DOI: 10.21870/0131-3878-2020-29-1-32-44

УДК 637.52:66.085.3

Изучение образования в мясе продуктов радиолiza в зависимости от поглощённой дозы γ -излучения и её влияние на окисление жиров и рост микрофлоры при хранении

Семёнова А.А.¹, Асланова М.А.¹, Дыдыкин А.С.¹, Деревицкая О.К.¹, Батаева Д.С.¹, Кобылко В.О.²

¹ ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН», Москва;

² ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск

Одним из способов повышения сроков годности охлаждённого мяса является снижение общего количества вегетативных форм гнилостных микроорганизмов, вызывающих порчу, за счёт применения радиационных технологий. Известно, что образование продуктов радиолiza напрямую зависит от величины поглощённой дозы пищевой системой в процессе ионизирующей обработки. В связи с этим, целью данной работы являлось изучение влияния обработки мяса γ -излучением на образование продуктов радиолiza, степень окисления жировой фракции и рост микрофлоры в процессе хранения. В качестве объектов исследования были использованы образцы мясного фарша, как наиболее проблемной мясной продукции, в которой, в силу специфики её изготовления, нежелательная микрофлора присутствует не только на поверхности, но и по всему объёму продукта. Фарш был упакован с применением модифицированной газовой среды (75% O₂, 25% CO₂) с использованием полимерной плёнки. Образцы подвергали облучению на гамма-установке ГУ-200М (НИИТФА, Москва). Мощность дозы облучения составляла 1 Гр/с. Интегральные поглощённые дозы облучения образцов продукции варьировали: 0,5; 1,5; 3,0 и 6,0 кГр. Исследование образцов фарша при хранении проводили на 0, 5, 12 и 20 суток. Показано, что при облучении мяса в минимальной дозе 0,5 кГр образование продуктов радиолiza не установлено, а срок годности может быть увеличен в 1,5 раза с учётом коэффициента резерва без изменения физико-химических и органолептических показателей. При дозах свыше 0,5 кГр установлено присутствие продуктов радиолiza и изменение органолептических показателей, при этом микробиологические показатели соответствовали норме в течение 20 суток хранения. По результатам исследования установлено, что повышение сроков годности измельчённого мяса возможно при использовании поглощённых доз от 1,5 кГр и выше. Однако, при этом возникает необходимость применения антиокислителей с целью повышения устойчивости продукта к окислительной порче.

Ключевые слова: γ -излучение, радиационная обработка, мясной фарш, поглощённая доза, продукты радиолiza, сроки годности, микробиологические показатели, мультисенсорный профиль запаха, органолептические показатели, продукты окислительной порчи.

Введение

По данным ВОЗ ежегодно регистрируется около 200 млн случаев пищевых отравлений, которые приводят более чем в 143 тыс. случаев к летальному исходу и являются причиной общей утраты 9,3 млн лет человеческой жизни в результате более ранней смерти и потери трудоспособности. Основной вклад в удручающую статистическую картину пищевых отравлений приходится на четыре типа возбудителей: нетипичные сальмонеллы (*Salmonella spp.*), энтеропатогенные и токсикогенные виды кишечной палочки (*E. coli*), кампилобактер (*Campilobacter spp.*) и листерию моноцитогенес (*Listeria monocytogenes*). Три из четырёх типов возбудителей пищевых отравлений (кроме листерий) являются микрофлорой, тесно связанной с мясом уже на стадии его первичного производства. Пищевые отравления мясом в результате заражения листериями рассматриваются как контаминации в производственной цепи его переработки [1].

Семёнова А.А. – зам. директора, д.т.н., проф.; Асланова М.А.* – вед. научн. сотр., к.т.н.; Дыдыкин А.С. – рук. отдела, к.т.н., доцент; Деревицкая О.К. – вед. научн. сотр., к.т.н.; Батаева Д.С. – вед. научн. сотр., к.т.н. ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН. Кобылко В.О. – зав. лаб., к.б.н. ФГБНУ ВНИИРАЭ.
Контакты: 109316, Москва, ул. Талалихина, 26. Тел.: (495) 676-61-61; e-mail: m.aslanova@fncps.ru.

Мясо является важнейшим источником полноценного белка и занимает особое место в питании человека. Основным способом длительного сохранения мяса является применение низких отрицательных температур. Однако, замораживание и холодильное хранение не только приводит к постепенной потере его потребительских свойств, но и сопряжено с высокими микробиологическими рисками на стадии размораживания при подготовке к кулинарной обработке [2-4]. Интенсивность роста патогенной и гнилостной микрофлоры в размороженном мясе значительно выше, чем в охлаждённом. С одной стороны, это объясняется достаточно высокой температурой окружающей среды при размораживании (20 ± 2 °C), с другой стороны, большей доступностью питательных веществ, необходимых для развития микроорганизмов, вызванной многочисленными повреждениями клеточных мембран тканей мяса кристаллами льда при замораживании и при хранении в замороженном виде [5].

