

НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Б.И. Курбанов¹, Н.Х. Хушвактов¹, Е.А. Данилова¹, К.С. Сафаров²,
Н.Б. Курбанова³, Ю.Т. Саидова²*

¹ *Институт ядерной физики АН РУз, (ИЯФ АН РУз), Ташкент, Узбекистан*

² *Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан*

³ *НПО “Дон махсулотлари”, Ташкент, Узбекистан*

Разработана методика нейтронно-активационного анализа хлебобулочных изделий. Определены оптимальные параметры методики: время облучения, остывания и измерения для определения максимального количества элементов. На основании разработанной методики проведен анализ обычного хлеба и хлебобулочных изделий функционального назначения. Показано что, содержание некоторых эссенциальных элементов, таких как йод, марганец, молибден повышено в 3 и более раз, что указывает на искусственное внесение для повышения суточных нормативов в потреблении этих элементов.

Ключевые слова: *хлебобулочные изделия, хлеб функционального назначения, микроэлементы, нейтронно-активационный анализ*

Введение

Одним из приоритетных направлений Государственной политики является формирование системы здорового питания населения. Особое внимание к данной проблеме вызвано ухудшением экологической обстановки и сравнительно низким пищевым статусом населения. Как, показали исследования, потребляемые населением продукты питания не полностью удовлетворяют физиологические потребности человека. Решение данной проблемы возможно путем оптимизации структуры питания населения, а именно за счет введения в рацион функциональных пищевых продуктов, которые могли бы удовлетворять физиологические потребности организма человека в пищевых веществах и энергии [1].

Анализ структуры питания населения Республики Узбекистан показал, что хлеб и хле-

бобулочные изделия занимают лидирующее место в питании. Это обусловлено уровнем жизни основных групп населения и характером питания, а также тем, что хлебопродукты – самые доступные и наиболее распространенные из массовых продуктов питания. Хлеб содержит многие важнейшие пищевые вещества [2, 3]. Однако они не покрывают затраты организма в биологически необходимых веществах на требуемом уровне.

Традиционные хлебобулочные изделия характеризуются недостаточной пищевой и биологической ценностью. По данным ВОЗ, в питание жителей развитых стран, а также России и Узбекистана, недостаточность по белку и биологически ценным компонентам составляет 25–30 % от требуемой нормы. Недостаточность белков и незаменимых аминокислот на сегодняшний день является одной из важнейших

проблем питания. Они необходимы для формирования, поддержания и сохранения здоровья человека, начиная с самого раннего возраста.

В настоящее время учёными Республики Узбекистан в области биологии, медицины, химии, физики и пищевых технологий разрабатывается технология получения и проходят испытания пробные партии хлеба функционального назначения “Мўжиза”. Ассортимент этого хлеба представлен образцами: “Лепешка кунжутная”, “Лепешка кукурузная”, “Батон отрубной”, “Бублик”.

Основываясь на исследованиях многочисленных авторов, что пророщенное зерно содержит биологически активные добавки, ферменты, аминокислоты, разработчики функционального хлеба “Мўжиза” в процессе изготовления использовали сок пророщенного зерна, предварительно обогащенного соединениями йода, калия, марганца, молибдена.

В составе функционального хлеба “Мўжиза” содержатся белки, жиры, углеводы, антиоксиданты, аминокислоты, витамины и минеральные вещества в определённых соотношениях, а также другие полезные вещества функционального назначения, которые участвуют во всех физиологических и биохимических процессах жизнедеятельности человека.

Для контроля качества и безопасности пищевых продуктов необходимы эффективные аналитические методы определения эссенциальных и токсичных микроэлементов на всех стадиях переработки пищевых продуктов, а также уровня функциональности хлебобулочных изделий.

Исходя из этого, целью данной работы является исследование возможности и разработка ядерно-физической методики определения содержания микроэлементов в образцах хлебобулочных изделий функционального назначения.

Материал и методы

Объектами исследования были хлебобулочные изделия функционального назначения: лепешка кунжутная, лепешка кукурузная, батон с добавкой отрубей, бублик и обычный хлеб. Все образцы были предварительно высушены до постоянного веса при температуре не выше 60°C, затем тщательно измельчены до однородной массы и далее взвешены на аналити-

ческих весах и упакованы в полиэтиленовые маркированные пакеты.

Для исследования элементного состава исследуемых образцов использовали нейтронно-активационный анализ, который позволяет определять значительное число элементов в различных образцах с исключительно высокой чувствительностью.

