

2011 – 2017 年北京市地表水与生活饮用水放射性水平调查

王欢, 孙亚茹, 孔玉侠, 崔力萌, 马永忠

北京市疾病预防控制中心, 北京市预防医学研究中心, 北京 100013

摘要: **目的** 调查 2011 – 2017 年北京市地表水和生活饮用水中的放射性水平及分布特点, 以便更好开展北京市地表水和生活饮用水放射卫生监测和评价工作。 **方法** 抽查北京市 16 个行政区共 551 件地表水和生活饮用水样品, 其中地表水 287 件, 生活饮用水 264 件, 使用 BH1217B 双路弱 α 、 β 测量仪测量水中的总 α 和总 β 放射性。 **结果** 2011 – 2017 年北京市地表水总 α 、总 β 放射性活度的平均值分别为 0.082 和 0.230 Bq/L, 生活饮用水总 α 、总 β 放射性活度平均值分别为 0.090 和 0.090 Bq/L; 地表水与生活饮用水比较, 生活饮用水总 α 放射性水平较高 ($P < 0.05$), 地表水总 β 放射性水平较高 ($P < 0.05$)。地表水总 α 放射性水平, 生活饮用水总 α 、总 β 放射性水平在 2011 – 2017 年分布差异有统计学意义 (P 值均小于 0.05), 地表水总 β 放射性水平在 2011 – 2017 年分布差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。 **结论** 北京市地表水和生活饮用水中放射性水平处于正常本底值。

关键词: 北京市; 地表水; 生活饮用水; 总 α ; 总 β ; 放射性水平

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2018)05-0492-04

Investigation of radioactivity levels of surface water and drinking water in Beijing from 2011 to 2017

WANG Huan, SUN Yaru, KONG Yuxia, CUI Limeng, MA Yongzhong

Beijing Municipal Center for Disease Prevention and Control,

Beijing Research Center for Preventive Medicine, Beijing 100013 China

Abstract: **Objective** To investigate the radioactivity level and its distribution in surface water and drinking water in Beijing from 2011 to 2017 for better launching the program of monitoring and assessment of water. **Methods** 551 water samples including 287 surface water and 264 drinking water were collected from 16 districts. The gross α , gross β of these samples were measured by using the BH1217B dual-channel low α/β measuring instrument. **Results** The gross α , gross β of surface water and drinking water in Beijing from 2011 to 2017 were averaged to be 0.082, 0.230, 0.090 and 0.090 Bq/L, respectively. The level of gross α in drinking water was higher than that in surface water. The level of gross β in surface water was higher than that in drinking water. The difference of gross α activity from 2011 to 2017 in surface water was statistically significant. The difference of gross β activity from 2011 to 2017 in surface water was not statistically significant. The difference of gross α and gross β activity from 2011 to 2017 in drinking water were statistically significant respectively. **Conclusion** The radioactivity level in surface water and drinking water in Beijing from 2011 to 2017 are in a normal background level.

Key words: Beijing; Surface Water; Drinking Water; Gross α ; Gross β ; Radioactivity Level

水是人体的重要组成部分, 是维持正常生理活动所必须的物质, 人均每天需水量约 2 ~ 3 L。水中所含天然或人工的放射性核素通过饮水摄入体内, 对人体造成一定的辐射剂量^[1]。因此水源是否受到放射性核素污染, 历来是人们普遍关心的问题。水中总 α 、总 β 放射性含量, 能够基本上反映出水体中放射性总体水平, 可作为水中放射性污染监测的一个重要指标^[2]。水体中放射性主要来源于地壳中存在的天然放射性物

质^[3]。核试验和核事故产生的人工放射性核素, 通过各种途径进入水体后可能提高其放射性水平, 因此, 应定期监测生活饮用水中的放射性水平, 及时发现和控制饮用水可能受到的放射性污染, 避免危害公众的健康^[4]。为了解北京市地表水和生活饮用水中总放射性水平, 掌握北京地区地表水和生活饮用水中放射性指标基线数据, 以便更好的开展北京市地表水和生活饮用水放射卫生监测和评价工作, 为核辐射事故医学应

急关键技术及公众防护对策研究提供参考^[5],从 2011 至 2017 年对北京市 551 件水样中的总 α 、总 β 放射性进行了调查,现将结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品来源 样品来自全市 16 个区固定采样点,包括北京市各辖区内样品共 551 件,其中地表水 287 件,生活饮用水 264 件,其中地表水为各区县内的不用于饮用的河湖水。分别在丰水期和枯水期在上述采样点各采集水样 1 次,具体采样数量见表 1。

