УДК 664.95.001.5

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОХЛАЖДЕННОЙ РЫБЫ

Ionizing Dose Quantity Determination While Cooled Fish Processing

Тихонов С.Л., Тихонова Н.В., Романова А.С.

Tikhonov S.L., Tikhonova N.V., Romanova A.S.

Ключевые слова:

*охлажденная рыба;
обработка
ионизирующим
излучением;
сохраняемость*

Keywords:

*Cooled fish;
ionizing dose
processing;
preservation
ability*

Реферат

Целью проведенных исследований является изучение возможности количественного определения дозы облучения охлажденной рыбы.

Образцы костной ткани (ОКТ) форели охлажденной обрабатывали ионизирующим излучением дозами 3; 9 и 10 кГр. Исследования проводились с помощью портативного автоматизированного спектрометра ЭПР серии Labrador Expert X, разработанного ООО «Спектр» при содействии Института естественных наук УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Разработанная методика определения дозы облучения костной ткани путем расчета амплитуды, ширины и площади пика ЭПР-спектра позволяет с высокой степенью достоверности ($P \leq 0,05$) рассчитать дозу облучения (допустимое изменение амплитуды, ширины и площади сигнала на уровне $\pm 4\%$ при $D > 1$) для форели радужной: при облучении дозой 3 кГр амплитуда составляет $3,28 \cdot 10^{-5}$, ширина – 10,81 Гс, площадь пика – $1,367 \cdot 10^{-4}$; при облучении дозой 9 кГр амплитуда – $4,29 \cdot 10^{-5}$, ширина – 8,6 Гс, площадь пика – $1,380 \pm 0,00083 \cdot 10^{-4}$; при облучении дозой 10 кГр амплитуда – $3,88 \cdot 10^{-5}$, ширина – 11,78 Гс, площадь пика – $1,558 \cdot 10^{-4}$.

Abstract

The research objective is to study the radiation dose quantification possibility of a cooled fish.

The researchers processed the bone tissue samples (BTS) of the cooled trout with ionizing radiation doses of 3, 9 and 10 kGy. They conducted studies using portable automated ESR spectrometer of the Labrador Expert X type, developed by LLC "Spektr" with the assistance of the Natural Sciences Institute of the Ural Federal University named after the first President of the Russian Federation B.N. Yeltsin. The developed determination technique of the radiation dose in bone tissue by calculating the amplitude, width and ESR spectrum peak area allows to calculate the radiation dose (permissible variation of the amplitude, width and signal area at the level of $\pm 4\%$ and $D > 1$) for rainbow trout to a high degree of accuracy ($P \leq 0.05$): while irradiating with the 3 kGy dose, the amplitude is $3.28 \cdot 10^{-5}$, the width is 10,81 G, the peak area is $1,367 \cdot 10^{-4}$; while irradiating with the 9 kGy dose, the amplitude is $4.29 \cdot 10^{-5}$, the width is 8,6 G, the peak area is $1,380 \pm 0,00083 \cdot 10^{-4}$; while irradiating with the 10 kGy dose, the amplitude is $3.88 \cdot 10^{-5}$, the width is 11,78 G, the peak area is $1,558 \cdot 10^{-4}$.

Введение

В настоящее время на российском потребительском рынке доля такой продукции, как охлажденная, замороженная рыба и рыбная продукция зарубежного происхождения, составляет 33–35 %, при этом максимальное количество произведенной и выловленной в РФ товарной рыбы достигает лишь 15 % ее возможного потенциала [7, с. 72]. Причины кроются в отсутствии необходимого числа рыбозаводов по переработке рыбы в прибрежных районах, их удаленности от центральных регионов России и в ограниченности использования современных технологий хранения охлажденной рыбы. Такая стратегия приводит к реэкспорту. Максимальный объем производства товарной рыбы в РФ приходится на форель (22,5 % общего показателя производства рыбы). Однако в розничной торговле охлажденная форель представлена в основном как продукция зарубежных поставщиков, хотя срок годности охлажденной рыбы согласно ГОСТ 814-96 «Рыба охлажденная. Технические условия» не должен превышать 10–12 суток при соблюдении температуры хранения от –2 до 0 °С. С учетом вышеизложенного можно предположить, что охлажденная рыба зарубежного производства бывает обработана различными физическими и химическими факторами, позволяющими значительно увеличить срок ее годности. Поэтому разработка и применение новых способов охлаждения и хранения рыбы на территории Российской Федерации является одним из приоритетных направлений развития отечественной рыбной индустрии.

