

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МЯСНОГО СЫРЬЯ В ПОСОЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОГО РАССОЛА

*О.Н. Красуля¹, В.И. Богуш¹, А.К. Мухаметдинова¹,
С.М. Козырева¹, Т.Г. Кузнецова², А.И. Сергеев³, И.Ю. Потороко⁴*

¹ *Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), г. Москва*

² *ВНИИ мясной промышленности им. В.М. Горбатова, г. Москва*

³ *Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, г. Москва*

⁴ *Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

Исследования в области применения ультразвуковой кавитации в технологии мясных продуктов доказывают высокую эффективность, в части ускорения технологических процессов. Объективные данные о формах связи влаги с материалом возможно получить на основе применения метода ЯМР-релаксации на приборе «Миниспек РС-120» фирмы Брукер (Германия) в совокупности с другими методами исследования. В качестве объекта исследований использовали свинину полужирную в охлажденном состоянии, которую подвергали посолу насыщенным раствором поваренной соли (соотношение 1:3) после ультразвукового воздействия частотой 20 кГц и мощностью 40 % от паспортной в промышленной установке типа РКУ с пьезокерамическим излучателем. Гистологические исследования показали, что при посоле мяса микроструктурные изменения мышечных волокон и соединительной ткани происходят постепенно в определенной последовательности. Поперечная исчерченность мышечных волокон постепенно ослабевает, ядра подвергаются пикнозу и становятся гомогенными. Деструктивные изменения мышечных волокон характеризуются постепенным образованием поперечных микротрещин и щелевидных пространств. При экспозиции мясного сырья в рассоле с содержанием 3 % поваренной соли уже на 1 сут рассол проникает на глубину 1,5 см, на 4-е сутки рассол распространился на всю глубину мышцы. Посолочный рассол с содержанием 4 % на 1 сут посола проник на глубину 2,0 см, на 4-е сутки рассол распространился на всю глубину мышцы. Результаты изучения релаксационных характеристик воды с применением метода ЯМР показали, что основная масса воды в мясе распределена между фракциями с временами T12 и T22, а количество воды со временем T2b составляет незначительное количество и, по результатам многих исследований, слабо подвержена изменениям. Проведенные исследования позволили установить, что использование активированного рассола положительно влияет на кинетику посола, позволяет существенно сократить длительность выдержки цельномышечного сырья в посоле за счет повышения интенсивности диффузионно-осмотических процессов

Ключевые слова: посол, свинина, пищевая сонохимия, кавитация, активированные жидкие среды, микроструктурные изменения, микробиологическая безопасность, ЯМР-релаксация воды.

Актуальность темы исследования

Доказано, что использование пищевой сонохимии в технологии посола мяса является достаточно эффективным [15]. Так, в работах Красули О.Н., Богуша В.И., Шестакова С.Д. [1–4, 13] показано, что предварительный посол измельченного мяса активированным (с использованием акустической кавитации) рассолом позволяет повысить гидратацию белков мышечной ткани и за счет этого увеличить выход полуфабрикатов и вареных колбасных изделий, а также улучшить их цвет, вкус и аромат. В работе Цирульниченко Л.А. [5] доказана

целесообразность использования активированных, за счет ультразвуковых воздействий (УЗВ), рассолов при посоле тушек цыплят-бройлеров и полуфабрикатов из мяса птицы (бедро, грудка, голень): выявлены оптимальные режимы УЗВ, изучено влияние УЗВ на кинетику посола мяса птицы, доказана эффективность ультразвуковой водоподготовки [8].

Брацихиным А.А. [6] продолжены работы по совершенствованию использования кавитационно-дезинтегрированных и электрохимически-активированных (ЭХА) жидких сред, в частности, активации растворов поваренной

соли в питьевой воде за счет катодизации ЭХА-воды. Автором изучен процесс гидролиза коллагена, доказана целесообразность применения ЭХА-вод в качестве основы для получения водно-жировых эмульсий при производстве цветорегулирующих активированных рассолов с натуральными красителями с пониженным содержанием поваренной соли, показана необходимость оптимизации процесса посола за счет применения тумблирования, определены оптимальные параметры угла наклона, геометрии барабана, а также режима работы.

