

МЕТОДЫ ДОЗИМЕТРИИ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Нархова А.А., Вазиров Р.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.

Ельцина, Екатеринбург, Россия

chumanova.an@gmail.com, ruslan.vazirov@urfu.ru

Аннотация. Радиационные технологии широко используются на предприятиях пищевой и сельскохозяйственной промышленности. В связи с этим существует необходимость проведения контроля используемых доз для обработки продукции. В зависимости от потребности возможно выбирать оптимальные типы дозиметрических систем. В настоящей работе проведен обзор применяемых в современной практике дозиметрических систем. Проведенный обзор позволяет определить оптимальные типы детекторов для использования в технологических процессах радиационной обработки продукции.

Ключевые слова: Радиационная обработка; ионизирующее излучение; дозиметрический контроль; электронный парамагнитный резонанс; поглощенная доза; пищевая продукция.

DOSIMETRY TECHNOLOGIES USED IN RADIATION TREATMENT OF FOOD PRODUCTS

Narkhova. A., Vazirov R..

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Abstract Radiation technologies are widely used in the food and agricultural industries. In this regard, there is a need to monitor the doses used for processing products. Depending on the need, it is possible to choose the optimal types of dosimetric systems. In this paper, a review of dosimetric systems used in modern practice is carried out. The conducted review makes it possible to determine the optimal types of detectors for use in technological processes of radiation treatment of products.

Key words: Radiation; ionizing radiation; dosimetric control; electronic paramagnetic resonance; absorbed dose; food products.

Важной задачей агропромышленного комплекса на сегодняшний день является увеличение срока хранения продуктов и сокращения их потерь в результате порчи. Применение радиационной обработки в указанных целях позволяет избежать изменений, вызванных сменой температурного режима, накопления вредных веществ и снижает вероятность повторного заражения

продуктов благодаря возможности обработки в упаковке. Дозы облучения пищевой продукции, безопасные с токсикологической точки зрения устанавливаются согласно ВОЗ, ФАО и МАГАТЭ и составляют порядка 0,05 – 50 кГр. В зависимости от типа продукции данный диапазон варьируется. Также ведутся исследования стимулирующего действия ионизирующего излучения на семена сельскохозяйственных культур с применением доз порядка единиц грей [1]. Неотъемлемой частью применения радиационных технологий в пищевой и сельскохозяйственной промышленности является дозиметрические исследования.

Измерение поглощенной дозы ионизирующего излучения является неотъемлемой частью обеспечения безопасности облученной пищевой продукции. В действующем международном стандарте ГОСТ ISO 14470-2014 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением» указано, что дозиметрия должна осуществляться для получения гарантий соблюдения требований по величине поглощенной дозы для каждого обрабатываемого пищевого продукта, для оценки распределения дозы в облученном продукте с целью установления оптимальной геометрии облучения продуктов, включая выбор всех ключевых параметров процесса, а также для мониторинга процесса облучения [2].

На данный момент единого метода контроля облученной продукции не разработано. Для этой цели используют химические, физические и биологические радиационные эффекты [3].

Выбор и использование конкретных систем дозиметрии в конкретных условиях должны обосновываться с учетом диапазона доз, типа излучения, эффективности действия, требуемого уровня неопределенности и требуемого пространственного разрешения [2].

Таблица 1 – Дозиметрические системы [4]

Наименование дозиметра/дозиметрической системы	Диапазон измеряемых доз, Гр
Аланиновый детектор	1 - 10 ⁵
Термолюминесцентный дозиметр (ТЛД)	1 - 10 ⁵
Калориметрия	1,5·10 ³ - 5·10 ⁴
Радиохромные пленки	10 ³ - 10 ⁵
Раствор Фрике	20 - 4·10 ²
Раствор сульфата церия	5·10 ² - 5·10 ⁴
ЭПР спектрометрия пищевой продукции	0,5 – 1,6·10 ⁵

Одним из методов, используемых для дозиметрии, является использование аланиновых детекторов. Информация о поглощенной дозе считывается с помощью спектрометров электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Эти дозиметры имеют водную эквивалентность, энергетическую независимость, низкое затухание сигнала и небольшой размер детектора. Кроме того, они имеют линейный отклик на дозу. Одним из недостатков данной системы является высокая стоимость ЭПР-спектрометра и аланиновых пленок, а также сложность спектра и сопоставимость сигналов при низких дозах с уровнем шумов [5].

ТЛД – это небольшие кристаллы, которые благодаря явлению термолюминесценции могут показывать дозу ионизирующего излучения. Благодаря высокому пространственному разрешению используемых материалов и простоте использования ТЛД активно применяется в дозиметрии. Однако есть несколько недостатков, включая стоимость, временные затраты на считывание и калибровку, энергетическая зависимость, возможность только однократного считывания информации [6].

Калориметрия – наиболее фундаментальный метод определения поглощенной дозы, поскольку повышение температуры является прямым следствием поглощения энергии в среде. Использование данного метода сопряжено с трудностями, так как при регистрации малых температурных изменений влияние могут оказывать внешние факторы, вызывающие изменение температуры. Данный метод не подходит для определения малых доз в следствие недостаточной чувствительности при определении дозиметрических характеристик низкоинтенсивных излучений [7].

