

DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.05.005

• 辐射监测/论著 •

# 辽宁徐大堡核电站运行前周边食品放射性水平调查

石二为, 崔勇, 要爽, 李涤, 周桂侠, 孙素梅

辽宁疾病预防控制中心, 辽宁 沈阳 110005

**摘要:** **目的** 调查辽宁徐大堡核电站运行前周边地区食品放射性本底水平, 掌握当地居民主要食品中放射性核素水平。 **方法** 通过采集核电站周边 30 km 范围的食物样品, 采用高纯锗 (HPGe) 能谱仪对样品进行  $\gamma$  核素分析。 **结果** 当地食品中的放射性核素主要为天然核素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$  以及人工核素  $^{137}\text{Cs}$ , 其中天然核素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$  的平均活度水平为  $(1.2 \times 10^{-1} \pm 2.6 \times 10^{-1})$ 、 $(9.2 \times 10^{-2} \pm 1.6 \times 10^{-1})$ 、 $(3.6 \times 10^{-1} \pm 6.5 \times 10^{-2})$ 、 $(9.0 \times 10^1 \pm 5.8 \times 10^1)\text{Bq/kg}$ , 人工核素  $^{137}\text{Cs}$  平均活度水平  $(1.2 \times 10^{-2} \pm 9.0 \times 10^{-3})\text{Bq/kg}$ 。 **结论** 核电站周边地区采集的食品中除微量  $^{137}\text{Cs}$  外, 未发现其他人工  $\gamma$  核素, 食品中放射性核素水平均低于国家标准限值, 居民由食入  $^{137}\text{Cs}$  所致年有效剂量为  $6.0 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/a}$ 。

**关键词:** 徐大堡核电站; 放射性水平; 运行前; 有效剂量

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2021)05-0551-04

## Investigation on food radioactivity levels in areas around Xudabao nuclear power plant before operation

SHI Erwei, CUI Yong, YAO Shuang, LI Di, ZHOU Guixia, SUN Sumei

Liaoning Center for Disease Control and Prevention, Shenyang 110005 China

**Abstract:** **Objective** To investigate the food radioactivity levels in areas around the Xudabao nuclear plant before operation. **Methods** The food radioactivity levels were achieved by detecting samples collected within 30 km around the Xudabao nuclear power plant with a HPGe detector. **Results** The major radionuclides in food were  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and the man-made radionuclide of  $^{137}\text{Cs}$ . The average activity levels of natural  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  were  $(1.2 \times 10^{-1} \pm 2.6 \times 10^{-1})$ ,  $(9.2 \times 10^{-2} \pm 1.6 \times 10^{-1})$ ,  $(3.6 \times 10^{-1} \pm 6.5 \times 10^{-2})$ ,  $(9.0 \times 10^1 \pm 5.8 \times 10^1)\text{Bq/kg}$  respectively. The average level of  $^{137}\text{Cs}$  in food was  $(1.2 \times 10^{-2} \pm 9.0 \times 10^{-3})\text{Bq/kg}$ . **Conclusion** The man-made radionuclides were not detected except  $^{137}\text{Cs}$  in the collected food. The radioactivity concentrations were lower than the national standards. The effective dose for local residents by ingestion of  $^{137}\text{Cs}$  was around  $6.0 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/a}$ .

**Keywords:** Xudabao Nuclear Power Plant; Food Radioactivity Levels; Before Operation; Effective Dose

**Corresponding author:** SUN Sumei, Email: [cyksm@163.com](mailto:cyksm@163.com)

辽宁徐大堡在建核电站地处辽宁省葫芦岛市兴城徐大堡镇, 地理坐标为东经  $120^\circ 31' 45'' \sim 120^\circ 33' 22''$ , 北纬  $40^\circ 20' 5'' \sim 40^\circ 21' 32''$ 。属于半平原半丘陵地区, 东、南濒临渤海辽东湾。厂区东北距兴城市 32 km。距离葫芦岛市 46 km。规划建设 6 台百万千瓦级压水堆核电机组。徐大堡镇幅员  $81.6 \text{ km}^2$ , 有 10 个行政村, 38 个自然屯, 人口大约 1.5 万人, 人口密度  $180 \text{ 人/km}^2$ 。当地属温带季风气候。