В последние 15–20 лет проведено большое количество исследовательских работ по изучению методом ЯМР-релаксации качества мясных продуктов и, особенно, влагосвязывающей способности [10, 14]. В этих работах показано, что вода в мышце или в мясе подразделяется на 2–3 фракции, каждая из которых соответствует определенной локализации. ЯМР-релаксационные характеристики (времена спин-спиновой релаксации T_2), соответствующие каждой фракции, позволяют оценивать как молекулярную подвижность воды в этой фракции, так и количественное перераспределение воды между фракциями. Было определено [11], что наиболее быстрые времена релаксации (T_{2b}) 0–10 м/с характеризуют воду, наиболее тесно связанную с макромолекулами, промежуточные значения (T_{21}) 30–50 м/с представляют собой релаксационные характеристики воды внутри высокоорганизованных протеиновых структур, т. е. вода в третичной и четвертичной протеиновой структуре актомиозинового комплекса (вода внутри миофибрилл). И, наконец, наиболее медленные времена релаксации (T_{22}) 100–300 м/с характеризуют воду вне миофибриллярной сети. Появившиеся в печати работы по изучению методом ЯМР релаксации состояния воды в мясе при непосредственном ультразвуковом воздействии [16] показали перспективность такого рода исследований.

Исследованиями, проведенными ранее, по

использованию эффектов кавитации в технологии молочных продуктов Красулей О.Н., Потороко И.Ю., Кочубей-Литвиненко О.В. и Мухаметдиновой А.К. [7–9] доказано благоприятное влияние ультразвуковых эффектов на развитие симбиотической закваски и улучшение потребительских достоинств ферментированных молочных продуктов.

Изложенное выше показывает, что изучение влияния сонохимических воздействий при посоле цельномышечных мясопродуктов из свинины не проводилось. Поэтому целью настоящей работы явилось изучение возможности использования активированных рассолов (за счет применения акустической кавитации) при посоле цельномышечных мясопродуктов из свинины.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследований использовали свинину полужирную в охлажденном состоянии. Химический состав сырья и его показатель активной кислотности (рН) представлены в табл. 1.

Насыщенный раствор поваренной соли (соотношение поваренной соли к воде составляло 1:3) подвергали (**опыт**) /или не подвергали (**контроль**) ультразвуковому воздействию частотой 20 кГц и мощностью 40 % от паспортной в промышленной установке типа РКУ с пьезокерамическим излучателем (рис. 1) и получали активированный рассол.

Для изучения процесса кинетики посола цельномышечных образцов свинины использовались рассолы с различной концентрацией хлористого натрия (3, 4 и 5 % NaCl). Образцы свинины заливали рассолами с различной концентрацией поваренной соли, выдерживали в посоле в течение 5 суток в условиях бытового холодильника (при 4 °С) и проводили изучение объективных характеристик сырья (рис. 2).

Для оценки эффективности посола с применением активированных жидких пищевых сред использовались следующие методы исследования. Микроструктурные исследования

Таблица 1

Характеристика объектов исследования

Образец для исследования	Содержание массовой доли, %			
	влаги	жира	белка	зола
Свинина полужирная (рН = 6,28; 6,4; 6,35)	70,5 ± 5,3	5,25 ± ,2	23,1 ± 2,8	1,15 ± 0,21



Рис. 1. Промышленная установка для обработки жидких пищевых сред (рассола)

проводили по ГОСТ 19496-1993 «Мясо. Метод гистологического исследования». Образцы фиксировали в 15 % нейтральном растворе формалина в течение 48 ч. После завершения фиксации образцы промывали проточной водой, срезы изготавливали на замораживающем микротоме-криостате толщиной 20 мкм. Для дифференциации структурных элементов срезы окрашивали гематоксилином Эрлиха с последующей окраской 1 % раствором эозина. Исследования проводили с помощью системы анализа изображений Motik (КНР) при увеличении 360 раз.

Определение химического состава проводили по ГОСТ Р 51479-99 «Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли влаги», ГОСТ 23042-86 «Мясо и мясные продукты. Методы определения жира», ГОСТ 25011-81 «Мясо и мясные продукты. Методы определения белка».

Определение влагосвязывающей способности методом прессования по Г. Грау и Р. Хамм в модификации В.П. Воловинской и Б.И. Кельман [11]. Определение показателя активной кислотности (рН) – по ГОСТ Р 51478-99 (ИСО 2917-74) [12]. Микробиологические исследования проводили по: ГОСТ



Рис. 2. Цельномышечные образцы свинины полужирной, залитые рассолом с различной концентрацией поваренной соли: нижний ряд – рассол неактивированный (контроль); верхний ряд – рассол активированный (опыт)

10444.15-94, ГОСТ 52816-2007, ГОСТ 29185-91, ГОСТ 52814-2007.

