

赤峰市饮用水中的总放射性水平调查

张旭晖 格日勒满达呼 哈日巴拉 申娜 王成国 王海玲

【摘要】 目的 了解赤峰市饮用水中的总放射性水平,估算由饮用水摄入放射性核素所致辐射年有效剂量。**方法** 在赤峰市 12 个旗县区布点采集水样,用低本底 α 、 β 放射性测量仪和高纯锗 γ 能谱仪进行测量。**结果** 本次调查的赤峰市饮用水中的总 α 放射性水平为 0.016 ~ 1.230 Bq/L,总 β 放射性水平为 0.039 ~ 0.878 Bq/L。居民通过饮用自来水摄入总 α 放射性所致辐射年有效剂量为 0.071 mSv/年。**结论** 本次调查的赤峰市饮用水中的总 α 总 β 平均值低于世界卫生组织 (WHO) 的指导值,居民饮用自来水所致辐射年有效剂量在安全水平之下。

【关键词】 赤峰市; 饮用水; 总 α 和总 β 放射性

The survey of gross radioactivity level of drinking water in Chifeng city Zhang Xuhui, Gerilemandahu, Haribala, Shen Na, Wang Chengguo, Wang Hailing. * Prevention and Treatment Institute for Occupational Diseases of Chifeng, Chifeng 024005, China
Corresponding author: Gerilemandahu, Inner Mongolia Center for Disease Control and Prevention, Hohhot 010031, Email:150040648@qq.com

【Abstract】 Objective To determine the gross radioactivity in drinking water in Chifeng city and to estimate the annual effective dose associated with intake of radionuclides from drinking water. **Methods** Water samples were collected at locations distributed in 12 counties across Chifeng city, and radioactivity was measured with a low background α/β measuring instrument and HPGe γ spectrometer. **Results** Gross α radioactivity in drinking water was in the range of 0.016 – 1.230 Bq/L and gross β radioactivity in the range of 0.039 – 0.878 Bq/L in Chifeng city. The average annual effective dose to the local population from gross α radioactivity was 0.071 mSv/a. **Conclusions** The gross α/β level in Chifeng city is lower than the World Health Organization-recommended value and the average annual effective dose due to drinking water is within the recommended safety level.

【Key words】 Chifeng City; Drinking water; Gross α and β radioactivity

水中总 α 、总 β 放射性含量,基本上能反映出水中放射性总体水平,可作为水质放射性污染监测的一个重要指标^[1]。世界卫生组织 (WHO) 关于生活饮用水中总 α 和总 β 的活度的推荐限值分别为 0.5 和 1 Bq/L^[2]。在我国标准中,生活饮用水中的总 α 、总 β 放射性沿用了 WHO 推荐值,居民通过饮水所致辐射暴露的年有效剂量 0.1 mSv/年^[3]。目前,还没有关于赤峰地区饮用水中总放射性监测的相关报道。本研究对赤峰市饮用水进行放射性筛查,建立赤峰地区的饮用水中总放射性活度的调查数据库,掌握本地区水中放射性的本底水平,为快速初判可能发生的核辐射突发事件提供科学依据。

材料与方法

1. 实验仪器:采用德国伯托公司生产的 LB770 型流气式低本底总 α/β 放射性测量仪进行测量。其探测器直径为 60 mm,本底计数率为 $\alpha < 0.05$ 计数/min、 $\beta < 1$ 计数/min。采用美国 ORTEC 公司生产的高纯锗 γ 能谱仪测量核素的放射性,其在 ^{60}Co 的 1.33 MeV 能量分辨率 < 1.85 keV,相对效率 $> 32\%$ 。两个设备均在检定周期内。

2. 测量方法:样品的总 α 放射性选用标准曲线法进行测量,总 β 放射性选用薄样法进行测量,对总 α 值高于指导值 (0.5 Bq/L) 的样品进一步做了 γ 能谱核素分析,其总 β 值均在指导值 (1.0 Bq/L) 以下。通过下式计算居民通过饮水所致辐射暴露的年有效剂量 (AED): $AED = A \times C \times V^{[4]}$ 。式中, A 为总 α 放射性活度, Bq/L; C 为成人通过饮用水摄入总 α 的剂量转换系数, $C = 3.58 \times 10^{-4}$ mSv/Bq^[5-6];

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2015.11.014

基金项目:内蒙古自治区自然科学基金 (2014MS0861);内蒙古自治区卫生和计划生育委员会医疗卫生科研计划项目 (201301028)

作者单位:024005 赤峰市职业病防治所 (张旭晖);内蒙古疾病预防控制中心 (格日勒满达呼、哈日巴拉、申娜、王成国、王海玲)

通信作者:格日勒满达呼, Email:150040648@qq.com

V 为成人的年均饮水量, $V = 730 \text{ L/年}^{[2]}$ 。

3. 样品布点及前处理:本次调查覆盖赤峰市 12 个旗县区,在确保采集居民饮用水和水厂出厂水的基础上再采集居民集中居住地(苏木、嘎查等)的河水、湖水、井水等。采集时节分为枯水期和丰水期。本次调查共采集测量 231 份样品,涵盖了居民自来水、出厂水、河水、井水、湖水等,把水库水、泡子水、水源水等作为湖水进行统计。

