

УДК 66.085:641.7

РАДИОХИМИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ УГЛЕВОДОВ МЯСА В СЫРЬЕ И ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

Семенова А.А., *д-р техн. наук*, **Иванкин А.Н.**, *д-р хим. наук*,
Дыдыкин А.С., *канд. техн. наук*, **Асланова М.А.**, *канд. техн. наук*

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (Москва)

Кобялко В.О., *канд. биол. наук*

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
(Обнинск, Московская область)*

Реферат. В работе проведено изучение содержания свободных углеводов – глюкозы, галактозы, фруктозы, арабинозы, маннозы, рибозы, сахарозы и лактозы в мясном сырье на основе смеси свинины и говядины, подвергнутой в целях антимикробной обработки радиационному облучению на электронном ускорителе. Изучали также готовый продукт, выработанный из облученного сырья путем тепловой обработки по технологии обжарки. Показано, что радиационное облучение влияет на содержание свободных сахаров, количество которых монотонно уменьшалось при увеличении дозы облучения. Эффект облучения мясного сырья приводил к снижению микробной обсемененности и уменьшал эффект образования свободных сахаридов в условиях холодильного хранения без замораживания.

Ключевые слова: радиационное облучение, мясное сырье, свободные углеводы

Summary. A study was made of the content of free carbohydrates – glucose, galactose, fructose, arabinose, mannose, ribose, sucrose and lactose in irradiated meat raw materials. Raw materials based on a mixture of pork and beef, we exposed the antimicrobial treatment to radiation irradiation on an electronic accelerator. We also studied a finished product made from irradiated raw materials by heat treatment using roasting technology. It is shown that irradiation affects the content of free sugars, the amount of which decreased monotonically with increasing radiation dose. The effect of irradiation of meat raw materials led to a decrease in microbial contamination and reduced the effect of formation of free saccharides in a refrigerated storage without freezing.

Key words: radiation exposure, meat raw materials, free carbohydrates

Введение. Развитие радиационных методов последних десятилетий существенно расширило области применения радиации для использования в технологиях модификации различных объектов и придания им новых полезных свойств. Одним из таких направлений является радиационное облучение пищевого сырья. Использование радиации для обработки пищевых систем обусловлено, прежде всего, тем, что облучение сырья и продукции на его основе обеспечивает уничтожение микроорганизмов, оказывая стерилизующий эффект. Это приводит к увеличению сроков хранения облученной продукции. Использование радиации для обработки продуктов непосредственного контакта с человеком может реализовываться в строго ограниченных вариантах, поскольку радиация обладает отрицательным свойством воздействовать на облучаемые объекты, вызывая радиохимические превращения составных компонентов [1, 3–5].

Многочисленными исследованиями показано, что радиация вызывает радиолиз большинства природных компонентов, которые могут использоваться в индустрии продуктов питания [2, 6–10].

Применительно к пищевым системам существуют нормативные документы, регламентирующие применение радиации. В Европейском союзе требования безопасности радиационно-обработанных пищевых продуктов изложены в Стандарте 106-1983, Rev.1-2003 и Директиве Европейского совета и парламента 1999/2/ЕС от 22.02.1999. По данным МАГАТЭ сегодня в 69 странах действует разрешение на облучение более чем 80 видов пищевой продукции. В 40 странах, в первую очередь, в Китае и США проводится облучение пищевой продукции на постоянной основе [4, 7].

В нашей стране с 1964–1967 гг. было разрешено ограниченное применение радиационного облучения. Действующие до настоящего времени нормы допускают подавление развития микроорганизмов для удлинения срока хранения полуфабрикатов, в частности, на основе мясного сырья с мощностью дозы 6–8 кГр.

Исследование результатов воздействия различных доз облучения показывает, что летальные дозы гамма-облучения для разных микроорганизмов различаются существенно. Так летальная доза при комнатной температуре составляет (кГр): для *Salm. Typhimurium* – 3, *E. coli*, *Str. faecalis*, *Shig dysenteriae* – 6, *Micobac tuberculosis* – 10, *Sarcina lutea*, *Bac. pumilus* (споры) – 17, *Bac. subtilis* (споры), *Clostr. sporogenes* (споры), *Aspergillus niveus* – 20, *Clostr. botulinum* – 90 [1, 8, 9]. Т.е. для полного обеззараживания продукции необходимы достаточно высокие дозы облучения.