Авторы работ [1; 5; 6] для охлаждения и увеличения срока годности рыбы рекомендуют использовать различные хладагенты (например, жидкий азот, углекислый газ) и комбинировать охлаждающие среды.

При хранении охлажденной рыбы в упаковке существенное внимание следует уделять модифицированной газовой среде, в которой углекислый газ частично замещает кислород и азот. В ходе исследований [1–2; 9–11; 14] установлено, что при упаковке охлажденной рыбы в мелкую герметичную потребительскую тару с модифицированной газовой средой с одной частью углекислого газа и тремя частями азота срок хранения при соблюдении условий и режима хранения возрастает в 2 раза. Модификация газовой среды с использованием углекислого газа приводит к нежелательным изменениям органолептических показателей, в частности рыба приобретает кислый вкус и запах, так как углекислый газ накапливается в мышечной ткани рыбы и образует угольную кислоту. Также нельзя допускать, чтобы при создании модифи-

цированной газовой среды, используемой при хранении рыбы, в ней полностью отсутствовал кислород, так как это приводит к развитию и размножению анаэробных микроорганизмов, в частности *Clostridium botulinum*.

Для увеличения срока хранения рыбы все более широкое применение находят технологии криогенного охлаждения [5], имеющие следующие преимущества: ослабление денатурации белков; предупреждение процессов окисления жиров; снижение активности ферментов [1]. Необходимо, однако, отметить, что ни одна существующая технология хранения охлажденной рыбы не является совершенной.

Особого внимания заслуживает обработка пищевой продукции ионизирующим излучением с целью повышения ее сохраняемости [3–4; 8; 10; 12–13].

В соответствии с решением Президиума Совета при Президенте России по модернизации экономики и инновационному развитию от 11 декабря 2014 г. в нашей стране разрешено применять радиационную обработку пищевых продуктов и сельскохозяйственного сырья:

- в целях фитосанитарной обработки;
- для уничтожения или снижения количества патогенных микроорганизмов и паразитов, а также вегетативных микроорганизмов, вызывающих порчу;
- для удлинения сроков годности.

В последние годы активно формируется национальная нормативная база, разрабатываемая с учетом основных действующих нормативных положений идентичных международных стандартов, регламентирующих технологию облучения, допустимые дозы облучения и методику дозиметрии. Использование радиационных технологий для обработки отечественной охлажденной рыбы определяется ее конкурентоспособностью, экономической целесообразностью и, соответственно, возможностью полного импортозамещения рыбной продукции в условиях экономического эмбарго, что даст новый импульс развитию отечественной рыбной отрасли.

Распространение радиационных технологий обработки пищевых продуктов требует установления жестких требований к процедуре облучения. Согласно Кодексу Алиментариус облучение пищевых продуктов должно быть выполнено: безопасно и правильно, с соблюдением всех необходимых стандартов, гигиенических норм и правил, с оформлением сопроводительной документации; наконец, оно должно соответствовать допустимым нормам облучения, а обработанные пищевые продукты должны иметь правильную маркировку.

Облучение пищевых продуктов признается обоснованным, только если оно удовлетворяет технологическим требованиям и (или) направлено на защиту здоровья потребителя. Кодекс Алиментариус устанавливает максимальную дозу поглощенного излучения не более 10 кГр, кроме тех случаев, когда это необходимо для получения приемлемого результата технологического процесса.

