизм фазового перехода обеспечивает стабильно низкую температуру хладагента и высокую интенсивность охлаждения на протяжении всего цикла [11].

После этого поток вновь всасывается вентилятором (поз. 5), снова выдувается в верхнюю зону, и циклический процесс повторяется. Таким образом, реализуется замкнутая рециркуляционная схема движения охлаждающей среды.

Аппарат имеет возможность работать без применения диоксида углерода, что позволяет охлаждать пищевые продукты по стандартной технологии воздушного охлаждения.

После завершения технологической стадии на производственной линии отбирались туши кроликов с массой 1,3 ± 0,15 кг. В качестве контрольной группы использовались необеспеченные упаковкой туши, помещённые в аппарат для охлаждения и подвергнутые воздушному охлаждению в холодильной камере при температуре 0 °С. Охлаждение контрольных образцов (воздушным способом) от начальной температуры 30 ± 0,5 °С до диапазона 0÷4 ± 0,5 °С заняло 9 ч.

Для охлаждения экспериментальных образцов применялся газообразный углекислый газ, полученный сублимацией CO_2. Контроль качества кроличьих туш осуществлялся по совокупности показателей водоудерживающей способности и уровню pH.

Влагоудерживающую способность (ВУС) оценивали методом прессования Грау–Хамма в модификации для мышечной ткани. Из каждого образца готовили навеску массой 0,30–0,50 г, которую механически гомогенизировали ножницами без нагрева до состояния фарша. Навеску помещали в центр листа фильтровальной бумаги (марка «синяя лента», обеззоленная), накрывали вторым листом, размещали между двумя стеклянными пластинами и прессовали под грузом, создающим давление 1 кг/см², в течение 10 мин. После прессования на нижнем листе формировались два пятна: центральное (от спрессованного мяса) и периферическое

(от выделившейся свободной воды). Контуры периферического пятна аккуратно обводили мягким карандашом и измеряли его площадь с помощью полярного планиметра (точность 0,01 см²), проводя не менее трёх повторных обводок на каждый образец. ВУС вычисляли по формуле [12, 13]

$$\text{ВУС} = \left(1 - \frac{S\text{вода}}{S\text{вода} + S\text{мясо}}\right) \cdot 100\ \%,$$

где $S_{\text{вода}}$ – площадь периферического пятна; $S_{\text{мясо}}$ – площадь центрального пятна.

Измерение активной концентрации водородных ионов (pH) охлаждённого мяса кролика проводили с помощью лабораторного pH-метра, оснащённого комбинированным стеклянным электродом с автоматической температурной компенсацией.

Для анализа готовили суспензию: навеску мышечной ткани (5,0±0,1 г) гомогенизировали с предварительно охлажденной дистиллированной водой (соотношение 1 : 5, температура воды 0±1 °C) в течение 30 с при 1500 об/мин. Гомогенат сразу же помещали в ледяную баню, погружали электрод (без создания воздушных пузырей) и по достижении стабильного сигнала (не более 60 с, критерий – дрейф менее 0,01 pH/10 с) фиксировали значение. Измерения проводили в трёх итерациях для каждого образца, между измерениями электрод промывали охлаждённой дистиллированной водой и осушали мягкой фильтровальной бумагой. За окончательный результат принимали среднее арифметическое с поправкой на температурный коэффициент. Все процедуры выполняли в охлаждаемой камере или с использованием штатива с криотермостатом, чтобы избежать нагрева образца выше +2 °C [14].

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 и 3 представлены зависимости изменения уровня pH и водоудерживающей способности при хранении.

