

DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2023.04.013

· 论 著 ·

重庆市食品放射性核素含量调查结果分析

黄强, 李炜, 李奎

重庆市疾病预防控制中心, 重庆 400042

摘要: **目的** 为了解重庆市食品中放射性核素含量水平, 开展重庆市食品放射性调查。 **方法** 采集重庆市蔬菜、粮食、奶粉和茶叶共计 114 份, 干燥, 粉碎, 制成粉末, 装入马林杯, 用 GEM40P4-765 高纯锗 γ 谱仪进行核素测量。 **结果** 重庆市食品中天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 活度浓度平均值为 (0.396 ± 0.510) 、 (0.199 ± 0.296) 、 (0.140 ± 0.209) 、 (119.250 ± 105.470) Bq/kg, 不同食物中放射性核素含量差异有统计学意义($P < 0.05$)。人工放射性核素 ^{137}Cs 活度浓度平均值为 (0.091 ± 0.308) Bq/kg, 对 9 份茶叶进行了 ^{90}Sr 测量, 活度浓度平均值为 (1.243 ± 0.860) Bq/kg。 **结论** 重庆市食品中放射性核素含量水平低于国家标准限值, 但食品放射性安全仍需重视, 需进一步长期进行放射性食品监测。

关键词: 食品; 放射性水平; 摄入量估算; 剂量估算

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2023)04-0433-05

An analysis of the investigation results of radionuclide content in food in Chongqing, China

HUANG Qiang, LI Wei, LI Kui

Chongqing Center for Disease Control and Prevention, Chongqing 400042 China

Abstract: **Objective** To investigate the radionuclide content in food in Chongqing, China by conducting a survey on the radioactivity in food. **Methods** A total of 114 samples of vegetables, grain, milk powder, and tea were collected in Chongqing. The samples were dried, pulverized into powder, added into Marinelli beakers, and then measured for radionuclides using a high-purity germanium gamma spectrometer (GEM40P4-765). **Results** The mean activity concentrations of natural radionuclides ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , and ^{40}K in food in Chongqing were (0.396 ± 0.510) , (0.199 ± 0.296) , (0.140 ± 0.209) , and (119.250 ± 105.470) Bq/kg, respectively. The contents of radionuclides in different foods were significantly different ($P < 0.05$). The mean activity concentration of the artificial radionuclide ^{137}Cs was (0.091 ± 0.308) Bq/kg, and the mean activity concentration of ^{90}Sr measured in nine tea samples was (1.243 ± 0.860) Bq/kg. **Conclusion** The contents of radionuclides in food in Chongqing are lower than the national standard limits, but the safety of radioactivity in food still needs to be taken seriously, and long-term surveillance of radioactivity in food is needed.

Keywords: Food; Radioactivity level; Intake estimation; Dose estimation.

Corresponding author: LI Kui, E-mail: 824380619@qq.com

民以食为天, 食品安全是关系到国计民生的重大问题, 食品放射性安全是食品安全的一个重要组成部分, 国家一直高度重视^[1]。有文献[2-7]报道了核电站周围、铀(钍)矿山和核设施等敏感地区周围食品放射性监测情况, 这些原始数据的积累为当地食品安全评估提供了丰富的数据支撑。为了了解重庆市食品中放射性核素含量水平, 建立基线值数据库, 同时评价食品放射性对居民的健康影响, 重庆市疾病预防控制中心

中心开展了重庆市食品放射性监测工作, 下文分析了 2019—2021 年 3 年的监测数据。

1 对象与方法

1.1 对象 根据重庆市本地出产食品的分布, 2019—2021 年在 14 个主要的出产蔬菜、粮食、奶粉与茶叶的区县, 共采样蔬菜 66 份、粮食 15 份、奶粉 24 份、茶叶 9 份, 合计 114 份, 详见表 1。

基金项目: 重庆市卫生健康委医学科科研项目 (NO.2023WSJK018)