Определение ЯМР-релаксационных характеристик воды в образцах мяса проводилось на приборе «Миниспек РС-120» фирмы Брукер (Германия), работающем на частоте 20 МГц. Образцы помещались в 10 мм ампулу и герметически закрывались для предотвращения испарения. Измерения проводились при температуре 25 °С. Время спин-спиновой релаксации (T2) протонов определялось с использованием импульсной последовательности Карра–Парселла–Мебиума–Гилла (КПМГ) при следующих условиях: длительность 90° импульса – 2,3 мкс, τ – время между 90° и 180 °С импульсами – 100 мкс, n – количество точек на кривой спада – 150. Накопление – 16 сканов, задержка между сканами – 5 с, каждый образец измерялся трижды. Полученные кривые спада поперечной намагниченности анализировались с помощью программы многоэкспоненциального разложения MULTIT2 (Брукер). Относительная ошибка релаксационных измерений не превышала 6 %.

Результаты исследований

Для определения особенностей распространения рассола с различной концентрацией

Фармацевтический и пищевой инжиниринг

хлористого натрия (3–5 %) в глубокие слои мышечной ткани проводили измерение диаметра мышечных волокон. Изменение степени набухания волокон под действием рассолов служило косвенным показателем проникновения рассола в глубокие слои мышечной ткани и позволяло установить влияние рассолов на структуру мышечной ткани в зависимости от ее концентрации.

При использовании рассола (контроль) и последующей выдержке в посоле мясного сырья отмечали очень медленное, идущее вглубь послойное развитие микроструктурных изменений, характерных для соленого мяса.

Гистологические исследования показали, что при посоле мяса микроструктурные изменения мышечных волокон и соединительной ткани происходят постепенно в определенной последовательности. Рассол распределялся по рыхлой соединительной ткани, раздвигая мышечные пучки и отдельные волокна. В дальнейшем под действием солевого раствора развивается набухание мышечных волокон и соединительнотканых волокнистых элементов. Мышечные волокна на поперечном срезе приобретают округлую форму, плотно прилегают друг к другу. Поперечная исчерченность мышечных волокон постепенно ослабевает, ядра подвергаются пикнозу и становятся гомогенными. Деструктивные изменения мышечных волокон характеризуются постепенным образованием поперечных микротрещин

и щелевидных пространств с последующей фрагментацией миофибриллярных структур под действием собственных ферментов. В участках поперечно-щелевидных трещин, между мышечными пучками и волокнами, а также в рыхлой соединительной ткани формируется мелкозернистая масса, количество которой увеличивается с возрастанием срока хранения посоленного мяса. При этом установлена зависимость степени набухания мышечных волокон от концентрации посолочного рассола. Повышение концентрации хлорида натрия в посолочном рассоле от 3 до 5 % способствует более интенсивному формированию микроструктурных показателей, свойственных соленому мясу.

Полученные результаты свидетельствуют, что при экспозиции мясного сырья в рассоле с содержанием 3 % поваренной соли уже на 1 сут рассол проникает на глубину 1,5 см, на 4-е сутки рассол распространился на всю глубину мышцы. Посолочный рассол с содержанием 4 % на 1 сут посола проник на глубину 2,0 см, на 4-е сутки рассол распространился на всю глубину мышцы. Посолочный рассол с содержанием 5 % на 1 сут посола проник на глубину 4,0 см.

Результаты микроструктурного исследования образцов после посола и в процессе хранения представлены в табл. 2.

Данные показывают, что рассолы с различным содержанием хлорида натрия обла-

Таблица 2
Изменение диаметра мышечных волокон в процессе посола мясного сырья

Слои мышечной ткани от поверхности, см	Диаметр мышечных волокон образцов, мкм при содержании соли в рассоле, %					
	3 %		4 %		5 %	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Через 1 сутки						
1 см	38,8	38,8	46,8	46,8	48,8	48,8
4 см	37,3	37,3	37,4	37,4	37,4	37,4
Через 2 суток						
1 см	46,5	41,6	51,1	56,4	68,0	61,8
4 см	37,3	39,8	37,4	48,6	39,8	56,0
Через 3 суток						
1 см	57,7	57,0	69,6	64,3	73,8	83,3
4 см	39,0	47,1	39,6	51,7	40,4	70,0

дают различной скоростью распространения от поверхности вглубь мышечной ткани – чем выше концентрация рассола, тем интенсивнее процесс проникновения посолочных веществ в образцы. Причем, темп их проникновения усиливается после 1 сут хранения. Результаты измерений содержания влаги и влагосвязывающей способности мясного сырья в процессе посола приведены в табл. 3.