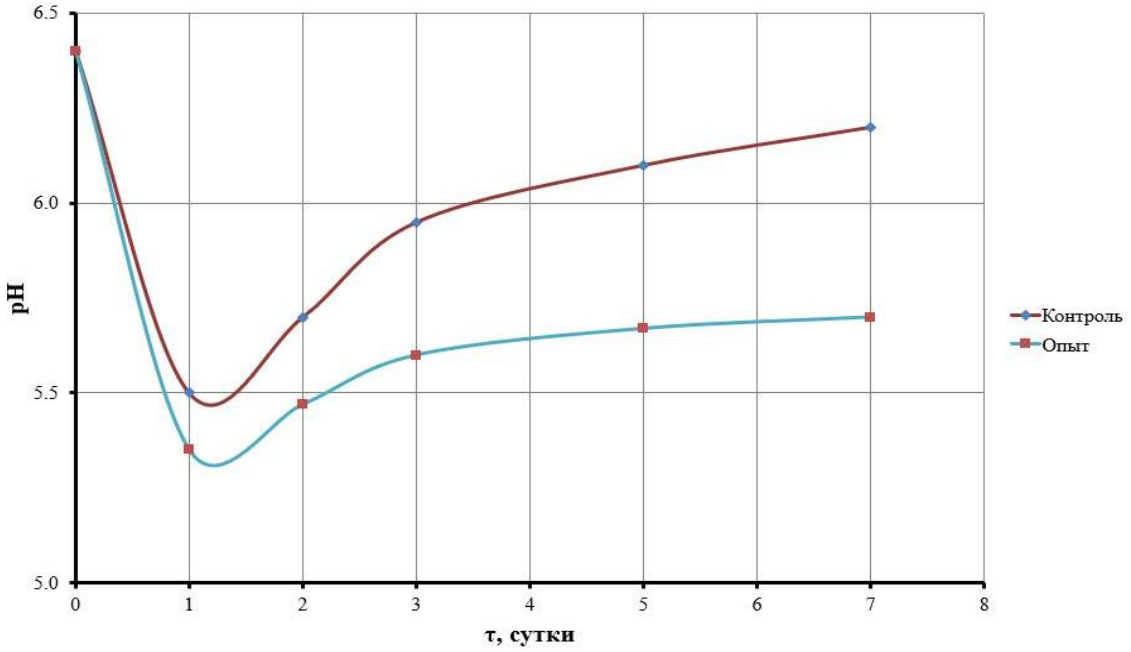

Рис. 2. Зависимость показателя pH крольчатины от продолжительности хранения. Составлено авторами

Fig. 2. Dependence of the pH value of rabbit meat on storage duration. Compiled by the authors

