

近十年南京市辐射环境质量的 change 趋势与分析

张瑞菊¹, 陈 鹏¹, 宋永忠¹, 胡大治², 樊济宇^{2*}

¹南京市生态环境局, 江苏 南京

²南京航空航天大学, 江苏 南京

收稿日期: 2022年10月19日; 录用日期: 2022年11月18日; 发布日期: 2022年11月28日

摘 要

目的: 通过对2012~2021年南京市辐射环境质量监测数据的分析, 总结十年间全市辐射环境质量的 change 规律, 为今后辐射监管提供科学依据。方法: 根据江苏省辐射环境质量监测方案, 对南京市省(国)控点的 γ 辐射空气吸收剂量率、 γ 辐射累积剂量、饮用水、长江水体、土壤和气溶胶中的放射性核素含量进行监测。结果: 2012~2021年南京市各省(国)控点 γ 辐射空气吸收剂量率和 γ 辐射累积剂量均在江苏省天然本底范围之内; 饮用水和长江水体中的总 α 和总 β 放射性活度均低于国家限值; 土壤和气溶胶中放射性核素的含量均在江苏省天然本底涨落范围内。结论: 南京市辐射环境质量总体良好, 空气、水体和土壤未受人工放射性核素的污染。

关键词

γ 辐射, 水体, 气溶胶, 土壤, 放射性监测

Analysis on Change Trend of the Radiation Environmental Quality over the Past Ten Years in Nanjing City

Ruiju Zhang¹, Peng Chen¹, Yongzhong Song¹, Dazhi Hu², Jiyu Fan^{2*}

¹Nanjing Bureau of Ecology and Environment, Nanjing Jiangsu

²Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu

Received: Oct. 19th, 2022; accepted: Nov. 18th, 2022; published: Nov. 28th, 2022

Abstract

Objective: Through the analysis of the radiation environmental quality monitoring data of Nanjing

*通讯作者。

文章引用: 张瑞菊, 陈鹏, 宋永忠, 胡大治, 樊济宇. 近十年南京市辐射环境质量的 change 趋势与分析[J]. 世界生态学, 2022, 11(4): 475-482. DOI: 10.12677/ije.2022.114059

from 2012 to 2021, the change law of the radiation environmental quality of Nanjing in the past ten years was summarized, so as to provide a basis for future radiation supervision. Methods: According to the radiation environment quality monitoring plan of Jiangsu Province, the absorbed dose rate of γ -radiation in air, cumulative dose of γ -radiation, the content of radionuclides in drinking water, water body of Yangtze River, soil and aerosol of provincial (national) control points in Nanjing was monitored. Results: From 2012 to 2021, the absorbed dose rate of γ -radiation in air and the cumulative dose of γ -radiation at the provincial (national) control points in Nanjing were within the natural background of Jiangsu Province. The total α and total β radioactivity in drinking water and Yangtze River water were lower than the national limit. The contents of radionuclides in soil and aerosol were within the range of natural background fluctuation in Jiangsu Province. Conclusion: The radiation environment quality in Nanjing is generally good, and the air, water and soil are not contaminated by artificial radionuclides.

Keywords

Gamma Radiation, The Water, Aerosol, Soil, Monitoring of Radioactivity

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

通常人类生活环境中的放射性主要来自于宇宙射线和地壳中的天然放射性物质(naturally occurring radioactive material, NORM),但是随着核能的广泛利用和核技术的不断发展,近年来由于铀矿开采加工、金属提炼、化肥生产和石油燃料开采等工业活动也显著增加了 NORM 的水平,被称为技术性增加的放射性物质(Technologically enhanced radioactive material, TERM)或技术性增加的天然放射性物质(Technologically enhanced NORM, TENORM)。另外在核武器试验、核电站运行、以及放射源使用过程中也产生了一些人工放射性核素[1]。这些变化都严重地危及到人类的身体健康。辐射环境监测就是为了全面、准确、及时地反映特定区域内辐射环境质量现状及变化趋势,通过测量环境中的辐射水平和环境介质中放射性核素含量,用来评价环境中辐射水平的优劣程度,为环境管理、环境规划、环境保护等提供科学依据[2][3]。本项研究通过对 2012~2021 年南京市辐射环境质量监测数据的分析,总结十年间全市辐射环境质量的变化规律,为今后的辐射监管提供科学依据。