4. 总放射性测量样品前期处理:所有水样按体积比 50:1 加入硝酸,取 1 L 水样加热浓缩至约 50 ml,冷却。样品转移至瓷蒸发皿,滴加 1 ml 硫酸混匀,放入高温炉,在 $(350 \pm 10)^\circ\text{C}$ 下灼烧 1 h,取出置于干燥器中冷却至室温,待测量。

5. γ 能谱测量的前期处理:取 10 L 水样分 10 次加入烧杯中,浓缩至约 100 ml 时,再加入 1 L 水样,在电热板上加热蒸发浓缩,冷却至室温,装入样品瓶中,放置 30 d,待 ^{226}Ra 及其子体达到平衡之后进行测量。对总 α 值高于指导值(0.5 Bq/L)的样品进一步做 γ 能谱核素分析,其总 β 值均在指导值(1.0 Bq/L)以下。相关水样的采集点分布在赤峰市元宝山区、阿鲁科尔沁旗、翁牛特旗。

6. 质量控制:标准物质为 α 粉末标准物质(^{241}Am),比活度 14.7 Bq/g ; β 粉末标准物质(^{40}K)比活度 16.1 Bq/g ;水体效率校准源,均由中国计量科学研究院提供。本实验室连续 3 年参加中国疾控中心实验室间检测能力比对工作,成绩均合格。

7. 统计学处理:数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用 SPSS 17.0 软件进行分析,使用 t 检验进行丰水期和枯水

期的饮用水中总 α/β 放射性测量结果比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 不同时期种类水样测量:不同时期种类水样在枯水期和丰水期的总放射性测量结果列于表 1。枯水期的水中总 α 和 β 的放射性调查结果范围分别是:自来水, $0.032 \sim 0.858$ 和 $0.069 \sim 0.435 \text{ Bq/L}$; 出厂水, $0.041 \sim 0.852$ 和 $0.054 \sim 0.451 \text{ Bq/L}$; 河水, $0.058 \sim 1.107$ 和 $0.066 \sim 0.873 \text{ Bq/L}$; 湖水, $0.019 \sim 0.766$ 和 $0.094 \sim 0.434 \text{ Bq/L}$; 井水, $< 0.016 \sim 0.233$ 和 $0.112 \sim 0.490 \text{ Bq/L}$ 。相应丰水期样品结果范围是:自来水, $< 0.016 \sim 1.003$ 和 $0.050 \sim 0.450 \text{ Bq/L}$; 出厂水, $0.120 \sim 0.994$ 和 $0.039 \sim 0.571 \text{ Bq/L}$; 河水, $0.027 \sim 1.230$ 和 $0.080 \sim 0.827 \text{ Bq/L}$; 湖水, $< 0.016 \sim 0.677$ 和 $0.070 \sim 0.938 \text{ Bq/L}$ 。由表 1 可知,赤峰市各类水样的测量结果在枯水期和丰水期的差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

2. 总 α 高于指导值的测量结果:生活饮用水中总放射性活度高于推荐参考值的结果列于表 2。由表 2 可知,1 L 水样蒸发后的残渣量范围大约在 $0.5 \sim 1.5 \text{ g}$ 。赤峰地区饮用水中 ^{238}U 的测量结果都低于探测下限;自来水和出厂水中 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 全部低于探测下限;只有在河水和湖水中测到了微量天然放射性核素 ^{226}Ra 、 ^{232}Th ,属于本底水平。

3. 居民通过饮水所致辐射年均有效剂量:通过公式计算,丰水期的饮自来水所致辐射暴露的居民

表 1 不同时期种类水样的总放射性核素测量结果($\text{Bq/L}, \bar{x} \pm s$)

时期	核素	自来水	出厂水	河水	湖水	井水
枯水期	α	0.261 ± 0.201	0.312 ± 0.208	0.487 ± 0.394	0.292 ± 0.258	0.088 ± 0.125
	β	0.150 ± 0.082	0.183 ± 0.119	0.344 ± 0.281	0.194 ± 0.104	0.371 ± 0.224
丰水期	α	0.271 ± 0.219	0.297 ± 0.196	0.048 ± 0.499	0.181 ± 0.195	—
	β	0.146 ± 0.086	0.154 ± 0.107	0.269 ± 0.209	0.322 ± 0.594	—

注:“—”为丰水期未采集井水。枯水期和丰水期采集样品数量分别为自来水 39、出厂水 33、河水 25、湖水 16、井水 3 和自来水 43、出厂水 39、河水 20、湖水 13、井水 0

