

## 青岛地区地表天然放射性调查

徐磊<sup>1,2</sup> 夏宁<sup>1,2</sup> 姜学钧<sup>1,2</sup>

(1. 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

**摘要:**用 $\gamma$ 能谱仪对青岛地区地表天然放射性核素 $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 和 $^{40}\text{K}$ 进行了大规模高密度的现场测量。结果显示,该地区上述核素的平均比活度分别为25.4Bq/kg(范围值2.83~101.35Bq/kg),50.1Bq/kg(范围值5.30~189.91Bq/kg),933.5Bq/kg(范围值102.00~2296.55Bq/kg), $^{232}\text{Th}$ 和 $^{40}\text{K}$ 的含量明显高于全国和全世界的平均值。在测得放射性核素 $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 和 $^{40}\text{K}$ 的比活度的基础上,计算距地面1m高处空气中 $\gamma$ 辐射吸收剂量率、年有效剂量率和外照射指数,并对 $\gamma$ 辐射外照射水平进行评价。空气吸收剂量率为84.2nGy/h,略高于全国的81.5nGy/h和世界的80nGy/h;计算得到本区的年有效剂量值是0.10mSv,远低于公众照射年剂量限值1.0mSv和世界平均年有效外部剂量限值0.46mSv。评价结果表明,青岛地区地面天然放射性水平处于正常范围。

**关键词:**地表;天然放射性核素;天然放射性水平;辐射

### INVESTIGATION AND ASSESSMENT OF NATURAL RADIOACTIVITY OF GROUND SURFACE IN QINGDAO AREA

XU Lei<sup>1,2</sup> XIA Ning<sup>1,2</sup> JANG Xue-jun<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, China;

2. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, Shandong 266071)

**Abstract:** This work deals with the extensive determination of natural radioactivities of the ground surface in Qingdao area by using gammaspectrometer. Its influence factors were discussed. The activity concentrations for  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  obtained were 112 (from 40.2 to 442), 71.5 (from 32.6 to 88.1), and 672 (from 442 to 913) Bq/kg, respectively. Compared with the average values of countrywide and worldwide, the activity concentrations of  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in Qingdao area were obviously higher. To assess the radiological hazard of the natural radioactivity in soil, the absorbed dose rate, annual effective dose rate and external hazard index were calculated. The results indicate that there is a normal level of natural radioactivity of soil in Qingdao area.

**Key words:** ground surface; natural radionuclide; influence factors; radioactive level

天然放射性核素 $^{238}\text{U}$ ( $^{226}\text{Ra}$ )、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$ 广泛存在于岩石、土壤等介质,形成辐射本底<sup>[2]</sup>。天然本底辐射是人类所受辐射年有效剂量的最大稳定贡献者,约占80%<sup>[1]</sup>。世界上经济发达国家对岩石、土壤的天然放射性水平进行了大量的调查与评价,我国在开展的国土资源、环境大调查和绿色科技计划中把生态环境

放射性调查也作为一个重要的内容。

青岛是中国东部沿海重要的经济中心和港口城市,市区座落于燕山期花岗岩之上,属于新华夏系巨型构造的第二隆起带,燕山期岩浆活动频繁,形成规模巨大的侵入岩体,以钾长花岗岩和二长花岗岩为主,其中

收稿日期:2010-12-07 接受日期:2011-03-22

基金项目:中国地质调查局地调项目(1212010310402)

作者简介:徐磊(1982-)男,山东高密人,硕士研究生,助理研究员,主要从事环境污染防治、地球化学与化学分析测试工作。E-mail: xulei2014107@163.com

的放射性核素含量及其所产生的放射性对人体健康的影响一直是人们担心的问题。青岛海洋地质研究所于2003年承担了“中国地质调查局地调项目之‘青岛市天然放射性环境地质调查与评价’”,对青岛的天然辐射水平进行调查,以为更好地保护和建设青岛地区生态环境,合理、有效和健康地利用青岛沿海地区国土资源提供科学依据。

## 1 测量仪器

实施野外调查的主要仪器是FD-3022微机四道 $\gamma$ 能谱仪和GPS手持卫星定位仪。在进行野外工作前,将测量仪器送中国计量科学研究院和国防科工委放射性计量站以及石家庄国家一级放射性计量检测站进行精确性检定,检定合格后对仪器进行高精度短期稳定性、一致性检查,在项目实施过程中进行长期稳定性检查。