2. 材料和方法

2.1. γ 辐射空气吸收剂量率

监测仪器为 FH40G 型便携式 X- γ 剂量率仪,能量响应 36 keV~1.3 MeV,量程范围 10 nGy/h~10⁸ nGy/h,经江苏省计量科学研究所校准。南京市共设 γ 辐射空气吸收剂量率省(国)控监测点位 8 个,测量时探头质心距地面 1 m,仪器自检结束指示灯由红色变为绿色开始测量,每个测点每次读 10 个数,每间隔 10 秒读一个数,取平均值作为测量值,计算结果均扣除字响。

2.2. γ 辐射累积剂量

将热释光片放置在特制的收集袋内,保持良好通风,选择空旷地区,悬挂在距离地面 1 m 高度的小树上进行测量。南京市共设 γ 辐射累积剂量监测点位 1 个,每季度布片 1 次,收片编号后,记录布片和

收片日期, 然后送交江苏省核与辐射安全监督管理中心热释光实验室进行测量。

2.3. 水体中总 α 、总 β 放射性

水样的采集容器为 10 L 聚乙烯水桶, 每次采集前用样水洗涤三次。全市饮用水采样点 1 个, 每年采集 2 次, 样品取自经处理后进水塔之前贮水池中的水; 长江水采样点 2 个, 每年采集 1 次, 样品的采集点设置在离岸 10 m 外水流流速最大的断面, 采集表层水。采集后的水样用浓硝酸酸化至 PH 1~2 固定后, 填写采样单送交江苏省核与辐射安全监督管理中心实验室进行测量。

2.4. 土壤样品中放射性核素含量

南京市每年对 1 个采样点的土壤样品采集 1 次。在采样点选择平坦、空旷并且有植被覆盖的耕地进行采样, 采集表层 10 cm 的土壤。采样点按梅花式分布, 在 10 cm \times 10 cm 范围内取 6 个土样, 组成 2~3 kg 混合样, 塑料袋封装、编号, 填写采样单送交江苏省核与辐射安全监督管理中心实验室进行核素分析。

2.5. 气溶胶放射性核素含量

江苏省核与辐射安全监督管理中心每年对位于南京的辐射环境自动监测站气溶胶样品中的放射性核素水平进行动态连续监测。

3. 结果

3.1. γ 辐射空气吸收剂量率

2012~2021 年, 南京市 8 个测点的 γ 辐射空气吸收剂量率在 28.7~110 nGy/h 之间。根据《中国环境天然放射性水平: 江苏省环境天然贯穿水平调查研究》(国家环境保护总局, 1995.8) [4], 各测点均值在江苏省天然本底范围内(原野: 33.1~72.6 nGy/h, 道路: 18.1~102.3 nGy/h), 也基本在 2008~2012 年南京市外环境 γ 辐射空气吸收剂量率的测值范围内(26~85 nGy/h) [5]。监测结果见表 1, 十年变化趋势见图 1。

Table 1. Air absorbed dose rate of γ -radiation from 2012 to 2021 in Nanjing (nGy/h, $\bar{x} \pm s$)

表 1. 2012~2021 年南京市 γ 辐射空气吸收剂量率(nGy/h, $\bar{x} \pm s$)

年份	监测点位数	范围	均值
2012	8	46.4~70.3	60.3 \pm 9.3
2013	8	49.5~70.8	57.1 \pm 7.4
2014	8	56.5~78.9	63.2 \pm 7.6
2015	8	41.7~79.6	58.1 \pm 10.7
2016	8	41.4~76.2	54.5 \pm 10.5
2017	8	44.8~100.2	62.6 \pm 18.3
2018	8	62.0~110.0	72.3 \pm 16.0
2019	8	58.3~84.6	68.4 \pm 9.7
2020	8	43.9~80.0	63.1 \pm 10.9
2021	8	28.7~71.5	52.2 \pm 12.9
合计	80	28.7~110.0	61.2 \pm 12.5