表 2 生活饮用水中总 α 放射性活度高于指导值的结果

水样种类	数量	总 α (Bq/L)	残渣量 (mg)	^{238}U (Bq/L)	^{226}Ra (Bq/L)	^{232}Th (Bq/L)
自来水	5	$0.727 \sim 1.003$	$659.6 \sim 1120.5$	< LLD	< LLD	< LLD
出厂水	6	$0.720 \sim 0.994$	$722.1 \sim 1188.1$	< LLD	< LLD	< LLD
河水	9	$0.663 \sim 1.230$	$512.6 \sim 1473.6$	< LLD	< LLD ~ 0.009	< LLD ~ 0.007
湖水	3	$0.642 \sim 0.766$	$744.2 \sim 1132.2$	< LLD	< LLD ~ 0.008	< LLD ~ 0.006

注:LLD 为 γ 能谱探测下限, ^{238}U 、 ^{226}Ra 和 ^{232}Th 的 LLD 分别为 0.167 、 0.006 和 0.005 Bq/L

年均有效剂量为 0.071 mSv/年,枯水期的饮自来水所致辐射暴露的居民年均有效剂量为 0.068 mSv/年,均小于 WHO 推荐的待积有效剂量 0.1 mSv/年。

讨 论

本次筛查在 2013—2014 年进行,调查涵盖了赤峰市的 3 区 7 旗 2 县的居民饮用水、水厂水和部分河水、湖水、井水等。赤峰市饮用水中总 α 放射性水平 0.016 ~ 1.230 Bq/L、总 β 放射性水平 0.039 ~ 0.938 Bq/L,在全国平均水平之内^[2]。

所有种类水样在枯水期和丰水期的总 α 均值和总 β 均值均 < 国家标准指导值。在 5 类水样中,枯水期和丰水期的河水的总 α 均值和最大值均高于其他种类水样,丰水期湖水的总 β 平均值和最大值均高于其他种类水样。

对总 α 值高于参考水平的样品做了 γ 能谱核素分析,²³⁸U、²²⁶Pa 和²³²Th 的放射性活度基本上属于本底水平,与周滢等^[7]的研究数据一致。总 α 值偏高的原因有可能是赤峰市位于我国北部,降雨量少于南方,地面水蒸发量大,水内无机离子因浓集而含量增高。其次,个别地区是矿区(元宝山区),地质结构复杂。样品制备过程中,过滤杂质不充分,残渣量多也是造成河水、湖水的总放射性偏高的一个主要原因。

本研究采集了 3 份井水样品,均来自牧区家用自备井,是浅层地下水。井水的总 α 、总 β 放射性活度均在指导值以下。根据全国的数据,地下井水的总 α 一般较高,3 份井水样品的总 α 、总 β 放射性活度均在指导值以下,有可能是采样数量少,采集样品至测量的时间过长有关。

赤峰市位于内蒙古自治区东南部,与河北省和辽宁省接壤。河北省石家庄市自来水中的总 α 放射性水平为 0.010 ~ 0.040 Bq/L,总 β 放射性水平为 0.010 ~ 0.380 Bq/L^[1],辽宁省水中总 α 放射性水平为 0.010 ~ 0.227 Bq/L,总 β 放射性水平为 0.010 ~ 0.500 Bq/L^[7-9],北京市水中总 α 放射性水

平为 0.010 ~ 0.702 Bq/L,总 β 放射性水平为 0.010 ~ 0.940 Bq/L^[7,10],赤峰市水中总放射性水平与周边省市地区的水中放射性水平基本一致。

通过本次调查建立了赤峰市饮用水中总放射性活度的数据库,为应急情况下快速监测评估放射性污染等工作可提供科学数据。

参 考 文 献

- [1] 尹亮亮,吉艳琴,申宝鸣,等. 我国饮用水中总 α 、 β 放射性数据评价[J]. 中国辐射卫生,2011,20(1): 1-5.
- [2] World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality, fourth edition[R]. Switzerland: WHO, 2011.
- [3] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5750 13-2006 生活饮用水标准检验方法放射性指标[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [4] Miao XX, Ji YQ, Shao XZ, et al. Radioactivity of drinking-water in the vicinity of nuclear power plants in China based on a large-scale monitoring study [J]. Int J Environ Res Public Health, 2013, 10(12): 6863-6872.
- [5] Eckerman KF, Wolbarst AB, Richardson ACB. Limiting values of radionuclide intake and air concentration and dose conversion factors for inhalation, submersion, and ingestion: federal guidance report No. 11 [R]. Washington DC: Environmental Protection Agency, 1988.
- [6] Fernandez Fm, Lozano JC, Gomez JMG. Natural radionuclides in ground water in western Spain[J]. Radiat Prot Dosim, 1992, 45(1), 227-229.
- [7] 周滢,姚海云,朱玲,等. 1995—2009 年我国部分地区饮用水放射性水平监测[J]. 辐射防护通讯,2011,31(6): 6-12.
- [8] 石二为,崔勇,张谦,等. 日本福岛核事故对辽宁省局部地区环境放射性水平的影响[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2012,32(2): 137-140.
- [9] 马俊杰,李涤,石二为,等. 辽宁省大中城市自来水的总放射性水平[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1998, 18(6): 436-438.
- [10] 马永忠,万玲,王文海,等. 北京市生活饮用水中总放射性的测量[J]. 中华放射医学与防护杂志,2003,23(6): 465-467.

(收稿时间:2015-05-29)