为掌握核电站运行前周边食品放射性本底水平, 辽宁省疾病预防控制中心于 2018—2020 年开展了徐大堡核电站周边食品放射性水平监测, 本文总结了

近 3 年的调查结果。

### 1 材料与方法

**1.1 样品采集** 在核电站周边 30 km 范围内选择样品采集点, 主要选择主导风向下风向  $45^\circ$  扇形区域, 食品采样主要考虑当地人口分布情况及当地居民膳食习惯, 选择代表性的陆生和水生食品<sup>[1]</sup>。2018—2020 年每年采集 13 种 13 份食品样品, 共 39 份样品。样品品种相对固定, 其中蔬菜水果类包括: 大白菜、菠菜、小白菜、苹果、梨、地瓜, 粮食类包括大米和玉米, 家禽家畜类包括猪肉、牛肉、羊肉、鸡肉, 海产

基金项目: 辽宁省自然科学基金指导计划项目 (2019-ZD-1088)

作者简介: 石二为 (1967—), 男, 辽宁阜新人, 主任技师, 从事放射卫生检测与评价。Email: [13940394418@163.com](mailto:13940394418@163.com)

通信作者: 孙素梅, Email: [cyksm@163.com](mailto:cyksm@163.com)。

品类包括海水鱼、虾、海藻等。

**1.2 样品的制备** 粮食、蔬菜、家禽、水产品等食品的制备根据国家标准《生物样品中放射性核素的  $\gamma$  能谱分析方法》(GB/T 16145—2020)<sup>[2]</sup> 方法, 样品清洗后取可食部分进行烘干、研磨等预处理后, 装入 2 L 马林杯样品盒, 进行  $\gamma$  能谱分析。

**1.3 样品测量** 样品  $\gamma$  能谱分析使用高纯锗 BE5030  $\gamma$  能谱分析系统(堪培拉公司), 探测器相对效率 50%, 谱分析器为 DSA1000,  $^{60}\text{Co}$  1332 keV 的能量分辨率为 1.6 keV, 本底积分计数率为 126/min。标准效率刻度源采用中国原子能科学研究院制造的标准源。样品测量时间不少于 80000 s。生物样品  $^{137}\text{Cs}$  的最低探测下限为  $5.0 \times 10^{-3}$  Bq/kg。

**1.4 质量控制** 本次调查所使用的仪器均经计量部门检定, 实验室多次参加全国卫生系统放射性核素  $\gamma$  能谱检测比对, 并取得较好结果。实验室定期开展仪器效率和本底的质量控制监测。

**1.5 剂量估算** 估算居民通过食入所致内照射剂量

参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)<sup>[3]</sup> 及《核事故应急情况下公众受照剂量估算的模式和参数》(GB/T 17982—2018)<sup>[4]</sup> 中的参数。

## 2 结果

**2.1 核电站周边地区食品中放射性水平** 徐大堡在建核电站周边地区食品中  $^{238}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$  和  $^{137}\text{Cs}$  的检测结果见表 1, 人工核素  $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$  等放射性水平均低于探测下限, 天然核素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$  和  $^{40}\text{K}$  在食品中比活度算术平均值分别为  $(1.2 \times 10^{-1} \pm 2.6 \times 10^{-1})$ 、 $(9.2 \times 10^{-2} \pm 1.6 \times 10^{-1})$ 、 $(3.6 \times 10^{-1} \pm 6.5 \times 10^{-2})$ 、 $(9.0 \times 10^1 \pm 5.8 \times 10^1)$  Bq/kg。食品中放射性核素水平均低于《食品中放射性物质限制浓度标准》(GB 14882—94)<sup>[5]</sup> 限值, 测量结果与文献 [6-10] 报道水平接近。 $^{238}\text{U}$  测量结果因康普顿散射干扰而有较大测量误差,  $^{226}\text{Ra}$  的测量易受本底变化、样品封存等因素影响, 其测量结果也会表现出相对较大变化。

表 1 徐大堡在建核电站周边 30 km 范围食品放射性水平

Table 1 Radioactivity levels of food collected within 30 km around the under construction Xudabao nuclear power plant

食品类型	数量	核素种类/(Bq/kg)				
		$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$
蔬菜水果类	(n=18)	—	$4.1 \times 10^{-2} \pm 3.5 \times 10^{-2}$	$6.0 \times 10^{-3} \pm 1.0 \times 10^{-2}$	$6.3 \times 10^1 \pm 3.5 \times 10^1$	$8.0 \times 10^{-3} \pm 7.0 \times 10^{-3}$
家畜家禽类	(n=6)	—	$9.0 \times 10^{-3} \pm 1.7 \times 10^{-2}$	—	$7.6 \times 10^1 \pm 2.9 \times 10^1$	$1.8 \times 10^{-2} \pm 2.3 \times 10^{-2}$
粮食类	(n=6)	—	$1.6 \times 10^{-1} \pm 1.1 \times 10^{-1}$	$6.8 \times 10^{-2} \pm 1.2 \times 10^{-1}$	$5.4 \times 10^1 \pm 4.3 \times 10^1$	$1.3 \times 10^{-2} \pm 1.1 \times 10^{-2}$
海产品类	(n=9)	$5.2 \times 10^{-1} \pm 1.4 \times 10^0$	$1.4 \times 10^0 \pm 1.3 \times 10^0$	$3.4 \times 10^{-1} \pm 8.5 \times 10^{-1}$	$1.8 \times 10^2 \pm 2.2 \times 10^2$	$1.4 \times 10^{-2} \pm 1.4 \times 10^{-2}$