Как известно, основными компонентами пищевых систем являются белки, жиры, углеводы и вода. Поведение белков и липидов под воздействием электронного потока и гамма-облучения изучается достаточно давно [1–12]. По поводу механизмов радиолитического распада углеводов животной ткани в литературе данных практически нет. Углеводы – важная составляющая питания человека. Они являются основным источником энергии. Однако, в мясном сырье содержание углеводов обычно невысокое. Оно, как правило, не превышает 1–3 %. Углеводы содержатся в животной ткани в виде небольших количеств гликогена, который представляет собой высокомолекулярный разветвленный полисахарид, близкий по строению к амилопектину. Гликоген с молекулярной массой до 4 млн. построен из α -глюкопиранозных остатков и при гидролизе образует глюкозу и ее изоморфные формы [5]. Процесс образования свободных углеводов протекает в животных тканях под воздействием ферментов. В свежем мясном сырье количественное содержание свободных углеводов составляет от 0,001 до 0,1 % и этот уровень может увеличиваться при длительном хранении за счет действия внутренних ферментативных систем [11]. Механизм образования свободных углеводов, по-видимому, аналогичен процессам образования свободных аминокислот из белков и жирных кислот из липидов [12].

Несмотря на многочисленные исследования, посвященные радиационно-химическому воздействию, информация о систематической взаимосвязи мощностей доз облучения и компонентного состава пищевых систем, в особенности на основе животной ткани, в литературе практически отсутствует. Результаты такого воздействия могут сказываться отрицательно на качестве получаемой пищевой продукции. В связи с этим, представляло интерес оценить основные изменения углеводного состава, происходящие при облучении на аналитическом уровне.

Объекты и методы исследований. В качестве объектов исследований использовали сырье на основе животной ткани, полученное из говядины 1 с и свинины жирной в смеси (50:50) с массовой долей жира 19 %, белка 18,5 %, а также выработанные из этого сырья жареные продукты, которые получали путем нагревания фаршевой смеси при 140-150 °С на электроплите в открытой сковороде с использованием жира в количестве 5-8 % от массы продукта в течение 20 мин.

Облучение проводили на электронном ускорителе УЭЛР–10-15-С-60-1 с энергией электронов 5-10 МэВ с параметрами воздействия 0-4,5 кГр. Максимальная мощность пучка

ка 15 кВт. Хранение облученной продукции осуществляли в герметично упакованных под вакуумом полиэтиленовых пакетах при температуре +4°C.

Основные физико-химические показатели определяли по стандартным методикам, применяемым в анализе пищевых систем [13].

Изучение состава углеводов (УВ) проводили в соответствии с Методом определения массовой доли содержания свободных углеводов по условиям ГОСТ 51880-2002 с использованием BioLC хроматографической системы, включающей градиентный насос GS50, электрохимический детектор ED50, генератор элюента EG50 Generator с 10mN NaOH, хроматографический термостат LC25 с колонкой CarboPac PA20 производства DIONEX (Германия). Определение содержания свободных углеводов осуществляли в водных экстрактах 5 г образца в 100 г воды квалификации HPLC, фильтрация через фильтр 0,45 мкм при 25°C. В качестве стандартов углеводов использовали: арабинозу (Ara, C₅H₁₀O₅, D-(–)-Arabinose ≥99%, A3131 Sigma), галактозу (Gal, C₆H₁₂O₆, D-(+)-Galactose ≥99%, G0750 Sigma-Aldrich), глюкозу (Glc, C₆H₁₂O₆, D-(+)-Glucose ≥99.5%, G8270 Sigma), ксилозу (Xyl), маннозу (Man, C₆H₁₂O₆, D-(+)-Mannose from wood, ≥99% M2069 Sigma), фруктозу (Fru, C₆H₁₂O₆, D-(–)-Fructose ≥99%, F0127 Sigma), сахарозу (Sug, C₁₂H₂₂O₁₁, α-D-Glc-(1→2)-β-D-Fru, Sucrose ≥99.5% S9378 Sigma), рибозу (Rib, C₅H₁₀O₅, D-(–)-Ribose ≥99% R7500 Sigma), лактозу (Lac, C₁₂H₂₂O₁₁·H₂O, β-D-Gal-(1→4)-α-D-Glc, α-Lactose monohydrate reagent grade L3625 Sigma-Aldrich), водные растворы с концентрацией 0,001 мг/мл.