Следует отметить, что в результате воздействия ионизирующего излучения на пищевую продукцию возникает ионизация, происходит цепная реакция возбуждения молекулы, и появляются свободные радикалы. Это не позволяет считать радиационную технологию обработки пищевых продуктов полностью безопасной и безвредной. По рекомендации ВОЗ, все производители, прибегающие к данной процедуре, обязаны ставить в известность о ней потребителя с помощью размещаемой надписи «Обработано радиацией» и указывать на упаковке специальный знак – «радуру» (рис. 1).

Рис. 1. Стандартный знак облученных продуктов

Однако перечисленные выше требования не всегда выполняются, и на протяжении всей пищевой цепочки присутствуют пищевые продукты и сельскохозяйственное сырье без идентификации факта облучения. Так, на отечественном потребительском рынке имеется охлажденная рыба зарубежных производителей, обработанная ионизирующим излучением без соответствующей информации на упаковке. В связи с вышеизложенным разработка количественной методики определения дозы облучения является весьма актуальной.

Цель исследования – количественное определение доз ионизирующего излучения при обработке охлажденной рыбы.

Условия, материалы и методы исследования

Для разработки методики образцы костной ткани (ОКТ) форели охлажденной подвергали радиационной обработке дозами 3; 9 и 10 кГр.

Исследования проводили с помощью портативного автоматизированного спектрометра ЭПР серии Labrador Expert X, разработанного на предприятии ООО «Спектр» при содействии Института естественных наук УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Технические характеристики спектрометра ЭПР представлены ниже.

Определение поглощенной дозы после облучения проводили путем измерения оптической плотности облученной полимерной пленки на спектрофотометре при длине волны 512 нм относительно опорного образца ГСО.

Результаты и их обсуждение

Предварительно проведены исследования ЭПР-спектра костной ткани необлученной форели отечественного производства (рис. 2).

При измерении ЭПР-спектра форели охлажденной отечественного производства в диапазоне магнитного поля от 3 250 до 3 300 Гс (время преобразования сигнала – 168 мс; количество накоплений – 3) отсутствуют какие-либо сигналы. Это наглядно демонстрирует спектр костной ткани форели импортного производства (рис. 3).

Костная ткань форели импортного производства имеет спектр с ярко выраженными пиками в магнитном поле от 3 274 до 3 282 Гс и амплитудой $6,36 \times 10^{-5}$, свидетельствующий о наличии облучения (g -фактор = 2,0052) (рис. 4).

Кожа форели импортного производства имеет плавный спектр в магнитном поле от 3 275 до 3 281 Гс с амплитудой $6,86 \times 10^{-5}$, свидетельствующий об облучении исследуемого образца (g -фактор = 2,0046).

В результате проведенных исследований установлено, что форель охлажденная импортного производства обработана ионизирующим излучением, что подтверждено установлением

Общие технические характеристики спектрометра ЭПР:

Чувствительность, спин/0,1 мТл, не более	5×1010
Частота сигнального канала СВЧ, ГГц	9,2
Максимальная мощность СВЧ, мВт	50
Индукция постоянного магнитного поля, Тл	0,328
Частота модуляции магнитного поля, Гц	2–12200
Амплитуда модуляции магнитного поля, мТл	4,8–0,001
Абсолютная погрешность магнитного поля, мТл, не более	0,05
Габариты (Д × Ш × В), не более, мм	330×320×240

Рис. 2. ЭПР-спектр ОКТ необлученной форели радужной охлажденной отечественного производства

Рис. 3. ЭПР-спектр ОКТ форели радужной импортного производства

Рис. 4. ЭПР-спектр кожи форели радужной импортного производства

Рис. 5. ЭПР-спектр ОКТ форели радужной охлажденной, облученной дозой 3 кГр (g -фактор = $2,0047 \pm 0,0001$)

Рис. 6. ЭПР-спектр ОКТ форели радужной охлажденной, облученной дозой 9 кГр (g -фактор = $2,0032 \pm 0,0001$)

Рис. 7. ЭПР-спектр ОКТ форели радужной охлажденной, облученной дозой 10 кГр (g -фактор $2,0047 \pm 0,0001$)

с помощью спектрометра ЭПР сигнала в костной ткани и коже рыбы. Для определения доз облучения необходимо провести дальнейшие исследования в этой области.