Измельчённое мясо особенно подвержено быстрой микробиологической порче, поскольку при измельчении создаются благоприятные условия для распространения микроорганизмов, в том числе патогенных, по всему объёму и массе продукта. В этой связи, использование ионизирующих излучений рассматривается как одна из наиболее перспективных технологий для обеспечения микробиологической безопасности и увеличения сроков годности таких скоропортящихся продуктов питания как мясо и мясная продукция [6-8].

Применение радиационных технологий для стерилизации и консервирования пищевых продуктов апробировано во многих странах и в России [9-16]. Вместе с тем, известно, что обработка излучением может быть мощным «спусковым механизмом», запускающим процессы накопления в пище загрязнителей, опасных для здоровья человека, а также веществ, приводящих к изменению привычных потребительских характеристик [9].

В связи с этим, целью работы являлось изучение образования продуктов радиолиза и окисления жиров в мясе в зависимости от поглощённой дозы γ -излучения, а также оценка влияния радиационной обработки на микрофлору и органолептические характеристики измельчённого мяса непосредственно после облучения и в процессе его дальнейшего хранения.

Материалы и методы

Объектом исследования было измельчённое мясо – фарш, состоящий из двух видов мяса (говядины и свинины), взятых в соотношении 1:1. Массовые доли жира и белка в фарше были соответственно 20 ± 1 г/100 г и 17 ± 1 г/100 г. Контрольные и опытные образцы фарша были изготовлены в одинаковых производственных условиях и упакованы с применением модифицированной газовой среды (75% O₂, 25% CO₂) с использованием полимерных лотков, предназначенных для применения в пищевой промышленности, запаянных паро-газонепроницаемой плёнкой. Масса нетто каждой упаковки составляла 0,45 кг.

Контрольные образцы фарша не подвергали радиационной обработке. Согласно документации на этот вид продукции их срок годности составлял не более 5 суток при температуре хранения 3 ± 3 °C [17].

Опытные образцы облучали с соблюдением температурных режимов, аналогичных условиям хранения (не более 5 °C, включительно). Для этого образцы были предварительно помещены в контейнеры с охлаждающими термоэлементами. Радиационную обработку образцов проводили на гамма-установке ГУ-200М (АО «Научно-исследовательский институт технической физики и автоматизации», Москва) с мощностью дозы облучения 1 Гр/с. Интегральные погло-

щённые дозы облучения образцов продукции составили 0,5; 1,5; 3,0 и 6,0 кГр. Измерение поглощённой дозы проводили с помощью плёночных дозиметров типа В3000 (GEX Corporation, США), предназначенных для измерения доз электронного и γ -излучения в диапазоне энергий 0,5-12,0 МэВ.

Контрольные и опытные образцы были перевезены с предприятия в одинаковых условиях и хранились в холодильной камере при температуре 4 ± 1 °С.

Сразу после помещения на хранение от контрольных и опытных образцов были отобраны пробы на определение продуктов радиолитиза. Продукты окисления жиров определяли на 0, 5, 12 и 20 сутки хранения. Микробиологические исследования по определению общего количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), а также органолептические и сенсорные исследования проводили в те же сроки хранения образцов. Видовой состав микрофлоры контрольных и опытных образцов определяли на 5 и 12 сутки хранения.

В работе для определения продуктов радиолитиза (2-алкилциклобутанов), продуктов окисления жира (перекисное число), общего количества микроорганизмов (КМАФАнМ), а также для органолептической оценки качества фарша были использованы стандартные методы исследований [18-21]. Видовой состав микрофлоры фарша определяли с помощью времяпролетной масс-спектрометрии с матрично-ассоциированной лазерной десорбцией/ионизацией (MALDI-TOF MS) [22]. Инструментальное исследование запаха фарша проводили с помощью прибора «VOCmeter» («электронный нос») фирмы «AppliedSensor» (Германия) с использованием четырёх металлооксидных сенсоров, каждый из которых чувствителен к концентрации в газовой фазе продукта определённых летучих веществ: альдегидов (сенсор М1), низкомолекулярных азотсодержащих соединений (сенсор М2), свободных аминокислот (сенсор М3) и кетонов (сенсор М4) [23]. Анализ откликов, полученных с каждого сенсора, проводили по специальной программе «Argus».

При статистической обработке всех результатов исследований оценивали среднее значение наблюдаемых данных, стандартное отклонение и 95% доверительный интервал с использованием возможностей программного обеспечения Excel 2010.

Результаты и обсуждение

Наряду с положительными эффектами обработка ионизирующим излучением может сопровождаться возникновением в пищевых продуктах нежелательных химических соединений, не только способствующих ухудшению потребительских качеств, но и опасных для здоровья [24].