Инструментальный нейтронно-активационный анализ позволяет определить в одном образце более 40 элементов. Для определения содержания элементов по радионуклидам с различными периодами полураспада приходится применять различные временные режимы анализа (время облучения, остывания, измерения). Разные режимы требуют либо отдельных навесок образцов, либо использования одной навески для повторных облучений, что увеличивает время проведения анализа из-за необходимости выжидания распада короткоживущих нуклидов после первого облучения. В связи с приобретением ИЯФ АН РУз новой партии низкообогащенного топлива проведено уточнение параметров (времени облучения, остывания и измерения) используемой методики анализа биологических объектов. Кроме того, анализ нового объекта исследования (хлебобулочных изделий), с необходимостью определения максимального количества элементов с низкими пределами обнаружения, нуждался в уточнении параметров НАА, поскольку матричный состав биологических образцов сильно отличается от образцов хлебобулочных изделий. В разработанной методике все определяемые элементы были разделены на 3 группы:

Группа 1 – определение по короткоживущим радионуклидам таких элементов как I, Cl, Mn, Cu, Na, K. Для определения этих элементов образцы массой 30–40 мг вместе с эталонами упаковывали в полиэтиленовый контейнер и облучали в вертикальном канале реактора ВВР-СМ ИЯФ АН РУз потоком нейтронов 4×10^{13} нейтрон/см²·с в течение 15–20 с. Измерение гамма-спектров наведенной активности этих образцов проводили дважды – через 15–10 мин после облучения для определения содержания йода и хлора и через 4 ч – для определения содержания натрия, меди, калия и марганца.

Группа 2 – определение по среднеживущим радионуклидам. В эту группу вошли среднеживущие нуклиды, такие как: Ca, Au, Вг, La, U, Cd, As. Оптимальная масса исследуемых образцов составляла 90–100 мг, длительность

облучения 15 часов при плотности потока нейтронов $f \approx 4 \times 10^{13}$ нейтрон/см²·с, таким образом выбраны следующие режимы: $t_{\text{обл}}=15$ ч; $t_{\text{охл}}=10$ сут, $t_{\text{изм}}=200-300$ с.

Группа 3 – определение по долгоживущим радионуклидам. Те же пробы (облученные по группе 2) выдерживаются для остывания в течение $t_{\text{охл}}=30$ сут, после чего определяют содержание элементов Se, Hg, Cr, Hf, Sr, Ag, Ni, Sc, Rb, Fe, Zn, Co, Sb по долгоживущим нуклидам. Длительность измерений составляет $t_{\text{изм}}=400-600$ с.

Для регистрации наведенной активности гамма-излучения облученных образцов использовали детектор из германия высокой чистоты ($V=120$ см³), имеющего энергетическое разрешение, равное 1,8 кэВ по гамма-линии ⁶⁰Co (1333 кэВ) и гамма-спектрометр высокого разрешения (фирмы Canberra Industries.Inc., США) с компьютерным программным обеспечением по управлению гамма-спектрометром и обработке гамма-спектров Genie-2000. Максимальная погрешность активационного метода определения элементов не превышала 12 %. Точ-

ность определения того или иного элемента проверяли сравнением, полученных данных с аттестованными значениями стандартов МАГАТЭ (IAEA-336, IAEA -375) и NIST Standard Reference Material 1572 – CITRUS LEAVES.

Количественное содержание исследуемых элементов определяли, используя относительный метод активационного анализа по формуле:

$$m_x/m_{\text{ст}} = A_x/A_{\text{ст}},$$

где m_x и $m_{\text{ст}}$ – оличество элемента соответственно в исследуемом и стандартном образцах, A_x и $A_{\text{ст}}$ – активность определяемого элемента соответственно в исследуемом и стандартном образцах [4].

Полученные данные позволили рассчитать средние значения содержаний макро- и микроэлементов в исследуемых объектах хлебобулочных изделий функционального назначения. Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета программ Microsoft Excel 2007 и Statistica 6.0.

Таблица 1
Содержание (M±m) химических элементов в хлебобулочных изделиях, мкг/г

Элемент	Лепешка кунжутная	Лепешка кукурузная	Батон отрубной	Бублик	Хлеб обычный
Mg	990±68	740±57	930±87	624±59	510±48
Cl	690±55	6500±470	770±68	430±38	420±41
Mn	19±2	12±1	13±1	3,6±0,29	3,2±0,3
Na	3600±240	3250±220	4000±380	10200±850	3300±310
K	3800±210	3800±220	3100±280	2350±190	2200±190
I	91±8	95±8	87±7	94±8,2	3,0±0,3
Mo	0,46±0,04	0,63±0,05	0,86±0,07	0,48±0,032	0,22±0,01
Ca	300±26	500±46	760±62	360±29	300±28
Cu	1,4±0,1	1,4±0,2	1,5±0,1	1,5±0,17	0,55±0,09
Br	1,4±0,1	1,3±0,1	1,5±0,1	0,95±0,11	0,64±0,1
Cr	0,33±0,03	0,24±0,04	0,24±0,03	1,1±0,011	0,18±0,02
Ba	2,0±0,3	1,1±0,1	3,0±0,3	8,3±0,78	1,1±0,14\
Sr	7,6±0,8	1,0±0,1	1,1±0,1	6,4±0,59	1,2±0,10\
Sc	0,0033±0,0005	0,0027±0,0006	0,0032±0,0004	0,0023±0,00032	0,0025±0,0003
As	0,022±0,004	0,018±0,002	0,019±0,002	0,024±0,0028	0,020±0,002
Fe	58±4	64±5	58±5	61±5,7	38±3
Zn	5,8±0,5	7,5±0,6	5,8±0,5	6,0±0,54	3,6±0,4
Co	0,040±0,004	0,023±0,002	0,028±0,003	0,034±0,0042	0,021±0,002
Sb	0,011±0,001	0,013±0,002	0,017±0,002	0,015±0,0019	0,015±0,002
Ni	3,1±0,4	2,2±0,4	1,5±0,2	1,2±0,19	1,1±0,2
Se	0,042±0,005	0,065±0,008	0,032±0,004	0,039±0,0046	0,027±0,002
Sm	0,025±0,002	0,028±0,003	0,021±0,002	0,016±0,0013	0,022±0,002
Cs	0,032±0,003	0,035±0,003	0,026±0,003	0,011±0,0010	0,024±0,002
Cd	0,013±0,001	0,016±0,002	0,012±0,002	0,014±0,0017	0,015±0,002
Hg	0,005±0,001	0,004±0,001	0,006±0,001	0,004±0,0007	0,005±0,001
U	0,01±0,01	0,02±0,01	0,01±0,009	0,01±0,009	0,01±0,01

