

· 创新与探索 ·

泉州市电离辐射环境跟踪研究

陆智新¹, 陈东军², 林明贵², 施养树¹, 梁美霞^{3*}

(1. 福建省辐射环境监督站泉州分站, 福建 泉州 362000; 2. 福建省辐射环境监督站, 福建 福州 350011; 3. 泉州师范学院资源与环境科学学院, 福建 泉州 362000)

摘要: 2016—2020年在泉州市设置9个环境 γ 辐射空气吸收累积剂量监测点位、1个气溶胶(2018—2020年)、1个土壤和4个水体监测点位, 定量分析电离辐射环境变化趋势。结果表明, 5 a来泉州市电离辐射环境变化稳定, 未出现异常情况; 气溶胶中 ^7Be 、 ^{210}Pb 活度浓度呈现春秋高、夏季低的变化规律。

关键词: 电离辐射; 吸收累积剂量率; 放射性核素; 泉州市

中图分类号: X837 文献标志码: B 文章编号: 1006-2009(2022)03-0060-04

Tracking Study on Ionizing Radiation Environment in Quanzhou

LU Zhi-xin¹, CHEN Dong-jun², LIN Ming-gui², SHI Yang-shu¹, LIANG Mei-xia^{3*}

(1. Quanzhou Branch of Fujian Radiation Environment Supervision Station, Quanzhou, Fujian 362000, China; 2. Fujian Radiation Environment Supervision Station, Fuzhou, Fujian 350011, China; 3. School of Resources & Environmental Science, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000, China)

Abstract: From 2016 to 2020, 9 environmental γ radiation air absorption cumulative dose monitoring sites, 1 aerosol monitoring site (2018 to 2020), 1 soil monitoring site and 4 water monitoring sites were set up in Quanzhou to quantitatively analyze the change trend of ionizing radiation environment. The results showed that the ionizing radiation environment in Quanzhou changed steadily in the past 5 years. There was no abnormal situation. The activity concentrations of ^7Be and ^{210}Pb in aerosol were high in spring and autumn and low in summer.

Key words: Ionizing radiation; Absorbed cumulative dose rate; Radionuclide; Quanzhou

电离辐射通常根据其辐射来源的不同被分为人工辐射和天然辐射, 其中人工辐射主要来源于人工制造、能够发生辐射的物质或者装置, 天然辐射主要来源于宇宙射线及其他各种射线等。电离辐射看不见、听不到、无色、无形, 被广泛应用于工业、农业、医疗、国防、教学和科研等领域, 随着人类环保意识的提高, 辐射环境问题也越来越受到社会和人们的广泛关注。

福建省为核电大省, 核电站一次性能源生产总量占比也逐年提高, 2015—2020年占比分别为24.1%、27.5%、40.3%、47.2%、42.4%、48.4% (数据来源于福建2021年统计年鉴), 人工电离辐射因素增多。为确保环境安全和保障公众身体健康, 有必要对区域电离辐射背景水平进行监控, 积累电离辐射环境水平大数据, 准确、及时、全面、客

观地反映电离辐射的变化趋势, 为生态环境主管部门监督管理提供科学、准确、有效的依据。

1 电离辐射环境监测研究

电离辐射环境监测主要是采取对土壤、空气、水中放射性核素进行定量分析和测量环境贯穿 γ 剂量率的方式, 来判断环境中人工放射性核素和天然放射性核素环境含量是否持续增加, 是否超过已知的环境监测数据范围, 是否对人类健康产生影响。

收稿日期: 2021-07-04; 修订日期: 2022-04-22

基金项目: 福建省自然科学基金面上基金资助项目(2020J01780); 泉州市科技计划基金资助项目(2018Z025)

作者简介: 陆智新(1983—), 男, 江苏如皋人, 高级工程师, 本科, 从事辐射环境监管与监测工作。

* 通信作者: 梁美霞 E-mail: lmx2003440@163.com

1.1 γ 辐射空气吸收剂量率监测

在泉州市刺桐公园等 9 个位置设置陆地 γ 辐射空气吸收累积剂量率监测点位。研究监测频次为 2 次/a, 样品累积时间为 3 个月/次(刺桐公园点位每季度监测 1 次), 每个周期结束后统一收回进行测量。2016—2020 年 γ 辐射空气吸收累积剂量率测定结果见表 1。