Таким образом, анализ полученных данных показал, что фактически на 4-е сутки экспозиции мясного сырья в рассоле (контроль), последний распространился на всю глубину образцов независимо от концентрации поваренной соли в нем.

Аналогично контрольным, в опытных образцах при выдержке в посоле мясного сырья отмечали постепенное, идущее вглубь послойное развитие микроструктурных изменений, характерных для соленого мяса. Полученные результаты свидетельствуют, что при экспозиции мясного сырья в рассоле с содержанием 3 % поваренной соли уже на 1 сут

рассол проникает на глубину 3,0 см, на 2-е сутки рассол распространился на всю глубину мышцы. Рассол с содержанием 4 % поваренной соли на 1 сут посола проник на всю глубину мышцы. При дальнейшем хранении в мышечной ткани активно развиваются деструктивные изменения, выражающиеся образованием микротрещин и узких щелевидных нарушений целостности волокон. Рассол с содержанием 5 % поваренной соли на 1 сут посола проникает на всю глубину мышцы. При этом в поверхностных слоях мышечные волокна значительно набухают и приобретают округлую форму. Деструктивные изменения в виде поперечных нарушений целостности мышечных волокон развиваются на 2–3 сутки посола. В глубоких слоях мышцы мышечные волокна набухшие, плотно прилегают друг к другу.

Результаты сравнительного анализа (см. табл. 3) показывают, что темп проникновения посолочных веществ, содержащихся в рассоле, подвергнутом акустическому воздействию

Таблица 3

Содержание влаги и влагосвязывающая способность мясного сырья в посоле

Наименование образца	Содержание массовой доли влаги, %	Влагосвязывающая способность, %	
		контроль	опыт
№ 1 (0 сут посола 3 %)	73,20	78,90	79,00
№ 2 (0 сут посола 4 %)	73,23	79,99	80,11
№ 3 (0 сут посола 5 %)	73,32	80,40	80,65
№ 4 (1 сут посола 3 %)	73,57	82,86	80,6
№ 5 (1 сут посола 4 %)	74,22	84,46	81,4
№ 6 (1 сут посола 5 %)	74,93	86,37	81,9
№ 7 (2 сут посола 3 %)	–	–	84,7
№ 8 (2 сут посола 4 %)	–	–	83,2
№ 9 (2 сут посола 5 %)	–	–	85,5
№ 10 (3 сут посола 3 %)	73,91	86,73	88,3
№ 11 (3 сут посола 4 %)	74,51	86,90	87,9
№ 12 (3 сут посола 5 %)	74,91	87,96	88,9
№ 13 (4 сут посола 3 %)	–	91,15	93,1
№ 14 (4 сут посола 4 %)	–	91,45	91,5
№ 15 (4 сут посола 5 %)	–	92,10	92,7
№ 16 (5 сут посола 3 %)	74,68	92,48	95,4
№ 17 (5 сут посола 4 %)	75,16	92,49	94,5
№ 18 (5 сут посола 5 %)	75,33	95,44	96,3

вию, в цельномышечные образцы свинины полужирной, выше, по сравнению с необработанным рассолом, что указывает на более высокую интенсивность диффузионно-осмотических процессов в опытных образцах по сравнению с контрольными.

Анализ полученных данных показал, что фактически на 1-е сутки экспозиции мясного сырья в рассоле (опыт) с концентрацией 4–5 %, последний распространился на всю глубину образцов. Можно утверждать, что применение активированного рассола позволяет сократить выдержку мяса в посоле (в статике, без применения способов интенсификации посола) в 3 раза.

Результаты микробиологических анализов показали, что в образцах свинины, помещенных в необработанный (неактивированный) рассол-контроль, обсемененность выше, чем в образцах свинины, находящихся в среде акустически активированного рассола-опыт. Так, КМАФАнМ в образцах свинины-контроль, исходная величина показателя составляла 2×10^5 КОЕ /г, а при хранении в течение 5 суток в том же рассоле возрастала до 2×10^6 , при этом были отмечены признаки микробиологической порчи (ослизнение) и рост плесеней в количестве 30–40 КОЕ /г.

