

# 食品及加工品中<sup>210</sup>Po 含量测定及内照射剂量估算

李鹏翔, 李 周, 张 静, 杨海兰, 高泽全, 姜 恺, 韩玉虎

中国辐射防护研究院 核环境科学研究所, 山西 太原 030006

**摘要:**采用同位素示踪法对常见的 18 种食品及加工品中<sup>210</sup>Po 含量进行了测定, 并对其所致内照射剂量进行了估算。结果表明: 茶叶、香烟中<sup>210</sup>Po 比活度较高, 分别为(16.1±0.5)、(29.9±1.0) Bq/kg(干重), 表明这两种加工品对<sup>210</sup>Po 有较强的浓集作用; 其余 16 种食品的可食部分中<sup>210</sup>Po 比活度约为 0.029~4.78 Bq/kg(鲜重)。依据测定的数据, 估算出我国居民由食品摄入<sup>210</sup>Po 所致的年待积有效剂量约为 95 μSv/a, 贡献相对较大的是粮食(37.7%)、蔬菜(28.8%)和水产品(27.1%)。

**关键词:** <sup>209</sup>Po 示踪; α 谱仪; <sup>210</sup>Po 含量; 食品; 剂量估算

**中图分类号:** S124.2; O614.63 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-9950(2016)02-0103-04

**doi:** 10.7538/hhx.2016.38.02.0103

## Determination of <sup>210</sup>Po in Food and Processed Products and Estimation of Internal Dose

LI Peng-xiang, LI Zhou, ZHANG Jing, YANG Hai-lan, GAO Ze-quan, JIANG Kai, HAN Yu-hu

Department of Nuclear Environmental Science, China Institute for Radiation Protection, Taiyuan 030006, China

**Abstract:** The concentration of <sup>210</sup>Po in 18 kinds of common foods and processed products were determined by isotope tracing method. Then the internal dose was estimated. Results show that <sup>210</sup>Po content in tea and cigarettes are higher, and are (16.1±0.5), (29.9±1.0) Bq/kg (dry weight) respectively. These two creatures have strong enrichment ability on <sup>210</sup>Po. The remaining 16 kinds of food, <sup>210</sup>Po content in the edible part are 0.029-4.78 Bq/kg (fresh weight). Based on the current measurement data, estimated annual effective dose of Chinese residents caused by food intake of <sup>210</sup>Po is about 95 μSv/a, and relatively large contribution are grain (37.7%), vegetables (28.8%) and aquatic products (27.1%).

**Key words:** <sup>209</sup>Po as a tracer; α-spectrometer; <sup>210</sup>Po content; food; dose estimation

<sup>210</sup>Po 是天然铀系衰变产生的放射性核素之一, 属极毒组放射性核素, 广泛存在于各种食品及加工品中, 通过食物链转移进入人体。对于食入摄入量, 世界居民所受平均待积有效剂量的 59.1% 来自<sup>210</sup>Po<sup>[1]</sup>, 是人体内照射剂量的主要来源, 因此受到国内外研究者的广泛关注<sup>[2-11]</sup>。有

报道<sup>[1]</sup>指出我国食物中谷类的<sup>210</sup>Po 含量低于世界典型值, 水果中的值大致与世界典型值相同, 肉类、蔬菜和鱼类中的值明显高于典型值。杨孝桐等<sup>[2]</sup>指出了一些含天然放射性核素较高的食品, 包括海产贝类、海产虾类和海产鱼类。廖运璇等<sup>[3]</sup>对环境水样、土壤和稻谷样品中<sup>210</sup>Po 进行了