表 1 2011–2017 年北京市地表水与生活饮用水采样分布

年份	地表水		生活饮用水		合计
	枯水期	丰水期	枯水期	丰水期	
2011	21	21	48	0	90
2012	21	21	18	18	78
2013	21	21	18	19	79
2014	22	22	20	17	81
2015	21	20	25	17	83
2016	19	19	16	16	70
2017	19	19	16	16	70
合计	144	143	161	103	551

1.1.2 测量仪器与设备 总放射性测量仪器为 BH1217B 双路弱 α 、 β 测量装置,北京核仪器厂,测量前采用 α 、 β 标准源刻度校正。测量条件:预热时间 60 min,工作电压 800 V。中国计量科学研究院每年定期对该设备进行检定,仪器在有效检定/校准周期内使用。本实验室每年均参加中国疾病预防控制中心(CDC)组织的实验室比对。标准源为中国计量院提供的²³⁸U 粉末(26.6 Bq/g)和⁴⁰K 粉末(16.1 Bq/g)。

1.2 方法

1.2.1 采样 水样收集前,用流动水清洗采样器具 3 次以上。采集地表水前一周内当地无降雨,取水点应距离岸边大于等于 10 m,并于水面以下 0.5 m 处采样;采集生活饮用水时,应先放掉水管中的积水,取末端自来水。每个水样取 2 件,各 1 L。

1.2.2 样品处理 按照《生活饮用水标准检验方法放射性指标》^[6](GB/T 5750.13–2006)对水样品进行处理,取 1 L 水样加入浓度为 50% 的 HNO₃ 20 ml,硝化处理后样品转移至烧杯中蒸发浓缩至体积 50 ml 左右,将浓缩水样转入在室温已称量恒重的坩埚中,加入 1 ml 浓硫酸蒸发至干,最后将坩埚放入马弗炉中

350 ℃ 下灰化 1 h,冷却后称重,铺盘测量。

1.3 计算公式 水样中总 α 、总 β 放射性水平浓度的计算公式为:

$$A = \frac{n_c - n_b}{n_s - n_b} A_s \times \frac{m}{v}$$

其中 A 为水样总 α 、 β 放射性浓度(Bq/L); n_c 、 n_s 、 n_b 分别为样品、标准源和仪器本底计数率(cps); A_s 为 α 、 β 标准源的放射性比活度(Bq/g); m 为水样的总灰重(g); V 为水样体积(L)。

1.4 统计分析 采用 SPSS 20.0 软件进行统计分析,当计量资料不服从正态分布时采用中位数(四分位数间距)[$M(Q_R)$]表示,两样本比较采用 Mann–Whitney U 检验,多组样本间比较采用 Kruskal–Wallis H 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同采样时期地表水与生活饮用水总放射性水平 2011–2017 年北京市地表水与生活饮用水总放射性水平见表 2。地表水和生活饮用水总 α 、总 β 放射性水平比较,总 α 、总 β 放射性水平的分布差异均有统计学意义($Z = 2.54$ 、 -12.0 ,均 $P < 0.05$)。其中生活饮用水的总 α 放射性水平大于地表水,地表水的总 β 放射性水平大于生活饮用水。在枯水期,地表水和生活饮用水总 α 放射性水平比较,总 α 放射性水平分布差异无统计学意义($Z = 0.718$, $P > 0.05$)。在丰水期,地表水和生活饮用水总 α 放射性水平比较,总 α 放射性水平的分布差异有统计学意义($Z = 2.00$, $P < 0.05$)。在枯水期和丰水期,地表水和生活饮用水总 β 放射性水平比较,总 β 放射性水平的分布差异均有统计学意义($Z = -8.12$ 、 -8.89 ,均 $P < 0.05$),见表 3。丰水期和枯水期比较,地表水总 α 放射性水平,生活饮用水总 β 放射性水平在丰水期和枯水期分布差异均有统计学意义($Z = -3.89$ 、 -3.41 ,均 $P < 0.05$);地表水总 β 放射性水平,生活饮用水总 α 放射性水平在丰水期和枯水期分布差异均无统计学意义($Z = -0.863$ 、 -1.88 ,均 $P > 0.05$)。

2.2 不同年度地表水与生活饮用水总放射性水平 2011–2017 年,地表水总 α 放射性水平范围为 0.058 ~ 0.113 Bq/L,其中 2011 年最高,地表水总 α 放射性水平在 2011–2017 年分布差异有统计学意义($Z = 23.2$, $P < 0.05$),其中 2016 年与 2014 年、2016 年与 2011 年、2012 年与 2014 年、2012 年与 2011 年成对比较,地表水总 α 放射性水平分布差异均有统计学意义