Исследование фарша на наличие продуктов радиолитиза (табл. 1), признанных потенциально канцерогенными веществами, показало, что в контрольных (0 кГр) и опытных образцах, обработанных минимальной дозой облучения (0,5 кГр), 2-алкилциклобутановы не обнаружены. При повышении дозы облучения с 1,5 до 3,0 кГр и с 3,0 до 6,0 кГр (в 2 раза), накопление продуктов радиолитиза увеличивалось соответственно в 3,0 и в 3,8 раза.

Таблица 1

Образование продуктов радиолитиза в образцах фарша

Наименование вещества	Массовая доля, мг/кг, в образцах в зависимости от дозы облучения				
	0 кГр	0,5 кГр	1,5 кГр	3,0 кГр	6,0 кГр
2-dDCB (додецилалкилбутанон)	Не обн.	Не обн.	2,0 $\pm$ 0,4	5,9 $\pm$ 1,1	22,4 $\pm$ 4,0
2-tDCB (тетрадецилалкилбутанон)	Не обн.	Не обн.	Не обн.	3,4 $\pm$ 0,7	7,8 $\pm$ 1,4

Образование продуктов радиолитиза зависит не только от дозы облучения, но и от состава продукта, в особенности, от содержания в нём жира, и, возможно, от его собственных характеристик. Таким образом, для фарша из говядины и свинины с массовой долей жира 20 г/100 г до-за облучения, равная 0,5 кГр, была безопасной. Окислительные процессы происходят в любом мясе, как подвергавшемся, так и не подвергавшемся обработке радиацией. Однако, по мнению ряда авторов [24, 25], окислительные процессы в жирах после воздействия на них ионизирующего излучения усиливаются. Это приводит к излишнему накоплению продуктов окислительной порчи, среди которых высокую степень опасности представляют первичные продукты окисления жиров – пероксидные радикалы (производные перекиси водорода), которые, будучи сильнейшими окислителями, крайне опасны для живых клеток. Они повреждают белки, нуклеиновые кислоты и липиды клеточных мембран, являются причиной стрессов, инсультов, ишемических и других заболеваний. Считается, что непрерывно накапливающиеся в клетках свободно-радикальные соединения ответственны за процессы старения организма.

Результаты исследований по определению пероксидных соединений в опытных образцах фарша (рис. 1) свидетельствовали о том, что под воздействием γ -излучения с ростом дозы облучения в фарше наблюдалось возрастание значений перекисного числа. В процессе хранения опытных и контрольных образцов также происходило дальнейшее развитие процессов окислительной порчи жиров, спровоцированных облучением. На 20-е сутки хранения во всех образцах было отмечено увеличение перекисных чисел в 2,0-2,5 раза по отношению к значениям на начальный период хранения. Однако, в сравнении с контрольным образцом, опытный образец, обработанный в минимальной дозе 0,5 кГр, характеризовался на всех сроках хранения более низкими значениями перекисного числа, чем все остальные опытные и контрольные образцы. Таким образом, воздействие в дозе 0,5 кГр не только не приводило к возрастанию, но и, наоборот, тормозило развитие окислительной порчи в процессе хранения фарша.

Опытные образцы, подвергнутые воздействию более высоких доз облучения (1,5; 3,0 и 6,0 кГр), даже на 12-е сутки хранения имели значения перекисного числа ниже, чем в контрольном образце на 5-е сутки хранения (на конец срока годности продукта). Однако, на 20-е сутки хранения развитие окислительных процессов привело к превышению допустимого уровня этого показателя (свыше 10 ммоль активного кислорода/кг) как в контрольном образце, так и в опытном образце, получившем дозу облучения, равную 6,0 кГр.

Рис. 1. Динамика изменения перекисного числа в образцах фарша, подвергнутых различным дозам облучения в процессе хранения.

Таким образом, необходимо отметить, что, в целом, увеличение дозы облучения способствовало развитию окислительных процессов в мясе. Но, тем не менее, окислительные процессы в опытных образцах, получивших дозу облучения до 3,0 кГр включительно, шли медленнее, чем в контрольных образцах, не подвергнутых радиационной обработке. Последнее указывает на необходимость при выборе режимов радиационной обработки учитывать и желаемый период хранения мяса после обработки. Так, для фарша со сроком годности до 12 суток все дозы облучения обеспечивали низкие значения перекисного числа. Для фарша со сроком годности до 20 суток могут быть рекомендованы, с позиций ограничения окислительной порчи, дозы облучения до 3,0 кГр включительно.

Результаты микробиологических исследований фарша показали, что контрольные образцы характеризовались наиболее разнообразным видовым составом микрофлоры. На 5-е сутки хранения в них было идентифицировано 14 видов микроорганизмов, в том числе микроорганизмы, вызывающие порчу мяса, такие как *Pseudomonas aeruginosa* (в количестве 10^4 колониеобразующих единиц (КОЕ/г)) и *Lactobacillus spp.* (10^2 КОЕ/г), а также патогенные для человека *Listeria monocytogenes* (10^1 КОЕ/г).