分析测定,土壤中 $^{210}\text{Po}$ 比活度约为  $10\text{ Bq/kg}$ ,稻谷中 $^{210}\text{Po}$ 比活度为  $0.28\text{ Bq/kg}$ ,水样中 $^{210}\text{Po}$ 活度浓度处于  $10^{-3}\text{ Bq/L}$  的水平。朱洪达等<sup>[4]</sup>在 20 世纪 90 年代初期对我国膳食中 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Po}$  含量及其所致内照射剂量进行了系统研究,指出天然核素是居民食入所致内照射剂量的主要来源,贡献较大的核素是 $^{210}\text{Pb}$ 和 $^{210}\text{Po}$ 。刘玉兰等<sup>[5]</sup>在 1988 年对我国部分地区食品中 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 含量进行了测定,食品中 $^{210}\text{Po}$ 的比活度均值为  $0.242\text{ Bq/kg}$ ,范围在  $0.013\sim 2.54\text{ Bq/kg}$ ,水产品中 $^{210}\text{Po}$ 比活度最高( $0.582\text{ Bq/kg}$ ),其次为大米( $0.534\text{ Bq/kg}$ ),还指出食品中 $^{210}\text{Pb}$ 和 $^{210}\text{Po}$ 含量较接近,比值为  $1.1\pm 1.0$ ,含量高于  $\text{U}$ 、 $\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 。张聚敬等<sup>[6]</sup>研究了新疆主要食品中 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 水平,食品中 $^{210}\text{Po}$ 含量以水产品为最高,鱼中 $^{210}\text{Po}$ 的比活度为  $0.410\sim 0.808\text{ Bq/kg}$ ,均值为  $(0.583\pm 0.169)\text{ Bq/kg}$ 。于凤义等<sup>[7]</sup>采用铜片自沉积的方法对烟草、茶叶以及北京地区主要粮食和蔬菜中 $^{210}\text{Po}$ 进行了测定,给出了 $^{210}\text{Po}$ 含量高低排序依次为茶叶>烟草>粮食>蔬菜。美国 Lin 等<sup>[8]</sup>利用同位素稀释 $\alpha$ 谱仪法对奶酪、烤牛肉等食品和人体尿液中 $^{210}\text{Po}$ 进行了测定,最小可探测比活度约为  $0.04\text{ Bq/kg}$ , $\text{Po}$ 回收率为  $85\%$ 。印度 Marbaniang 等<sup>[9]</sup>对该国 Domiasiat 铀矿区附近的环境和生物样品中 $^{210}\text{Po}$ 进行了测定,鱼类中 $^{210}\text{Po}$ 比活度为  $0.26\sim 0.32\text{ Bq/kg}$ ,牛肉为  $(0.43\pm 0.05)\text{ Bq/kg}$ ,肉类为  $0.38\sim 0.49\text{ Bq/kg}$ ,大米为  $0.05\sim 0.06\text{ Bq/kg}$ ,土豆为  $0.02\sim 0.03\text{ Bq/kg}$ 。意大利 Jia 等<sup>[10]</sup>给出了环境生物样品中 $^{210}\text{Po}$ 的分析方法,该方法的探测限为  $1.4\text{ Bq/kg}$ 。奥地利 Matthews 等<sup>[11]</sup>综述了各类环境介质中 $^{210}\text{Po}$ 的分析方法,包括样品预处理、分离纯化、源的制备和测量等。目前国内对于 $^{210}\text{Po}$ 的测量大多采用的是 $\alpha$ 计数器,未加入同位素作为示踪剂进行全程放化回收率的测定,只采用 $^{210}\text{Po}$ 标准样品的回收率作为待测样品的方法回收率,由于 $^{210}\text{Po}$ 属于易挥发核素,在化学操作过程中容易出现损失,回收率不稳定,这样对测定结果的准确性有一定的影响。本工作拟采用 $^{209}\text{Po}$ 同位素示踪法,用酸湿法消解食品及加工品中的有机物,在  $0.5\text{ mol/L}$  盐酸中将 $^{210}\text{Po}$ 和示踪剂 $^{209}\text{Po}$ 一同自沉积在铜片上,用 $\alpha$ 谱仪测量。依据 $^{209}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 的计数和 $^{209}\text{Po}$ 活度浓度计算样品中 $^{210}\text{Po}$ 含量。共测定 18 种主要食品及加工品,并对其所致居民内照射剂量进行估算。