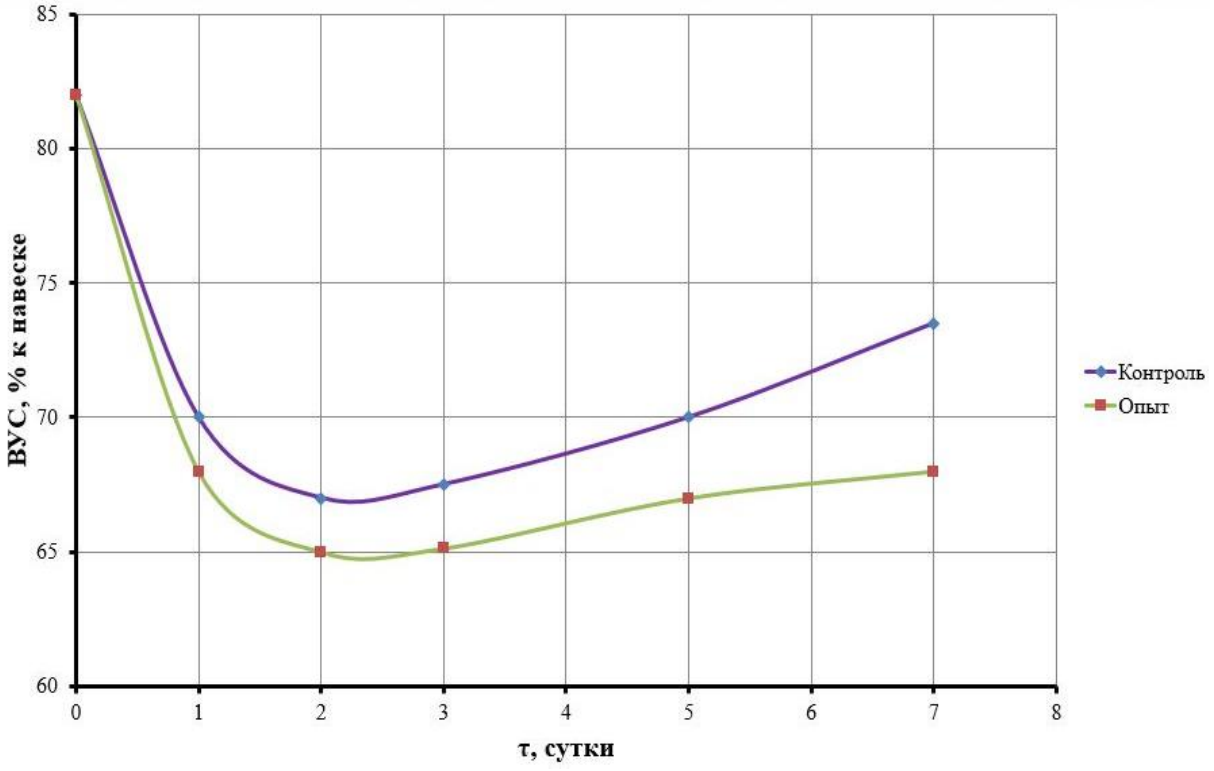

Рис. 3. Зависимость показателя водоудерживающей способности крольчатины от продолжительности хранения. Составлено авторами
Fig. 3. Dependence of the water-holding capacity of rabbit meat on storage duration. Compiled by the authors

Анализ полученных результатов показывает, что исходный показатель активной кислотности pH сырья равнялся 6,4 ед., что соответствует характеристикам мяса с обычным протеканием гликолитических процессов после убоя. Наименьшие значения pH фиксировались спустя сутки хранения: 5,5 при охлаждении в воздушной среде и 5,35 при использовании углекислого газа.

Понижение pH в изучаемых образцах было вызвано быстрым охлаждением тушек и проникновением CO_2 в мышечные ткани кролика, что привело к замедлению гликолиза. Далее, независимо от выбранного способа охлаждения, наблюдалось постепенное повышение pH у всех тушек, однако интенсивность восстановления кислотности в экспериментальных образцах оказалась выше, чем в контрольных.

Водоудерживающая способность кроличьего мяса демонстрирует зависимость от изменения pH как в экспериментальных, так и в контрольных образцах.

Исходя из динамики pH и показателей ВУС, можно сделать вывод о протекании автолитических процессов, связанных с завершением фазы rigor mortis у кролика в рассматриваемый период хранения. При этом охлаждение мяса углекислым газом замедляет скорость протекания этих автолитических изменений.

Заключение

Проведённые исследования подтвердили эффективность применения газообразного диоксида углерода для холодильной обработки тушек кроликов. Установлено, что данный метод оказывает комплексное влияние на качественные характеристики мяса, замедляя автолитические процессы.

В частности, охлаждение в среде CO_2 приводит к более выраженному снижению активной кислотности по сравнению с традиционным воздушным способом, что свидетельствует о замедлении гликолиза в мышечной ткани.

При последующем хранении в опытных образцах наблюдалось более интенсивное восстановление pH, а динамика водоудерживающей способности коррелировала с изменением кислотности. Полученные данные указывают на то, что обработка углекислым газом замедляет скорость протекания автолитических изменений, связанных с фазой rigor mortis.

Таким образом, разработанная технология охлаждения крольчатины с использованием газообразного CO_2 позволяет замедлить автолиз и увеличить допустимый срок хранения продукта в охлаждённом виде.

Полученные результаты обосновывают перспективность применения данного метода в промышленных условиях.

