

北京市食品中天然铀、钍的测定及人体内照射有效剂量的估算

孔令海¹, 徐海峰¹, 李宏¹, 吕彩霞¹, 高艳辉²

摘要: [目的] 了解北京市市售主要食品的天然铀、钍含量及公众膳食中铀、钍放射性核素的摄入水平, 估算所致人体内照射剂量, 全面地掌握和评价公众膳食的安全性。[方法] 本研究选用市场上销售的肉类、蔬菜、薯类、谷类、奶类5种食品样品, 使用三正辛胺萃取-分光光度法测定食品样品中铀、钍浓度, 然后依据联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)2008年报告书中的方法, 估算人体受到内照射的有效剂量。[结果] 5种食品样品中, 铀含量浓度最高的为谷类, 其值为 1.86×10^{-6} g/kg; 钍含量浓度最高的为肉类, 其值为 2.28×10^{-6} g/kg, 测定结果均低于GB 14882—1994《食品中放射性物质限制浓度标准》的浓度限值。铀、钍放射性核素对人体内照射的年待积有效剂量成人0.951 μSv/a, 其中铀的剂量贡献为0.318 μSv/a, 钍的剂量贡献为0.633 μSv/a; 儿童为0.666 μSv/a, 其中铀的剂量贡献为0.243 μSv/a, 钍的剂量贡献为0.423 μSv/a。[结论] 5种食品中铀、钍含量测定结果均低于GB 14882—1994中规定的浓度限值; 成人的铀、钍放射性核素内照射剂量大于儿童, 钍的剂量贡献大于铀。

关键词: 食品; 铀; 钍; 三正辛胺萃取; 内照射; 有效剂量

Determination of Natural Uranium and Thorium in Food in Beijing and Estimation of Internal Irradiation Effective Dose KONG Ling-hai¹, XU Hai-feng¹, LI Hong¹, LÜ Cai-xia¹, GAO Yan-hui² (1. Nuclear and Radiation Safety Center, Environmental Protection Department, Beijing 100082, China; 2. Hebei Province Center for Disease Prevention and Control, Shijiazhuang, Hebei 050021, China). Address correspondence to GAO Yan-hui, E-mail: 939448891@qq.com • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To measure the contents of natural uranium and thorium in retail food in Beijing and public dietary intake levels of these two elements, to estimate their internal irradiation doses, and to comprehensively understand and evaluate the safety of public diet. [Methods] Five main retail foods (meat, vegetables, potatoes, cereals, and milk) were chosen to determine the uranium and thorium contents by tri-n-octylamine extraction-spectrophotometry. Then based on the method reported in 2008 by the United States Effects of Atomic Radiation Scientific Committee, the internal irradiation effective doses were estimated. [Results] In the five kinds of food samples, the highest content of uranium was found in cereals samples (1.86×10^{-6} g/kg), while the highest content of thorium was found in meat (2.28×10^{-6} g/kg), and both were lower than the limits according to the *Limited Concentrations of Radioactive Materials in Foods* (GB 14882—1994). The internal irradiation effective dose from uranium and thorium radionuclide for adults was 0.951 μSv/a, in which uranium contributed 0.318 μSv/a and thorium contributed 0.633 μSv/a; the internal irradiation effective dose for children was 0.666 μSv/a, in which uranium was 0.243 μSv/a and thorium was 0.423 μSv/a. [Conclusion] The uranium and thorium contents detected in the five kinds of foods are under the limits of the *Limited Concentrations of Radioactive Materials in Foods* (GB 14882—1994). The internal irradiation effective doses of uranium and thorium for adults is higher than those for children, and the contribution of uranium is greater than that of thorium.

Key Words: food; uranium; thorium; tri-n-octylamine extraction; internal irradiation; effective dose

为了解营养素和有害污染物对人体健康的影响, 一般都采取膳食调查的方式, 放射性核素作为调查的一个方面包含在整个膳食调查中。美国从1961年起

就对环境与食品相关放射性核素进行了调查, 获得了相应核素的含量水平。1982—1985年, 卫生部对我国食品进行了放射性核素调查, 并根据我国的膳食习惯, 对人体内由食品所致的放射性年摄入量及其内照射剂量进行了估算^[1]。我国从1990年至今进行了5次全国总膳食调查, 2010年开始的第5次调查也包括了放射性核素的调查^[2]。

天然铀、钍放射性核素半衰期较长, 是环境辐射

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2016.16202

[作者简介] 孔令海(1984—), 男, 硕士, 工程师; 研究方向: 辐射防护;

