

Анализ и интерпретация свойств химического FBX дозиметра

О.М. Котб, П.Н. Лобачевский

E-mail: omarkotb@jinr.ru

Объединенный институт ядерных исследований, Московская область, Дубна, Россия.

Химическая дозиметрия ионизирующих излучений представляет собой удобный и достаточно точный инструмент измерения поглощенной дозы [1–3]. Она основана на измерении продуктов химических реакций, индуцированных излучением. Одним из наиболее известных химических дозиметров является так называемый Фрике дозиметр, основанный на спектрофотометрическом измерении концентрации ионов трехвалентного железа Fe^{3+} , которые образуются в результате окисления ионов двухвалентного железа Fe^{2+} продуктами радиолитического распада воды. Для увеличения относительно низкой чувствительности Фрике дозиметра было предложено добавить в его состав бензойную кислоту и краситель ксиленоловый оранжевый. Полученный химический состав получил название FBX дозиметра (Ferrous/Benzoic Acid/Xylenol Orange (XO)) [1–3]. В присутствии бензойной кислоты многократно увеличивается радиохимический выход ионов трехвалентного железа, а ксиленоловый оранжевый образует комплексы с этим ионом, что приводит к изменению его оптических свойств, регистрируемому с помощью спектров поглощения в видимом диапазоне. В практике применения FBX дозиметра, однако, до сих пор не предложено стандартного метода анализа, позволяющего получить линейную калибровочную кривую (дозовую зависимость фотометрического сигнала) в достаточно большом диапазоне доз. Это связано с тем, что ксиленоловый оранжевый образует несколько типов комплексов с ионом трехвалентного железа с разными стехиометрическими соотношениями, имеющих различные оптические свойства. Вследствие этого экспериментальные исследования свойств FBX дозиметра и его применение сводятся к эмпирическому подбору длины волны измеряемого фотометрического сигнала (поглощения), которая обеспечивает наилучшую линейную дозовую зависимость.

Для преодоления указанного недостатка FBX дозиметра в данном исследовании разработан теоретический подход и получены выражения для описания зависимости концентраций двух типов комплексов от концентрации иона трехвалентного железа с учетом равновесных констант связывания этих компонентов, а также зависимости концентрации иона трехвалентного железа от поглощенной дозы. Последняя также не является линейной и ограничена концентрацией иона двухвалентного железа в исходном составе. Анализ с помощью предложенного подхода экспериментов по спектрофотометрическому титрованию раствора ксиленолового оранжевого ионами трехвалентного железа позволил рассчитать молярные коэффициенты экстинкции (спектры поглощения) для двух основных типов комплексов $(XO)Fe^{3+}$ и $(XO)_2Fe^{3+}$, а также определить их равновесные константы связывания. Применение этих результатов для анализа спектров поглощения, облученных FBX растворов, позволило определить экспериментально дозовую зависимость концентрации этих комплексов, а также концентрации Fe^{3+} , что позволяет вычислить его радиохимический выход. Анализ дозовых зависимостей концентраций комплексов и их молярных спектров поглощения позволил предсказать наиболее оптимальную длину волны измерения фотометрического сигнала, обеспечивающую линейную дозовую зависимость измерений.

1. Semwal M.K., P.B. Vidyasagar, Ferrous Sulfate–Benzoic Acid–Xylenol Orange Chemical Dosimetry System in Radiotherapy, in: Radiat. Med. Biol., 2017.
2. Polanek R., Varga Z., Fodor E., Brunner S., Szabó E.R., Tőkés T., Hideghéty K., Improved FBX chemical dosimeter system with enhanced radiochemical yield for reference dosimetry in radiobiology and radiotherapy research, Radiat. Phys. Chem. 174 (2020) 108899.
3. Mhatre S.G.V., Adhikari S., Development of new chemical dosimeter for low dose range, Radiat. Meas. 47 (2012) 430–433.