В образцах свинины-опыт, КМАФАнМ снизилось до уровня 2×10^3 КОЕ /г (исходная величина) и при хранении в течение 5 суток возрастало до 2×10^4 КОЕ /г, что на 2 порядка ниже по сравнению с контролем. Однако в опытных образцах не наблюдалось признаков ослизнения и других признаков микробиологической порчи, а по внешнему виду они соответствовали категории «свежее» мясо. Во всех исследованных образцах не обнаружены БГКП (колиформы в 0,1 г), сульфитредуцирующие клостридии (в 0,1 г) и патогенные *Salmonella* (в 25 г).

Результаты изучения релаксационных характеристик воды с применением метода ЯМР показали, что основная масса воды в мясе распределена между фракциями с временами T12 и T22, а количество воды со временем T2b составляет незначительное количество и, по результатам многих исследований, слабо подвержена изменениям. Поэтому нами определялись магнитно-релаксационные характеристики лишь для фракций внутри- (T12) и внефибрилярной (T22) воды. Результаты оп-

ределения представлены в табл. 4. Обращает на себя внимание то, что значения T21 опытных образцов не отличаются от T21 контроля в течение всего времени посола и не зависят от концентрации NaCl в растворе. Многими авторами установлена строгая корреляция между значениями T21 и влагосвязывающей способностью мяса. В нашем опыте значения влагосвязывающей способности в опыте и контроле не выявили систематических различий (см. табл. 4), что подтверждает корреляцию между T21 и влагосвязывающей способностью.

Величина T22 в опыте имеет постоянное превышение над контролем, т. е. вода, находящаяся во внемиофибрилярном пространстве опытных образцов, более подвижна и характеризуется более слабым взаимодействием с макромолекулярными структурами. Эта вода может находиться в нескольких областях: в саркоплазме, в пространстве между миофибриллами, межфибрилярном и межфазиккулярном пространстве. Она характеризуется капиллярным расположением в клетках, где она удерживается межмолекулярными силами и может переходить в более мобильное состояние при небольших физических изменениях. Все это пока затрудняет однозначное объяснение увеличения T22 воздействием рассола, подвергнутого ультразвуковой обработке. Исследования в этом направлении продолжатся.

Проведенные исследования позволили установить, что использование активированного рассола положительно влияет на кинетику посола, позволяет существенно сократить длительность выдержки цельномышечного сырья в посоле за счет повышения интенсивности диффузионно-осмотических процессов, обеспечивает равномерное распределение рассола по всему объему мышечной ткани, а также способствует развитию в ней деструктивных изменений, свойственных соленому мясу в более ранние сроки выдержки в посоле.

Кроме того, применение рассолов, подвергнутых акустической кавитационной обработке, позволяет снизить микробиальную обсемененность и продлить срок хранения без применения консервантов, и, таким образом, обеспечить микробиологическую безопасность мясных продуктов.

Таблица 4
Времена спин-спиновой релаксации T21, T22 и относительный вклад фракций воды
при посоле мяса

NaCl	T2	2 часа	24 часа	48 часов		72 часа		96 часов	
		опыт	опыт	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль
3 %	T22 мс вклад %		99,2 – 12 %	241 – 35 %	134,2 – 39 %	283,5 – 41 %	173,8 – 42 %	300,2 – 32 %	221,8 – 33 %
	T21 мс вклад %	47,9 100 %	43,1 – 88 %	58,1 – 65 %	56,3 – 61 %	50,4 – 59 %	48,7 – 58 %	48,7 – 68 %	53,2 – 67 %
4 %	T22 мс вклад %		93,8 – 14 %	196,2 – 45 %	127,0 – 45 %	254,2 – 43 %	190,6 – 42 %	306,4 – 34 %	202,6 – 33 %
	T21 мс вклад %	53,8 100 %	49,3 – 86 %	54,6 – 55 %	58,4 – 55 %	56,3 – 57 %	51,7 – 58 %	62,1 – 66 %	51,9 – 54 %
5 %	T22 мс вклад %		101,2 – 15 %	184,3 – 42 %	119,4 – 44 %	268,9 – 37 %	177,4 – 52 %	312,7 – 35 %	211,5 – 44 %
	T21 мс вклад %	50,6 100 %	52,4 – 85 %	46,1 – 58 %	51,3 – 56 %	59,1 – 62 %	44,6 – 48 %	56,7 – 65 %	56,2 – 56 %

Литература

1. Артемова, Я.А. Ультразвуковая сонохимическая водоподготовка / Я.А. Артемова, О.Н. Красуля, Н.А. Тихомирова, С.Д. Шестаков // Молочная промышленность. – 2011. – № 5. – С. 39–42.