Напротив, во всех опытных образцах фарша, обработанных γ -излучением в дозах 0,5; 1,5; 3,0 и 6,0 кГр, на 5-е сутки хранения *Listeria monocytogenes* не были обнаружены. При этом род *Lactobacillus* и *Staphylococcus* демонстрировал свою жизнеспособность в фарше после обработки дозами 0,5; 1,5 и 3,0 кГр γ -излучения. Бактерии рода *Bacillus* через 5 суток хранения были обнаружены в фарше даже после обработки γ -излучением с дозой 6,0 кГр, что могло свидетельствовать об устойчивости споровых форм микроорганизмов к γ -излучению.

На 12 сутки хранения в контрольных образцах также были обнаружены патогенные микроорганизмы *Listeria monocytogenes* (10^1 КОЕ/г). Во всех опытных образцах их не было. При идентификации видового состава контрольных и опытных образцов фарша, обработанных дозами 0,5; 1,5 и 3,0 кГр, установлено наличие *Lactobacillus spp.*, количество которых возросло на 1-2 порядка по сравнению с результатами исследований на 5-е сутки. В фарше, обработанном γ -излучением в дозе 6 кГр, на 12-е сутки хранения не были обнаружены бактерии рода *Bacillus*, хотя на 5 сутки хранения они выявлялись, но сохранили жизнеспособность *Staphylococcus spp.* и *Pseudomonas spp.*

Известно, что бактерии *Pseudomonas spp.* обладают невысокой устойчивостью к γ -излучению [16]. Однако, очевидно, они сохранялись после облучения благодаря их большому удельному весу в общей микрофлоре фарша. Таким образом, *Pseudomonas spp.*, относящиеся к психрофильным бактериям (могут расти при низких положительных температурах и при температурах ниже 0 °С, то есть в условиях холодильных камер для хранения охлаждённого и замороженного мяса), при облучении умеренными дозами γ -излучения были способны выживать и вызывать порчу мяса.

Отсутствие во всех опытных образцах патогенных видов микроорганизмов было подтверждено результатами исследований по стандартным методикам [20, 26].

На рис. 2 представлены данные по результатам определения общего количества микроорганизмов в фарше в процессе хранения образцов.

Рис. 2. Динамика изменения общего количества микроорганизмов в образцах фарша, подвергнутых различным дозам облучения, в процессе хранения.

Допустимый уровень КМАФАнМ для фарша к концу срока годности (с учётом коэффициента резерва, равного 1,5 на 12-е сутки хранения) должен был составлять не более 5×10^6 КОЕ/г. Однако в контрольных образцах максимально допустимое значение этого показателя на 12-е сутки хранения было уже превышено. В связи с этим, контрольные образцы были сняты с дальнейших микробиологических исследований.

Во всех обработанных γ -излучением опытных образцах общее количество микроорганизмов на протяжении 20 суток хранения не превысило 10^4 КОЕ/г. Таким образом, исходя из результатов микробиологических исследований, даже при минимальной дозе облучения, радиационная обработка является эффективным средством продления сроков годности мяса и борьбы с такими опасными для человека микроорганизмами как *Listeria monocytogenes*.

Любой способ ограничения и подавления роста микрофлоры, даже самый эффективный, должен обеспечивать высокие потребительские характеристики пищевого продукта. Результаты органолептических исследований фарша после радиационной обработки показали, что потребительские характеристики опытных образцов, обработанных в дозах 3,0 и 6,0 кГр, были заметно снижены. Профессиональные дегустаторы отметили изменение цвета фарша (серый, тусклый цвет жира). При этом у опытного образца с поглощённой дозой 6,0 кГр наблюдался резкий посторонний запах. Данная тенденция сохранялась в течение всего срока хранения.

Напротив, у образцов с поглощённой дозой 0,5 и 1,5 кГр и у контрольного образца жир после обработки имел белый цвет. Посторонний запах у контрольного образца и образца, обработанного в дозе 0,5 кГр, отсутствовал. Изменение цвета жира у образца при дозе воздействия 0,5 кГр наблюдали только на 20-е сутки хранения. У контрольного образца изменение цвета жира и появление кислого запаха было отмечено на 12-е сутки хранения. У образца, обработанного в дозе 1,5 кГр, появление лёгкого постороннего запаха, интенсивность которого усиливалась в процессе хранения, было выявлено сразу после обработки.

По мнению ряда авторов [16, 27] наиболее интенсивным изменениям при облучении подвергаются водорастворимые белки мяса, некоторые из которых выделяют вещества со специфическим запахом. Появление постороннего запаха в облучённых мясных продуктах, вероятно, связано с преимущественным накоплением в них сероводорода, меркаптанов и других соеди-

нений серы (S) вследствие разрушения S-содержащих аминокислот, летучих кислот и оснований, количество которых тем больше, чем выше доза облучения.