E-mail: 373344035@qq.com

[通信作者] 高艳辉, E-mail: 939448891@qq.com

[作者单位] 1. 环境保护部核与辐射安全中心, 北京 100082; 2. 河北省疾病预防控制中心, 河北 石家庄 050021

的重要来源。随着工农业生产的发展,稀土、磷肥的广泛应用、地下资源的不断开发,导致天然放射性核素向地表转移,对环境和食品造成污染^[3]。被污染的食品通过人体摄入对人体造成辐射损伤,从而给人类健康带来潜在的危险。本研究测定食品中天然铀、钍放射性核素含量,估算公众因膳食受到的内照射剂量,为掌握和评价膳食安全性提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

在北京市两城区市场采集了肉类、蔬菜、薯类、谷类、奶类等5种代表性食品样品,称取足量的可食部分,在恒温干燥箱内烘干,置于电炉上炭化,直至不冒烟停止。期间,观察并控制电炉温度的调节,以防着火,马福炉中500℃灰化至无黑色炭粒,冷却至室温,除去明显异物,称重灰化物并计算得出鲜灰比,然后取2.00g炭粒进行铀、钍含量的测定。

1.2 测定方法与主要试剂

我国GB/T 14883.7—1994《食品中放射性物质检验:天然钍和铀的测定》标准的铀、钍测定方法为N235萃取-分光光度法^[4],由于N235不属于正规可供试剂,本研究以三正辛胺(tri-n-octylamine, TOA)代替N235作为萃取剂^[5]完成5种主要市售食品铀、钍含量的测定。本方法对钍和铀的最低检测限分别为 $3.47 \times 10^{-2} \mu\text{g/g}$ 和 $9.47 \times 10^{-2} \mu\text{g/g}$ 。

主要试剂:铀、钍储备液100.00 μg/mL;铀、钍标准溶液2.00 μg/mL,其中铀标准液采用0.10 mol/L的盐酸溶液稀释配制,钍标准液采用1.00 mol/L硝酸溶液稀释配制。10%(体积分数)三正辛胺萃取剂的制备:将50.0 mL三正辛胺(工业纯)、50.0 mL乙酸乙酯、50.0 mL丙酮、2.5 mL正辛醇混合后,以环己烷稀释到500.0 mL后用2.00 mol/L硝酸溶液萃洗平衡后待用。

1.3 回收率测定

取食品样品灰和铀、钍标准溶液测定回收率,计算: $R=(A_1-N)/A_0$ 。式中, R 为食品样品回收率, A_0 为铀、钍标准溶液的铀、钍含量; A_1 为加入标准溶液的样品所测得的铀(钍)含量; N 为不加标准溶液的样品所测得的铀(钍)含量。

1.4 人均食品年消费量调查

调查对象为市场周围1 km范围内常住居民,调查采用随机抽样的方法选择成人30人、儿童20人,同时参考诸洪达等^[6]的调查结果,确保调查结果的准确性。

1.5 内照射剂量评价模式

联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)2008年报告书中根据天然铀、钍放射性核素公众摄入量估算内照射剂量的估算方法^[7],核素*i*经食入途径所致公众内照射剂量为 $E_{i,j}$,即 $E_{i,j}$ 为核素*i*经食物*j*所致的年待积有效剂量(μSv/a)。 $E_{i,j}=I_{\text{食入},j} \times P_1 \times P_2$ 。式中, $I_{\text{食入},j}$ 为*j*类食物的年摄入量(kg/a); P_1 为核素*i*在*j*类食物中的活度浓度(mBq/kg); P_2 为食入核素*i*的有效剂量系数(μSv/Bq),有效剂量系数 P_2 见表1。

表1 食入铀、钍放射性核素的有效剂量系数 P_2 ^[3](μSv/Bq)

核素	儿童	成人
²³⁸ U	0.068	0.045
²³⁵ U	0.071	0.047
²³² Th	0.290	0.230

1.6 统计学分析

使用SPSS 19.0软件对测定的铀、钍实验数据进行了处理,以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 天然铀、钍测定结果

食品样品的测定结果均在方法最低检测限以上,铀的回收率在74.2%~84.4%,钍的回收率在76.0%~86.4%(见表2)。根据食品样品的鲜灰比,进行归一化处理。由表3可见,食品样品中铀、钍含量与GB 14882—1994《食品中放射性物质限制浓度标准》规定的限制浓度^[8]比较显示,食品样品中铀、钍含量浓度均低于标准规定的限制浓度。