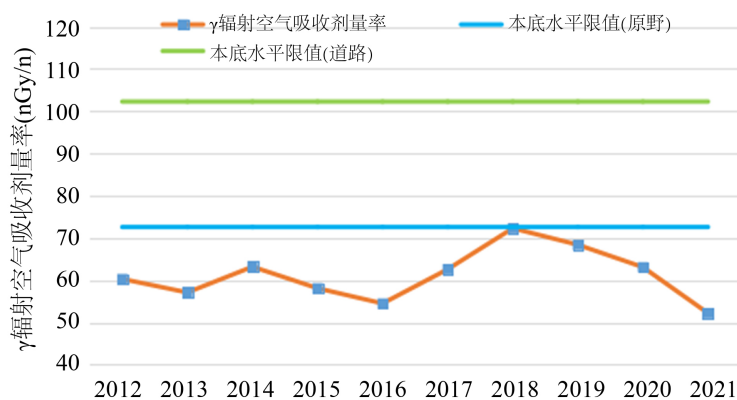


Figure 1. Change trend of gamma radiation air absorption dose rate of provincial (national) control points in Nanjing from 2012 to 2021

图 1. 2012~2021 年南京市省(国)控点 γ 辐射空气吸收剂量率变化趋势

3.2. γ 辐射累积剂量

2012~2021 年, 南京市 γ 辐射累积剂量按小时平均测量值在 65~93 nGy/h 之间, 均值在 79~87 nGy/h 之间。根据《中国环境天然放射性水平: 江苏省环境天然贯穿水平调查研究》(国家环境保护总局, 1995.8) [4], 各测点均值高于江苏省天然本底原野限值、低于江苏省天然本底道路限值(原野: 33.1~72.6 nGy/h, 道路: 18.1~102.3 nGy/h), 十年间监测数据无明显变化。监测结果见表 2, 十年变化趋势见图 2。

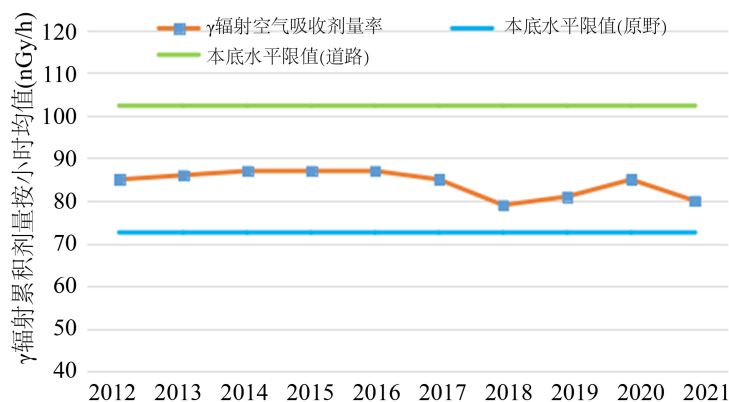


Figure 2. Change trend of hourly average measurement results of cumulative gamma radiation dose from 2012 to 2021 in Nanjing

图 2. 2012~2021 年南京市 γ 辐射累积剂量按小时均值变化趋势

Table 2. Hourly average measurement results of cumulative gamma radiation dose from 2012 to 2021 in Nanjing (nGy/h)

表 2. 2012~2021 年南京市 γ 辐射累积剂量按小时平均测量结果(nGy/h)

年份	监测点位数	监测频次	测值范围	均值
2012	1	2 次/年	80~90	85
2013	1	2 次/年	78~93	86
2014	1	2 次/年	82~93	87
2015	1	4 次/年	85~89	87
2016	1	4 次/年	86~89	87

Continued

2017	1	4次/年	81~92	85
2018	1	4次/年	73~84	79
2019	1	4次/年	76~87	81
2020	1	4次/年	65~87	85
2021	1	4次/年	70~86	80
合计	10	-	65~93	85

3.3. 饮用水总放射性水平

2015~2021年,南京市饮用水总 α 放射性为 $<0.012\sim 0.055$ Bq/L,总 β 放射性为 $0.038\sim 0.089$ Bq/L,无明显变化,远低于《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中的总 α 放射性为 0.5 Bq/L、总 β 放射性为 1 Bq/L的放射性指标指导值[6]。监测结果见表3,总 α 和总 β 十年变化趋势见图3。

Table 3. The gross α and gross β activity concentrations of drinking water from 2015 to 2021 in Nanjing (Bq/L, $\bar{x} \pm s$)

