

## 2011–2020 年深圳市环境辐射水平及变化趋势

冯江平 陶扬 刘焱

(广东省深圳生态环境监测中心站 深圳 518049)

**摘要** 为了研究深圳市环境辐射水平及其变化趋势,在 2011–2020 年间对深圳市开展了环境地表  $\gamma$  剂量率、空气中氡浓度、水中总  $\alpha$ 、总  $\beta$  水平及土壤中天然放射性含量的监测工作。结果表明:2011–2020 年深圳市环境地表  $\gamma$  剂量率水平为 69.3~131.0 nGy/h,空气中氡浓度为 6.23~18.60 Bq/m<sup>3</sup>,水中总  $\alpha$  水平为 0.016~0.225 Bq/L,总  $\beta$  水平为 0.028~0.826 Bq/L,土壤中天然放射性含量均处于本底水平范围。深圳市环境辐射水平在本底范围内波动,建议增加海洋放射性监测项目,进一步完善深圳市放射水平基础数据。

**关键词** 辐射,环境,监测

中图分类号 X591

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2023-0014

引用该文:

冯江平,陶扬,刘焱. 2011–2020 年深圳市环境辐射水平及变化趋势[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2023, 41(4): 040603. DOI: 10.11889/j.1000-3436.2023-0014.

FENG Jiangping, TAO Yang, LIU Yan. Trends and levels of environmental radiation in Shenzhen from 2011 to 2020[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2023, 41(4): 040603. DOI: 10.11889/j.1000-3436.2023-0014.



### Trends and levels of environmental radiation in Shenzhen from 2011 to 2020

FENG Jiangping TAO Yang LIU Yan

(Shenzhen Ecological and Environmental Monitoring Center of Guangdong Province, Shenzhen 518049, China)

**ABSTRACT** This study was conducted to assess the levels and trends of environmental radiation in Shenzhen between 2011 and 2020. The monitoring encompassed dose rate, radon concentration in the air, water radioactivity, and natural radioactivity content in soil. Results indicated that the dose rate ranged from 69.3 to 131.0 nGy/h, while radon concentration was between 6.23 and 18.60 Bq/m<sup>3</sup>. The activity concentration in water, for total alpha and total beta, ranged from 0.016 to 0.225 Bq/L and 0.028 to 0.826 Bq/L, respectively. The natural radioactivity content in soil was found to be within background levels. Overall, the environmental radiation levels in Shenzhen fluctuated within the background range. To enhance the comprehensiveness of the data, it is recommended that marine radiation monitoring projects be increased and the basic data on radiation levels in Shenzhen be further refined.

**KEYWORDS** Radiation, Environmental, Monitoring

CLC X591

深圳市作为中国特色社会主义先行示范区,除了拥有全国最大的核电基地,还有微型反应堆、放射性废物库以及近 2 000 家核技术利用单位(其中放射源 6 000 多枚,射线装置 6 000 多台)。从

第一作者:冯江平,男,1986 年 10 月生,2011 年于深圳大学获得硕士学位,主要从事核与辐射测量与分析工作

通信作者:刘焱,高级工程师, E-mail: 83687385@qq.com

收稿日期:初稿 2023-02-27;修回 2023-05-05

First author: FENG Jiangping (male) was born in 1986, and obtained his master's degree from Shenzhen University in 2011, mainly engaged in nuclear and radiation measurement and analysis

Corresponding author: LIU Yan, senior engineer, E-mail: 83687385@qq.com

Received 27 February 2023; accepted 05 May 2023

2011年日本福岛事件到朝鲜核爆事件可知，国际辐射形势日益严峻。辐射环境监测的基础数据是应对各种核与辐射事故（事件）的重要支撑之一。为了解深圳市环境辐射水平及变化趋势，本研究针对2011–2020年期间（10 a）的深圳市大气、水、土壤环境中的放射性水平进行监测分析，掌握深圳市放射性环境辐射水平变化趋势，为辐射环境影响提供了重要的基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 监测项目及频次

在深圳全市范围内，对环境地表 $\gamma$ 剂量率、空气中氡浓度、地表水中的总 $\alpha$ 和总 $\beta$ ，及土壤中天然放射核素含量，开展长期监测工作。监测计划见表1。

表1 深圳市环境辐射水平监测计划  
Table 1 Shenzhen environmental radiation level monitoring plan