Мультисенсорные исследования с использованием прибора «электронный нос» позволили выявить присутствие различных групп летучих соединений (кетонов, альдегидов, свободных аминокислот, низкомолекулярных азотсодержащих соединений) в газовых фазах над поверхностью образцов фарша (рис. 3).

Рис. 3. Мультисенсорный профиль запаха образцов фарша, подвергнутых различным дозам облучения, в процессе хранения.

С увеличением дозы облучения в наибольшей степени возрастал вклад низкомолекулярных азотсодержащих соединений (показания сенсора M2) и кетонов (M4) в запах фарша. В процессе хранения образцов фарша эта тенденция сохранялась – для всех образцов и на всех сроках хранения сенсоры M2 и M4 регистрировали более высокое относительное содержание этих групп летучих веществ.

Результаты статистической обработки сигналов сенсоров и расчёта площади мультисенсорного профиля запаха образцов, позволяющей количественно оценивать его интенсивность, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Площадь мультисенсорного профиля запаха образцов фарша, подвергнутых различным дозам облучения, в процессе хранения

Продолжительность хранения, сут	Площадь мультисенсорного профиля запаха образцов, $S \cdot 10^6$ у.е.				
	0 кГр (контроль)	0,5 кГр	1,5 кГр	3,0 кГр	6,0 кГр
0	16,1±3,1	26,2±4,8	44,6±5,7	49,5±8,9	114,4±18,8
5	16,3±3,3	26,8±4,7	48,3±6,1	63,0±10,6	130,7±19,0
12	16,9±3,3	33,2±5,6	50,0±6,9	66,3±11,0	140,9±20,3
20	250,3±21,2	35,7±5,9	52,9±7,3	74,5±11,4	165,8±24,6

Интенсивность запаха образцов увеличивалась за счёт возрастания откликов четырёх сенсоров как в результате повышения дозы облучения, так и с увеличением периода хранения, что свидетельствовало о накоплении продуктов распада и окисления белков и жиров [28] (табл. 2). Сразу после радиационной обработки максимальная площадь мультисенсорного профиля запаха соответствовала дозе 6,0 кГр. В процессе хранения интенсивность запаха всех образцов увеличивалась. В контрольном образце было отмечено резкое возрастание количества летучих соединений (особенно кетонов), формирующих запах, к 20 суткам хранения, что объяснялось развитием глубокой порчи фарша, не подвергнутого обработке излучением.

Для опытных образцов не наблюдалось резкого увеличения площади мультисенсорного профиля. В образцах, обработанных дозами облучения 0,5; 1,5; 3,0 и 6,0 кГр, к концу хранения этот показатель вырос соответственно на 36, 18, 50 и 45%. Таким образом, с позиций сохранения потребительских свойств продукта, доза облучения, равная 1,5 кГр, была оптимальной.

Заключение

В результате проведённых исследований показано, что при облучении мяса в дозе 0,5 кГр продукты радиолиза не выявляются, а срок годности может быть увеличен в 1,5 раза с учётом коэффициента резерва без изменения физико-химических и органолептических показателей. При дозах свыше 0,5 кГр установлено присутствие продуктов радиолиза и изменение органолептических показателей, при этом микробиологические показатели соответствовали норме в течение 20 суток хранения.

Таким образом, дальнейшее повышение сроков годности измельчённого мяса за счёт радиационной обработки требует использования доз облучения от 1,5 кГр и выше. В свою очередь, это вызывает необходимость поиска возможности торможения процессов, приводящих к образованию продуктов радиолиза, главным образом, додецилалкилбутанона, а также путей введения в мясную продукцию антиокислителей либо за счёт рациона кормления убойных животных, либо непосредственно в фарш перед радиационной обработкой.