注: 表中“—”为小于测量探测下限。表中结果扩展不确定度  $k=2$

人工核素  $^{137}\text{Cs}$  比活度算术平均值为  $(1.2 \times 10^{-2} \pm 9.0 \times 10^{-3})$  Bq/kg, 在不同种类食品中人工放射性核素  $^{137}\text{Cs}$  的含量差异较大, 39 份样品中有 11 份样品中测量出  $^{137}\text{Cs}$ , 占全部样品的 28%, 其中 2018 年 4 份样品、2019 年 2 份样品、2020 年 5 份样品中检测出  $^{137}\text{Cs}$ , 检出的样品种类每年也有变化, 与环境中  $^{137}\text{Cs}$  水平较低有关。样品检测出的  $^{137}\text{Cs}$  水平总体变化不明显, 检测结果见图 1。所有样品中最高值为玉米  $(7.6 \times 10^{-2} \pm 1.0 \times 10^{-2})$  Bq/kg, 可能与玉米对  $^{137}\text{Cs}$  核素的富集能力相关。

**2.2 居民所受剂量估算** 根据食品中核素放射性水平, 参考《核事故应急情况下公众受照剂量估算的模式和参数》(GB/T 17982—2018) 中表 I.1 中少年期、成人期(男)食入量参考值, 估算当地居民的放射性核

素年摄入量, 公式为:  $Q_i = C_i \times I_i \times 365$ , 式中  $Q_i$  为放射性核素年摄入量(Bq/a),  $C_i$  为食物中的放射性核素比活度(Bq/kg),  $I_i$  为居民  $i$  类食品中每天摄入量(g/d), 估算结果见表 2。

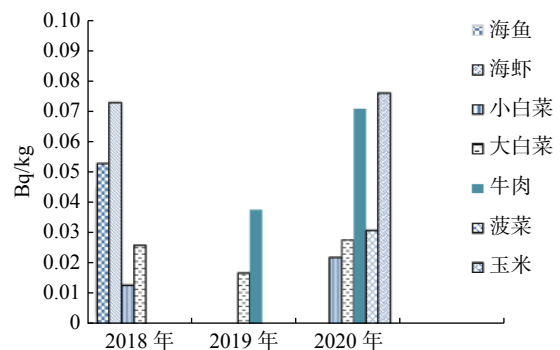


图 1 徐大堡核电站周边食品中  $^{137}\text{Cs}$  放射性水平

Figure 1 The  $^{137}\text{Cs}$  radioactivity levels in food around the Xudabao nuclear power plant

表 2 徐大堡在建核电站周边居民放射性核素年摄入量

Table 2 Annual intake of the radionuclides by the residents around the under construction Xudabao nuclear power plant

食品类型	摄入量(g/d)	$^{238}\text{U}$ (Bq/a)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/a)	$^{226}\text{Ra}$ (Bq/a)	$^{40}\text{K}$ (kBq/a)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/a)
蔬菜水果类	$4.4 \times 10^2$	—	$6.6 \times 10^0$	$1.0 \times 10^0$	$1.0 \times 10^1$	$1.2 \times 10^0$
家畜家禽类	$8.0 \times 10^1$	—	$3.0 \times 10^{-1}$	—	$2.2 \times 10^0$	$0.5 \times 10^0$
粮食类	$4.5 \times 10^2$	—	$2.7 \times 10^1$	$1.1 \times 10^1$	$8.9 \times 10^0$	$2.1 \times 10^0$
海产品类	$4.0 \times 10^1$	$7.5 \times 10^0$	$2.0 \times 10^1$	$5.0 \times 10^0$	$2.6 \times 10^0$	$0.2 \times 10^0$