表 1 γ 辐射空气吸收累积剂量率测定结果 nGy/h

Table 1 Measured value of γ radiation air absorption cumulative dose rate nGy/h

监测点位	测值范围	平均值
丰泽区	107.0 ~ 129.3	115.6
泉港区	109.5 ~ 122.0	116.1
惠安县	124.5 ~ 142.5	132.7
安溪县	113.5 ~ 130.5	119.3
永春县	136.0 ~ 153.0	142.6
德化县	100.5 ~ 126.5	112.7
石狮市	89.5 ~ 127.0	109.4
晋江市	92.0 ~ 125.0	106.7
南安市	112.0 ~ 138.5	122.5
全市	89.5 ~ 153.0	119.7

1.2 气溶胶

选取泉州市环境监测大楼楼顶作为气溶胶中放射性核素监测点研究点位。2018—2020 年上半年、下半年各采样 1 次, 监测结果见表 2。其中 ^{228}Ra 、 ^{228}Ac 、 ^{234}Th 、 ^{131}I 测定结果低于检出限, 人工放射性核素 ^{137}Cs 测定值未见异常。

1.3 水中总 α 、总 β 活度浓度测量

水是人类摄入放射性核素的主要途径之一, 随着核电技术的发展, 总放射性的测量是研究水质的重要分析方法^[1]。为了研究泉州市范围内水中总 α 、总 β 活度浓度, 分别对主要河流(罗内桥和丰州桥)、饮用水源地水(三水厂)、水库(山美水库)、地下水(承天井)进行 5 a 跟踪监测研究, 每年开展两

表 2 2018—2020 年气溶胶监测结果 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$

Table 2 Monitoring results of aerosol from 2018 to 2020

采样时间	放射性活度浓度测定值 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$			
	^7Be	^{210}Pb	^{137}Cs	^{40}K
2018 年 6 月	1.4×10^3	3.4×10^2	—	—
2018 年 8 月	1.1×10^3	5.8×10^2	—	45.0
2019 年 4 月	6.1×10^3	1.3×10^3	—	62.0
2019 年 8 月	1.1×10^3	8.3×10^2	—	40.0
2020 年 4 月	1.2×10^4	1.7×10^3	2.9	—
2020 年 10 月	6.1×10^3	9.6×10^2	—	62.0
均值	4.6×10^3	9.5×10^2	0.5	34.8

次监测, 分别在枯水期(3—5 月)和丰水期(8—10 月)进行采样, 监测结果见表 3。由表 3 可知, 2016—2020 年泉州市饮用水源地水、地下水总 α 和总 β 活度浓度低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)规定的放射性指标指导值(总 α 为 0.5 Bq/L, 总 β 为 1 Bq/L); 主要河流、饮用水源地水、水库、地下水总 α 和总 β 活度浓度有一定波动, 这与王春梅等^[2]在 2007—2011 年监测的泉州饮用源水地水总 α 和总 β 活度浓度范围(0.004 Bq/L ~ 0.027 Bq/L 和 0.040 Bq/L ~ 0.167 Bq/L)基本一致。

1.4 土壤

对土壤放射性水平进行跟踪监测, 可以反映地表环境放射性水平。土壤中放射性核素主要来源于天然放射性核素和人工放射性核素。天然放射性核素主要指核素 ^{232}Th 、 ^{238}U 、 ^{40}K , 典型人工放射性核素为 ^{137}Cs 。土壤跟踪监测点位设置在泉州市刺桐公园内, 监测频次为 1 次/a, 采样时间为上半年, 监测结果见表 4, 其中 ^{40}K 的 2020 年测量数据异常, 未计入均值。由表 4 可知, 虽然 ^{238}U 比活度是全省环境本底调查范围均值(55.5 Bq/kg)^[3]的 1.68 倍, ^{40}K 比活度略高于全省环境本底调查