## 1 实验部分

### 1.1 试剂与仪器

硝酸,质量分数为  $65.0\%\sim 68.0\%$ ;过氧化氢,质量分数不低于  $30\%$ ;高氯酸,质量分数为  $70\%\sim 72\%$ ;  $\text{HCl}$ (配制成  $0.5\text{ mol/L}$ )、抗坏血酸、盐酸羟胺(配制成  $w=25\%$ ),均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。示踪剂 $^{209}\text{Po}$ 标准溶液:美国 E&Z 公司,介质为  $2.0\text{ mol/L HCl}$ , $C=0.0387\text{ Bq/L}$ ,参考日期为 2013 年 7 月 29 日,总不确定度为  $1.8\%$ 。实验用水为超纯水。

7200-8 低本底 $\alpha$ 谱仪,美国 Canberra 公司;7753532 冻干机,美国 Labconco 公司;THZ-82 恒温振荡器,常州国华电器有限公司;铜质镀片,尺寸为  $\phi 20\text{ mm}\times 0.1\text{ mm}$ ,材质为紫铜。

### 1.2 样品采样及预处理

在甘肃、山东、广西、辽宁等地分别采集了当地居民食用量较大的食品及加工品,共 18 种,包括粮食、蔬菜、水果、畜禽肉类、水产品以及茶叶、香烟等。将采集的样品(茶叶、香烟除外)进行清洗,沥干水分后取其可食用部分称重记录鲜重,然后放入冻干机中低温下进行水分抽干获得干样,记录干重,计算干鲜比。用粉碎机将冻干后的样品(茶叶、香烟除外)磨成粉末,供分析用。香烟是市售的香烟,将其烟丝取出直接进行分析;茶叶是市售成品茶叶。

### 1.3 分析方法

称取  $5\sim 20\text{ g}$  干样,准确加入 $^{209}\text{Po}$ 标准溶液,加入  $50\text{ mL}$  浓硝酸,在电热板上加热消解,不时滴加过氧化氢褪色,加热蒸至近干,冷却,加入  $15\sim 20\text{ mL}$  高氯酸,置于电热板加热消解,直到溶液呈无色澄清状,蒸至近干,残渣呈白色盐状,冷却至室温。加入  $50\text{ mL } 0.5\text{ mol/L}$  盐酸溶液、 $0.5\text{ mL}$  质量分数为  $25\%$  的盐酸羟胺、 $0.5\text{ g}$  抗坏血酸,投入铜片,置于恒温振荡器中水浴条件下自沉积  $2.0\text{ h}$ ,温度控制为  $(93\pm 3)\text{ }^\circ\text{C}$ ,振荡幅度为  $120\text{ r/min}$ 。取出铜片,依次用蒸馏水和无水乙醇冲洗干净,室温下晾干。用 $\alpha$ 谱仪测量。根据 $^{209}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 的计数和 $^{209}\text{Po}$ 活度浓度计算样品中 $^{210}\text{Po}$ 的含量。本方法的全程放化回收率为  $(81.6\pm 5.1)\%$ ,样品的探测限为  $0.027\text{ Bq/kg}$ (鲜重)(测量时间为  $72\text{ h}$ )。每个样品中加入 $^{209}\text{Po}$ 标准溶液作为产额示踪剂,可以准确给出待测样品中 $^{210}\text{Po}$ 含量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 食品及加工品中<sup>210</sup>Po含量

