

УДК 637.528

Радуризация мышечной ткани свинины

Орехова С.М., sveta.orehova2012@yandex.ru Нечипоренко А.П.

Университет ИТМО

Институт холода и биотехнологий

921002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Предложен гибридный метод радиационного консервирования измельченной мышечной ткани свинины, сочетающий облучение электронным пучком в режимах радуризации и обработку 40 % раствором этанола. Комплексное использование двух стерилизующих агентов и аскорбиновой кислоты в качестве антиоксиданта позволяет продлить срок анаэробного хранения мясопродуктов при низких положительных температурах (4°С) в 5-6 раз с сохранением качества по всем органолептическим и микробиологическим показателям.

Ключевые слова: мышечная ткань, радуризация, электронно-лучевая радиация.

The radurization of pork muscle tissue

Orehova S.M. sveta.orehova2012@yandex.ru, Nechiporenko A.P.

University ITMO

Institute of Refrigeration and Biotechnologies

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

The combined radiation including pretreatment with 40 % ethanol and electron-beam was used for preservation of restructured pork muscle tissue. The use of two preservation agents and the ascorbic acid as radical catcher allowed to elongate five – six fold anaerobic storage of meat products at low positive temperatures with reservation quality of all organoleptic and microbiological criteria.

Key words: muscle tissue, radurisation, electron-beam irradiation.

Стерилизация ионизирующими излучениями, – это современные технологии безопасного консервирования свежих мясопродуктов [1-6]. Одной из основных проблем порчи при длительном хранении облученного мяса в условиях низких положительных температур, является неизбежность процессов протеолиза [2,7,8]. Доз радиации, обеспечивающих полную стерилизацию мясопродуктов, недостаточно для инактивации тканевых катепсинов. Повышение дозы облучения приводит к снижению качества продукции – консистенции, вкуса, цвета, появлению запаха облучения и возможности наведенной радиации. Снижение дозы опасно возможностью мутаций и формирования радиорезистентных форм микроорганизмов. В настоящее время большое внимание уделяется затормаживанию и снижению активности ферментов при облучении в

режимах радиуризации с использованием различных радиопротекторов и антиоксидантов [9-12].

Ранее [13-15] нами показано влияние контактной обработки целномышечной ткани свинины растворами этанола, предшествующей помолу и облучению, на пролонгирование этапа вторичного радиолитического начала автолитических изменений в мышечной ткани свинины. Суммарный эффект двух видов обработки на направленность и развитие пострадационных процессов автолиза заключается в снижении активности и осцилляции процессов активация-инактивация тканевых ферментов [16]. Это проявляется в периодичности изменения кислотности в узком интервале значений рН и суммарной обсемененности образцов. Периодичность в изменении морфологического типа остаточной грамположительной микрофлоры говорит о периодичности генерирования в системе разных по составу питательных сред.

В данной работе исследовано влияние трех способов обработки 40 % раствором этанола (контактный, импульсное орошение и введение в фарш) на микробиологическую безопасность, рН, оптические характеристики и органолептические показатели фаршевых композиций облученной мышечной ткани свинины.

Экспериментальная часть.

Объектом исследования являлась измельченная ткань ($d = 2,5$ мм) длиннейшей мышцы спины свинины (фермерское производство Новгородской области, белая порода). Фаршевые композиции получали введением 0,5-3,0 мл 40 % этанола в измельченную интактную ткань массой 100 г и измельчением целномышечной ткани, прошедшей контактную обработку в течение 10 мин [13-15] и импульсное орошение из распылителя при экспозиции 5, 10, 15 мин с интервалом орошения 1,0-1,5 мин, с последующим добавлением в фарш 0,12 % аскорбиновой кислоты. После обработки и помолы образцы герметизировались в ячейках полиэтилентерефталатных планшетов и облучались электронным пучком (900 МэВ) на среднеэнергетическом ускорителе РТЭ-1В [17, 18]. Поглощенная доза варьировалась в интервале 6,5 – 25,0 кГр. В пострадационный период образцы хранились в холодильной камере при $4 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 3-х месяцев. Мышечное волокно получали 12-ти часовой водной экстракцией интактных и облученных образцов мышечной ткани на холоде.