表 3. 2015~2021年南京市饮用水总 α 和总 β 活度浓度(Bq/L, $\bar{x} \pm s$)

年份	采样点位数	采样频次	总 α		总 β	
			范围	均值	范围	均值
2015	1	2次/年	0.023~0.036	0.030 ± 0.009	0.074~0.088	0.081 ± 0.010
2016	1	2次/年	0.026~0.055	0.041 ± 0.021	0.079~0.083	0.081 ± 0.003
2017	1	2次/年	0.026~0.035	0.031 ± 0.006	0.038~0.082	0.060 ± 0.031
2018	1	2次/年	$<0.012\sim 0.034$	0.034	0.061~0.089	0.075 ± 0.020
2019	1	2次/年	0.018~0.025	0.022 ± 0.005	0.065~0.070	0.068 ± 0.004
2020	1	2次/年	0.020~0.032	0.026 ± 0.008	0.073~0.085	0.079 ± 0.008
2021	1	2次/年	0.018~0.027	0.023 ± 0.006	0.070~0.076	0.073 ± 0.004
合计	7	-	$<0.012\sim 0.055$	0.029 ± 0.010	0.038~0.089	0.074 ± 0.013

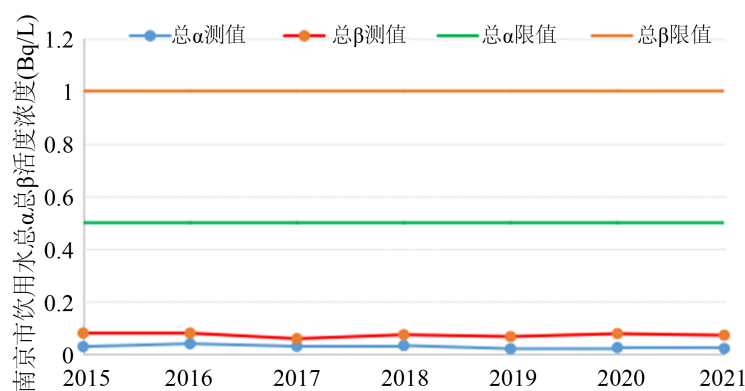


Figure 3. Concentrations change trend of the gross α and gross β of Nanjing drinking water from 2015 to 2021

图 3. 2015~2021年南京市饮用水中总 α 和总 β 含量的变化趋势

3.4. 长江水体中总放射性水平

2012~2021年,南京市长江水体中的总 α 和总 β 放射性分别在0.012~0.058 Bq/L和0.035~0.12 Bq/L之间,无明显变化,远低于《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中的总 α 放射性为0.5 Bq/L、总 β 放射性为1 Bq/L的放射性指标指导值[6]。监测结果见表4,总 α 和总 β 十年变化趋势见图4。

Table 4. The gross α and gross β activity concentrations of the Yangtze River from 2012 to 2021 in Nanjing (mBq/L, $\bar{x} \pm s$)
表 4. 2012~2021年南京市长江水体中总 α 和总 β 活度浓度(mBq/L, $\bar{x} \pm s$)

年份	采样点位数	总 α		总 β	
		范围	均值	范围	均值
2012	2	18.0~20.0	19.0 \pm 1.4	46.9~85.0	66.0 \pm 26.9
2013	2	37.2~22.9	30.1 \pm 10.1	75.1~77.6	76.4 \pm 1.8
2014	2	28.7~41.4	35.1 \pm 9.0	79.1~92.9	86.0 \pm 9.8
2015	2	18.0~37.0	27.5 \pm 13.4	35.0~91.0	63.0 \pm 39.6
2016	2	58.0~62.0	60.0 \pm 2.8	67.0~74.0	70.5 \pm 4.9
2017	2	40.0~73.0	56.5 \pm 23.3	51.0~120.0	85.5 \pm 48.8
2018	2	18.0~39.0	28.5 \pm 14.8	65.0~94.0	79.5 \pm 20.5
2019	2	21.0~25.0	23.0 \pm 2.8	77.0~83.0	80.0 \pm 4.2
2020	2	12.0~12.0	12.0 \pm 0.0	75.0~84.0	79.5 \pm 6.4
2021	2	33.0~35.0	34.0 \pm 1.4	84.0~92.0	88.0 \pm 5.7
合计	20	12.0~58.0	32.6 \pm 16.7	35.0~120.0	77.4 \pm 18.7