Дозиметрия радиохромных пленок обеспечивает быстрый и удобный метод измерения высоких значений поглощенной дозы. Недостатком метода является невысокая чувствительность к малым дозам излучения и зависимость результатов измерений от условий производства и обработки плёнки. Для некоторых пленок указывается необходимость ожидания 48 часов после экспонирования для обеспечения полноцветного проявления [6].

Успех дозиметрии Фрике заключается в простоте и надежности определения концентрации Fe^{3+} с помощью спектрофотометрии. Основными недостатками дозиметрии Фрике являются ее высокая чувствительность к примесям, которые действуют как поглотители гидроксильных радикалов, образующихся при облучении, или как окислители ионов железа, что приводит к нелинейному отклику и снижению чувствительности системы при истощении кислорода, присутствующего в растворе [8].

Метод, используемый для определения поглощенной дозы с помощью растворов сульфата церия, заключается в оценке прозрачности раствора после восстановления ионов Ce^{4+} до ионов Ce^{3+} . Он обладает превосходной

стабильностью до и после облучения, а при добавлении ионов серы реакция линейна в широком диапазоне доз. Одним из наиболее серьезных недостатков растворов сульфата церия в качестве дозиметров является их склонность к неустойчивой реакции в присутствии следов органических примесей. Добавление ионов серы также подавляет действие органических примесей [9].

Наиболее перспективными являются методы, основанные на определении свободных радикалов, способных сохраняться в костях, оболочках, панцирях, семенах, коже до довольно длительного времени, что позволяет проводить оценку уровня поглощенной дозы не только сразу после облучения продукции, но и спустя некоторое время хранения. Для их обнаружения может быть использована ЭПР-спектрометрия. Для проведения анализа не требуется дополнительных материалов, так как сам образец продукции может нести информацию об образованных свободных радикалах и являться дозиметром. Метод достаточно быстрый и обладает высокой точностью, однако может быть ограничен временем жизни радиационно-индуцированных свободных радикалов. Таким образом его применение целесообразно в случае если время жизни радикалов превышает срок хранения исследуемых продуктов. Отмечается чувствительность данного метода в довольно широком диапазоне доз [10,11].

На данный момент в РФ утверждены три стандарта проведения ЭПР дозиметрии для продуктов содержащих костную ткань, кристаллический сахар и целлюлозу (ГОСТы Р 52529-2006, 31672-2012, 31652-2012), однако они предусматривают определение только факта использования ионизирующего излучения без количественной оценки дозы. Проведение исследований радиационно-индуцированного сигнала ЭПР и его дозовых зависимостей для различной пищевой и сельскохозяйственной продукции позволит применять данный метод на производстве.

Библиографический список

1. Гудков И. Н. Радиационная стимуляция растений //Микроэлементы и регуляторы роста в питании растений: теоретические и практические аспекты: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию профессора ВИ Костина.-Ульяновск: УГСХА им. ПА Столыпина, 2014. – УГСХА им. ПА Столыпина, 2014.
2. ГОСТ ISO 14470-2014. Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением. Введ. 01.01.2016. – Москва: Изд-во стандартов, 2015. – 23 с.
3. Безопасность и пищевая ценность облученной пищи / ред. И.Ю. Крепких. Москва: Медицина, 1995. 210 с.

4. ГОСТ 34155-2017. Руководство по дозиметрии при исследовании влияния радиации на пищевые и сельскохозяйственные продукты. Введ. 01.02.2019. – Москва: Изд-во стандартов, 2017. – 21 с.
5. Keizer P. N., Morton J. R., Preston K. F. Electron paramagnetic resonance radiation dosimetry: possible inorganic alternatives to the EPR/alanine dosimeter //Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions. – 1991. – Т. 87. – №. 19. – С. 3147-3149.
6. Parwaie W. et al. Different dosimeters/detectors used in small-field dosimetry: Pros and cons //Journal of medical signals and sensors. – 2018. – Т. 8. – №. 3. – С. 195.
7. Domen S. R. Advances in calorimetry for radiation dosimetry //The dosimetry of ionizing radiation. – 1987. – Т. 2. – С. 245-320.
8. deAlmeida C. E. et al. A feasibility study of Fricke dosimetry as an absorbed dose to water standard for 192Ir HDR sources //PLoS One. – 2014. – Т. 9. – №. 12. – С. e115155.
9. Church V. E., Fraser H. J., Matthews R. W. A direct readout instrument for gamma dosimetry //Journal of Physics E: Scientific Instruments. – 1976. – Т. 9. – №. 3. – С. 182.
10. Romanyukha A. A. et al. Parameters affecting EPR dose reconstruction in teeth //Applied radiation and isotopes. – 2005. – Т. 62. – №. 2. – С. 147-154.
11. Effect of irradiation dose, storage time and temperature on the ESR signal in irradiated oat, and corn and wheat / H.S. Murrieta, E.P. Muñoz, E. Adem, G. Burillo, M. Vazquez, E.B. Cabrera // Applied Radiation and Isotopes. – 1996. Vol. 47(11–12). P. 1657-1661.].