Электронные спектры поверхности образцов получали методом ЭСДО (электронная спектроскопия диффузного отражения) на спектрофотометре «Specord M-200» (AIZ Engineering GmbH Germany) в диапазоне длин волн 200 – 700 нм. Анализ на суммарную обсемененность и морфологический тип микрофлоры проводился микрофотографированием отпечатков с поверхности образцов, окрашенных по методу Грама [19], на микроскопе марки «Zeiss Axiostar plus» (x1000). Контроль за изменением

кислотности при хранении мышечной ткани осуществлялся на рН-метре марки «Эксперт» со стеклянным электродом ЭСЛ-43-07. Определение фракционного состава белков на основе их растворимости проводили биуретовым методом [20].

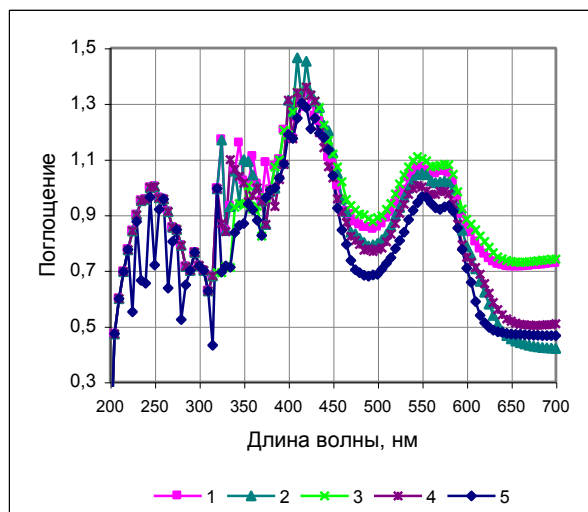
Обсуждение результатов

Результаты предварительного исследования методом ЭСДО необлученных образцов показали, что, как время орошения цельномышечной ткани, так и объем введенного 40 % этанола в фарш, по-разному влияют на оптические свойства поверхности. При импульсном орошении лучшими спектральными характеристиками обладал образец с минимальной экспозицией – 5 мин. При введении этанола в фарш наиболее благоприятными были объемы в интервале 1-2 мл. В связи с этим облучению подвергались образцы, прошедшие обработку этанолом в оптимальных для каждого способа условиях. Параллельно облучалась измельченная интактная мышечная ткань.

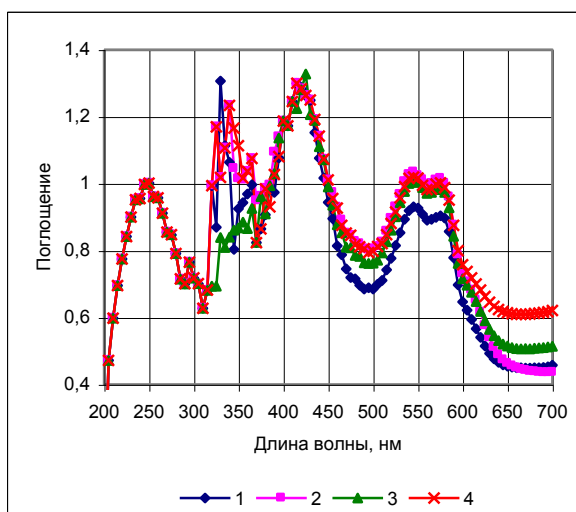
Экспериментальные данные, представленные на **рис. 1**, иллюстрируют изменение спектральных характеристик поверхности 4-х образцов фаршей в зависимости от величины поглощенной дозы радиации, полученных через сутки после облучения. При сравнении всех контролей обращает на себя внимание, что обработка этанолом приводит к формированию сглаженного контура полосы поглощения в области среднего ультрафиолета (200 – 315 нм), где поглощают компоненты белково-углеводного комплекса. Это говорит о том, что этанол, также как и электронный пучок, инициирует реконструктивно-ассоциативные процессы в белковых структурах. В спектре интактного контроля в этой области наблюдается дифференциация полос с отрицательными экстремумами при 280, 240, 250, 235 нм, указывающими на разрушение химических связей при механической деструкции компактной мышечной ткани. О возможности одновременного протекания при облучении двух противоположных процессов – разрушения и восстановления белковых структур говорит радиобиологическая теория А.М.Кузина [21] и многочисленные оригинальные работы.