($Z = 3.07, 3.39, -3.22$ 和 3.57 , 均 $P < 0.05$)。2011 – 2017 年, 生活饮用水总 α 放射性水平平均范围为 $0.074 \sim 0.135$ Bq/L, 其中 2014 年最高, 生活饮用水总 α 放射性水平在 2011 – 2017 年分布差异有统计学意义 ($Z = 14.4, P < 0.05$), 其中 2013 年与 2014 年成对比较, 生活饮用水总 α 放射性水平分布差异有统计学意义 ($Z = -3.20, P < 0.05$)。2011 – 2017 年, 地表水总 β 放射性水平平均范围为 $0.164 \sim 0.280$ Bq/L, 其中 2015 年最高, 地表水总 β 放射性水平在 2011 – 2017 年分布差异无统

计学意义 ($Z = 12.1, P = 0.06$)。2011 – 2017 年, 生活饮用水总 β 放射性水平平均范围为 $0.080 \sim 0.110$ Bq/L, 其中 2017 年最高, 生活饮用水总 β 放射性水平 2011 – 2017 年分布差异有统计学意义 ($Z = 26.8, P < 0.05$), 其中 2014 年与 2015 年、2014 年与 2017 年、2014 年与 2016 年、2012 年与 2016 年成对比较, 生活饮用水总 β 放射性水平分布差异均有统计学意义 ($Z = -3.26, -3.08, -3.37, -3.12$, 均 $P < 0.05$)。见表 4。

表 2 北京市地表水与生活饮用水总放射性水平 [$M(Q_R)$, Bq/L]

类型	样品数	总 α		总 β	
		范围值	$M(Q_R)$	范围值	$M(Q_R)$
地表水	287	0.009 ~ 0.540	0.080(0.078)	0.032 ~ 0.800	0.230(0.300)
生活饮用水	264	0.005 ~ 0.580	0.090(0.088)	0.007 ~ 0.460	0.090(0.034)
合计	551	0.005 ~ 0.580	0.082(0.082)	0.007 ~ 0.800	0.110(0.169)

表 3 北京市地表水与生活饮用水枯水期、丰水期总放射性水平 [$M(Q_R)$, Bq/L]

类型	枯水期		丰水期	
	总 α	总 β	总 α	总 β
地表水	0.100(0.080)	0.238(0.334)	0.070(0.058)	0.228(0.276)
生活饮用水	0.100(0.089)	0.094(0.035)	0.080(0.090)	0.080(0.034)
P 值	>0.05	<0.05	<0.05	<0.05

表 4 2011 – 2017 年地表水与生活饮用水总放射性水平比较 [$M(Q_R)$, Bq/L]

年份	样品数	地表水		样品数	生活饮用水	
		总 α	总 β		总 α	总 β
2011	42	0.113(0.083)	0.164(0.324)	48	0.094(0.072)	0.092(0.036)
2012	42	0.058(0.058)	0.164(0.261)	36	0.086(0.098)	0.085(0.035)
2013	42	0.079(0.071)	0.235(0.259)	37	0.074(0.075)	0.087(0.036)
2014	44	0.090(0.080)	0.250(0.310)	37	0.135(0.160)	0.080(0.030)
2015	41	0.075(0.075)	0.280(0.355)	42	0.090(0.180)	0.100(0.060)
2016	38	0.060(0.030)	0.247(0.369)	32	0.077(0.080)	0.105(0.038)
2017	38	0.095(0.015)	0.255(0.338)	32	0.110(0.085)	0.110(0.035)

3 讨论

本次调查显示, 2011 – 2017 年北京市地表水总 α 、总 β 、生活饮用水总 α 、总 β 放射性分别为 0.082 (0.078)、 0.230 (0.300)、 0.090 (0.088)、 0.090 (0.034) Bq/L, 这与马永忠等调查的北京市 1995 – 2002 年地表水与生活饮用水中总放射性水平一致^[7],

见表 5。本次结果显示, 总 α 放射性水平生活饮用水大于地表水, 生活饮用水总 α 放射性水平较高, 这是由于北京市生活饮用水的水源较为复杂, 包括深井水和水库水等。深井水在形成的过程中可能溶入一定量的周围岩石和土壤的天然放射性核素。总 β 放射性水平地表水大于生活饮用水, 这与国内其他地区研究报道基本一致^[2,8-9]。

表 5 北京市 1995 – 2002 年与 2011 – 2017 年地表水与生活饮用水总放射性水平 (Bq/L)

类型	总 α		总 β	
	1995 – 2002	2011 – 2017	1995 – 2002	2011 – 2017
地表水	0.073(0.046)	0.080(0.078)	0.215(0.283)	0.230(0.300)
生活饮用水	0.085(0.074)	0.090(0.088)	0.084(0.047)	0.090(0.034)