表 3 水体总 α 、总 β 活度浓度

Table 3 Activity concentration of total α , total β in water body

年份	罗内桥		丰州桥		三水厂		山美水库		承天井	
	总 α	总 β	总 α	总 β	总 α	总 β	总 α	总 β	总 α	总 β
2016 年	0.033	0.130	0.025	0.215	0.018	0.125	0.015	0.109	—	0.730
2017 年	0.029	0.185	0.013	0.175	0.014	0.140	0.021	0.125	—	0.760
2018 年	0.021	0.135	0.016	0.140	0.013	0.150	0.017	0.135	0.017 ^①	0.150 ^①
2019 年	0.048	0.145	0.011	0.165	0.018	0.145	0.011	0.135	—	0.750
2020 年	0.063	0.175	0.061	0.195	0.022	0.140	0.038	0.165	—	0.680
均值	0.038	0.154	0.025	0.178	0.017	0.140	0.020	0.134	—	0.730

①表示 2018 年总 α 、总 β 放射性活度浓度数据存疑, 未计入均值。

范围均值(627.0 Bq/kg)^[3],但²³⁸U、⁴⁰K比活度均处于天然本底范围内;人工放射性核素¹³⁷Cs监测结果低于检出限。

表4 2016—2020年土壤中核素监测结果 Bq/kg
Table 4 Monitoring results of radionuclide
in soil from 2016 to 2020 Bq/kg

年份	放射性比活度测定值			
	²³² Th	²³⁸ U	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs
2016年	87.00	75.00	811	—
2017年	88.00	65.00	841	—
2018年	100.00	101.00	720	—
2019年	92.00	99.00	801	—
2020年	84.00	127.00	—	—
均值	90.00	93.00	793	—

2 结果与讨论

2.1 环境 γ 累积剂量率变化趋势分析

泉州市5a来的环境 γ 累积剂量率均值为119.7 nGy/h,与福建省环境天然贯穿辐射水平调查均值119.0 nGy/h^[3]和泉州市辐射环境自动监测站监测年平均数据117.0 nGy/h基本一致,高于雄安新区(53.1 nGy/h)^[4]、绵阳市(54.8 nGy/h)^[5]和岳阳市(80.5 nGy/h)^[6]等国内其他地区环境地表 γ 辐射剂量率。环境 γ 累积剂量率测量涵盖了降雨等气象自然因素变化产生的影响,测定值相对稳定,随机性误差小,处于泉州当地本底范围内。

2.2 气溶胶中⁷Be、²¹⁰Pb活度浓度变化规律

泉州市大气中⁷Be活度浓度为1.1 mBq/m³~12.0 mBq/m³,平均值为4.63 mBq/m³,高于全球⁷Be平均活度浓度2.45 mBq/m³^[7]。根据相关学者的研究,泉州市大气⁷Be活度浓度与深圳市(4.2 mBq/m³)^[8]、贵阳(4.8±0.6) mBq/m³^[9]相近,低于北京、杭州、西安等城市^[10-12]。

气溶胶中⁷Be的活度浓度2019年4月测定值为6.1 mBq/m³,2020年4月、10月测定值分别为12.0 mBq/m³、6.1 mBq/m³,2018年6月、2018年8月、2019年8月测定值分别为1.4 mBq/m³、1.1 mBq/m³、1.1 mBq/m³。6月和8月处于夏季时段,4月和10月处于春秋时段,⁷Be在夏季测得活度浓度较低,反之,在春秋含量较高。表明大气中⁷Be活度浓度跟季节有关系,夏季雨水多,⁷Be随着雨水降到地面,大气中⁷Be含量相对减少;秋冬季节降水量少,大气中⁷Be含量丰富。大气中⁷Be

的含量与降水量呈反相关关系^[8],而大气颗粒物(PM_{2.5})质量浓度与⁷Be浓度相关性不大。泉州地处中国东南沿海,属于亚热带海洋性季风区,冬季主要受到大陆季风的影响,内陆较高纬度大气中⁷Be核素输送到泉州上空,夏季主要受到西南季风影响,输送的大气中⁷Be含量较低。