Второе, на что следует обратить внимание, это появление в спектрах всех облученных образцов, по сравнению с контрольными, интенсивной структурированной полосы поглощения липидных компонентов в области 320 – 370 нм. Заметна структуризация и изменение интенсивности полосы поглощения мукополисахаридов (400 – 425 нм). Известно, что мукополисахариды, в частности гиалуроновая кислота [22,23], наряду с липидами [24] являются наиболее радиочувствительными компонентами мышечной ткани. Неоднозначное влияние поглощенной дозы излучения и способа обработки мышечной ткани наиболее заметно проявляется в областях поглощения пигментного белка (540/580 нм), липидных и мукополисахаридных компонентов. Менее

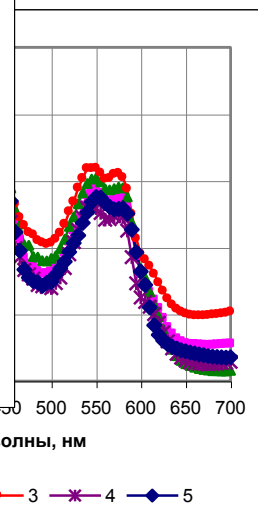
всего зависимы от величины поглощенной дозы, также как и от способа обработки раствором этанола, белковые компоненты.



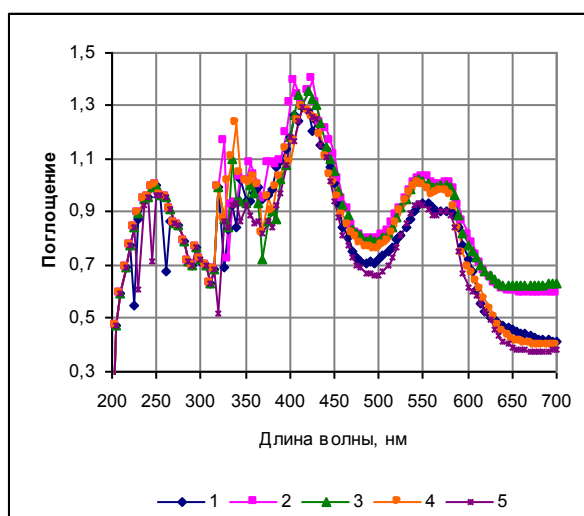
Интактный образец
способ



Контактный



Импульсное орошение
фарш



Введение в

40%

18,75; 4-

Рис. 1. ЭСДО-спектры поверхности измельченной мышечной ткани в зависимости от способа обработки раствором этанола через сутки после облучения. Поглощенная доза: 1 – 6,25; 2 – 12,5; 3 – 25,0 кГр.; 5 – контроль.

Через три месяца хранения во всех образцах, облученных дозами 18,75 и 25,0 кГр, микрофлора отсутствовала. Однако органолептические показатели интактных образцов, поглотивших эти дозы, были заметно ниже, чем у образцов, обработанных этанолом. В них отмечено: присутствие запаха облучения, несколько вязкая консистенция и пониженная цветность.

При облучении дозой в 12,5 кГр лучшие органолептические показатели имел образец, полученный введением этанола и аскорбиновой кислоты в фарш интактной мышечной ткани: разовый цвет, нормальная консистенция, отсутствие посторонних запахов. Согласно результатам микроскопического обследования, в нем наблюдалось

меньше всего остаточной микрофлоры (0 -8 ед./п.зр., как среднее от просмотра 25 полей зрения в двух отпечатках), находившейся в статическом состоянии. Этот образец имел и лучшие оптические характеристики.