作者简介: 黄强 (1982—), 男, 重庆人, 硕士, 助理研究员, 从事放射卫生与职业卫生工作。E-mail: 231538788@qq.com

通信作者: 李奎, E-mail: 824380619@qq.com

表 1 重庆市食品采样地点分布

Table 1 Distribution of food sampling sites in Chongqing

序号	采样地点	样品类别	样品状态	样品份数/份
1	重庆市江津区	蔬菜(菠菜、莴笋、韭菜)、粮食	蔬菜为鲜样、粮食为干样	蔬菜 12、粮食 3
2	重庆市潼南区	蔬菜(菠菜、莴笋、空心菜)、粮食	蔬菜为鲜样、粮食为干样	蔬菜 12、粮食 3
3	重庆市璧山区	蔬菜(莴笋、空心菜、小白菜、白菜、木耳菜)、粮食	蔬菜为鲜样、粮食为干样	蔬菜 12、粮食 3
4	重庆市梁平区	蔬菜(菠菜、莴笋、空心菜)、粮食	蔬菜为鲜样、粮食为干样	蔬菜 12、粮食 3
5	重庆市黔江区	蔬菜(菠菜、莴笋、空心菜)、粮食	蔬菜为鲜样、粮食为干样	蔬菜 4、粮食 1
6	重庆市黔江区	蔬菜(菠菜、莴笋、空心菜、小白菜、蘑菇)、粮食	蔬菜为鲜样、粮食为干样	蔬菜 11、粮食 2
7	重庆市沙坪坝区	奶粉	奶粉为干样	奶粉 6
8	重庆市渝中区	奶粉	奶粉为干样	奶粉 6
9	重庆市渝北区	奶粉	奶粉为干样	奶粉 6
10	重庆市南岸区	奶粉	奶粉为干样	奶粉 6
11	重庆市涪陵区	蔬菜(青菜头)	蔬菜为鲜样	蔬菜 3
12	重庆市云阳县	茶叶	茶叶为干样	茶叶 3
13	重庆市巴南区	茶叶	茶叶为干样	茶叶 3
14	重庆市永川区	茶叶	茶叶为干样	茶叶 3
合计				114

1.2 方法

1.2.1 样品制备 按照国家标准 GB/T 16145—1995 及 GB/T 16145—2020《生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》^[8] 中的 γ 能谱测定法测量样品。采集的样品经过干燥, 粉碎, 制成粉末, 装入 2 L 马林杯中封存。封存时间为一个月。分析茶叶中 ^{90}Sr 按照《水和生物样品灰中锶-90 的放射化学分析方法》(HJ 815—2016), 样品干燥后进行灰化。

1.2.2 测量仪器 ①样品测量采用美国 ORTEC 公司生产的 GEM40P4-765 高纯锗 γ 谱仪进行, 相对于 $3" \times 3"\text{NaI(Tl)}$ 晶体的探测效率为 46.7%, 对 ^{60}Co 1332 keV γ 射线的能量分辨率为 1.71 keV, 积分本底为 224 cpm(50~2000 keV)。测量时探测器置于壁厚 11.5 cm、内腔底部半径 20 cm, 高 60 cm 的圆柱形复合屏蔽铅室内。每个样品的测量时间为 86400 s。测量完毕得到的图谱用无源效率刻度软件分析, 得出检测结果。② ^{90}Sr 分析方法采用二-(2-乙基己基)磷酸(简称 HDEHP)萃取法, 分离出 ^{90}Y , 因为衰变平衡时, 测量 ^{90}Y 的 β 计数, 就能计算出 ^{90}Sr 比活度。参照《生活饮用水标准检验方法放射性指标》(GB/T 5750.13—2006)^[9], 使用 BH1216 型八路低本底 α/β 测量仪, 测量 ^{90}Y 的 β 计数, 测量时间为 24 h。

1.2.3 质量控制 ①仪器检定: 实验室分析仪器设备

每年由计量质量检测研究院进行一年一度的检定和校准。采用中国疾病预防控制中心辐射安全所提供的标准源分析样品检测数据与无源效率刻度软件分析得到的数据进行对比分析, 确保检测结果数据的准确性。②人员培训: 技术人员定期参加中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所组织的技术培训、全国“放射性核素 γ 能谱分析”技术比对。③资料收集和数据整理: 录入数据前进行相关学习和训练, 数据录入同时进行逻辑校对, 以避免输入过程中的人为差错, 及时发现缺损值、异常值等, 保证数据的质量。