Результаты и обсуждение

В табл. 1 приводятся средние значения микроэлементного состава хлебобулочных изделий функционального назначения и сравнение с микроэлементным составом обычного хлеба.

Из полученных данных следует, что содержание токсичных элементов (урана, ртути, кадмия, мышьяка, сурьмы) и в хлебе функционального назначения и в обычном находится в пределах гигиенических нормативов безопасности пищевой продукции. К примеру, допустимые уровни ртути составляют 0,015–0,02 мг/кг и не более [5].

Содержание условно эссенциальных элементов (брома, бария, стронция, скандия, и др.) отличается от содержания этих элементов в обычном хлебе, но их несколько повышенные содержания не регламентируются санитарными нормами и не влияют на вкусовые качества хлеба.

Содержание эссенциальных элементов, таких как йод, марганец, молибден повышено в 3 и более раз, что, по всей вероятности, искусственно вносилось для повышения суточных нормативов в потреблении этих элементов. Содержание остальные эссенциальных элементов также повышено по сравнению с содержанием этих элементов в обычном хлебе.

Сравнительный анализ образцов хлебобулочных изделий функционального назначения показал, что наиболее “богатым” по микроэлементному составу является отрубной батон и лепешка с кукурузной добавкой.

Заключение

Разработана методика нейтронно-активационного определения микроэлементного состава хлебобулочных изделий. Выбраны оптимальные режимы облучения, остывания и измерения для определения макро- и микроэлементов по короткоживущим, среднеживущим и долгоживущим радионуклидам. Экспериментально определена масса исследуемого образца для облучения в 2 режимах, с целью обнаружения максимального количества элементов. В результате проведенных исследований выяснены возможности определения основных микроэлементов в образцах функциональных и традиционных хлебобулочных изделий. Рассчитаны средние содержания элементов и установлено, что содержание микроэлементов в хлебобулочных изделиях зависит от технологии приготовления хлеба и применяемых добавок.

Список литературы

1. Сокол НВ. Теоретическое обоснование и разработка технологий хлеба функционального назначения. Автореф. докт. дисс, Краснодар 2011, 52 с.
2. Голубев ВН, Жиганов ИН. Пищевая биотехнология. М.: Де Липринт, 2001. 123 с.
3. Гончаров АГ, Борисенко СЛ, Бугрова ОГ. Рациональное питание. Часть 1. Калининград: Изд-во РГУ им. И.Канта, 2006. 71 с.
4. Гутько ВИ. Активационный анализ. Минск.: МГЭУ им. А.Д. Сахарова. 2008. 74 с.
5. Гигиенические нормативы безопасности пищевой продукции СанПиН № 0366-19. Издание официальное, Ташкент. 2019.

NEUTRON-ACTIVATION ANALYSIS OF MICRO-ELEMENTAL COMPOSITION OF BAKERY PRODUCTS FOR FUNCTIONAL PURPOSE

B.I. Kurbanov¹, N.X. Hushvaqov¹, E.A. Danilova¹, K.S. Safarov², N.B. Kurbanova³, Yu.T. Saidova²

¹ *Institute of Nuclear Physics, Tashkent, Uzbekistan*

² *National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

³ *Don Makhsulotlari RPU, Tashkent, Uzbekistan*

The technique of neutron activation analysis of bakery products has been developed. The optimal parameters of the technique were determined: the time of irradiation, cooling and measurements to determine the maximum number of elements. On the basis of the developed methodology, the analysis of ordinary bread and bakery products for functional purposes was carried out. It has been shown that the content of some essential elements, such as iodine, manganese, molybdenum, is increased by 3 or more times, which indicates an artificial introduction to increase the daily consumption of these elements.

Key words: *bakery products, functional bread, microelements, neutron activation analysis*

E-mail: bkurbanov@inp.uz