监测项目 Monitoring items	点位数量 Quantity	监测频次 Frequency
环境地表 $\gamma$ 剂量率 $\gamma$ -ray dose rate on the land surface in environment	29	每月 Monthly
空气中氡浓度 Radon concentration in the air	20	每半年 Semiannual
地表水中总 $\alpha$ 、总 $\beta$ Total $\alpha$ and Total $\beta$ in water	22	每半年 Semiannual
土壤中天然放射性含量 Natural radioactivity content in soil	13	每年 Annually

### 1.2 仪器设备

环境地表 $\gamma$ 剂量率监测采用北京核仪器厂的BH-3103B设备，通过绘制本底质量控制图，宇宙射线测量及计量部门检定方式进行质量控制。空气中氡浓度监测采用法国MGP的ABPM203M设备，通过绘制本底质量控制图及计量部门检定方式进行质量控制。地表水中总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 监测采用北京核仪器厂的BH1216III型二路低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪，通过绘制本底质量控制图，计量部门检定及平行样方式进行质量控制。土壤中天然放射性含量监测采用ORTEC的P型HPGe探测器及DSPEC-jr2.0-POSGE数字 $\gamma$ 能谱仪，通过绘制本底质量控制图，计量部门检定及平行样方式进行质量控制。

### 1.3 监测方法

按照《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61—2001）<sup>[1]</sup>开展监测。按照《环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583—1993）<sup>[2]</sup>开展环境地表 $\gamma$ 剂量率监测。按照《环境空气中氡的标准测量方法》（GB/T 14582—1993）<sup>[3]</sup>开展空气中氡浓度监测。按照《生活饮用水标准检验方法放射性指标》（GB/T 5750.13—2006）<sup>[4]</sup>开展地表水中总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 监测。按照《土壤中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》（GB/T 11743—1989<sup>[5]</sup>、GB/T 11743—2013<sup>[6]</sup>）开展土壤中放射性核素含量监测。

### 1.4 监测布点

监测点位按照全市各区分布情况布设，具体点位信息见图1。

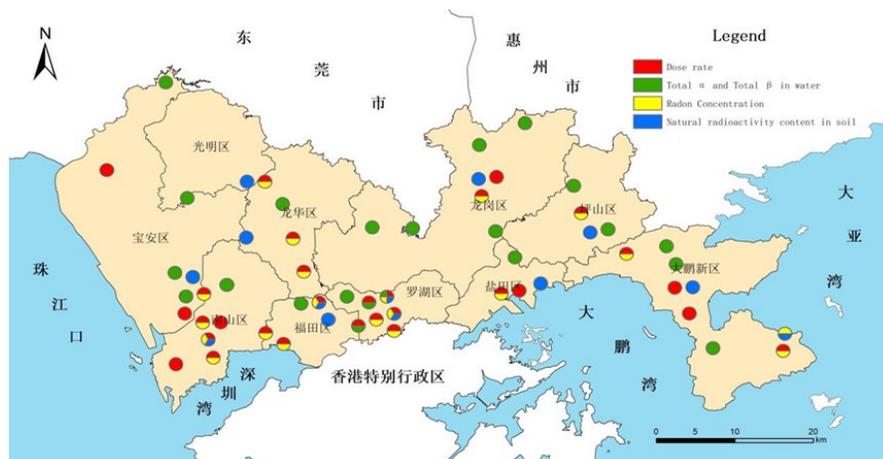


图1 深圳市辐射环境监测点位信息图  
Fig.1 Information of radiation environment monitoring points in Shenzhen

## 2 结果

### 2.1 环境地表 $\gamma$ 剂量率监测结果

2011–2020年，深圳市29个点位的环 境地表 $\gamma$ 剂量率范围为69.3~131.0 nGy/h。各点位平均值的10 a变化趋势见图2。根据中国环境天然放射性水平（20世纪80年代）调查结果<sup>[7]</sup>，广东省原野 $\gamma$ 辐射剂量率平均值为85.3 nGy/h，道路 $\gamma$ 辐射剂量率平均值为91.0 nGy/h。通过对比可知，深圳市环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率与20世纪80年代调查结果基本一致，天然本底水平未有明显变化。