1.3 统计学分析 所有数据资料录入 Excel 数据库, 利用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析, 对数据进行正态性检验, 符合正态分布的计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 利用 Kruskal-Wallis H 检验对不同食物放射性核素监测结果进行比较, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 重庆市食品放射水平分析 2019—2021 年重庆市各类食品中 ^{137}Cs 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 、 ^{90}Sr 的检测结果显示见表 2。重庆市食品中天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 活度浓度平均值为 (0.396 ± 0.510) 、 (0.199 ± 0.296) 、 (0.140 ± 0.209) 、 (119.250 ± 105.470) Bq/kg, 不同食物中放射性核素含量差异有

统计学意义($P < 0.05$)。人工放射性核素 ^{137}Cs 活度浓度平均值为 $(0.091 \pm 0.308) \text{ Bq/kg}$, 对 9 份茶叶进行了 ^{90}Sr 测量, 活度浓度平均值为 $(1.243 \pm 0.860) \text{ Bq/kg}$ 。除 ^{40}K 活度浓度无限值要求外, 其余核素检测结果均小于《食品中放射性物质限制浓度标准》(GB 14882—94)^[10]。

2.2 重庆市居民摄入量估算 根据重庆市食品放射

性水平, 参照《核事故应急情况下公众受照剂量估算的模式和参数》(GB 17982—2018)^[11]标准中男性成年食入量参考值, 估算重庆市居民放射性核素年摄入量。重庆市居民放射性核素年摄入量(Bq/a)=某类食物中放射性核素比活度(Bq/kg) \times 此类食物居民每天的摄入量(g/d) $\times 365 \text{ d}$, 结果见表 3。

表 2 重庆市食品放射性水平 (Bq/kg)

Table 2 Radioactivity level in food in Chongqing

食品类型	数量	^{137}Cs	^{238}U	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K	^{90}Sr
蔬菜	66	0.032 ± 0.121	0.107 ± 0.172	0.151 ± 0.265	0.110 ± 0.214	113.942 ± 110.738	—
粮食	15	0.016 ± 0.024	0.725 ± 0.525	0.178 ± 0.163	0.135 ± 0.157	25.440 ± 5.996	—
奶粉	24	0.325 ± 0.583	1.050 ± 0.500	0.235 ± 0.281	0.196 ± 0.198	212.481 ± 70.914	—
茶叶	9	0.027 ± 0.026	0.259 ± 0.173	0.490 ± 0.483	0.222 ± 0.221	148.777 ± 29.806	1.243 ± 0.860
Z值		38.806	70.261	25.401	24.506	61.701	—
P值		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	—

注: 表中“—”表示无检测数据。

表 3 重庆市居民放射性核素年摄入量

Table 3 Annual intake of radionuclides by residents in Chongqing

食品类型	摄入量(g/d)	$^{137}\text{Cs}/(\text{Bq/a})$	$^{238}\text{U}/(\text{Bq/a})$	$^{232}\text{Th}/(\text{Bq/a})$	$^{226}\text{Ra}/(\text{Bq/a})$	$^{40}\text{K}/(\text{kBq/a})$	$^{90}\text{Sr}/(\text{Bq/a})$
蔬菜	360	4.205	14.060	19.841	14.454	14.971	—
粮食	450	2.628	119.081	29.236	22.174	0.418	—
奶粉	45	5.338	17.246	3.860	3.219	3.490	—
茶叶	15	0.148	1.418	2.683	1.215	0.814	6.805

注: 1) 本研究粮食样品均为大米, 故粮食选用谷物参考值; 2) 茶叶摄入量按经验估算每天饮用2杯茶(7.5 g干茶叶/杯); 3) 表中“—”表示无检测数据。

2.3 重庆市居民剂量估算 查阅《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)^[12]得知, ^{137}Cs 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 、 ^{90}Sr 所致待积有效剂量的转换因子(对 > 17 岁的成年人)分别为 1.3×10^{-8} 、 $4.5 \times$

10^{-8} 、 2.3×10^{-7} 、 2.8×10^{-7} 、 6.2×10^{-9} 、 $2.8 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$, 重庆市成年居民摄入放射性核素所致待积有效剂量($\mu\text{Sv/a}$)=重庆市居民放射性核素年摄入量(Bq/a) \times 转换因子(Sv/Bq) $\times 10^6$, 估算结果见表 4。

表 4 重庆市成年居民摄入放射性核素所致待积有效剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)

Table 4 Committed effective dose due to intake of radionuclides by adult residents in Chongqing