18种食品及加工品中 $\alpha(^{210}\text{Po})$ 的测定结果列入表1。由表1可知:16种食品中<sup>210</sup>Po比活度约为0.029~4.78 Bq/kg(鲜重),均未超过我国现行国标食品中放射性物质限制浓度标准<sup>[12]</sup>中<sup>210</sup>Po限制浓度(15 Bq/kg)。把本次测量值与我国食品中<sup>210</sup>Po含量<sup>[1]</sup>(谷类:0.034 Bq/kg;肉类:0.124 Bq/kg;蔬菜:0.426 Bq/kg;水果:0.033 Bq/kg;鱼类:4.92 Bq/kg)和世界典型值<sup>[13]</sup>(谷类:0.06 Bq/kg;肉类:0.06 Bq/kg;蔬菜:0.10 Bq/kg;水果:0.04 Bq/kg;鱼类:2.00 Bq/kg)进行比较,可知<sup>210</sup>Po含量基本处于同一水平。水产品中<sup>210</sup>Po含量比其他种类食品略高,尤其是鲅鱼和对虾。文献<sup>[13]</sup>报道蓝点鲅中<sup>210</sup>Po比活度为(4.44±1.08) Bq/kg(黄海)、对虾为(2.22±1.08) Bq/kg(渤海)、(0.37±0.12) Bq/kg(黄海北)、(3.48±0.63) Bq/kg(黄海南),本次工作的测量值与其非常接近。

表1 食品及加工品中<sup>210</sup>Po比活度

Table 1 Specific activity of <sup>210</sup>Po in food and processed products

生物种类	样品	$\alpha(^{210}\text{Po})/(\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}(\text{鲜重}))$	产地
粮食	小麦	0.814±0.036 <sup>1)</sup>	甘肃
	大米	0.081±0.005 <sup>1)</sup>	辽宁
	玉米	0.132±0.012 <sup>1)</sup>	甘肃
		0.130±0.024	广西
蔬菜	土豆	0.098±0.003 <sup>1)</sup>	甘肃
	豆角	0.090±0.012	山东
	空心菜	0.564±0.021	广西
	白菜	0.029±0.003	山东
水果	梨	0.067±0.009	甘肃
	苹果	0.041±0.005	山东
肉禽类	猪肉	0.112±0.018	山东
	羊肉	0.101±0.011 <sup>1)</sup>	甘肃
	鸡肉	0.041±0.011	山东
		0.153±0.028	广西
水产品	海带	0.362±0.022	山东
	鲤鱼	0.149±0.017	山东
	鲅鱼	4.78±0.13	山东
	对虾	2.74±0.09	山东
加工品	茶叶	16.1±0.5 <sup>2)</sup>	市售
	香烟	29.9±1.0 <sup>2)</sup>	市售

注:1) 误差是3个平行样的标准偏差,其余样品的误差是计数统计误差;

2) 单位为Bq/kg(干重)

由表1还可知,茶叶、香烟中<sup>210</sup>Po比活度较

高,分别为(16.1±0.5)、(29.9±1.0) Bq/kg,与文献<sup>[7]</sup>报道的测量值(茶叶:37.30~90.72 Bq/kg;烟草:27.59~87.69 Bq/kg)相比,本工作测得的茶叶中<sup>210</sup>Po含量略低,香烟与其基本接近。茶叶和香烟中<sup>210</sup>Po含量较高,可能是来源于<sup>210</sup>Po的母体<sup>210</sup>Pb(铀系衰变产物),这些天然核素可通过叶片表面的气溶胶沉降和根系吸收从土壤进入植物体内,对<sup>210</sup>Po有较强的浓集作用。