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)中公众食入所致待积有效剂量的转换系数,  $^{238}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$  和  $^{137}\text{Cs}$  单位摄入量所致待积有效剂量的转换系数对成年人(> 17 岁)分别为  $4.5 \times 10^{-8}$ 、 $2.8 \times 10^{-7}$ 、 $2.3 \times 10^{-7}$ 、 $6.2 \times 10^{-9}$ 、 $1.3 \times 10^{-8}$  Sv/Bq, 对少年期(12~17 岁)分别为  $6.7 \times 10^{-8}$ 、 $1.5 \times 10^{-6}$ 、 $2.5 \times 10^{-7}$ 、 $7.6 \times 10^{-9}$ 、 $1.3 \times 10^{-8}$  Sv/Bq。估算食入放射性核素所致内照射剂量见表 3, 食入  $^{137}\text{Cs}$  所致年有效剂量大约为  $6.0 \times 10^{-2}$   $\mu\text{Sv/a}$ 。

表 3 徐大堡在建核电站周边居民摄入放射性核素所致年有效剂量 ( $\mu\text{Sv/a}$ )

Table 3 The annual effective dose of local residents around the Xudabao nuclear power plant

食品类型	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$
蔬菜水果类	—	$1.5 \times 10^0$	$2.8 \times 10^{-1}$	$6.3 \times 10^1$	$2.0 \times 10^{-2}$
家畜家禽类	—	$6.0 \times 10^{-2}$	—	$1.4 \times 10^1$	$1.0 \times 10^{-2}$
粮食类	—	$6.2 \times 10^0$	$3.1 \times 10^0$	$5.5 \times 10^1$	$3.0 \times 10^{-2}$
海产品类	$3.4 \times 10^{-1}$	$4.6 \times 10^0$	$1.4 \times 10^0$	$1.6 \times 10^1$	—
合计	$3.4 \times 10^{-1}$	$1.2 \times 10^1$	$4.8 \times 10^0$	$1.5 \times 10^2$	$6.0 \times 10^{-2}$

### 3 讨 论

开展核电站周边地区食品放射性监测是国家食品安全风险监测所要求的内容之一, 掌握核电站运行前的本底数据对评估核电站运行后所带来的环境影响具有重要意义<sup>[11]</sup>。本次调查积累了徐大堡核电站运行前周边食品放射性水平的基础资料, 可为评估核电站运行后对居民健康的影响及由食入导致的居民内照射剂量水平提供参考。本次调查结果表明, 食品放射性核素水平均低于国家标准限值, 核电站运行前周边地区食品中天然核素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$  放射性水平均在正常范围内, 所有样品均未发现人工核素  $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$  等, 人工核素  $^{137}\text{Cs}$  与国内其他地区水平接近, 说明该地区食品未受人工放射性核素污染, 人工核素  $^{137}\text{Cs}$  主要由历史上核试验及核事

故落下灰转移到食物链中所导致。经估算当地居民由食入  $^{137}\text{Cs}$  所致年有效剂量大约为  $6.0 \times 10^{-2}$   $\mu\text{Sv/a}$ 。

随着核电站的正式运行, 周边地区放射性水平监测内容还需进一步完善, 提高监测质量控制水平<sup>[12]</sup>, 开展对照点的监测, 以及开展核反应堆产生的对健康危害较大并有代表性其他裂变产物, 如放射性核素  $^{90}\text{Sr}$  和  $^{210}\text{Pb}$  等核素的监测, 以更加全面科学地评估核电站对环境及居民健康的影响。

**利益冲突** 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** 石二为负责设计研究方案, 收集数据, 撰写论文; 崔勇负责提出研究方向, 设计论文框架, 修订论文; 要爽负责实施研究过程, 进行实验, 修订论文; 李涤负责实施研究过程, 进行实验, 修订论文; 周桂侠负责实施研究过程, 进行实验, 修订论文; 孙素梅负责提出研究方向, 设计论文框架, 修订论文

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. WS/T 440—2014 核电站周围居民健康调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [2] National health and family planning commission. WS/T 440—2014 Specification for health survey in the vicinity area of nuclear power plant[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [3] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 16145—2020 生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- State Administration for Market Regulation, National Standardization Administration. GB/T 16145 —2020 Gamma spectrometry method of analysing radionuclides in biological samples[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. GB 18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 18871—2002 Basic standards for protection against ionizing radiation and for