食品类型	^{137}Cs	^{238}U	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K	^{90}Sr
蔬菜	0.055	0.633	4.563	4.047	92.820	—
粮食	0.034	5.359	6.724	6.209	2.592	—
奶粉	0.069	0.776	0.888	0.901	21.638	—
茶叶	0.002	0.064	0.617	0.340	5.047	0.191
蔬菜	0.160	6.832	12.792	11.497	122.097	0.191

注: 表中“—”表示无检测数据。

3 讨 论

掌握重庆地区食品的放射性水平,了解食品可能受放射性污染的水平,建立基线数据库(本底水平),对核事故后的卫生学评价和公众健康后果评估及社会稳定具有重要意义。本次重庆市食品放射性核素调查结果与国内相关文献调查结果相近^[13-15],均低于国家标准 GB14882—94 限值。食品中人工放射性核素¹³⁷Cs 主要来源是历史上核试验或核事故沉降的灰转移到食物链中,经估算重庆市居民由于食入¹³⁷Cs 所致的年有效剂量为 0.16 μ Sv/a。由食品中放射性核素所致内照射剂量水平,对重庆市居民负担较少,不会影响人体健康。本次调查为重庆市食品中放射性污染风险监测积累了大量基础资料,可为食品安全风险评估提供科学依据,为卫生行政部门的决策和疾病的预防控制提供科学依据。

近年来,沿海核电站的快速发展,在正常运行的情况下,也会向环境排放人工放射性核素^[16]。一旦发生核事故,如 2011 年日本发生的福岛核事故,大量含放射性物质的污水进入海洋,随着海水的运动和时间的增加,放射性物质就会进入食物链,对人类健康产生复杂而深远的影响^[17]。中国目前在核能技术应用上走到了世界前列,并且重庆市有计划建设中国内陆省份的核电站,以满足日益增长的经济和生活用电。同时重庆周边和四川已存在核废物处理设施。因此,重庆市居民将要面对的放射性污染威胁将增加。所以食品放射性核素监测工作应该长期的坚持下去,监测的食品种类和数量还要进一步的扩大,控制监测质量^[18],对可能导致的食品污染风险做到早发现、早预警,这样才能为人民群众的食品安全保驾护航。

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 黄强负责收集、分析数据,撰写论文;李炜负责论文最终版本修订;李奎负责修订、审核论文

参考文献

- [1] 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.issn.1004-714X.2020.05.001.
- Tuo F, Zhou Q, Sun QF, et al. 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.issn.1004-714X.2020.05.001.

- [2] 石二为,崔勇,要爽,等.2013-2020年辽宁红沿河核电站周围地区的食品放射性水平及公众内照射剂量研究[J].中华放射医学与防护杂志,2021,41(10):741-745. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.10.004.
- Shi EW, Cui Y, Yao S, et al. Radioactivity levels in foods during 2013 to 2020 around Hongyanhe Nuclear Power Plant and study on internal doses to the public[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2021, 41(10): 741-745. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.10.004.
- [3] 赵新春,冯兰英,卢秀芳,等.2016-2020年防城港核电厂运行初期周边主要食品放射性水平与卫生学评估[J].职业与健康,2022,38(16):2208-2212,2216. DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2022.0453.
- Zhao XC, Feng LY, Lu XF, et al. Evaluation on radioactivity level and hygiene of main foods around Fangchenggang Nuclear Power Plant during initial period of operation from 2016-2020[J]. Occup Health, 2022, 38(16): 2208-2212,2216. DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2022.0453.
- [4] 陈明建,周章轩,肖苏林,等.宁德核电站2019年周边食品放射性核素分析[J].海峡预防医学杂志,2020,26(4):84-86.
- Chen MJ, Zhou ZX, Xiao SL, et al. Analysis of radionuclides in food around Ningde Nuclear Power Plant in 2019[J]. Strait J Prev Med, 2020, 26(4): 84-86.
- [5] 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与分析[J].中国辐射卫生,2021,30(1):24-27. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.01.006.
- Yan QQ, Yang S, Zhang J, et al. Monitoring and analysis of radioactivity levels of environment samples and foods in Nanjing[J]. Chin J Radiol Health, 2021, 30(1): 24-27. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.01.006.
- [6] 王芳,王延俊,邬家龙,等.甘肃省核设施周围食品放射性核素水平监测与分析[J].中国辐射卫生,2019,28(6):668-670,676. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2019.06.019.
- Wang F, Wang YJ, Wu JL, et al. Monitoring and analysis of radionuclide levels in foodstuffs around the nuclear facilities in Gansu Province[J]. Chin J Radiol Health, 2019, 28(6): 668-670,676. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2019.06.019.
- [7] 吴应宇,覃志英,赵新春,等.广西桂西北某退役铀矿山区周边食品放射性核素含量及所致居民剂量[J].职业与健康,2019,35(23):3214-3216. DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2019.0862.
- Wu YY, Qin ZY, Zhao XC, et al. Radionuclide contents in food collected from regions surrounding retired uranium mine in Northwest of Guangxi and their committed dose to public[J]. Occup Health, 2019, 35(23): 3214-3216. DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2019.0862.
- [8] 国家市场监督管理总局. GB/T 16145—2020 生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法[S].北京:中国标准出版社,2020.
- State Administration of Market Supervision and Administration of the People's Republic of China. GB/T 16145—2020 Gamma spectrometry method of analysing radionuclides in biological