Обсуждение результатов. В табл. 1–3 представлены результаты определения содержания свободных углеводов в необлученном и облученном мясном сырье, подвергнутому хранению, а также выработанной из облученного сырья мясной продукции.

Таблица 1 – Изменение состава свободной углеводной фракции в необлученном и облученном фарше на основе свинины и говядины, мг %

№ пп	Обозначение углевода	Характеристический пик, мин	Доза радиационной обработки, кГр					
			0	1,6	2,3	4,2	3,2*	4,2*
1	Ara	5,2	–**	0,002	–	–	–	–
2	Gal	6,8	0,36	0,04	0,008	0,012	–	–
3	Glc	7,8	0,05	0,18	0,09	0,05	0,08	0,06
4	Xyl + Man	8,5	0,004	–	–	–	0,007	0,007
5	Fru+ Sug	9,7	0,1	0,35	–	0,004	–	0,011
6	Rib	10,8	0,006	0,01	0,005	0,003	0,006	0,013
7	Lac	14,9–15,5	0,2	0,2	0,14	–	–	0,02
Σ, мг %			0,72	0,78	0,243	0,069	0,093	0,111

* – ступенчатая обработка

** – не обнаружено

Как видно из представленных данных, в результате облучения сырья животного происхождения и продукции на его основе, суммарное содержание свободных углеводов монотонно уменьшалось с ростом мощности дозы облучения. В случае хранения сырья при умеренном охлаждении процесс изменения содержания свободных углеводов носил неопределенный характер. Ранее мы показали, что при естественном холодильном хранении мясного сырья без заморозки сначала происходит постепенное увеличение доли свободных сахаров, очевидно, за счет развития гидролитических процессов. При достаточно длительном хранении массовая доля высвободившихся сахаров может снижаться, поскольку проявляется действие остаточной и вновь образующейся в продукте микрофлоры,

поглощающей в первую очередь наиболее доступные компоненты системы – глюкозу и прочие моносахара [14].

Из представленных данных можно заключить, что первоначально невысокая доза облучения на электронном ускорителе приводит к некоторому высвобождению свободных углеводов из мясного сырья. В дальнейшем количественное содержание определяемых углеводов с ростом дозы облучения уменьшается.

Таблица 2 – Изменение состава свободной углеводной фракции в необлученном и облученном фарше на основе свинины и говядины, хранение при +4°C в течение 3 нед., мг%

№ пп	Обозначение углевода	Пик, мин	0 кГр	1,6 кГр	2,3 кГр	4,2 кГр
1	Ara	5,2	0,002	–	0,001	–
2	Gal	6,8	0,1	0,017	0,01	–
3	Glc	7,8	0,05	0,28	0,1	0,03
4	Xyl + Man	8,5	0,006	0,432	0,25	0,003
5	Fru+ Sug	9,7	0,1	0,04	0,01	–
6	Rib	10,8	0,004	0,15	–	–
7	Lac	14,97–15,5	0,01	0,7	0,02	0,01
Σ, мг %			0,27	1,619	0,39	0,043

Таблица 3 – Изменение состава свободной углеводной фракции в готовом мясном продукте, выработанном из облученного фарша на основе свинины и говядины, мг%

№ пп	Обозначение углевода	Пик, мин	0 кГр	1,6 кГр	4,2 кГр	4,2 кГр, порционное облучение сырья
1	Ara	5,2	0,002	–	0,002	0,001
2	Gal	6,8	0,1	0,017	–	–
3	Glc	7,8	0,05	0,28	0,03	0,03
4	Xyl + Man	8,5	0,006	0,432	0,005	0,003
5	Fru+ Sug	9,7	0,1	0,04	0,008	0,01
6	Rib	10,8	0,004	0,15	0,003	0,002
7	Lac	14,97–15,5	0,01	0,7	0,25	0,01
Σ, мг %			0,272	1,619	0,298	0,056

В нашем случае наблюдалась аналогичная картина с поправками на то, что радиационное облучение приводит к обеззараживанию и более медленному проявлению начала действия бактериальной микрофлоры.

Анализ количества содержания дисахаридов – сахарозы и лактозы показывает (табл. 1–3), что с ростом мощности дозы облучения происходит, по-видимому, их достаточно интенсивный распад, очевидно, в составляющие моносахара. В частности распад Lac приводит к образованию составляющих ее остатков молекул Glc и Gal, что, и наблюдалось в эксперименте (табл. 1 и 2).