## 2 方法

### 2.1 测点、测线的布置

根据剖面测量及城市目前格局等实际情况,运用以线扫面的工作方法,结合地质环境和人居环境,实行网格布点,测点尽量垂直地质体。对不同的功能区,线距、点距不同。

市区实行地面网格布点,50m标高以下100m $\times$ 100m,50m标高以上200m $\times$ 200m;人口居住密集区域,加密布点;在城乡结合部及乡镇,按250m $\times$ 250m网格布点;田野、荒郊以及盐滩,或类似测区,面积大、只有一个对象且地质、环境等影响因素一致时,按500m $\times$ 500m网格布点;无人居住山区,按穿越法进行测量,以可通行的山路为主,山坡平缓地段沿山路间隔50m布点;在构造带,应按垂直于构造带的方向测量;岩性变化复杂区按100m $\times$ 100m网格布点。

### 2.2 测量方法

以往的研究结果表明,青岛地区地表土壤中铀镭平衡系数为0.99~1.2,铀与镭基本上处于平衡状态。因此可以采用FD-3022微机四道 $\gamma$ 能谱仪,执行地矿行业标准DZ/T0205—1999《地面 $\gamma$ 能谱测量技术规范》<sup>[3]</sup>,现场高精度测量U、Th和K的含量(以质量分数 $w$ 表示)及总道计数率。U道测量<sup>214</sup>Bi的1765keV峰;Th道测量<sup>208</sup>Tl的2615keV峰;K道测量<sup>40</sup>K的1460keV峰。观测精度 $\varepsilon < 5\%$ ,尽可能保证半无限空间( $2\pi$ )几何条件,探头置于地面平坦处测量。在各点

读数的测量时间选定120s,读数3次,如果没有异常,取3次读数的平均值为该点的实测值,否则增加测量次数。测定允许误差为: $w(U) \leq \pm 1.5 \times 10^{-6}$ ;  $w(Th) \leq \pm 2.0 \times 10^{-6}$ ;  $w(K) \leq \pm 0.5\%$ ;  $\gamma$ 放射性总量 $\leq \pm 10\%$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 地面放射性核素含量测定结果

测区内共获得放射性核素有效点位11943个,地面放射性核素<sup>238</sup>U浓度平均值为25.37Bq/kg,测值范围为2.83~101.35Bq/kg,变异系数为34.53%(表1)。整个调查区地面放射性核素<sup>238</sup>U浓度普遍较低,与山东省、全国乃至世界地面放射性核素<sup>238</sup>U平均浓度相比(表2),属于地面放射性核素<sup>238</sup>U浓度正常偏低地区。

放射性核素<sup>232</sup>Th浓度总体平均值为50.09Bq/kg,其测值范围5.30~189.91Bq/kg,变异系数为34.40%(表1)。岩浆活动、构造运动以及人为因素形成了放射性核素<sup>232</sup>Th的局部富集,区内有多处地面放射性核素<sup>232</sup>Th浓度偏高点,总体呈北东向断续分布,且与花岗岩体内断裂构造的分布方向吻合。与山东省、全国和世界地面放射性核素<sup>232</sup>Th平均浓度相比(表2),青岛地面放射性核素<sup>232</sup>Th浓度属于偏高地区。

放射性核素<sup>40</sup>K浓度总体平均值为933.45Bq/kg,其测值范围102.00~2296.55Bq/kg,变异系数为30.67%(表1)。<sup>40</sup>K浓度偏高点集中分布在青岛市区及周边花岗岩地区,局部伟晶岩化的酸性岩脉出露地段<sup>40</sup>K浓度明显增高,沿海、沿河地段及第四系沉积物覆盖较厚地区,由于屏蔽作用,地面放射性核素浓度明显偏低。与山东省、全国和世界地面放射性核素<sup>40</sup>K平均浓度相比(表2),青岛地面放射性核素<sup>40</sup>K浓度属于偏高地区,对本地地面放射性照射剂量贡献尤为明显。