2. Богуш, В.И. Разработка технологии производства мясных рубленых полуфабрикатов с применением сонохимических воздействий для системы общественного питания: дис. ... канд. техн. наук / В.И. Богуш. – М., 2011. – 150 с.

3. Шестаков, С.Д. Основы теории процессов и аппаратов кавитационных дезинтегрированных сред: автореферат дис. ... д-ра техн. наук / С.Д. Шестаков. – М., 2001. – 58 с.

4. Шестаков, С.Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш и др. – СПб.: ГИОРД, 2013. – 152 с.

5. Цирульниченко, Л.А. Формирование улучшенных потребительских свойств продуктов переработки мяса птицы, выработанных с использованием эффектов ультразвукового воздействия на основе водоподго-

товки: дис. ... канд. техн. наук / Л.А. Цирульниченко. – Орел, 2014. – 172 с.

6. Брацихин, А.А. Научно-практические аспекты интенсификации технологических процессов с использованием наноактивированных жидких сред при производстве мясопродуктов: автореф. дис. д-ра техн. наук / А.А. Брацихин. – Ставрополь, 2009. – 48 с.

7. Красуля, О.Н. Пищевая сонохимия в технологии молочных продуктов / О.Н. Красуля, В.И. Богуш, О.В. Кочубей-Литвиненко и др. // Молочная река. – 2014. – № 3 (55). – С. 14–16.

8. Потороко, И.Ю. Системный подход в технологии водоподготовки для пищевых производств / И.Ю. Потороко, Р.И. Фаткуллин, Л.А. Цирульниченко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2013. – Т. 7, № 3. – С. 153–158.

9. Потороко, И.Ю. Теоретическое и экспериментальное обоснование возможности использования электрофизического воздействия в формировании потребительских свойств восстановленных молочных продуктов / И.Ю. Потороко, Н.В. Попова // Товаровед продовольственных товаров. – 2013. – № 1. – С. 17–21.

10. Поливода, А.М. Методики исследования продуктов свиноводства / А.М. Поливода, Р.В. Стробыкина, М.Д. Любецкий. – Харьков, 1977. – С. 48–67.

11. Bertram H., Karlsson A., Rasmussen M. et al. Origin of multiexponential T2 relaxation in muscle myowater // *J. of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49, p. 1740–1746.

12. Ashokkumar M., Krasulya O., Shestakov S., Rink R. A New Look at Cavitation and the Applications of Its Liquid-Phase Effects in the Processing of Food and Fuel // *Applied Physics Research*, Vol. 4, No. 1, 2012, p. 19–29.

13. Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S.

Hydrodynamic cavitation – an alternative to ultrasonic food processing. Electronic Journal “Technical Acoustics”, <http://www.ejta.org>, 2011, 9.

14. Bertram H., Andersen H. Applications of NMR in meat science // *Annual Reports on NMR Spectroscopy*, 2004, 53, p. 158–203.

15. Maison R., Knoerzer K. A brief history of the application of ultrasonics in food processing // 19-th ICA Congress, Madrid, 2007.

16. Stadnik J., Dolatowski Z., Baranowska H. Effect of ultrasound on water holding properties and microstructure of beef during ageing // *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41, p. 2151–2158.

Красуля Ольга Николаевна. Доктор технических наук, профессор, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет) (г. Москва), okrasulya@mail.ru.

Богуш Владимир Иванович. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания», Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет) (г. Москва) vladimir2001@yandex.ru.

Мухаметдинова Альфира Камильевна. Кандидат биологических наук, доцент, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет) (г. Москва), alfirakam@gmail.com

Козырева Светлана Михайловна. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания», Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет) (г. Москва), svetlana.kozyreva@icloud.com

Кузнецова Татьяна Георгиевна. Доктор ветеринарных наук, доцент, зав. лабораторией сенсорного анализа, ВНИИ мясной промышленности им. В.М. Горбатова (г. Москва).

Сергеев Андрей Иванович. Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН (г. Москва).