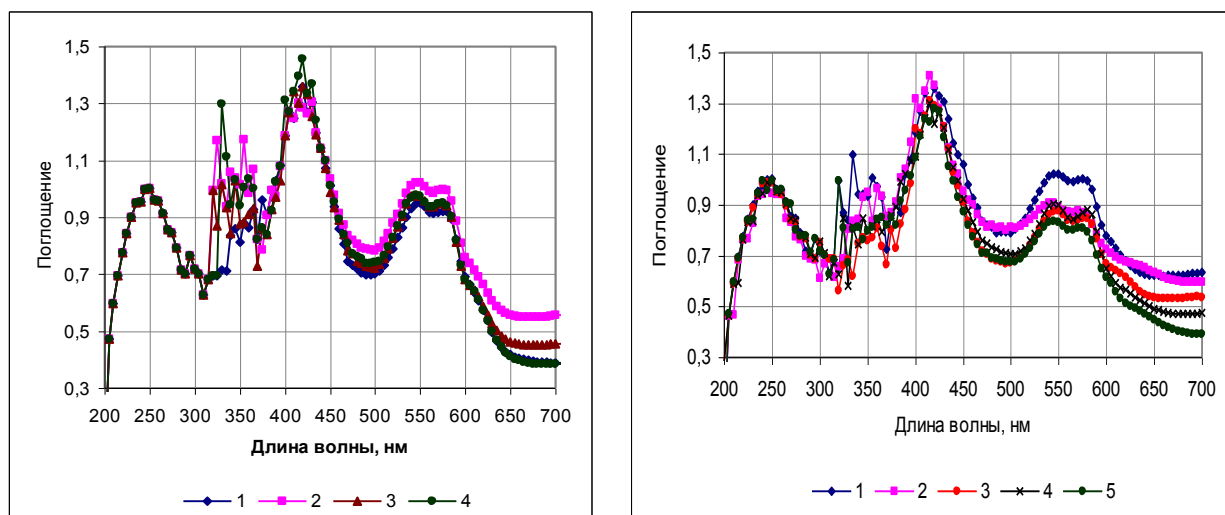


Рис. 2.
ЭСДО-
спектры
мышечно
й ткани
свинины,
облученн
ой после
введения
40%-го

этанолом в фарш с добавкой аскорбиновой кислоты.

а) Поглощенная доза: 1 – 6,25; 2 – 12,5; 3 – 18,75; 4 – 25,0 кГр – сутки после облучения.

б) Время хранения: 1 – сутки, 2 – две недели, 3 – месяц, 4 – два, 5 – три месяца.

Поглощенная доза – 12,5 кГр.

Рис. 2 представляет ЭСДО-спектры для данной фаршевой композиции через сутки (в зависимости от поглощенной дозы) и при хранении в течение трех месяцев после облучения для образца, поглотившего 12,5 кГр. Сохранение цветности, несмотря на ее колебания в пострadiaционный период, и появление небольшой полосы метмиоглобина (635 нм) на кривых (2) и (3), указывает на низкую долю и периодичность окислительных реакций, что может говорить о вовлечении продуктов окисления в последующие восстановительные процессы, а также на возможные при облучении белок-липидные взаимодействия. Спектрально наблюдаемые изменения при хранении проявляются в колебании и общем снижении поглощения липидных и мукополисахаридных составляющих.

На **рис. 3,а** приведены результаты рН-метрических исследований трех образцов, облученных дозой в 12,5 кГр. Они показывают, что колебания кислотности в пострadiaционный период протекали в пределах рН изоэлектрических точек коллагена (рН = 6,36 – 6,75) и актомиозина (рН = 5,4). Спустя месяц, образец, обработанный этанолом (№2) обладал достаточно стабильной кислотностью (рН = 6,35 – 6,40). Добавка аскорбиновой кислоты способствовала снижению рН и стабилизации его значения на уровне рН = 5,9(± 0,08), улучшая при этом органолептические свойства образцов, их

микробиологическое состояние и оптические характеристики. Для интактного образца через месяц отмечено плавное снижение кислотности.

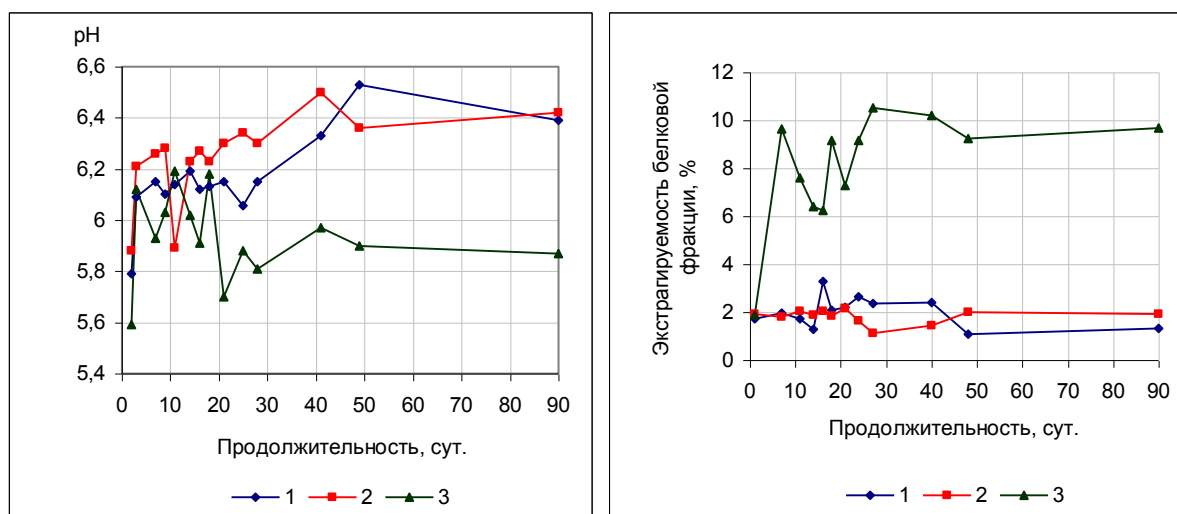
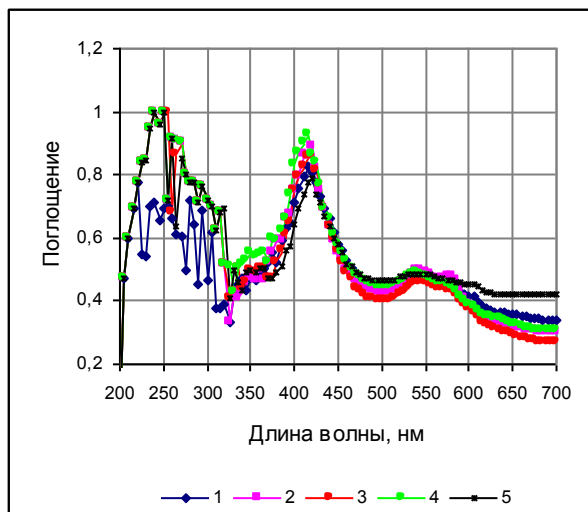