由表2可知,2019年4月、2020年4月和10月测得²¹⁰Pb活度浓度分别为1.3 mBq/m³、1.7 mBq/m³和0.96 mBq/m³,2018年6月、8月和2019年8月测定值分别为0.34 mBq/m³、0.58 mBq/m³和0.83 mBq/m³,测定值呈现出春秋高、夏季低的特点,与⁷Be含量规律一样,呈季节性变化。泉州市²¹⁰Pb活度浓度均值为0.95 mBq/m³,与同属亚热带海洋性季风区的厦门²¹⁰Pb(0.85 mBq/m³)^[13]活度浓度相近。

2.3 水体总 α 、总 β 活度浓度和土壤测量数据波动分析

由表3可知,地下水总 α 活度浓度2018年测定值为0.017 Bq/L,其余4a均未检出;2018年测定值低于2001年泉州市环境放射性水平调查(市区地下水)最大值0.025 Bq/L;总 β 活度浓度最大值0.760 Bq/L高于2001年调查(市区地下水)最大值0.019 Bq/L^[14]。地下水除2018年数据波动异常外,其余4a总 α 未检出,总 β 活度浓度均在0.70 Bq/L上下波动,2018年数据值分别接近同期饮用水源地水和水库水的总 α 、总 β 活度浓度测定结果。2018年数据异常原因可能是采样时水管中混入了自来水,导致水样发生变化。

2016—2019年研究区域土壤中⁴⁰K测定值为720 Bq/kg~841 Bq/kg,2020年⁴⁰K测定值低于300 Bq/kg,远低于前4a的监测结果。为了核实实验的重复性和准确性,对土壤重新采样分析测定,测定结果仍低于300 Bq/kg。导致数据异常的原因可能是该固定采样区域土壤植被翻动,带来了新的土壤,使土壤样品发生变化。第二次采样监测结果依旧不理想,应在后续进行采样研究时,选取相邻的区域,进一步扩大采样范围,与历年监测数据进行比对,确定是否数据异常。

3 结语

对泉州市环境贯穿 γ 累积剂量率、气溶胶、水和土壤中放射性进行了5a跟踪研究,除地下水总 α 、总 β 活度浓度和土壤中⁴⁰K测定结果个别年份

监测数据异常外,泉州市天然放射性水平在本底范围,人工放射性核素未见异常。对监测异常的数据应进一步分析原因,同时要在下一阶段的研究中,增加研究点位。

目前仅开展了陆地电离辐射环境变化趋势研究,在日本福岛核废水排海影响泉州海域前,应先期开展海洋辐射环境质量及变化趋势、海洋放射性实验方法等方面的研究^[15]。辐射环境自动监测可以实时、动态、科学地掌握辐射环境实际状况,应加强辐射环境自动站建设,在泉州海域沿线建立一定数量的海洋辐射环境自动站^[16]。

[参考文献]