ЭПР-спектр ОКТ форели радужной охлажденной, облученной дозой 3 кГр (g -фактор = $2,0047 \pm 0,0001$), представлен на рис. 5.

После облучения образцов рыбы дозой 3 кГр в диапазоне поля 3 260–3 290 Гс амплитуда пика составила $3,28 \pm 0,01 \text{e-}5$, ширина сигнала – $10,81 \pm 0,02 \text{ Гс}$ и площадь пика – $1,367 \pm 0,004 \text{e-}4$ ($P \leq 0,05$).

ЭПР-спектр ОКТ форели радужной охлажденной, облученной дозой 9 кГр (g -фактор = $2,0032 \pm 0,0001$), представлен на рис. 6.

Облучение форели дозой 9 кГр (см. рис. 6) приводит к изменению параметров ЭПР-спектра, а именно отмечены повышение амплитуды пика на 30 % (до $4,29 \pm 0,01 \text{e-}5$), уменьшение ширины на 20 % (до $8,65 \pm 0,01 \text{ Гс}$) и увеличение площади пика на 2,3 % до $1,380 \pm 0,00083 \text{e-}4$ ($P \leq 0,05$) по сравнению со спектром образцов костной ткани рыбы, облученных дозой 3 кГр.

ЭПР-спектр ОКТ форели радужной охлажденной, облученной дозой 10 кГр (g -фактор = $2,0047 \pm 0,0001$), представлен на рис. 7.

После облучения форели дозой 10 кГр отмечены снижение амплитуды пика ЭПР-спектра ОКТ на 9,6 % до $3,88 \pm 0,01 \text{e-}5$, увеличение ширины сигнала на 36,2 % до $11,78 \pm 0,01 \text{ Гс}$ и площади пика на 12,9 % до $1,558 \pm 0,00844 \text{e-}4$ ($P \leq 0,05$).

Поглощенная доза с повышением дозы облучения имеет тенденцию к увеличению, что подтверждается площадью под линией сигнала ЭПР-спектра.

Выводы

Полученные в ходе эксперимента данные свидетельствуют о том, что импортная охлажденная рыба, поставляемая на российский потребительский рынок, обработана ионизирующим излучением; при этом информация, что пищевая продукция облучена ионизирующим излучением, до потребителя не доводится.

Разработанная методика определения дозы облучения костной ткани путем расчета амплитуды, ширины и площади пика ЭПР-спектра позволяет с высокой достоверностью ($P \leq 0,05$) определять дозу облучения (допустимое изменение амплитуды, ширины и площади сигнала на уровне $\pm 4 \%$ при $D > 1$) для форели радужной:

1) при облучении дозой 3 кГр:

амплитуда составляет $3,28 \text{e-}5$, ширина – $10,81 \text{ Гс}$, площадь пика – $1,367 \text{e-}4$;

2) при облучении дозой 9 кГр:

амплитуда – $4,29 \text{e-}5$, ширина – $8,6 \text{ Гс}$, площадь пика – $1,380 \pm 0,00083 \text{e-}4$;

3) при облучении дозой 10 кГр:
амплитуда – 3,88 е-5, ширина – 11,78 Гс, площадь пика – 1,558 е-4.

Таким образом, полученные в ходе исследования результаты имеют важное значение для

формирования отечественной нормативной базы в рамках актуализации требований европейских и международных стандартов по безопасности и обеспечению качества продуктов питания, в частности рыбы.