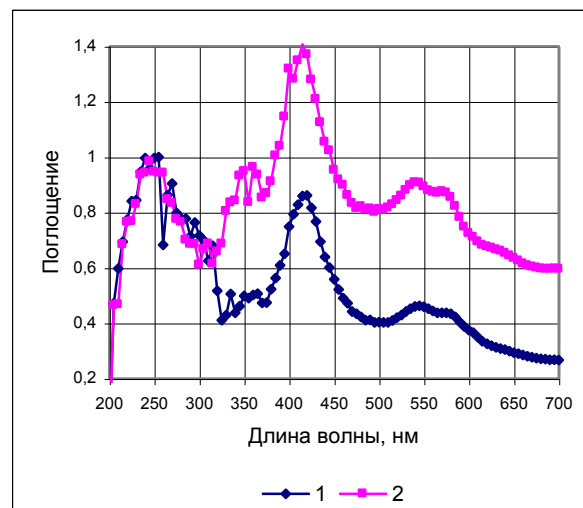
Рис. 3. а) Кривые $pH = f(\tau)$ образцов фаршей, поглотивших дозу в 12,5 кГр.
№1 – интактный, №2 40 % этанол,
№3 – образец (2) с добавкой антиоксиданта.
б) Фракционная растворимость белков образца №3:
1 – саркоплазматические, 2 – миофибрилярные белки, 3 – белки стромы.

Периодичность в изменении растворимости белковых фракций (рис. 3,б), подтверждает отмеченную выше [21] возможность одновременного протекания в системе двух противоположно направленных процессов: деструкции белковых молекул и реконструкции полипептидных цепей за счет образовавшихся пептидных осколков или их сшивки [24,25].

Факт стабилизирующего влияния комплексной обработки мышечной ткани на оптические свойства полученного из нее мышечного волокна иллюстрирует рис. 4,а. Из него следует, что, независимо от дозы излучения, по сравнению с интактным контролем мышечного волокна (1), поглощение в средней УФ-области спектра для всех образцов возрастает до уровня поглощения мышечной ткани (рис. 2,б) и сохраняется практически на протяжении всего эксперимента. На рис. 4,б показаны ЭСДО-спектры мышечной ткани (образец № 3) и полученного из нее мышечного волокна через три месяца хранения.



а)



б)

Рис. 4. ЭСДО-спектры поверхности мышечного волокна и мышечной ткани
а) Мышечное волокно: 1 – интактное; 2 – 6,25; 3 – 12,5; 4 – 18,75; 5 – 25,0 кГр.
б) – 12,5 кГр: 1 – мышечное волокно, 2 – мышечная ткань.

Очевидно, мышечная ткань, как любая другая биологическая система [16,21,22,25], стремится к «самосохранению», энергетической стабильности в условиях эксперимента. Способность к самореконструкции белковых структур мышечного волокна, очевидно, является одним из механизмов самозащиты. Повреждения, наносимые малоактивными конформационными формами ферментов [16], в отсутствие микроорганизмов, самопроизвольно легко восстанавливаются. Однако на определенных временных этапах все же начинают доминировать реакции разрушения. Снижение активности ферментов и химическая поддержка реконструктивных «устремлений» белковых структур способствует продлению качественной жизни мышечной ткани.