Потороко Ирина Юрьевна. Доктор технических наук, доцент кафедры «Экспертиза и управление качеством пищевых производств», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), irina_potoroko@mail.ru

Поступила в редакцию 12 мая 2016 г.

RESEARCH ON CHANGES OF RAW MEAT IN SALTING USING ACOUSTICALLY ACTIVATED BRINE

O.N. Krasulya¹, V.I. Bogush¹, A.K. Mukhametdinova¹, S.M. Kozyreva¹,
T.G. Kuznetsova², A.I. Sergeev³, I.Yu. Potoroko⁴

¹ Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovsky (FKU), Moscow, Russian Federation

² The Gorbатов's All-Russian Meat Research Institute (VNIMP), Moscow, Russian Federation

³ Institute of Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

⁴ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Research on the use of ultrasonic cavitation in the technology of meat products proves high efficiency in regard to the acceleration of technological processes. It is possible to obtain objective data on the forms of integration of moisture with the material applying the method of NMR relaxation using the device "Minispek PC-120" by Bruker Corporation (Germany) in conjunction with other research methods. Cooled low-fat pork, which is subjected to salting with saturated sodium chloride solution (1:3 ratio) after ultrasonic exposure by the frequency of 20 kHz and nameplate rating of 40 % in the production unit such as mercury-vapor console street lamp with piezoceramic radiator, is used as an object of research. Histological studies have shown that when salting meat the microstructural changes in the muscle fibers and connective tissue occur gradually in a certain sequence. Muscle fiber cross banding weakens gradually, the nuclei undergo pycnosis and become homogeneous. Destructive changes in muscle fibers are characterized by the gradual formation of transverse micro cracks and chinked spaces. When exposing the raw meat in the brine containing 3 % of sodium salt, the brine penetrates to a depth of 1.5 cm already on the first day; on the fourth day the brine spreads to the entire muscle depth. Salting brine containing 4% penetrates to a depth of 2.0 cm on the first day of salting, on the fourth day the brine spreads to the entire depth of the muscles. Results of the study of relaxation characteristics of water with the use of NMR method shows that the bulk of the water in the meat is distributed among the factions with the times T12 and T22, and the amount of water with the time T2b is small, and according to the results of many studies, is little subjected to changes. Conducted research has revealed that the use of the activated brine has a positive effect on the kinetics of salting and allows significantly reducing the duration of exposure of whole muscle raw materials in salting by increasing the intensity of the diffusion-osmotic processes.

Keywords: salting, pork, food acoustochemistry, cavitation, activated fluid mediums, microstructural changes, microbiological safety, NMR-water relaxation.

References

1. Artemova Ya.A., Krasulya O.N., Tikhomirova N.A., Shestakov S.D. [Ultrasonic sonochemical water treatment]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 2011, no. 5, pp. 39–42. (in Russ.)
2. Bogush V.I. *Razrabotka tekhnologii proizvodstva myasnykh rublenykh polufabrikatov s primeneniem sonokhimicheskikh vozdeystviy dlya sistemy obshchestvennogo pitaniya* [Development of technology for the production of chopped half-finished meat products with the use of sonochemical effects for the system of public catering]. Dissertation by Cand. of Sciences (Engineering). Moscow, 2011. 150 p.
3. Shestakov S.D. *Osnovy teorii protsessov i apparatov kavitatsionnykh dezintegrirovannykh sred* [Fundamentals of the theory of processes and systems of cavitation disintegrated environments]. Abstract of dissertation by Doctor of Sciences (Engineering). Moscow, 2001, 58 p.
4. Shestakov S.D., Krasulya O.N., Bogush V.I. et al. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya obrabotki pishchevykh sred s ispol'zovaniem kavitatsionnoy dezintegratsii* [Technology and equipment for the processing of food environments using cavitation disintegration]. St. Petersburg, 2013. 152 p.
5. Tsurul'nichenko L.A. *Formirovanie uluchshennykh potrebitel'skikh svoystv produktov pererabotki myasa ptitsy, vyrabotannykh s ispol'zovaniem effektivov ul'trazvukovogo vozdeystviya na osnove vodopodgotovki* [Formation of improved consumer properties of poultry meat by-products produced with the use of ultrasonic treatment effects on the basis of water treatment]. Dissertation by Cand. of Sciences (Engineering). Orel, 2014. 172 p.