### 3.2 青岛地区地面放射性核素含量的影响因素

3.2.1 地质因素的影响 在第四系沉积物覆盖地区,地面放射性核素<sup>238</sup>U浓度与下伏岩石中<sup>238</sup>U浓度关系

表1 青岛地区土壤放射性核素比活度

Table 1 Activity concentrations of soil in Qingdao area

核素项目 nuclide	测点数 No. of sample	浓度范围 concentration (Bq/kg)	平均值 average (Bq/kg)	均方差 MSE	变异系数 variation (%)
<sup>238</sup> U	11943	2.83~101.35	25.37	8.76	34.53
<sup>232</sup> Th	11943	5.30~189.91	50.09	17.23	34.40
<sup>40</sup> K	11943	102.00~2296.55	933.45	286.3	30.67

密切。在长期的地表淋滤作用下覆盖层中的放射性核素 $^{238}\text{U}$ 都会发生一定程度的流失,在局部地段的特定地球化学环境下,覆盖层中的 $^{238}\text{U}$ 也有富集现象,这时地面 $^{238}\text{U}$ 浓度相对偏高,高值可达 $64.9\text{Bq/kg}$ ,这正是市区西部大面积地面放射性核素 $^{238}\text{U}$ 浓度低值区域,经常有个别高值点出现的原因;覆盖层的屏蔽作用,在一定程度上对 $^{238}\text{U}$ 浓度测量有影响。调查区地面放射性核素 $^{238}\text{U}$ 浓度的高低与该区岩性、岩浆侵入活动有关,岩浆岩地区 $^{238}\text{U}$ 浓度比较高,平均值为 $25.47\text{Bq/kg}$ ,中-新生代沉积岩地区的浓度相对较低,平均值为

$23.14\text{Bq/kg}$ (图1)。

表2 青岛地区土壤天然放射性核素比活度对照

Table 2 The contrast activity concentrations

of soil in Qingdao area (Bq/kg)			
地点 location	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
青岛 Qingdao	25.4	50.1	933.5
山东省 Shandong	33.6	45.2	671.0
全国 * China	33.0	41.0	440.0
世界 ** world	35.0	30.0	400.0

注: \* 引自文献[4]; \*\*引自文献[5]、[6]。

Note: \* Data from references[4]; \*\*Data from references[5],[6].

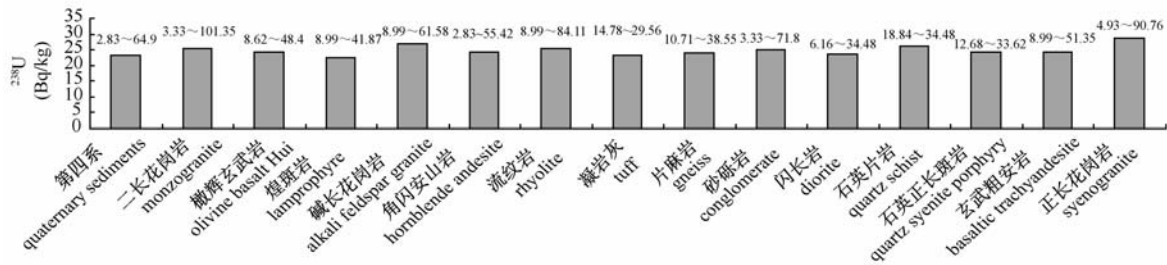


图1 调查区各种岩性的 $^{238}\text{U}$ 浓度平均值直方图及范围

Fig. 1 Range and average of  $^{238}\text{U}$  activity concentrations of various lithology

地面放射性核素 $^{232}\text{Th}$ 浓度的高低与岩性、岩浆热液活动、构造活动密切相关。岩性起主导作用,岩浆活动和构造热液活动有利于 $^{232}\text{Th}$ 的富集。岩浆岩区域地面放射性核素 $^{232}\text{Th}$ 浓度都比较高,正长花岗岩的浓度最高,能达到 $157.02\text{Bq/kg}$ ,中-新生代沉积岩区域浓度相对较低,高值在 $60.0\text{Bq/kg}$ 左右(图2)。 $^{232}\text{Th}$ 浓度高的点分布规律大多呈北东向断续分布,与花岗岩体内断裂构造的分布规律相吻合,这表明在构造热液活动中放射性核素 $^{232}\text{Th}$ 有局部富集趋势。