Литература

1. WHO estimates of the global burden of foodborne diseases. Foodborne disease burden epidemiology reference group 2007-2015. WHO/FOS/15.02. World Health Organization, 2015. 255 p. [Электронный ресурс]. URL: http://www.who.int/foodsafety/areas_work/foodborne-diseases/ferg/en/ (дата обращения 15.01.2019).
2. O'Bryan C.A., Crandall P.G., Ricke S.C., Olson D.G. Impact of irradiation on the safety and quality of poultry and meat products: a review //Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2008. V. 48, N 5. P. 442-457.
3. Бараненко Д.А., Забелина Н.А. Подавление жизнедеятельности микрофлоры порчи мяса и мясopодуктов с помощью барьерной технологии //Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2011. № 1. С. 232-237.
4. Козьмин Г.В., Кобялко В.О., Лыков И.Н., Саруханов В.Я., Зякун А.М., Павлов А.Н., Николаева Т.С., Фролова Н.А., Логинов А.А. Радиационные агробиотехнологии: исследование микробиологической безопасности и качества облучённой продукции //Труды регионального конкурса проектов фундаментальных научных исследований. Калуга: Калужский государственный институт развития образования, 2015. Вып. 20. С. 216-225.
5. Семёнова А.А., Насонова В.В., Веретов Л.А., Милеенкова Е.В. Способы увеличения сроков годности мясной продукции //Всё о мясе. 2016. № 5. С. 32-37.
6. Полякова И.В., Кобялко В.О., Саруханов В.Я., Козьмин Г.В., Фролова Н.А., Лыков И.Н., Воронин Л.А. Исследование эффективности холодной стерилизации рыбных пресервов электронным излучением в зависимости от дозиметрических параметров облучения //Радиация и риск. 2017. Т. 26, № 2. С. 97-106.
7. Полякова И.В., Кобялко В.О., Саруханов В.Я., Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Лыков И.Н. Использование излучения для холодной стерилизации многокомпонентных продуктов, готовых к употреблению //Радиация и риск. 2015. Т. 24, № 4. С. 43-52.
8. Орехова С.М., Нечипоренко А.П. Радуризация мышечной ткани свинины //Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 1. С. 273-283.
9. Шатров Г.Н., Багрянцева О.В. О регламентации применения радиационной обработки пищевых продуктов в международном законодательстве //Вопросы питания. 2012. № 1. С. 49-56.
10. Kume T., Furuta M., Todoriki S., Uenoyama N., Kobayashi Y. Status of food irradiation in the world //Radiat. Phys. Chem. 2009. V. 78, N 3. P. 222-226.
11. Recommended international code of practice for radiation processing of food. CAC/RCP 19-1979. Rev. 2-2003. Rome, 2003. 7 p.
12. Гельфанд С.Ю., Петров А.Н., Филиппович В.П., Прокопенко А.В., Завьялов М.А. Современные аспекты радиационной обработки пищевых продуктов //Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. № 2. С. 25-31.
13. Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Кибина И.И., Павлов А.Н. Перспективы развития рынка радиационных технологий в сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности //Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2015. № 8. С. 30-34.
14. Чиж Т.В., Козьмин Г.В., Полякова Л.П., Мельникова Т.В. Радиационная обработка как технологический приём в целях повышения уровня продовольственной безопасности //Вестник Российской академии естественных наук. 2011. № 4. С. 44-49.
15. Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Кибина И.И., Павлов А.Н., Тихонов В.Н. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности //Достижения науки и техники АПК. 2015. № 5. С. 87-92.

16. **Дроздова Н.А., Дыдыкин А.С., Горбунова Н.А., Семенова А.А.** Применение ионизирующего и неионизирующего излучения в пищевой промышленности //Всё о мясе. 2017. № 1. С. 16-20.
17. ГОСТ Р 55365-2012. Фарш мясной. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 27 с.
18. ГОСТ 34131-2017. Мясо и мясные продукты. Метод обнаружения облучённых продуктов газовой хроматографией. М.: Стандартинформ, 2017. 8 с.
19. ГОСТ Р 54346-2011. Мясо и мясные продукты. Метод определения перекисного числа. М.: Стандартинформ, 2012. 8 с.
20. ГОСТ 10444.15-94. Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. М.: Стандартинформ, 2010. 5 с.
21. ГОСТ 9959-2015. Продукты мясные. Общие условия проведения органолептической оценки. М.: Стандартинформ, 2016. 20 с.
22. **Попов Д.Ю., Овсеенко С.Т., Вострикова Т.Ю.** Применение метода MALDI TOF MS в современной микробиологической лаборатории //Поликлиника. 2016. № 1-3. С. 53-56.
23. **Чернуха И.М., Кузнецова Т.Г., Анисимова И.Г., Богданова А.В.** Сенсорные аналитические системы «электронный нос» для совершенствования контроля качества мясного сырья //Пищевая промышленность. 2011. № 4. С. 34-36.
24. **Кудряшов Ю.Б.** Радиационная биофизика (ионизирующие излучения). М: Физматлит, 2004. 448 с.
25. **Кирпина А.М., Утегенова А.М., Ильдербаева Г.О., Рымбаева А.А., Ильдербаев О.З.** Влияние радиации на перекисное окисление липидов //Успехи современного естествознания. 2011. № 8. С. 107.
26. ГОСТ 31747-2012. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). М.: Стандартинформ, 2013. 16 с.
27. **Урбейн У.М.** Радиационная химия белков //Радиационная химия основных компонентов пищевых продуктов. М: Лёгкая и пищевая промышленность, 1983. С. 72-134.
28. **Нейвар У.У.** Радиационная химия липидов //Сб. обзорных статей: пер. с англ. /под ред. П.С. Элиаса и А.Дж. Кохена. М: Лёгкая и пищевая промышленность, 1983. С. 30-72.