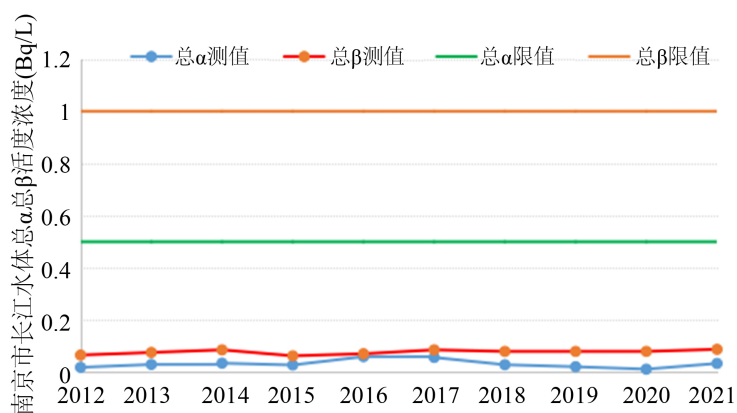


Figure 4. Concentrations change trend of the gross α and gross β of Yangtze River from (Nanjing City) 2012 to 2021

图 4. 2012~2021年南京市长江水中总 α 和总 β 含量的变化趋势

3.5. 土壤放射性核素含量

2012~2021年,南京市土壤样品中的天然放射性核素铀-238、钍-232、镭-226和钾-40的含量分别为<22.8~43.0 Bq/kg、43.7~61.3 Bq/kg、24.0~40.1 Bq/kg和476~631 Bq/kg,均属江苏省天然本底水平(^{238}U : 14.1~62.1 Bq/kg, ^{232}Th : 13.1~89.6 Bq/kg, ^{226}Ra : 17.9~67.9 Bq/kg, ^{40}K : 302.6~876.2 Bq/kg) [4]。土壤样品中的人工放射性核素铯-90和铯-137的含量分别为0.27~1.0 Bq/kg和<0.32~0.70 Bq/kg,含量较低且十年间的

监测数据无明显变化(见表 5 所示), 表明土壤样品未受到明显的人工放射性核素的污染。

Table 5. Content of radionuclides in soil samples from 2012 to 2021 in Nanjing (Bq/kg)

表 5. 2012~2021 年南京市土壤样品中放射性核素含量(Bq/kg)

年份	²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
2012	26.7	61.3	40.1	631	0.27	0.52
2013	39.6	48.9	30.5	476	0.58	<0.32
2014	<22.8	49.5	30.2	524	0.55	<0.32
2015	34.2	43.7	33.3	554	-	<0.32
2017	39.0	47.0	29.0	494	-	<0.32
2018	30.0	41.0	24.0	607	-	0.70
2019	43.0	51.0	31.0	500	1.0	<0.32
2020	33.0	52.0	36.0	524	-	<0.32
2021	27.0	55.0	36.0	576	-	<0.32
范围	<22.8~43.0	43.7~61.3	24.0~40.1	476~631	0.27~1.0	<0.32~0.70
均值	34.1 ± 6.06	49.9 ± 6.0	32.2 ± 4.7	543 ± 53	0.6 ± 0.3	-

3.6. 气溶胶放射性核素含量

2012~2021 年, 南京市辐射环境自动监测站气溶胶样品中的天然放射性核铍-7、钾-40、铋-214、镭-228 和钍-232 的含量分别为 0.71~12 mBq/m³、<0.079~0.234 mBq/m³、0.002 mBq/m³、<0.010~0.023 mBq/m³ 和<0.012~0.015 mBq/m³, 无明显变化, 均保持在环境正常水平。气溶胶样品中未测出人工放射性核素碘-131 铯-134 和铯-137, 如表 6 所示。

Table 6. Content of radionuclides in aerosol from 2012 to 2021 in Nanjing (mBq/m³)

表 6. 2012~2021 年南京市气溶胶放射性核素含量(mBq/m³)