### 2.2 内照射剂量估算

经食入途径摄入<sup>210</sup>Po所致公众成员待积有效剂量,依据GB 18871给出的<sup>210</sup>Po待积有效剂量转换系数<sup>[14]</sup>(成人:1.2  $\mu\text{Sv}/\text{Bq}$ )和我国城镇和农村居民人均主要食品消费量<sup>[15]</sup>(表2)估算,经食入途径所致的内照射剂量估算结果,全国居民按人口加权平均计算得出,结果列入表3。由表3可知:我国居民由食品摄入<sup>210</sup>Po所致的待积有效剂量分别为95.1  $\mu\text{Sv}/\text{a}$ ,农村居民为89.6  $\mu\text{Sv}/\text{a}$ ,城镇居民为98.9  $\mu\text{Sv}/\text{a}$ ;全国居民的<sup>210</sup>Po年摄入量为79.2 Bq/a,未超过现行国标<sup>[12]</sup>给出的<sup>210</sup>Po年摄入量限值(成人:2 200 Bq/a),但是如果单种<sup>210</sup>Po含量较高的食品消费量较大的情况下(如海产品),可能会超过该限值。

表2 我国居民人均主要食品消费量(2012年)<sup>[15]</sup>

Table 2 Per capita major consumption of Chinese inhabitant(2012) <sup>[15]</sup> kg/a

食物类别	农村居民	城镇居民
粮食	164.27	78.8
蔬菜	84.7	112.3
鲜瓜果	22.8	56.1
猪肉	14.4	21.2
羊肉	0.94	1.40 <sup>1)</sup>
家禽	4.49	10.75
水产品	5.36	15.19

注:1) 原文献中给出的是城镇居民牛羊食用量合计为3.73 kg/a,按照全国居民食用牛羊比例1.5:9计算得出

各类食品中剂量贡献较大的是粮食(37.7%)、蔬菜(28.8%)和水产品(27.1%),羊肉贡献最小(0.15%),依次排序为:粮食>蔬菜>水产品>鲜瓜果>猪肉>家禽>羊肉。主要原因是粮食、蔬菜比其他种类食品的消费量大;水产品的消费量不大,但是水产品中<sup>210</sup>Po含量比陆地生物高,所以水产品对剂量贡献排名靠前。

本工作给出的内照射剂量估算主要考虑了16种食品,茶叶和香烟除外。这两种加工品中<sup>210</sup>Po含量很高,对内照射剂量的贡献不容忽视。

表 3 我国居民食品<sup>210</sup>Po 年摄入量所致待积有效剂量  
Table 3 Annual intake of <sup>210</sup>Po and committed effective dose for Chinese inhabitant

食物类别	<sup>210</sup> Po 摄入量/(Bq·a <sup>-1</sup> )			<sup>210</sup> Po 所致待积有效剂量/(μSv·a <sup>-1</sup> )			占总计的比例/%
	农村	城镇	全国	农村	城镇	全国	
粮食	41.2	19.8	29.8	49.5	23.7	35.8	37.7
蔬菜	19.3	25.6	22.8	23.1	30.7	27.3	28.8
鲜瓜果	1.23	3.03	2.21	1.48	3.63	2.65	2.79
猪肉	1.61	2.38	2.03	1.94	2.85	2.44	2.57
羊肉	0.10	0.14	0.12	0.11	0.17	0.15	0.15
家禽	0.44	1.04	0.77	0.52	1.25	0.92	0.97
水产品	10.8	30.5	21.5	12.9	36.6	25.8	27.1
	(74.7)	(82.4)	(79.2)	(89.6)	(98.9)	(95.1)	(100)

注:括号内数据为总计

有数据<sup>[7]</sup>显示茶叶经过多次浸泡后 80% 以上<sup>210</sup>Po 留在残茶中,只有不到 20% 进入茶水,这说明茶叶中大部分<sup>210</sup>Po 是在叶片基质中而不是吸附在叶片表面。有报道<sup>[16]</sup>指出香烟中<sup>210</sup>Po 有 24% 转移到主流烟雾中,44% 在烟灰中,17% 在烟蒂中。由于这两种加工品进入人体的摄入途径与普通食品有所差别,应通过人体膳食暴露评估的方法,进行进一步研究才可得出结论。