6. Bratsikhin A.A. *Nauchno-prakticheskie aspekty intensivifikatsii tekhnologicheskikh protsessov s ispol'zovaniem nanoaktivirovannykh zhidkikh sred pri proizvodstve myasoproduktov* [Scientific and practical aspects of the intensification of technological processes using nano activated fluid environments in the production of meat products]. Abstract of dissertation by Cand. of Sciences (Engineering). Stavropol', 2009. 48 p.

7. Krasulya O.N., Bogush V.I., Kochubey-Litvinenko O.V. et al. [Food sonochemistry in the technology of dairy products]. *Molochnaya reka* [Milk river], 2014, no. 3 (55), pp. 14–16. (in Russ.)

8. Potoroko I.Yu., Fatkullin R.I., Tsirulnichenko L.A. The system approach to water treatment technology for food production. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2013, vol. 7, no. 3, pp. 153–158. (in Russ.)

9. Potoroko I.Yu., Popova N.V. [Theoretical and experimental explanation of the possibility of the use of electrophysical influence in the formation of consumer properties of the recovered milk products]. *Tovarovod prodovol'stvennykh tovarov* [Commodity expert in foodstuffs], 2013, no. 1, pp. 17–21. (in Russ.)

10. Polivoda A.M., Strobykina R.V., Lyubetskiy M.D. *Metodiki issledovaniya produktov svinovodstva* [Methods of study of pig breeding products]. Khar'kov, 1977, pp. 48–67.

11. Bertram H., Karlsson A., Rasmussen M. et al. Origin of multiexponential T2 relaxation in muscle myowater. *J. of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49, p. 1740–1746.

12. Ashokkumar M., Krasulya O., Shestakov S., Rink R. A New Look at Cavitation and the Applications of Its Liquid-Phase Effects in the Processing of Food and Fuel. *Applied Physics Research*, Vol. 4, No. 1, 2012, pp. 19–29. DOI: 10.5539/apr.v4n1p19

13. Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S. Hydrodynamic cavitation – an alternative to ultrasonic food processing. *Electronic Journal "Technical Acoustics"*, <http://www.ejta.org>, 2011, 9.

14. Bertram H., Andersen H. Applications of NMR in meat science. *Annual Reports on NMR Spectroscopy*, 2004, 53, p. 158–203. DOI: 10.1016/s0066-4103(04)53003-x

15. Maison R., Knoerzer K. A brief history of the application of ultrasonics in food processing. *19-th ICA Congress*, Madrid, 2007.

16. Stadnik J., Dolatowski Z., Baranowska H. Effect of ultrasound d on water holding properties and microstructure of beef during ageing. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41, 2151–2158. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.12.003

Olga N. Krasulya. Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovsky (FKU), Moscow, okrasulya@mail.ru

Vladimir I. Bogush. Candidate of Sciences (Engineering), Assistant Professor of the Department of Food Technology, Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovsky (FKU), Moscow, vladimir2001@yandex.ru.

Alfiia K. Mukhametdinova. Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor. Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovsky (FKU), Moscow, alfirakam@gmail.com

Svetlana M. Kozyreva. Candidate of Sciences (Engineering), Assistant Professor of the Department of Food Technology, Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovsky (FKU), Moscow, svetlana.kozyreva@icloud.com

Tatiana G. Kuznetsova. Doctor of Sciences (Veterinary), Associate Professor, Head of the Laboratory of Sensory Analysis, the Gorbатов's All-Russian Meat Research Institute (VNIMP), Moscow.

Andrei I. Sergeev. Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), senior research fellow, Institute of Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow.

Irina Yu. Potoroko. Doctor of Sciences (Engineering), Assistant Professor of the Department of Expertise and Quality Control of Food Production, South Ural State University, Chelyabinsk, irina_potoroko@mail.ru

Received 12 May 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Исследование изменений мясного сырья в посоле с использованием акустически активированного раствора / О.Н. Красуля, В.И. Богуш, А.К. Мухаметдинова и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2016. – Т. 4, № 2. – С. 61–70. DOI: 10.14529/food160208

FOR CITATION

Krasulya O.N., Bogush V.I., Mukhametdinova A.K., Kozyreva S.M., Kuznetsova T.G., Sergeev A.I., Potoroko I.Yu. Research on Changes of Raw Meat in Salting Using Acoustically Activated Brine. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2016, vol. 4, no. 2, pp. 61–70. (in Russ.) DOI: 10.14529/food160208