Выводы

1. Совместная обработка измельченной мышечной ткани свинины раствором 40 % этанола и пучком быстрых электронов в режимах радиуризации позволяет снизить и стабилизировать активность протеаз, стерилизовать или свести к минимуму остаточную обсемененность и инициировать реконструктивно-ассоциативные процессы в мышечном волокне. Это дает возможность снизить дозу облучения до 12,5 кГр и более, и продлить анаэробное хранение свежих мясных полуфабрикатов при низких положительных температурах до трех месяцев с сохранением качества; добавка аскорбиновой кислоты, снижая рН системы и подавляя окислительные процессы, способствует сохранению их окраски.

2. Показаны эффективность и расширенные возможности метода ЭСДО в исследовании поверхности измельченной мышечной ткани свинины и мышечного волокна в зависимости от вида, способа и режима предварительной обработки.

Список литературы

1. Fan X., Sommers C.H. Food Irradiation Research and Technology. – NY.: Wiley-Blackwell. – 2012. – 472 p.
2. Васильев И.А., Нечаев А.Ф., Персинен А.Л. Введение в инженерную экологию. Радиационная технология: Потенциал использования пиковолновой энергии для охраны здоровья и защиты окружающей среды. – СПб.: С.-ПбГТИ(ТУ). – 2000. – Вып. 2. – 242 с.
3. Фрумкин М.Л., Ковальская Л.П., Гельфанд С.Ю. Технологические основы радиационной обработки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность. – 1973. – 408 с.
4. Нечаев А.Ф. Пиковолновая обработка пищевых продуктов. 2. Практика изменения международных принципов регулирования национальными компетентными органами // Химическая промышленность. Серия: Радиационная химия и технология. Радиационная стойкость. – М.: НИИТЭХИМ. – 1993. – 35 с.
5. Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания. Совместная программа ФАО/ВОЗ по стандартам на пищевые продукты. – М.: Весь Мир. – 2007. – 21 с.
6. Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные проникающим излучением. CODEX STAN 106-1983, REV, 1-2003. – 5 с.
7. Костенко Ю.Г., Шурдуба Н.А., Шагова Т.С., Телегина М.Д., Филатов В.И. Применение ионизирующих излучений для улучшения санитарно-микробиологических показателей мяса и мясных продуктов. – М.: Мясомолочная промышленность. – 1992. – 32 с.
8. Чиж Т.В., Козьмин Г.В., Полякова Л.П., Мельникова Т.В. Радиационная обработка как технологический прием в целях повышения уровня продовольственной безопасности. // Вестн. Российской Академии. Естеств. наук. – 2011. – № 4. – С. 44-49.
9. Владимиров В.Г., Красильников И.И., Арапов О.В. Радиопротекторы: структура и функции. – Киев: Наукова думка. – 1989. – 151 с.
10. Sanchez-Escalante A., Djenane D., Torrescano G., Beltran J.F., Roncales P. The effects of ascorbic acid, taurine, carnosine and rosemary powder on color and lipid stability of beef patties packaged in modified atmosphere. // Meat Sci. – 2001. – V. 58, № 4. – P. 421-429.
11. Lund M.N., Hviid M.S., Skibsted L.H. The combined effect of antioxidants and modified atmosphere packaging on protein and lipid oxidation in beef patties during chill storage. // Meat Sci. – 2007. – V. 76, № 2. – P. 226-33.

12. Kim B.H., Jang A., Lee S.O., Min J.S., Lee M. Combined effect of electron-beam (beta) irradiation and organic acids on shelf life of pork loins during cold storage. // J. Food Prot. – 2004. – V. 67, №1. – P. 168-171.

13. Орехова С.М., Нечипоренко А.П. "Влияние обработки этанолом мышечной ткани свинины на оптические характеристики мышечного волокна" готовится к публикации в журнале "Известия вузов. Пищевая технология" № 4, 2013. – С.16-18.

14. Orehova S., Nechiporenko U, Vasileva I., Nechiporenko A. Ethanol effect on the radiolysis of pork muscle tissue. In: Proceedings of 6th Baltic Conference on Food Science and Technology Foodbalt 2011. «Innovation for food science and production». Latvia, Jelgava, 2011, May 5-6. – P. 177-181.

15. Орехова С.М., Нечипоренко А.П. Влияние кластерной структуры водно-этанольных смесей на липидное окисление, растворимость белков, рН и оптические характеристики мышечной ткани свинины. [Электронный ресурс] // ЭНЖ СПбГУНиПТ, серия «Процессы и аппараты пищевых производств», выпуск №1, март, 2013. <http://processes.open-mechanics.com>. (Дата обращения 15.04.2013).