Effect of γ -radiation dose on quality and microbiological safety of meat during postradiation storage

Semenova A.A.¹, Aslanova M.A.¹, Dydykin A.S.¹, Derevitskaya O.K.¹, Bataeva D.S.¹, Kobyalko V.O.²

¹ V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow;

² Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk

One of the ways to prolong shelf life of chilled meat is to use radiation technology for reducing the total number of the vegetative forms of spoilage microorganisms. γ -radiation not only kills microorganisms in meat products, but also induces formation of radiolysis and lipid peroxidation products in biological material, which affect its quality and duration of the shelf life. The purpose of the work was to select the optimal irradiation parameters, which allowed minimizing formation of radiolysis and lipid peroxidation by-products in the meat, as well as slowing the microbial growth during the storage. The study subject was minced meat, the most problematic meat product, because it consisted undesirable microflora both on the surface and throughout the product due to the specifics in mince meat technology. Samples were packaged in polymer film in modified atmosphere of the gases mixture of O₂/CO₂ (3:1). For irradiation of the packed minced meat samples the unit GU-200M (NIITFA, Moscow) was used. The dose rate – 1 Gy/s. The integral absorbed doses to the product were 0.5, 1.5, 3.0 and 6.0 kGy. The condition of irradiated samples was tested in 0, 5, 12 and 20 days after exposure to the lowest radiation dose of 0.5 kGy. No radiolysis species were found, physico-chemical properties and sensory attributes of irradiated samples were unchanged. It was possible to conclude that the shelf life of the irradiated minced meat samples could be 1.5 times longer with consideration for the reserve ratio. After exposure to higher radiation doses, 1.5, 3.0 and 6.0 kGy, the presence of radiolytic products and changes in the sensory attributes were registered; with that, microbiological safety of the irradiated samples was within the norm and remained unchanged during 20-day storage following the exposure to radiation. Results of the study allowed us to make the following conclusion: it was possible to extend the shelf life of the product by using radiation doses below 1.5 kGy. In order to preserve the irradiated meat product antioxidants should be added.

Key words: γ -irradiation, radiation processing, minced meat, absorbed dose, products of radiolysis, shelf life, microbiological indicators, multisensory odor profile, organoleptic indicators, oxidative spoilage products.

References

1. WHO estimates of the global burden of foodborne diseases. Foodborne disease burden epidemiology reference group 2007-2015. WHO/FOS/15.02. World Health Organization, 2015. 255 p. Available at: http://www.who.int/foodsafety/areas_work/foodborne-diseases/ferg/en/ (Accessed 15.01.2019).
2. O'Bryan C.A., Crandall P.G., Ricke S.C., Olson D.G. Impact of irradiation on the safety and quality of poultry and meat products: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2008, vol. 48, no. 5, pp. 442-457.
3. Baranenko D.A., Zabelina N.A. Suppression of vital activity of microflora of meat and meat products spoilage with the help of barrier technology. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Processy i apparaty pishchevyykh proizvodstv» – Scientific Journal NRU ITMO. Series "Processes and Food Production Equipment"*, 2011, no. 1, pp. 232-237. (In Russian).
4. Kozmin G.V., Kobyalko V.A., Lykov I.N., Saruhanov V.Ya., Zyakun A.M., Pavlov A.N., Nikolaeva T.S., Frolova N.A., Loginov A.A. Radiation agrobiotechnology: a study of the microbiological safety and quality of irradiated products. *Trudy regional'nogo konkursa proektov fundamental'nykh nauchnykh issledovaniy – Proceedings of the regional contest of projects of fundamental scientific research*. Kaluga, Kaluga State Institute of Education Development, 2015, Issue 20, pp. 216-225. (In Russian).

Semenova A.A. – Deputy Director, D. Sc., Tech. Prof.; Aslanova M.A.* – Lead. Researcher, C. Sc., Tech.; Dydykin A.S. – Head of Dep., Assoc. Prof., C. Sc., Tech.; Derevitskaya O.K. – Lead. Researcher, C. Sc., Tech.; Bataeva D.S. – Lead. Researcher, C. Sc., Tech. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems. Kobyalko V.O. – Head of Lab., C. Sc., Biol. RIRAE.

*Contacts: 26 Talalikhin str., Moscow, Russia, 109316. Tel.: (495) 676-61-61; e-mail: m.aslanova@fncps.ru.