表2 食品样品天然铀、钍测定结果

样品	铀(μg) $\bar{x} \pm s$	回收率 (%)	校正值 (μg)	钍(μg) $\bar{x} \pm s$	回收率 (%)	校正值 (μg)
肉类	0.232 ± 0.043	74.2	0.313 ± 0.057	0.658 ± 0.017	86.3	0.762 ± 0.044
蔬菜	0.284 ± 0.035	78.5	0.362 ± 0.068	0.582 ± 0.061	81.2	0.717 ± 0.013
薯类	0.519 ± 0.034	76.1	0.682 ± 0.033	0.497 ± 0.019	76.0	0.654 ± 0.028
谷类	0.985 ± 0.050	74.2	1.121 ± 0.069	0.986 ± 0.031	86.4	1.141 ± 0.042
奶类	0.132 ± 0.042	84.4	0.185 ± 0.011	0.296 ± 0.045	78.5	0.377 ± 0.003

表3 食品样品铀、钍水平(g/kg或g/L)

食品	铀($\bar{x}$)	钍($\bar{x}$)	鲜灰比	限值	
				铀	钍
肉类	9.38×10^{-7}	2.28×10^{-6}	5.9	3.60	5.40
蔬菜	8.79×10^{-7}	1.74×10^{-6}	7.3	0.96	1.50
薯类	1.49×10^{-6}	1.43×10^{-6}	8.1	0.40	0.64
谷类	1.86×10^{-6}	1.89×10^{-6}	10.7	1.20	1.90
奶类	4.75×10^{-7}	9.72×10^{-7}	6.9	0.75	0.52

2.2 内照射有效剂量估算

2.2.1 食品中铀、钍放射性活度 根据辐射安全手册^[9]提供的天然铀、钍的放射性比活度值(²³⁸U、²³⁵U和²³²Th的放射性比活度分别为1.25×10⁻⁸、8.00×10⁻⁸和4.05×10⁻⁹ TBq/g)及天然铀中²³⁸U和²³⁵U的同位素比值(²³⁸U丰度为99.275%,²³⁵U丰度为0.720%),以及表3食品样品中铀、钍的浓度值,得出5种食品中铀、钍放射性核素活度浓度,见表4。

表4 食品中铀、钍放射性活度(mBq/kg)			
食品	²³⁸ U	²³⁵ U	²³² Th
肉类	11.60	0.541	9.25
蔬菜	10.90	0.507	7.06
薯类	18.40	0.859	5.80
谷类	23.00	1.070	7.67
奶类*	5.87	0.274	3.94

[注]*:奶类放射性活度浓度单位为mBq/L。

2.2.2 人均食品年消费量 根据该市场周围的调查结果,同时参考文献[6]得出周围公众人均食品年消费量(见表5)。

表5 该市场周围人均食品年消费量(kg/a)					
	肉类	蔬菜	谷类	薯类	奶类
儿童	20.8	35.4	84.2	38.7	58.3
成人	38.5	82.6	195.0	67.5	40.6

2.2.3 天然铀、钍核素年摄入量及年待积有效剂量 根据表1、表2参数计算公众铀、钍放射性核素年摄入量及年待积有效剂量,得出成人年待积有效剂量为0.951 μSv/a,儿童为0.666 μSv/a,结果见表6。

表6 天然铀、钍的年摄入量及年待积有效剂量				
核素	成人		儿童	
	摄入量(Bq/a)	年待积有效剂量(μSv/a)	摄入量(Bq/a)	年待积有效剂量(μSv/a)
²³⁸ U	6.730	0.303	3.410	0.232
²³⁵ U	0.313	0.015	0.159	0.011
²³² Th	2.750	0.633	1.460	0.423
合计	9.790	0.951	5.030	0.666

3 讨论

5种食品样品中铀含量浓度最高的为谷类,值为1.86×10⁻⁶ g/kg,铀含量大小依次为谷类>薯类>蔬菜>肉类>奶类;钍含量浓度最高的为肉类,值为2.28×10⁻⁶ g/kg,钍含量大小依次为肉类>谷类>蔬菜>薯类>奶类。食品样品中铀、钍含量浓度均低于

GB 14882—1994《食品中放射性物质限制浓度标准》规定的限值浓度,处于天然本底水平,说明该地区的食品没有受到铀、钍放射性核素的污染。

成人天然铀的年摄入量为7.04 Bq/a,天然钍的年摄入量为2.75 Bq/a;儿童天然铀的年摄入量为3.57 Bq/a,天然钍的年摄入量为1.46 Bq/a,均低于GB 14882—1994规定的年摄入量限值,天然铀的年摄入量均大于天然钍的年摄入量。成人内照射年待积有效剂量为0.951 μSv/a,其中铀的剂量贡献为0.318 μSv/a,钍的剂量贡献为0.633 μSv/a;儿童内照射年待积有效剂量为0.666 μSv/a,其中铀的剂量贡献为0.243 μSv/a,钍的剂量贡献为0.423 μSv/a,成人铀、钍放射性核素内照射剂量大于儿童,钍放射性核素对人体内照射剂量贡献大于铀放射性核素,其结果略低于国内相关资料调查报告^[3, 10-12],可能与该地区的地形地貌、农业发达水平及当地居民的饮食习惯相关。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献

[1] 张景源, 诸洪达. 中国食品放射性及所致内剂量[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989: 210-234.