Список источников

1. Болдырева, М. С. Мясо кролей как сырье для производства колбасных изделий и консервов функционального назначения / М. С. Болдырева, Л. В. Антипова // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. / Воронеж. гос. ун-т инж. технол. Воронеж : ВГУИТ, 2016. С. 42–44.

2. Быков, И. М. Сравнительная оценка антиокислительной активности и содержания прооксидантных факторов у различных групп пищевых продуктов / И. М. Быков, А. А. Басов, М. И. Быков и др. // Вопросы питания. 2014. Т. 83, № 4. С. 75–81.

3. Волкова, О. В. Разработка и товароведная характеристика продуктов из мяса кролика : дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15 / Волкова Ольга Васильевна. Кемерово, 2009. 126 с.

4. Волкова, О. В. Морфологический состав и биологическая ценность мяса кроликов / О. В. Волкова, А. Т. Инербаева, К. Я. Мотовилов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2009. № 8. С. 97–101.

5. Антонов, А. А. Азотная система хладоснабжения на базе криогенного скороморозильного аппарата / А. А. Антонов, К. П. Венгер // Холодильный бизнес. 2002. № 6. С. 30–34.

6. ГОСТ 27747-2016. Мясо кроликов (тушки бройлеров, кроликов-бройлеров и их части). Технические условия: Межгосударственный стандарт: дата введения 2018-01-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Изд. официальное. Москва : Стандартинформ, 2016. 12 с.

7. Авдиенко, В. В. Белковый состав крольчатины двух пород / В. В. Авдиенко, Н. Н. Забашта, Е. Н. Головко // Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. – 2017. – Т. 3. – №. 6.

8. Головкин, Н. А. Холодильная технология пищевых продуктов : учебник / Н. А. Головкин. Москва : Лёг. и пищ. пром-сть, 1984. 240 с.

9. Использование сублимирующего диоксида углерода для охлаждения пищевых продуктов / Н. Э. Алдаматов, С. А. Бредихин // Пищевая индустрия: инновационные процессы, продукты и технологии : сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвящённой 20-летию Технологического института / ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева. Москва, 2024. С. 34–38.

10. Сублимация (физика) // Википедия. Сводная энциклопедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сублимация_(физика)#Сублимация_углекислого_газа_(сухого_льда) (дата обращения : 15.04.2026).

11. Неверов Е. Н., Короткий И. А., Плотников И. Б., Коротких П. С., Кожаев А. А. Исследование параметров процесса теплообмена при сублимации диоксида углерода // Вестник КрасГАУ. 2020. № 6. С. 215–222.

12. Grau, R. and Hamm, R. (1957). Über das Wasserbindungsvermögen des Säugetiermuskels. II. Mitteilung. Über die Bestimmung der Wasserbindung des Muskels. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 105(6), pp.446–460.

13. Barge, M.T., Destefanis, G. and Pagano Toscano, A. (1991). Two reading techniques of the filter paper press method for measuring meat water-holding capacity. Meat Science, 29(2), pp.183–187.

14. ISO 2917:1999. Meat and meat products – Measurement of pH – Reference method». Geneva : International Organization for Standardization, 1999. 6 p.

Сведения об авторах

Н. Э. Алдаматов – аспирант кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств.

С. А. Бредихин – доктор технических наук, профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств.

А. Ю. Нужденко – инженер-проектировщик.

Information about the authors

N. E. Aldamatov – Postgraduate student of the Department of Processes and Devices of Processing Industries.

S. A. Bredihin – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Processes and Devices of Processing Industries.

A. Yu. Nuzhdenko – Engineer-designer.

Статья поступила в редакцию 12.05.2026; одобрена после рецензирования 21.05.2026; принята к публикации 21.05.2026.

The article was submitted 12.05.2026; approved after reviewing 21.05.2026; accepted for publication 21.05.2026.

© Алдаматов Н. Э., Бредихин С. А., Нужденко А. Ю., 2026.

«Воздействие углекислого газа на качество мяса кролика при охлаждении» [Алдаматов Н. Э., Бредихин С. А., Нужденко А. Ю.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).