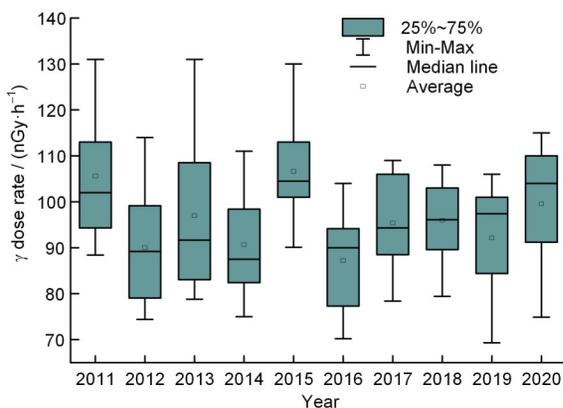


图2 深圳市环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率水平及变化趋势  
Fig.2 Shenzhen environmental surface  $\gamma$  radiation dose rate level and change

### 2.2 空气中氡浓度监测结果

2011–2020年，深圳市20个点位的空气中氡浓度范围为6.23~18.60 Bq/m<sup>3</sup>，平均值为11.20 Bq/m<sup>3</sup>，各点位平均值的10 a变化趋势见图3。

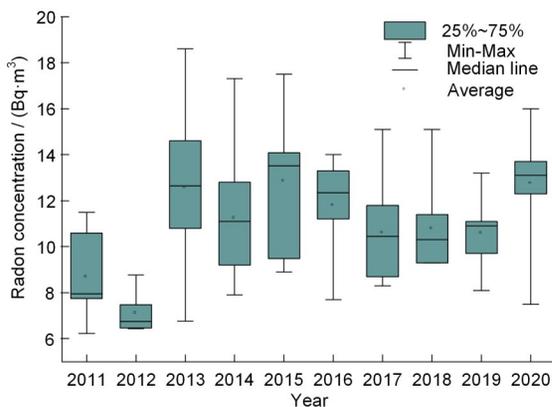


图3 深圳市空气中氡浓度水平及变化趋势  
Fig.3 Concentration level and variation trend of atmospheric aerosol radon in Shenzhen

深圳市空气中氡浓度监测结果略高于世界室外平均氡浓度(10 Bq/m<sup>3</sup>)<sup>[8]</sup>，比我国室外平均氡浓度(14 Bq/m<sup>3</sup>)<sup>[9-10]</sup>要低，并且这一浓度与世界其他海洋性气候的地区是一致的<sup>[11]</sup>。

### 2.3 地表水中总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 监测结果

2011–2020年，深圳市22个湖泊、水库中的总 $\alpha$ 数值范围为0.016~0.225 Bq/L，总 $\beta$ 数值范围为0.028~0.826 Bq/L，所有样品总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 放射性活度浓度均远低于国家标准规定的放射性指导值0.5 Bq/L和1.0 Bq/L。10 a变化趋势见图4、5。根据林立雄等<sup>[12]</sup>的调查结果，广东省地表水总体放射性水平中总 $\alpha$ 放射性活度浓度平均为0.042 Bq/L，总 $\beta$ 放射性活度浓度平均为0.140 Bq/L，与本文结果基本一致。

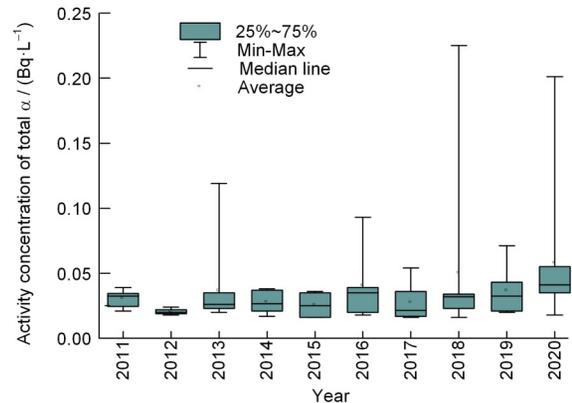


图4 水中总 $\alpha$ 放射性水平  
Fig.4 Activity concentration of total  $\alpha$  in water

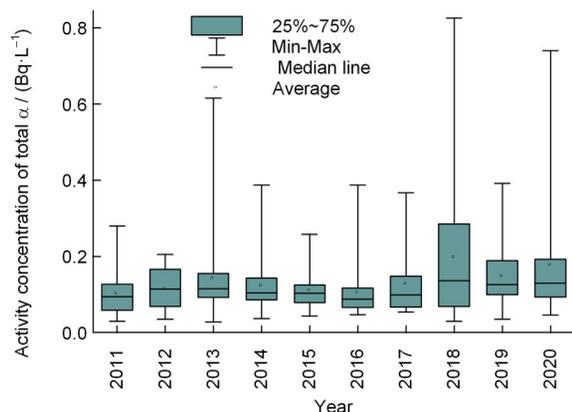


图5 水中总 $\beta$ 放射性水平  
Fig.5 Activity concentration of total  $\beta$  in water

由图6可见，2011–2020年，深圳市地表水湖泊水年均总放射性含量变化趋势与水库水基本保持一致，但湖泊水年均总放射性含量大部分高于水库水。进一步进行统计学分析，使用