[2] 武权, 刘庆芬, 张晓东, 等. 我国食品中放射性核素含量与限制标准[J]. 癌变·畸变·突变, 2012, 24(6): 470-473.

[3] 侯为道, 龚怀宇, 李彬, 等. 成都居民膳食中天然放射性核素水平及所致内照射剂量的研究[J]. 中国食品卫生杂志, 1999, 11(5): 10-12.

[4] 中华人民共和国卫生部. 食品中放射性物质检验 天然钍和铀的测定: GB 14883.7—1994[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.

[5] 高艳辉, 诸洪达, 樊体强, 等. 食品中天然铀和钍的三正辛胺萃取—分光光度法联合测定研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2010, 30(2): 218-221.

[6] 诸洪达, 高俊全, 尹协瑜, 等. 中国人膳食组成及食入元素和放射性核素摄入量研究(一)全国性调查结果[J]. 辐射防护通讯, 1996, 16(2): 1-24.

[7] UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation: UNSCEAR 2008 report to the General Assembly with scientific annexes Volume 1[R]. New York: United Nations, 2008.

[8] 中华人民共和国卫生部. 食品中放射性物质限制浓度标准: GB 14882—1994[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.

[9] 潘自强. 辐射安全手册[M]. 北京: 科学出版社, 2011.

[10] 张秀莲, 贺良国, 董强, 等. 乐山市食品中放射性核素含

量及其所致居民有效待积剂量当量[J].职业卫生与病伤, 2008, 23(6): 335-338.

[11]张景源, 诸洪达, 韩佩珍, 等.我国食品放射性含量及其所致居民内照射剂量估算[J].中华放射医学与防护杂志, 1988, 8(1): 33-36.

[12]陈人强, 关晓理, 李书龙, 等.三亚市食品放射性核素含量及所致居民剂量估算[J].中国辐射卫生, 2002, 11(1): 31-32.

(收稿日期: 2016-02-25)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 洪琪; 校对: 陈姣)

【告知栏】

《环境与职业医学》杂志微信公众账号正式上线

《环境与职业医学》杂志微信公众账号已于近期正式上线,该平台包括“读者”“作者”和“我们”三个主菜单,主要提供稿件状态查询、当期最新内容及稿件撰写要求等内容,同时也发布国内外最新研究动态及发展前沿等资讯,满足读者网络时代碎片化阅读的需求。本平台旨在编者、作者、读者之间搭建一个分享、学习、互动的平台,以此推动《环境与职业医学》杂志的健康发展。

请直接扫描二维码或在公众号中搜索“环境与职业医学”(微信号: JEOM),即可关注本刊微信公众账号。



《环境与职业医学》编辑部

全球健康促进大会首次在中国举行

第九年全球健康促进大会于2016年11月21—24日在中国上海举行。全球健康促进大会是健康促进领域最高级别的会议。本届大会由国家卫生计生委和世界卫生组织共同主办,上海市人民政府承办。来自世界卫生组织各成员国负责健康促进工作的代表,联合国有关机构负责人,部分国家卫生和相关部门部长、健康城市市长,国际健康促进和可持续发展等领域专家学者将参会这一盛会。

大会的主题为:“可持续发展中的健康促进”。大会会期3.5d,与会代表将围绕“健康城市”“跨部门行动”“社会动员”“健康素养”等主题进行研讨,旨在运用健康促进的理论与实践实现联合国2030可持续发展目标,为健康促进在21世纪的发展注入新的活力。本届大会将发表《上海宣言》,指导下一阶段全球健康促进工作,推动健康促进的理论和实践,提升健康在联合国2030可持续发展目标中的地位和作用。会议期间将举办“健康城市市长论坛”,呼吁市长在建设健康城市、实现可持续发展目标中发挥关键作用。

今年是“十三五”规划开局之年,也是推进“健康中国”建设的起航之年,又恰逢首届全球健康促进大会召开30周年。在这样一个关键时刻,由中国举办第九年全球健康促进大会,既是开启全球健康促进新征程、全面实施联合国2030年可持续发展目标的重要起点,也是我们向世界展示中国成就、分享中国经验,加快推进健康中国建设的重要契机。大会第三天是“中国国家日”,将通过论坛、展览展示、现场考察形式向全世界展示中国卫生与健康事业发展成就。