- the safety of radiation sources[S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.
- [4] 国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会. GB/T 17982—2018 核事故应急情况下公众受照剂量估算的模式和参数[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- State Administration for Market Regulation, National Standardization Administration. GB/T 17982—2018 Models and parameters for calculation radiation doses to the public in the emergency of a nuclear accident[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.
- [5] 中华人民共和国卫生部. GB 14882—94 食品中放射性物质限制浓度标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- Ministry of Health of People's Republic of China. GB14882—94 Limited concentrations of radioactive materials in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 1994.
- [6] 冯兰英. 我国部分核电站周围食品放射性水平状况[J]. 中国辐射卫生, 2017, 26 (3): 322-325. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2017.03.022.
- Feng LY. Analysis for radioactivity level of food in the vicinity of some nuclear power plants in China[J]. Chin J Radiol Health, 2017;26 (3) 322-325 DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2017.03.022.
- [7] 刘亚奇, 张巍, 李群伟, 等. 海阳核电站运行前周边地区食品中放射性水平及所致居民剂量[J]. 中国辐射卫生, 2016, 25 (2): 146-149. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2016.02.006.
- Liu YQ, Zhang W, Li QW, et al. The radioactivity levels and population doses in areas around Haiyang nuclear power plant before operation[J]. Chin J Radiol Health, 2016, 25 (2): 146-149. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2016.02.006.
- [8] 彭俊哲, 张雷, 许志勇, 等. 桃花江核电站周边地区食品中放射性核素调查[J]. 中国辐射卫生, 2017, 26 (2): 203-206. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2017.02.027.
- Peng JZ, Zhang L, Xu ZY, et al. The investigation of radionuclides content in foods from Taohuajiang nuclear power plant and surrounding area[J]. Chin J Radiol Health, 2017, 26 (2): 203-206. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2017.02.027.
- [9] 赵新春, 冯兰英, 马一龙, 等. 广西食品中人工核素<sup>137</sup>Cs放射性水平及健康风险评估[J]. 中国辐射卫生, 2018, 27 (5): 458-461. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2018.05.010.
- Zhao XC, Feng LY, Ma YL, et al. Radioactivity level and health risk assessment of artificial nuclide <sup>137</sup>Cs in food in Guangxi Province[J]. Chin J Radiol Health, 2018, 27 (5): 458-461. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2018.05.010.
- [10] 石二为, 崔勇, 张谦, 等. 红沿河核电站运行前周边地区放射性水平及所致居民剂量[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2013, 33 (6): 648-652. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2013.06.021.
- Shi EW, Cui Y, Zhang Q, et al. The radioactivity levels and population doses in areas around Hongyanhe Nuclear Power Plant before operation[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2013, 33 (6): 648-652. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2013.06.021.
- [11] 拓飞, 周强, 孙全富. 我国食品中放射性物质监测工作及其挑战[J]. 中国辐射卫生, 2020, 29 (5): 447-452. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2020.05.001.
- Tuo F, Zhou Q, Sun QF. Monitoring of radioactive substances in food in China and its challenges[J]. Chin J Radiol Health, 2020, 29 (5): 447-452. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2020.05.001.
- [12] 周强, 拓飞, 杨宝路, 等. 我国卫生系统食品中 $\gamma$ 核素检测能力分析[J]. 中国辐射卫生, 2019, 28 (4): 420-424. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2019.04.020.
- Zhou Q, Tuo F, Yang BL, et al. Analysis of detection capability for gamma-emitting radionuclides in food in the health system laboratories in China[J]. Chin J Radiol Health, 2019, 28 (4): 420-424. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2019.04.020.

(收稿日期: 2021-03-12)

## (上接第 545 页)

- [11] 庄家毅, 朱磷扬, 陶易. 连云港市放射诊疗机构放射卫生现状分析[J]. 中国辐射卫生, 2016, 25 (1): 33-34. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2016.01.012.
- Zhuang JY, Zhu LY, Tao Y. Analysis on the current situation of radiation health in radiation diagnosis and treatment institutions in Lianyungang[J]. Chin J Radiol Health, 2016, 25 (1): 33-34. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2016.01.012.
- [12] 牛亚婷, 苏垠平, 梁婧, 等. 全国医疗照射频度估算方法研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2019, 39 (5): 325-330. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2019.05.002.
- Niu YT, Su YP, Liang J, et al. Study on estimation of medical exposure frequency in China[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2019, 39 (5): 325-330. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2019.05.002.
- [13] 董良, 尹杰, 姬绪莉, 等. 宁夏地区放射诊疗资源配置现状及对策[J]. 中国辐射卫生, 2020, 29 (1): 72-75. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2020.01.017.
- Dong L, Yin J, Ji XL, et al. The current situation and countermeasure of radiodiagnosis and radiotherapy resources allocation in Ningxia[J]. Chin J Radiol Health, 2020, 29 (1): 72-75. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2020.01.017.

(收稿日期: 2021-03-04)