SPSS19.0软件对数据进行检验。使用配对样本  $T$  检验可得：湖泊水总  $\alpha$  放射性水平与水库水总  $\alpha$  放射性水平无显著性差异 ( $t=1.142, p>0.05$ )，湖泊水总  $\beta$  放射性水平显著高于水库水总  $\beta$  放射性水平 ( $t=3.829, p<0.05$ )。地表水中放射性核素的来源较为复杂，降雨对大气气溶胶中放射性核素的沉降及降雨对土壤的冲刷将放射性核素带入地表水是主要影响因素<sup>[13]</sup>。一般来说，水中总  $\alpha$  放射性的贡献主要来自  $U$ 、 $Th$  和  $^{226}Ra$ ，总  $\beta$  放射性核素主要是  $^{40}K$ 。元素不同的化学形态，可能导致贡献  $\alpha$  放射性核素易沉积于底泥，钾更多溶解于水中，加之湖泊的水体流动性小于水库水，有可能造成湖泊与水库的总  $\alpha$  放射性水平无显著性差异，湖泊水总  $\beta$  放射性水平显著高于水库水总  $\beta$  放射性水平。探究地表水总  $\alpha$ 、总  $\beta$  放射性水平变化还需进一步进行核素分析和季节性分析。

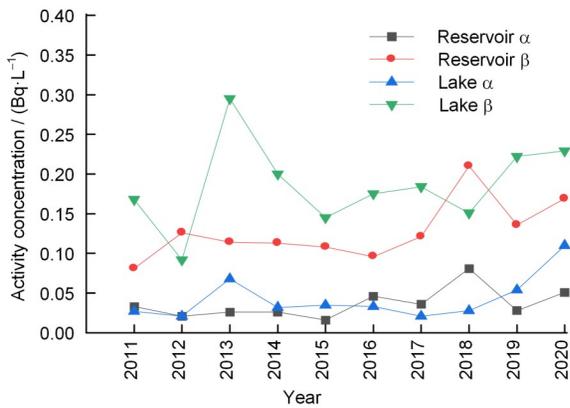


图6 深圳市地表水(湖泊、水库)总  $\alpha$ 、 $\beta$  放射性水平比较  
Fig.6 Total  $\alpha$ , and  $\beta$  radioactivity level comparison in surface water (lakes and reservoirs) in Shenzhen

#### 2.4 土壤中天然放射性含量监测结果

2008–2020年，深圳市13个地点的土壤中天然放射性核素含量为 $^{238}U$ (9~281 Bq/kg)、 $^{226}Ra$ (12~277 Bq/kg)、 $^{232}Th$ (12~564 Bq/kg)、 $^{40}K$ (20~1479 Bq/kg)，监测结果见图7，年平均值变化趋势见图8。根据Wang等<sup>[14]</sup>的调查结果，中国土壤中天然放射性核素含量为 $^{238}U$ (7.3~449 Bq/kg)、 $^{226}Ra$ ( $\leq 370$  Bq/kg)、 $^{232}Th$ (10.3~1 844 Bq/kg)、 $^{40}K$ ( $\leq 1 548$  Bq/kg)。对比可知，深圳市土壤中天然放射性核素含量均在全国水平范围内波动。从结果可以看出，在2008年、2011年和2012年，监测结果相对较低，但仍在波动范围内。考虑到2008–2020年，质量控制措施和仪器稳定性均是一致的，但是监测频次较低（每年一次）。因此，认为监测结果的变化是由放射性含量在土壤中的分布不均匀所决定的。