- [1] 丁正贵,吕沈聪,胡赞. 2018年秦山核电站周边饮用水中总 α 和总 β 放射性水平的监测与分析[J]. 中华放射医学与防护杂志,2019,39(7):517-522.
- [2] 王春梅,何喆,陈永伟. 2007—2011年福建省辐射环境监测[J]. 辐射防护通讯,2015,35(5):43-46.
- [3] 陈夏冠,朱耀明,张宁,等. 福建省环境天然贯穿辐射水平调查[J]. 辐射防护,1991,11(4):266-274.
- [4] 肖鹏,张文芊,喻正伟,等. 雄安新区 γ 辐射剂量率水平初步调查[J]. 核安全,2020,19(2):13-17.
- [5] 祁寒梅,谭刚,米斌,等. 绵阳市地表 γ 辐射剂量率调查与分析[J]. 环境与发展,2019,31(8):141,144.
- [6] 赵娟子. 岳阳市天然电离辐射环境调查[D]. 衡阳:南华大学,2018.
- [7] KOCH D M, JACOB D J, GRAUSTEIN W C. Vertical transport of tropospheric aerosol as indicated by ^7Be and ^{210}Pb in a chemical tracer model[J]. J. Geophys. Res., 1996, 101 (D13): 18651 - 18666.
- [8] 丁敏霞,苏玲玲,刘国卿,等. 深圳市大气 ^7Be 沉降通量与气溶胶沉积速率[J]. 地球化学,2017,46(1):81-86.
- [9] 万国江,郑向东,LEE H N,等. 瓦里关山与观风山近地面空气 ^7Be 浓度季节性变化对比[J]. 地球化学,2006,35(3):257-264.
- [10] 朱晓华,杨永亮,盖楠,等. 不同季风时节北京近地面大气颗粒物中 ^7Be 和POPs的变化[J]. 地球化学,2014,43(2):101-113.
- [11] JIANG X R. ^7Be content and its seasonal variation in the ground air around Hangzhou area[J]. Nucl. Sci. Tech., 1999, 10: 230 - 234.
- [12] 常印忠,王旭辉,王世联,等. 西安地区大气环境气溶胶样品中放射性核素监测[J]. 核技术,2008,31(10):796-800.
- [13] 门武,林静,王芬芬,等. 基于 ^7Be 、 ^{210}Pb 和 ^{210}Po 的厦门岛沿岸地区大气过程示踪研究及辐射剂量评估[J]. 应用海洋学学报,2016,35(2):266-274.
- [14] 胡恭任,于瑞莲. 泉州市环境放射性水平调查[J]. 重庆环境科学,2002,24(2):65-68.
- [15] 范方辉,杨维耿,顾建刚,等. 关于海洋辐射环境监测体系建设的思考[J]. 环境监测管理和技术,2021,33(1):5-7,32.
- [16] 张瑜,杨维耿. 浅议福岛核事故后我国的辐射环境监测[J]. 环境监测管理和技术,2013,25(5):7-10.
- [25] YANG Y J, LIU Y R, CHEN Y F, et al. A portable instrument for monitoring acute water toxicity based on mediated electrochemical biosensor: Design, testing and evaluation [J]. Chemosphere, 2020, 255: 126964 - 126981.
- [26] 王宝玉. 基于谱分析与荧光响应的水污染预警溯源技术基础研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.
- [27] HIMANSHU S K, PANDEY A, YADAV B. Assessing the applicability of TMPA-3B42V7 precipitation dataset in wavelet-support vector machine approach for suspended sediment load prediction [J]. Journal of Hydrology, 2017, 550: 103 - 117.
- [28] 陈昭明,王伟,赵迎,等. 改进主成分分析与多元回归融合的汉丰湖水质评估及预测[J]. 环境监测管理和技术,2020,32(4):15-19.
- [29] DIMRI D, DAVEREY A, KUMAR A, et al. Monitoring water quality of River Ganga using multivariate techniques and WQI (Water Quality Index) in Western Himalayan region of Uttarakhand, India [J]. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 2021, 15: 100375 - 100384.
- [30] CHOWDHURY S, HUSAIN T. Reducing the dimension of water quality parameters in source water: An assessment through multivariate analysis on the data from 441 supply systems [J]. Journal of Environmental Management, 2020, 274: 111202 - 111214.
- [31] LI T, LI S, LIANG C, et al. A comparative assessment of Australia's Lower Lakes water quality under extreme drought and post-drought conditions using multivariate statistical techniques [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 190: 1 - 11.
- [32] 王威,沈兴厚,张利亚. 皮尔逊III型频率曲线在水源地水质预警中的应用[J]. 河南科学,2018,36(7):1042-1048.
- [33] ZHANG C, NONG X, SHAO D, et al. Multivariate water environmental risk analysis in long-distance water supply project: A case study in China [J]. Ecological Indicators, 2021, 125: 107577 - 107589.
- [34] 朱炜玉,史斌,姜继平,等. 基于水质时间序列异常检测的动态预警方法[J]. 环境科学与技术,2018,41(12):131-137.
- [35] 王晶,张雯,郭栋梁,等. 一种水源地气温-水温-水质关系智能预警算法[J]. 环境监测管理和技术,2018,30(5):15-19.
- [36] 刘云翔,吴浩. 基于随机森林算法的水华预警模型[J]. 人民黄河,2018,40(8):75-77.
- [37] 李若楠,王琦,刘书明. 基于典型相关系数和随机森林的水质预警方法[J]. 中国环境科学,2021,41(9):4457-4464.

本刊目编辑 姚朝英