5. **Semenova A.A., Nasonova V.V., Veretov L.A., Mileenkova E.V.** Ways to increase shelf life of meat products. *Vse o myase – All about Meat*, 2016, no. 5, pp. 32-37. (In Russian).
6. **Polyakova I.V., Kobyalko V.O., Sarukhanov V.Ya., Kozmin G.V., Frolova N.A., Lykov I.N., Voronin L.A.** Research of efficiency of cold sterilization of fish preserves by electronic radiation depending on dosimetric parameters of irradiation. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 97-106. (In Russian).
7. **Polyakova I.V., Kobyalko V.O., Sarukhanov V.Ya., Kozmin G.V., Sanzharova N.I., Lykov I.N.** Use radiation for cold sterilization of multicomponent products ready for use. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2015, vol. 24, no. 4, pp. 43-52. (In Russian).
8. **Orekhova S.M., Nechiporenko A.P.** Reguritate muscle pork. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv» – Scientific Journal NRU ITMO. Series "Processes and Food Production Equipment"*, 2014, no. 1, pp. 273-283. (In Russian).
9. **Shatrov G.N., Bagryantseva O.V.** On the regulation of the use of radiation processing of food in international law. *Voprosy pitaniya – Problems of Nutrition*, 2012, no. 1, pp. 49-56. (In Russian).
10. **Kume T., Furuta M., Todoriki S., Uenoyama N., Kobayashi Y.** Status of food irradiation in the world. *Radiat. Phys. Chem.*, 2009, vol. 73, no. 3, pp. 222-226.
11. Recommended international code of practice for radiation processing of food. CAC/RCP 19-1979, Rev. 2-2003. Rome, 2003. 7 p.
12. **Gelfand S.Yu., Petrov A.N., Filippovich V.P., Prokopenko A.V., Zavyalov M.A.** Modern aspects of radiation processing of food products. *Khranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya – Storage and Processing of Farm Products*, 2013, no. 2, pp. 25-31. (In Russian).
13. **Kozmin G.V., Sanzharova N.I., Kibina I.I., Pavlov A.N.** Prospects of development of the market of radiation technologies in agriculture of the processing industry. *Ekonomika sel'skokhozyajstvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatij – Economy of Agricultural and Processing Enterprises*, 2015, no. 8, pp. 30-34. (In Russian).
14. **Chizh T.V., Kozmin G.V., Polyakova L.P., Melnikova T.V.** Radiation treatment as a technological method in order to increase the level of food safety. *Vestnik Rossijskoj Akademii Estestvennykh Nauk – Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*, 2011, no. 4, pp. 44-49. (In Russian).
15. **Kozmin G.V., Sanzharova N.I., Kibina I.I., Pavlov A.N., Tikhonov V.N.** Radiation technologies in agriculture and food industry. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK – Achievements of Science and Technology of AIC*, 2015, no. 5, pp. 87-92. (In Russian).
16. **Drozdova N.A., Dydykin A.S., Gorbunova N.A., Semenova A.A.** The use of ionizing and non-ionizing radiation in the food industry. *Vse o myase – All about Meat*, 2017, no. 1, pp. 16-20. (In Russian).
17. GOST R 55365-2012. Minced meat. Specifications. Moscow, Standartinform, 2014. 27 p. (In Russian).
18. GOST 34131-2017. Meat and meat products. Method of detection of irradiated foods by gas chromatography. Moscow, Standartinform, 2017. 8 p. (In Russian).
19. GOST R 54346-2011. Meat and meat products. Method for determination of peroxide number. Moscow, Standartinform, 2012. 8 p. (In Russian).
20. GOST 10444.15-94. Food products. Methods for determination of quantity of mesophilic aerobes and facultative anaerobes. Moscow, Standartinform, 2010. 5 p. (In Russian).
21. GOST 9959-91. Meat products. General conditions of organoleptical assessment. Moscow, Standartinform, 2016. 20 p. (In Russian).

22. **Popov D.Yu., Ovseenko S.T., Vostrikova T.Yu.** Using MALDI TOF MS in the modern microbiological laboratory. *Poliklinika – Polyclinic*, 2016, no. 1-3, pp. 53-56. (In Russian).
23. **Chernukha I.M., Kuznetsova T.G., Anisimova I.G., Bogdanova A.V.** Sensory analytical systems “electronic nose” to improve control of meat raw material quality. *Pishchevaya promyshlennost – Food Industry*, 2011, no. 4, pp. 34-36. (In Russian).
24. **Kudryashov Yu.B.** Radiation biophysics (ionizing radiation). Moscow, Fizmatlit, 2004. 448 p. (In Russian).
25. **Kirpina A.M., Utegenova A.M., Ilderbayeva G.O., Rymbaeva A.A., Ilderbayev O.Z.** The effect of radiation on lipid peroxidation. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya – Advances in Current Natural Sciences*, 2011, no. 8, pp. 107. (In Russian).
26. GOST 31747-2012. Foods. Methods of detection and determination of the number of coliform bacteria. Moscow, Standartinform, 2013. 16 p. (In Russian).
27. **Urban W.M.** Radiation chemistry of proteins. *Radiatsionnaya khimiya osnovnykh komponentov pishchevykh produktov – Radiation chemistry of the main components of food products*. Moscow, Light and food industry, 1983, pp. 72-134. (In Russian).
28. **Nawar W.W.** Radiation chemistry of lipids. *Sbornik obzornykh statej – Articles*. Eds.: P.S. Elias and A.J. Cohen. Moscow, Light and food industry, 1983, pp. 30-72. (In Russian).