Действительно, показатель микробного обсеменения – количество мезофильных, аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов КМАФАнМ для облученных образцов фарша с дозой 0, 1,6 и 4,2 кГр составлял соответственно, КОЕ/г: $5 \cdot 10^4$ (при норме $< 5 \cdot 10^6$); $1 \cdot 10^3$ и $1 \cdot 10^2$.

В случае готового продукта из облученного сырья, подвергнутого тепловой обработке, картина изменения содержания всех идентифицированных свободных углеводов в сторону уменьшения, обусловлена, по-видимому, не за счет значимого влияния облучения и его последствий для облученного объекта, а во многом за счет развития температурных

процессов кулинарной обработки, в частности развития реакции взаимодействия сахаров и аминокислот по реакции Майяра, приводящей к интенсивному снижению содержания компонентов. Аналогичное по интенсивности снижение сахаров наблюдается для большинства продуктов, подвергнутых тепловой обработке.

Выводы. Таким образом, можно констатировать, что радиационное облучение животного сырья с целью его бактериального обеззараживания приводит к уменьшению интенсивности развития микрофлоры, что, в свою очередь, влияет на скорость образования и исчезновения свободных сахаров в сырье и продукте на его основе. Определенное влияние облучения на содержание свободных сахаров, по-видимому, сказывается на ускорении гидролитических процессов распада гликогена и, при определенных дозах, влияет на распад дисахаридов до моносахаров.

Литература

1. Современные аспекты радиационной обработки пищевых продуктов / С.Ю. Гельфанд [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2013. – № 2. – С. 25–31.
2. Горбунова Н.А. Перспективы применения технологии ионизирующего облучения мяса и мясных продуктов // Мясная индустрия. – 2016. – № 9. – С. 21–23.
3. El-Desouky W. Antioxidant potential and hypolipidemic effect of whey protein against gamma irradiation induced damages in rats / W. El-Desouky, A.H. Mahmoud, M.M. Abbas // Applied Radiation and Isotopes. – 2017. – V. 129. No.1. – P.103–107.
4. Петриченко, Л.К. Влияние ионизирующих излучений на продукты питания / Л.К. Петриченко, А.Г. Васильева // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2004. – № 1. – С. 95.
5. Maravić N., Šereš Z., Vidović S., Mišan A., Milovanović I., Radosavljević R., Pavlića B. Subcritical water hydrolysis of sugar beet pulp towards production of monosaccharide fraction // Industrial Crops and Products. – 2018. – V. 115., No. 5. – P. 32–39.
6. Идентификация накопления химических маркеров облучения в биоматрицах при ионизирующей обработке мясного сырья / А.В. Куликовский [и др.] // Все о мясе. – 2017. – № 1. – С. 21–25.
7. Directive 1999/2 / CE of the European Parliament and of the Council of 22 February 1999 on the approximation of the laws of the Member States in relation to food and food ingredients, processed ionization, published in J.O.n L66 of 13.03.1999.
8. Применение радиационных технологий для обеспечения безопасности продуктов / Н.Н. Исамов [и др.] // Все о мясе. – 2017. – № 1. – С. 11–15.
9. Применение излучения в пищевой промышленности / Н.А. Дроздова [и др.] // Все о мясе. – 2017. – № 1. – С.16-19.
10. Chouliara I., Samelis J., Kakouri A., Badeka A., Savvaidis I.N., Riganakos K., Kontominas M.G. Effect of irradiation of frozen meat/fat trimmings on microbiological and physico-chemical quality attributes of dry fermented sausages // Meat Science. – 2006. – V. 74. -No. 10. – P. 303–311.
11. Радиационная обработка пищевых продуктов на основе мясного сырья / А.Н. Иванкин [и др.] // Мясная индустрия. – 2017. – № 11. – С. 32-35.
12. Иванкин, А.Н. Гидролиз нанобиомакромолекулярных систем / А.Н. Иванкин, А.А. Красноштанова. – М.: Московский гос. ун-т леса, 2010. – 396 с.
13. Лисицын, А.Б. Методы практической биотехнологии / А.Б. Лисицын, А.Н. Иванкин, А.Д. Неклюдов. – М.: Изд-во ВНИИМП, 2002. – 402 с.
14. Бронникова, В.В. Использование растительного сырья в производстве изделий из мясного фарша / В.В. Бронникова, О.П. Прошина, А.Н. Иванкин // Все о мясе. – 2018. – № 1. – С. 16-19.