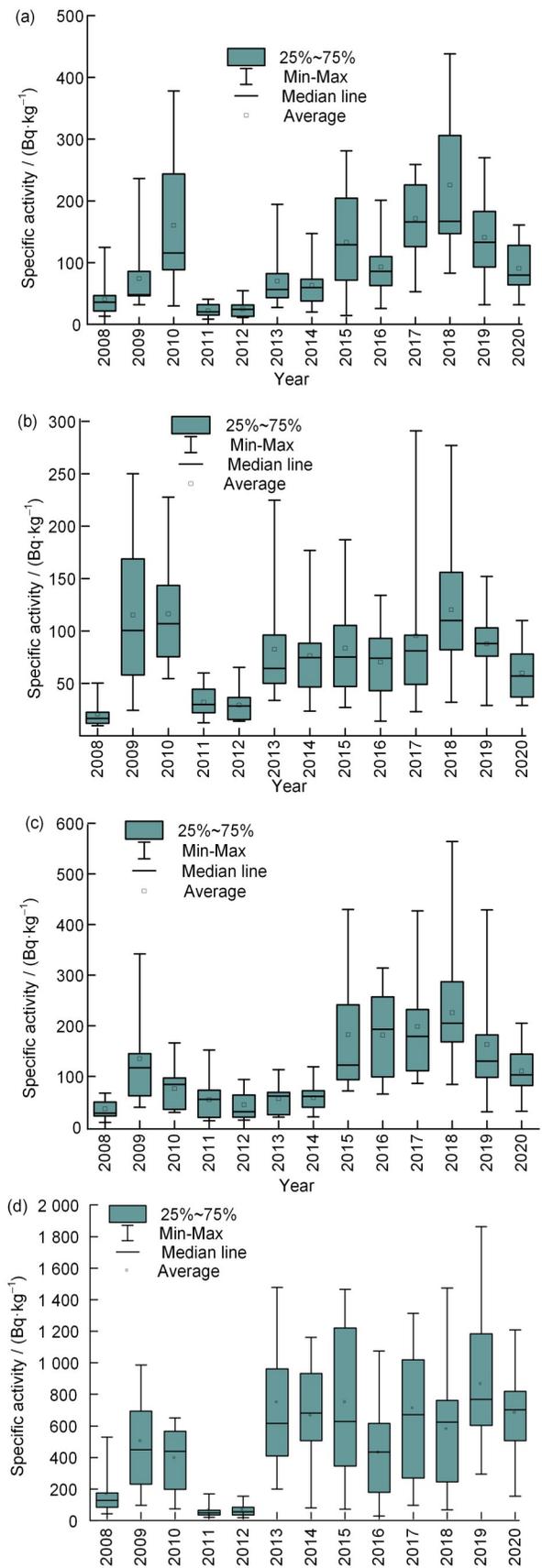


图7 深圳市土壤中 $^{238}U$ (a)、 $^{226}Ra$ (b)、 $^{232}Th$ (c)、 $^{40}K$ (d) 含量监测结果  
Fig.7 Monitoring results of  $^{238}U$ (a),  $^{226}Ra$ (b),  $^{232}Th$ (c), and  $^{40}K$ (d) content in soil in Shenzhen

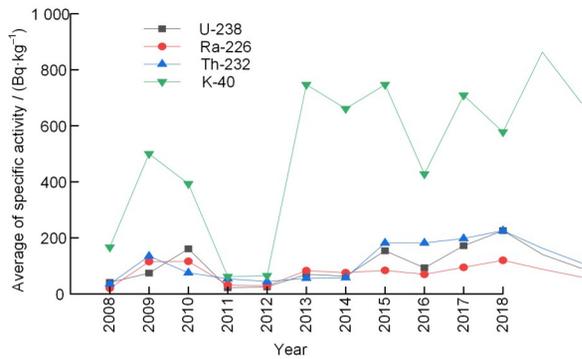


图8 深圳市土壤中天然放射性含量变化趋势  
Fig.8 Change trend of natural radioactivity content in soil in Shenzhen

### 3 讨论

本调查显示, 2011—2020年, 深圳市环境辐射水平良好, 环境地表 $\gamma$ 剂量率(69.3~131.0 nGy/h)、空气中氡浓度(6.23~18.60 Bq/m<sup>3</sup>)、地表水中总 $\alpha$ (0.016~0.225 Bq/L)、总 $\beta$ (0.028~0.826 Bq/L)、土壤中天然放射性核素含量均处于天然本底水平范围, 与国内外环境监测结果基本一致。10 a监测数据没有明显性的变化规律, 证明深圳市核技术利用活动及核设施活动并未造成周围环境的放射性水平增高或污染。

本研究未对海水、海底沉积物及海洋生物等环境样品进行监测, 环境监测的项目有待完善。后续将加强深圳市环境辐射水平监测, 增加海洋放射性监测项目, 进一步完善深圳市放射性水平监测基础数据。

**利用冲突** 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展, 排名无争议。文章不涉及任何利益冲突。

**作者贡献声明** 冯江平负责方案制定、结果评价、质量管理; 刘焱负责数据结果统计、评价与分析; 陶扬负责测量与分析。

### 参考文献

- 1 国家环境保护局. 辐射环境监测技术规范: HJ/T 61—2001[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.  
State Environmental Protection Administration. Technical criteria for radiation environmental monitoring: HJ/T 61—2001[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2001
- 2 国家环境保护局, 国家技术监督局. 环境地表 $\gamma$ 辐射剂

量率测定规范: GB/T 14583—1993[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.