年份	⁷ Be	⁴⁰ K	¹³¹ I	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	²¹⁴ Bi	²²⁸ Ra	²³² Th
2012	6.0	0.18	-	<0.005	<0.005	-	<0.010	<0.012
2013	5.9	0.086	-	<0.005	<0.005	-	0.023	0.015
2014	5.9	<0.079	-	<0.005	<0.005	-	0.013	<0.012
2015	4.6	<0.079	-	<0.005	<0.005	-	<0.010	<0.012
2016	4.7~7.1	<0.079	-	<0.005	<0.005	-	-	<0.012
2017	4.7	<0.079	-	<0.005	<0.005	-	<0.010	<0.012
2018	4.7	<0.079	-	<0.005	<0.005	-	<0.010	<0.012
2019	1.5~12	0.028~0.234	-	<0.005	<0.005	-	<0.010	<0.012
2020	0.71~12	0.024~0.094	-	<0.005	<0.005	-	<0.010	<0.012
2021	1.5~9.5	0.012~0.092	-	<0.005	<0.005	0.002	0.003	-
范围	0.71~12	<0.079~0.234	-	<0.005	<0.005	0.002	<0.010~0.023	<0.012~0.015

4. 讨论

从上述监测数据可以看到,近十年来南京市辐射环境质量总体相对平稳,全市环境介质未受到任何放射性核素污染[7]。良好的环境质量和南京市有效的辐射管理政策密切相关的。南京市在关于有效防控放射污染,提高全市辐射环境质量,采取了以下有效的对策和措施:

1) 提高负责人责任意识,将防护政策和规章落实到人,通过严格的政策法规,管理与核辐射相关一切事务。

2) 对于相关企业,在存放和使用放射源的场所,全部安装有监控设备,实现 24 小时实时监控。

3) 对于长期从事与核辐射相关人员,每半年进一次的培训,提高他们的操作技能和防辐射技能,不断强化责任意识和环保意识,从源头上控制住放射源。

4) 对于使用放射源的企业,实行不定期巡查,每 2 个月对企业周围环境进行检测,所有数据都统一归档,进行分析对比。从而保证了环境质量始终在监控范围之内。

以上措施和法规的实行,有利地保证了放射源企业实现规范化操作。对比早期的检测结果,近十年的数据明显优于早期。充分说明南京市在防控辐射污染方面制定的政策和实行的措施是非常有效的。但是为了进一步提高环境质量,保证数据的可靠性和真实性,相关改进措施也是必须的,比如由于目前全市环境质量监测点位有限,布局不太合理,建议定期开展规模性环境质量本底调查,建立我市放射性本底数据库,便于及时发现环境放射性污染,保障辐射环境安全。

5. 结论

通过本项研究结果可以清晰地发现从 2012~2021 年这十年间,南京市辐射环境质量监测数据均符合国家标准;其中南京市各个监测点位环境 γ 辐射空气吸收剂量率、 γ 辐射累积剂量均在江苏省天然本底范围内;地表水、饮用水源水中总 α 、总 β 放射性水平符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)要求;土壤和环境气溶胶中核素的含量水平也都在江苏省天然本底水平涨落范围内。这些结果说明,近十年来南京市辐射环境质量相对平稳,环境介质未受到放射性核素污染,各项监管政策和措施落实到位。

利益冲突声明

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

张瑞菊提出研究方案,设计论文框架,整理及分析数据,撰写和修改论文;陈鹏和宋永忠负责采样、记录单填写及结果整理;樊济宇负责实验测量和分析。

参考文献

- [1] Pujol, L. and Sanchez-Cabeza, J.A. (2000) Natural and Artificial Radioactivity in Surface Waters of the Ebro River Basin (Northeast Spain). *Journal of Environmental Radioactivity*, **51**, 181-210. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(00\)00076-X](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(00)00076-X)
- [2] 生态环境部. HJ61-2021 辐射环境监测技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [3] 生态环境部. HJ1157-2021 环境 γ 辐射剂量率测量技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [4] 国家环境保护总局. 中国环境天然放射性水平[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [5] 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.
- [6] 中华人民共和国卫生部. GB5749-2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [7] 闫庆倩, 杨声, 张菁, 等. 南京市环境介质及食品放射性水平监测调查与分析[J]. *中国辐射卫生*, 2021, 30(1): 24-27.