- samples[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [9] 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, 2007.
- Ministry of Health of the People's Republic of China. GB/T 5750.13 —2006 Standard examination methods for drinking water-Radiological parameters[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [10] 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 the People's Republic of China. GB 14882 —94 Limited concentrations of radioactive materials in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 1994.
- [11] 国家市场监督管理总局, 中国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 of Market Supervision and Administration of the People's Republic of China. GB/T 17982—2018 Models and parameters for calculating radiation doses to the public in the emergency of a nuclear accident[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.
- [12] 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, 2003.
- 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, 2003.
- [13] 朱银莹, 牟胜, 樊芳, 等. 云南省部分地区大米和玉米放射性核素水平调查[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2020, 40 (7) : 536-539. DOI: [10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2020.07.008](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2020.07.008).
- Zhu YY, Mu S, Fan F, et al. Radionuclide concentration of rice and corn in some areas of Yunnan province[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2020, 40 (7) : 536-539. DOI: [10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2020.07.008](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2020.07.008).
- [14] 石二为, 崔勇, 要爽, 等. 辽宁徐大堡核电站运行前周边食品放射性水平调查[J]. *中国辐射卫生*, 2021, 30 (5) : 551-554. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2021.05.005](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2021.05.005).
- Shi EW, Cui Y, Yao S, et al. Investigation on food radioactivity levels in areas around Xudabao nuclear power plant before operation[J]. *Chin J Radiol Health*, 2021, 30 (5) : 551-554. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2021.05.005](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2021.05.005).
- [15] 孙亚茹, 王欢, 李慧娟, 等. 食品中放射性核素的测量结果[J]. *职业与健康*, 2017, 33 (24) : 3353-3356. DOI: [10.13329/j.cnki.zyyjk.2017.0949](https://doi.org/10.13329/j.cnki.zyyjk.2017.0949).
- Sun YR, Wang H, Li HJ, et al. Measurement results of radionuclides in food[J]. *Occup Health*, 2017, 33 (24) : 3353-3356. DOI: [10.13329/j.cnki.zyyjk.2017.0949](https://doi.org/10.13329/j.cnki.zyyjk.2017.0949).
- [16] 高飞, 杨敏莉, 张峰. 我国食品中放射性污染监测调查情况概述[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8 (12) : 4877-4884. DOI: [10.3969/j.issn.2095-0381.2017.12.064](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-0381.2017.12.064).
- Gao F, Yang ML, Zhang F. Research progress on monitoring of food radioactive contamination[J]. *J Food Saf Quality*, 2017, 8 (12) : 4877-4884. DOI: [10.3969/j.issn.2095-0381.2017.12.064](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-0381.2017.12.064).
- [17] Aliyu AS, Evangeliou N, Mousseau TA, et al. An overview of current knowledge concerning the health and environmental consequences of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident[J]. *Environ Int*, 2015, 85: 213-228. DOI: [10.1016/j.envint.2015.09.020](https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.020).
- [18] 周强, 拓飞, 杨宝路, 等. 我国卫生系统食品中 γ 核素检测能力分析[J]. *中国辐射卫生*, 2019, 28 (4) : 420-424. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2019.04.020](https://doi.org/10.13491/j.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.issn.1004-714X.2019.04.020](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2019.04.020).

(收稿日期:2023-01-11)