2011–2017 的调查结果表明,地表水总 α 放射性水平的波动较大,各年间最大值约为最小值的 2 倍;自来水总 β 放射性水平的波动较大,最大值约为最小值的 1.8 倍。世界卫生组织出版的《饮用水水质准则(第四版)》^[10] 中关于生活饮用水中总 α 、总 β 活度指导值分别为 0.5、1 Bq/L,在我国现行标准中生活饮用水中总 α 、总 β 活度沿用了世界卫生组织的指导值^[11]。尽管地表水、生活饮用水总 α 、总 β 放射性水平在 2011–2017 年有一定的波动,但各年总放射性平均水平都低于 GB 5749–2006《生活饮用水卫生标准》规定的总 α 、总 β 放射性活度 0.5、1.0 Bq/L 的指导值,在正常的本底范围内,其中北京市某区三个生活饮用水样品的总 α 略微超过 0.5 Bq/L 的指导值,最后通过跟踪分析,该生活饮用水样品的水源为同一深井水,建议对该深井水进行进一步的核素分析。

一般认为^[3,12] 水体中的总 α 主要来源于天然 U、Th 和 ^{226}Ra ,其中天然 U 和 ^{226}Ra 分别占总 α 放射性的 30% 和 52%;而水中总 β 放射性主要来源于 ^{40}K ,约占 50%。本调查显示北京市地表水和生活饮用水中的总放射性较低,均低于 GB 5749–2006《生活饮用水卫生标准》的指导值,持续开展北京市地表水和生活饮用水中总放射性水平的调查研究工作,对了解北京市地表水和生活饮用水中总放射性本底水平、及时发现人类活动造成的放射性污染以及核事故应急响应具有重要意义。

参考文献

(上接第 491 页)

- [2] Porstendorfer J. Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air[J]. Journal of Aerosol Science, 1994,25(2):219–263.
- [3] 刘书田. 环境污染监测实用手册[M]. 北京:原子能出版社,1997:40.
- [4] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB14883.1–2016 食品中放射性物质检验 总则[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [5] 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,2006.
- [6] 张瑞菊,庄振明,宋永忠,等. 南京市环境放射性水平调查与评价[J]. 中国辐射卫生,2014,23(5):443–445.
- [1] 谢明义,谢成瑶,刘刚. 四川省饮水总放射性水平与评价[J]. 四川环境,2000,19(4):54–55.
- [2] 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.
- [3] 胡玉芬,李新星,孙全富,等. 秦山核电站周围饮用水总放射性水平调查分析[J]. 中华放射医学与防护杂志,2011,31(5):595–597.
- [4] 马永忠,娄云,万玲,等. 北京地区应对日本福岛核事故污染的监测技术措施与效果[J]. 首都公共卫生,2012,6(2):60–66.
- [5] 宣志强,曹艺耀,俞顺飞,等. 秦山核电站周围饮用水总放射性水平调查[J]. 预防医学,2016,28(11):1091–1094.
- [6] 中华人民共和国卫生部、中国国家标准化管理委员会. 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,2006.
- [7] 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.
- [8] 格日勒满达呼,申娜,王成国,等. 内蒙古地区水中总放射性水平的调查分析[J]. 中华放射医学与防护杂志,2016,36(6):444–447.
- [9] 孙亚茹,武云云,万玲,等. 北京市生活饮用水放射性水平调查分析[J]. 首都公共卫生,2014,8(4):155–157.
- [10] World Health Organization. Guidelines for drinking – water quality, fourth edition[R]. Geneva:World Health Organization, 2011.
- [11] 中华人民共和国卫生部、中国国家标准化管理委员会. GB 5749–2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [12] 刘英. 再论国家生活饮用水卫生标准中总 α 和总 β 放射性指标的初筛意义[J]. 中华放射医学与防护杂志,2005,25(2):171–172.
- [7] 庄家毅,朱磷扬,辛全兵,等. 2014 年连云港市环境样品中总 α 、总 β 放射性水平分析[J]. 中国辐射卫生,2015,24(6):618–619.
- [8] 覃连敬,李美丽,蒋岚,等. 广州地区大气环境气溶胶样品放射性特征[J]. 核技术,2016,39(9):63–69.
- [9] 甄丽颖,张家俊. 阳江核电厂外围环境气溶胶总 α 、总 β 放射性水平[J]. 核技术,2017,40(8):080301.
- [10] 李清华,朱晓明,姚誉阳. 2014–2016 年无锡市环境介质总 α 、总 β 放射性水平调查[J]. 中国辐射卫生,2016,25(6):704–707.
- [11] 陈亮. 田湾核电站厂区及周围环境大气气溶胶中总 α 和总 β 放射性水平监测[J]. 环境监测管理与技术,2015,27(4):44–47.

收稿日期:2018–04–02

收稿日期:2018–03–10