16 Орлова М.А. Радиоэнзимология – метод исследования свойств и структуры ферментов. [Электронный ресурс] // Дисс. д.х.н. М.: 2002. – 284 с. www.dissercat.com/. (Дата обращения 10.09.2014)

17. Мякин С.В., Сычев М.М., Васильева И.В. и др. Электронно-лучевое модифицирование функциональных материалов. – СПб.: СПбГУПС. – 2006. –105 с.

18. Garcia-Ma'rquez J., Cambero M.I., Ordo'nez J.A., Cabeza M.C. Shelf-life extension and sanitation of fresh pork loin by E-beam treatment. // J. Food Prot. – 2011. – V. 75, № 12. – P. 2179-2189.

19. Сидоренко О.Д., Жукова Е.В., Пастух О.Н. Микробиологический контроль продуктов животноводства. М.: МСХА. - 2002. – 220 с.

20. Базарнова Ю.Г., Бурова Т.Е., Марченко В.И., Смелик В.А., Третьяков Н.А. Биохимические основы переработки и хранения сырья животного происхождения: учебное пособие. – СПб.: Проспект науки. - 2011. – 192 с.

21. Кузин А.М., Каушанский Д.А. Прикладная радиобиология. – М.: Энергоиздат. – 1981. - 224 с.

22. Кочетков Н.К., Кудряшов Л.И., Членов М.А. Радиационная химия углеводов. М.: Наука. – 1978. – 287 с.

23. Matsumura Go, Herp A., Pigman W. Depolymerization of hyaluronic acid by autoxidants and radiations. // Rad. Res. – 1966. – V. 28. – P. 735-752.

24. Cheung D.T., Perelman N., Tong D. Nimni M.E. The effect of γ -irradiation on collagen molecules, isolated α -chain and cross-linked native fibers. // J. Biomed. Mater. Res. – 1990. – V. 24. – P. 581-589.

25. Dumitrascu M., Meltzer V., Sima E. et al. Characterisation of electron beam irradiated collagen–polyvinylpyrrolidone (PVP) and collagen-dextran (DEX) blends. // Digest J. Nanomaterials and Biostructures. – 2011. – V.6, № 4. – P. 1793-1803.

Spisok literatury

1. Fan X., Sommers C.H. Food Irradiation Research and Technology. – NY.: Wiley-Blackwell. – 2012. – 472 p.
2. Vasilev I.A., Nechaev A.F., Persinen A.L. Vvedenie v inzhenernyuyu ekologiyu. Radiatsionnaya tehnologiya: Potentsial ispolzovaniya pikovolnovoy energii dlya ohranyi zdorovya i zaschityi okruzhayushey sredy. – SPb.: S.-PbGTI(TU). – 2000. – Vyip. 2. – 242 s.
3. Frumkin M.L, Kovalskaya L.P., Gelfand S.Yu. Tehnologicheskie osnovyi radiatsionnoy obrabotki pischevyih produktov. – M.: Pischevaya promyshlennost. – 1973. – 408 s.
4. Nechaev A.F. Pikovolnovaya obrabotka pischevyih produktov. 2. Praktika izmeneniya mezhdunarodnyih printsipov regulirovaniya natsionalnyimi kompetentnyimi organami // Himicheskaya promyshlennost. Seriya: Radiatsionnaya himiya i tehnologiya. Radiatsionnaya stoykost. – M.: NIITEHIM. – 1993. – 35 s.
5. Kodeks Alimentarius. Obluchennyye produkty pitaniya. Sovmestnaya programma FAO/VOZ po standartam na pischevyie produkty. – M.: Ves Mir. – 2007. – 21 s.
6. Obschiy standart na pischevyie produkty, obrabotannyye pronikayuschim izlucheniem. CODEX STAN 106-1983, REV, 1-2003. – 5 c.
7. Kostenko Yu.G., Shurduba N.A., Shagova T.S., Telegina M.D., Filatov V.I. Primenenie ioniziruyuschih izlucheniy dlya uluchsheniya sanitarno-mikrobiologicheskikh pokazateley myasa i myasnyih produktov. - M.: Myasomolochnaya promyshlennost. – 1992. – 32 c.
8. Chizh T.V., Kozmin G.V., Polyakova L.P., Melnikova T.V. Radiatsionnaya obrabotka kak tehnologicheskyy priem v tselyah povyisheniya urovnya prodovolstvennoy bezopasnosti. // Vestn. Rossiyskoy Akademii. Estestv. nauk. – 2011. – № 4. – S. 44-49.
9. Vladimirov V.G., Krasilnikov I.I, Arapov O.V. Radioprotektoryi: struktura i funktsii. – Kiev: Naukova dumka. – 1989. – 151 s.
10. Sanchez-Escalante A., Djenane D., Torrescano G., Beltran J.F., Roncales P. The effects of ascorbic acid, taurine, carnosine and rosemary powder on color and lipid stability of beef patties packaged in modified atmosphere. // Meat Sci. – 2001. – V. 58, № 4. – P. 421-429.
11. Lund M.N., Hviid M.S., Skibsted L.H. The combined effect of antioxidants and modified atmosphere packaging on protein and lipid oxidation in beef patties during chill storage. // Meat Sci. – 2007. – V. 76, № 2. – P. 226-33.
12. Kim B.H., Jang A., Lee S.O., Min J.S., Lee M. Combined effect of electron-beam (beta) irradiation and organic acids on shelf life of pork loins during cold storage. // J. Food Prot. – 2004. – V. 67, №1. – P. 168-171.
13. Orehova S.M., Nechiporenko A.P. "Vliyanie obrabotki etanolom myishechnoy tkani sviniyi na opticheskie harakteristiki myishechnogo volokna" gotovitsya k publikatsii v zhurnale "Izvestiya vuzov. Pischevaya tehnologiya" № 4, 2013. – S.16-18.
14. Orehova S., Nechiporenko U, Vasileva I., Nechiporenko A. Ethanol effect on the radiolysis of pork muscle tissue. In: Proceedings of 6th Baltic Conference on Food Science and Technology Foodbalt 2011. «Innovation for food science and production». Latvia, Jelgava, 2011, May 5-6. – P. 177-181.