State Environmental Protection Administration, State Administration for Market Regulation. Norm for the measurement of environmental terrestrial gamma-radiation dose rate: GB/T 14583—1993[S]. Beijing: Standards Press of China, 1994

- 3 国家环境保护局, 国家技术监督局. 环境空气中氡的标准测量方法: GB/T 14582—1993[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.

State Environmental Protection Administration, State Administration for Market Regulation. Standard methods for radon measurement in environmental air: GB/T 14582—1993[S]. Beijing: Standards Press of China, 1993.

- 4 中华人民共和国卫生部. 生活饮用水标准检验方法放射性指标: GB/T 5750.13—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

Ministry of Health of the People's Republic of China. Standard examination methods for drinking water-Radiological parameters: GB/T 5750.13—2006[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.

- 5 中华人民共和国卫生部. 土壤中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法: GB/T 11743—1989[S]. 北京: 中国标准出版社, 1990.

Ministry of Health of the People's Republic of China. Gamma spectrometry method of analyzing radionuclides in soil: GB/T 11743—1998[S]. Beijing: Standards Press of China, 1990.

- 6 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 土壤中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法: GB/T 11743—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

Determination of radionuclides in soil by gamma spectrometry: GB/T 11743—2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.

- 7 《中国环境天然放射性水平》编辑委员会. 中国环境天然放射性水平[M]. 北京: 中国原子能出版社, 2015.

《China's environmental natural radioactivity level》Editorial Board. China's environmental natural radioactivity level[M]. Beijing: China Atomic Energy Press, 2015.

- 8 联合国原子能辐射效应科学委员会. 电离辐射源与效应[M]. 太原: 山西科学教育出版社, 2002: 99-102.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Ionizing radiation sources and effects [M]. Taiyuan: Shanxi Science and Education Press, 2002: 99-102.

- 9 潘自强. 辐射防护的现状与未来[M]. 北京: 原子能出版社, 1997.  
PAN Ziqiang. Current situation and future of radiation protection[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1997.
- 10 张亮, 徐婷婷, 郭秋菊. 青岛地区室外氡浓度变化规律研究[J]. 辐射防护, 2011, **31**(1): 17-22.  
ZHANG Liang, XU Tingting, GUO Qiuju. Variation and levels of atmospheric radon concentration in Qingdao[J]. Radiation Protection, 2011, **31**(1): 17-22.
- 11 Zahorowski W, Chambers S, Wang T, *et al.* Radon-222 in boundary layer and free tropospheric continental outflow events at three ACE-Asia sites[J]. Tellus B, 2005, **57**(2): 124-140. DOI: 10.1111/j.1600-0889.2005.00133.x.
- 12 林立雄, 陈志东, 闫世平. 广东省地表水中总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 放射性水平调查[J]. 中国辐射卫生, 2009, **18**(1): 28-30.  
LIN Lixiong, CHEN Zhidong, YAN Shiping. Investigation of total  $\alpha$  & total  $\beta$  radioactivity level of surface water of Guangdong[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2009, **18**(1): 28-30.
- 13 赵时敏, 林丹, 李津, 等. 自来水中总放射性比活度及其与降雨量相关的探讨[J]. 海峡预防医学杂志, 2002, **8**(5): 25-27. DOI: 10.3969/j.issn.1007-2705.2002.05.009.  
ZHAO Shimin, LIN Dan, LI Jin, *et al.* Study on relationship between radiation specific activity of tap water and rainfall[J]. Strait Journal of Preventive Medicine, 2002, **8**(5): 25-27. DOI: 10.3969/j.issn.1007-2705.2002.05.009.
- 14 Wang Z Y. Natural radiation environment in China[J]. International Congress Series, 2002, **1225**: 39-46. DOI: 10.1016/s0531-5131(01)00548-9.