Библиографический список

1. Андреев М.П. Повышение качества рыбной продукции – главный фактор стабилизации производства // Рыбная промышленность. 2003. Т. 4. С. 30.
2. Дубровская Т.А. Применение упаковки с модифицированной атмосферой для рыбных продуктов // Новости отечественной и зарубежной рыбообработки. Сер.: Обработка рыбы и морепродуктов. М., 2000. Вып. IV (I). С. 1–10.
3. Радиационная технология в сельском хозяйстве и пищевой промышленности / под общ. ред. Г.В. Козьмина, С.А. Гераськина, Н.И. Санжаровой. Обнинск: ВНИИРАЭ, 2015. 400 с.
4. Рождественская Л.Н., Брызгин А.А., Коробейников М.В. Предпосылки и основания использования ионизирующего излучения для обработки пищевой продукции // Пищевая промышленность. 2016. № 11. С. 39–45.
5. Харенко Е.Н., Артемов Р.В. Оборудование и технологии охлаждения и замораживания рыбы. Основные проблемы холодильной обработки рыбного сырья // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. 2010. № 4. С. 5–9.
6. Харенко Е.Н., Артемов Р.В. Современные направления использования холода в технологии охлаждения рыбы // Владивосток: Изд-во «Дальрыбвтуз», 2008. С. 433–436.
7. Чеснокова Е.С. Россия на мировом рынке рыбы и морепродуктов // Международная торговля и торговая политика. 2016. № 3. С. 72–81.
8. Diehl J. F. Radiolytic effect in foods // Josephson E.S., Peterson M.S. (eds.) Preservation of foods radiation. Vol. 1. Boca Ration. FL: CRC Press, 1982. P. 279–357.
9. Kameník J. Vacuum skin packaging and its effect on selected properties of beef and pork meat / J. Kameník, A.Saláková, Z. Pavlík, G. Bořilová, R. Hulanková, I. Steinhäuserová // European Food Research and Technology. 2014. Vol. 239, Issue 3. P. 395–402.
10. Lagerstedt A. Vacuum skin pack of beef – a consumer friendly alternative / A. Lagerstedt, M.L. Ahnström, K. Lundström // Meat Science. 2011. Vol. 88. P. 391–396.
11. Molins R.A. Food irradiation: principles and applications. New York: Wiley, 2001. 488 p. ISBN: 978-0-471-35634-9.
12. Sommers C.H. Food irradiation research and technology / C. Sommers, X.Fan (ed.). New York: Wiley-Blackwell, 2008. 336 p.
13. Stefanova R. Irradiation of Food, Current Legislation Framework, and Detection of Irradiated Foods / R. Stefanova, N. Vasilev, S. Spassov // Food Analytical Methods. 2010. Vol. 3, Issue 3. P. 225–252.
14. Zakrys P.I. Effects of oxygen concentration on sensory evaluation and quality indicators of beef muscle packed under modified atmosphere / P.I. Zakrys, S.A. Hocan // Meat Science. 2008. Vol. 79. P. 648–655.