### 3 结 论

(1) 我国居民由食品进入人体的<sup>210</sup>Po 年摄入量为 79.2 Bq/a, 所致的待积有效剂量为 95.1 μSv/a, 未超过现行国标给出的<sup>210</sup>Po 年摄入量限值。各类食品中剂量贡献较大的是粮食(37.7%)、蔬菜(28.8%) 和水产品(27.1%), 主要原因是谷类、蔬菜比其他种类食品的消费量大和水产品中<sup>210</sup>Po 含量较高。

(2) 茶叶、香烟中<sup>210</sup>Po 比活度较高, 分别为(16.1±0.5)、(29.9±1.0) Bq/kg, 这两种加工品对<sup>210</sup>Po 有较强的浓集作用。茶叶和香烟加工品对人体内照剂量贡献, 应通过人体膳食暴露评估的方法, 进一步研究才可得出结论。

(3) 16 种食品中<sup>210</sup>Po 的比活度约为 0.029~4.78 Bq/kg(鲜重), 均未超过我国现行国标食品中放射性物质限制浓度标准中<sup>210</sup>Po 限制浓度。

### 参考文献:

[1] 潘自强, 刘森林, 马吉增, 等. 中国辐射水平[M]. 北京: 原子能出版社, 2010: 24-26.  
[2] 杨孝桐, 翁德通, 陈文瑛, 等. <sup>226</sup>Ra、<sup>228</sup>Ra、<sup>210</sup>Pb 和 <sup>210</sup>Po 在水生生物及食物链中转移规律的探讨[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1998, 18(2): 129-132.  
[3] 廖运璇, 张露, 滕柯延, 等. 环境介质中<sup>210</sup>Po 的分析测定[J]. 铀矿冶, 2013, 32(4): 221-224.  
[4] 朱洪达, 王守亮, 孟玮, 等. 我国膳食中<sup>90</sup>Sr、<sup>137</sup>Cs、

<sup>226</sup>Ra、<sup>228</sup>Ra、<sup>210</sup>Pb、<sup>210</sup>Po 含量及其所致内照射剂量[J]. 辐射防护, 1993, 13(2): 85-92.  
[5] 刘玉兰, 徐宁, 胡爱英. 我国食品和水天然放射性核素水平的调查[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1988, 8(增刊): 1-14.  
[6] 张聚敬, 徐红. 新疆主要食品中<sup>210</sup>Pb、<sup>210</sup>Po 水平[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1995, 15(4): 278-280.  
[7] 于凤义, 周洪杰, 张萍. 部分农产品中的<sup>210</sup>Po[J]. 核农学通报, 1992, 13(3): 135-137.  
[8] Lin Z C, Wu Z Y. Analysis of polonium-210 in food product and bioassay samples by isotope-dilution alpha spectrometry[J]. Appl Radiat Isot, 2009, 67: 907-912.  
[9] Marbaniang D G, Poddar R K, Nongkynrih P, et al. <sup>210</sup>Po studies in some environmental and biological matrices of Domiasiat uranium deposit area, West Khasi Hills, Meghalaya, India[J]. Environ Monit Assess, 2010, 162: 347-353.  
[10] Jia G G, Belli M, Blasi M, et al. <sup>210</sup>Pb and <sup>210</sup>Po determination in environmental samples[J]. Appl Radiat Isot, 2000, 53: 115-120.  
[11] Matthews K M, Kim Chang-Kyu, Martin P. Determination of <sup>210</sup>Po in environmental materials: a review of analytical methodology[J]. Appl Radiat Isot, 2007, 65: 267-279.  
[12] 朱洪达. GB 14882—1994 食品中放射性物质限制浓度标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.  
[13] 海产品放射性调查编辑组. 海产品放射性调查[M]. 北京: 原子能出版社, 1983: 219-225.  
[14] 潘自强, 叶常青, 张延生, 等. GB 18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 102.  
[15] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2014[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.  
[16] 俞秋蓉, 胡和平, 赵淑权. 香烟中<sup>210</sup>Po 的含量[J]. 辐射防护, 1993, 13(1): 72-75.