15. Orehova S.M., Nechiporenko A.P. Vliyanie klasternoy strukturyi vodno-etanolnyih smesey na lipidnoe okislenie, rastvorimost belkov, rN i opticheskie harakteristiki myishechnoy tkani svininyi. [Elektronnyiy resurs] // ENZh SPbGUNIPT, seriya «Protsessyi i apparatyi pischevyih proizvodstv», vyipusk №1, mart, 2013. <http://processes.open-mechanics.com>. (Data obrascheniya 15.04.2013).

16 Orlova M.A. Radioenzimologiya – metod issledovaniya svoystv i strukturyi fermentov. [Elektronnyiy resurs] // Diss. d.h.n. M.: 2002. – 284 s. www.dissercat.com/. (Data obrascheniya 10.09.2014).

17. Myakin S.V., Syichev M.M., Vasileva I.V. i dr. Elektronno-luchevoe modifitsirovanie funktsionalnyih materialov. – SPb.: SPbGUPS. – 2006. –105 s.

18. Garcia-Ma'rqez J., Cambero M.I., Ordo'nez J.A., Cabeza M.C. Shelf-life extension and sanitation of fresh pork loin by E-beam treatment. // J. Food Prot. – 2011. – V. 75, № 12. – P. 2179-2189.

19. Sidorenko O.D., Zhukova E.V., Pastuh O.N. Mikrobiologicheskiy kontrol produktov zhivotnovodstva. M.: MSHA. – 2002. – 220 s.

20. Bazarnova Yu.G., Burova T.E., Marchenko V.I., Smelik V.A., Tretyakov N.A. Biohimicheskie osnovyi pererabotki i hraneniya syirya zhivotnogo proishozhdeniya: uchebnoe posobie. – SPb.: Prospekt nauki. - 2011. – 192 s.

21. Kuzin A.M., Kaushanskiy D.A. Prikladnaya radiobiologiya. – M.: Energoizdat. – 1981. – 224 s.

22. Kochetkov N.K., Kudryashov L.I., Chlenov M.A. Radiatsionnaya himiya uglevodov. M.: Nauka. – 1978. – 287 s.

23. Matsumura Go, Herp A., Pigman W. Depolymerization of hyaluronic acid by autoxidants and radiations. // Rad. Res. – 1966. – V. 28. – P. 735-752.

24. Cheung D.T., Perelman N., Tong D. Nimni M.E. The effect of γ -irradiation on collagen molecules, isolated α -chain and cross-linked native fibers. // J. Biomed. Mater. Res. – 1990. – V. 24. – P. 581-589.

25. Dumitrascu M., Meltzer V., Sima E. et al. Characterisation of electron beam irradiated collagen–polyvinylpyrrolidone (PVP) and collagen-dextran (DEX) blends. // Digest J. Nanomaterials and Biostructures. – 2011. – V.6, № 4. – P. 1793-1803.