Bibliography

1. Andreev M.P. Povyshenie kachestva rybnoy produkcii – glavnyj faktor stabilizacii proizvodstva // Rybnaja promyshlennost'. 2003. T. 4. S. 30.
2. Dubrovskaja T.A. Primenenie upakovki s modifitsirovannoj atmosferoj dlja rybnih produktov // Novosti otechestvennoj i zarubezhnoj ryboobrabotki. Ser.: Obrabotka ryby i moreproduktov. M., 2000. Vyp. IV (I). S. 1–10.
3. Radiacionnaja tehnologija v sel'skom hozjajstve i pishhevoj promyshlennosti / pod obshh. red. G.V. Koz'mina, S.A. Geras'kina, N.I. Sanzharovoj. Obninsk: VNIIRAJe, 2015. 400 s.
4. Rozhdestvenskaja L.N., Brjazgin A.A., Korobejnikov M.V. Predposylki i osnovanija ispol'zovanija ionizirujushhego izlucheniya dlja obrabotki pishhevoj produkcii // Pishhevaja promyshlennost'. 2016. № 11. S. 39–45.
5. Harenko E.N., Artemov R.V. Oborudovanie i tehnologii ohlazhdenija i zamorazhivaniya ryby. Osnovnye problemy holodil'noj obrabotki rybnogo syr'ja // Rybprom: tehnologii i oborudovanie dlja pere-rabotki vodnyh bioresursov. 2010. № 4. S. 5–9.
6. Harenko E.N., Artemov R.V. Sovremennye napravlenija ispol'zovanija holoda v tehnologii ohlazhdenija ryby // Vladivostok: Izd-vo «Dal'rybvтуз», 2008. S. 433–436.
7. Chesnokova E.S. Rossiya na mirovom rynke ryby i moreproduktov // Mezhdunarodnaja trgovlja i trgovaja politika. 2016. № 3. S. 72–81.
8. Diehl J. F. Radiolytic effect in foods // Josephson E.S., Peterson M.S. (eds.) Preservation of foods radiation. Vol. 1. Boca Ration. FL: CRC Press, 1982. P. 279–357.
9. Kameník J. Vacuum skin packaging and its effect on selected properties of beef and pork meat / J. Kameník, A.Saláková, Z. Pavlík, G. Bořilová, R. Hulanková, I. Steinhäuserová // European Food Research and Technology. 2014. Vol. 239, Issue 3. P. 395–402.
10. Lagerstedt A. Vacuum skin pack of beef – a consumer friendly alternative / A. Lagerstedt, M.L. Ahnström, K. Lundström // Meat Science. 2011. Vol. 88. P. 391–396.
11. Molins R.A. Food irradiation: principles and applications / New York: Wiley, 2001. 488 p. ISBN: 978-0-471-35634-9.
12. Sommers C.H. Food irradiation research and technology / C. Sommers, X.Fan (ed.). New York: Wiley-Blackwell, 2008. 336 p.
13. Stefanova R. Irradiation of Food, Current Legislation Framework, and Detection of Irradiated Foods / R. Stefanova, N. Vasilev, S. Spassov // Food Analytical Methods. 2010. Vol. 3, Issue 3. P. 225–252.
14. Zakrys P.I. Effects of oxygen concentration on sensory evaluation and quality indicators of beef muscle packed under modified atmosphere / P.I. Zakrys, S.A. Hocan // Meat Science. 2008. Vol. 79. P. 648–655.

**Тихонов
Сергей Леонидович**
Tikhonov
Sergei Leonidovich

Тел./Phone: (343) 221-17-38
E-mail: tihonov75@bk.ru

*Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пищевой инженерии
Уральский государственный экономический университет
620144, РФ, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45*

*Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Engineering Department
Ural State University of Economics
620144, Russia, Ekaterinburg, 8 March St. / Narodnoy Voli St., 62/45*

**Тихонова
Наталья Валерьевна**
Tikhonova
Natalya Valeryevna

Тел./Phone: (343) 221-17-38
E-mail: tihonov75@bk.ru

*Доктор технических наук, профессор кафедры пищевой инженерии
Уральский государственный экономический университет
620144, РФ, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта / Народной Воли, 62/45*

*Doctor of Technical Science, Professor of the Food Engineering Department
Ural State University of Economics
620144, Russia, Ekaterinburg, 8 March St. / Narodnoy Voli St., 62/45*

**Романова
Алиса Сергеевна**
Romanova
Alisa Sergeevna

Тел./Phone: (343) 221-17-38
E-mail: alisic_kolotova@mail.ru

*Аспирант кафедры пищевой инженерии
Уральский государственный экономический университет
620144, РФ, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта / Народной Воли, 62/45*

*Post-graduate of the Food Engineering Department
Ural State University of Economics
620144, Russia, Ekaterinburg, 8 March St. / Narodnoy Voli St., 62/45*