调查区富含钾长石矿物的岩浆岩的地面放射性核素 $^{40}\text{K}$ 浓度都比较高,碱长花岗岩的 $^{40}\text{K}$ 浓度最高,平均值为 $1003.14\text{Bq/kg}$ ,中-新生代沉积岩地区的浓度较低,平均值为 $763.47\text{Bq/kg}$ (图3)。区内有多处 $^{40}\text{K}$

浓度偏高的点,其产出背景的岩浆岩中局部有伟晶岩化现象,使得钾长石矿物进一步富集,这表明调查区地面放射性核素 $^{40}\text{K}$ 浓度的高低与岩浆岩中钾长石矿物的含量呈正相关关系。

3.2.2 地表环境的影响 调查区地面放射性核素浓度除受地质因素的影响外,也受环境因素的影响,在相同地质条件下,由于地表环境的不同,地面放射性核素浓度也有变化。本研究对比了在第四系沉积物覆盖、砂砾岩和正长花岗岩这3种地质背景下,地面放射性核素浓度随地面景观变化而受到的影响。由图4、5、6可以看出,在相同的地质背景下,由于地表环境不同,其地面放射性核素 $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$ 的浓度有明显差异:在人类活动造成自然环境有较大变化的地段(如养殖

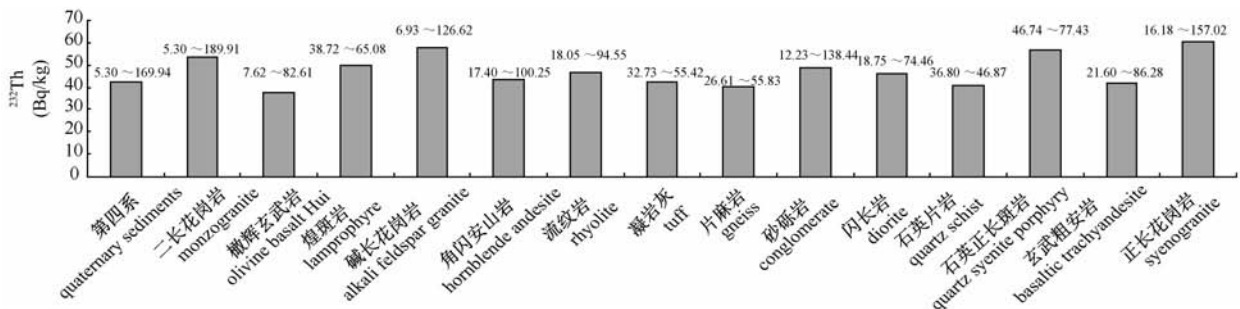


图2 调查区各种岩性的 $^{232}\text{Th}$ 浓度平均值直方图及范围

Fig. 2 The range and average of  $^{232}\text{Th}$  activity concentrations of various lithology

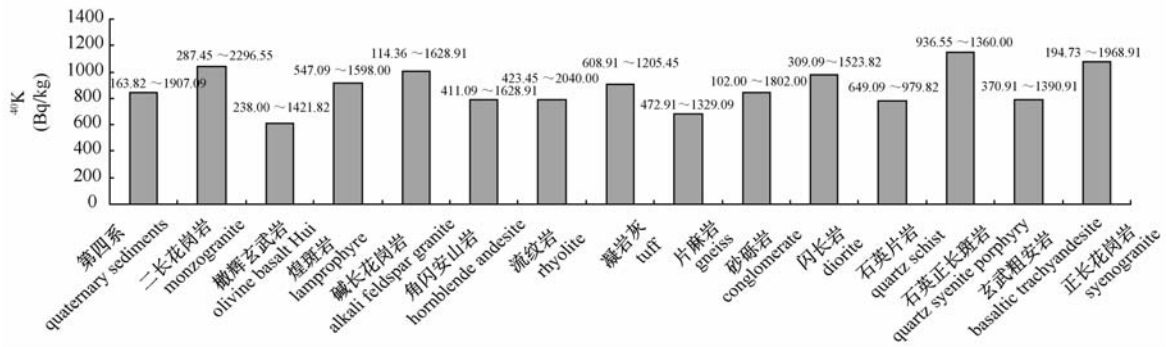


图3 调查区各种岩性的<sup>40</sup>K 浓度平均值直方图及范围

Fig. 3 Range and average of <sup>40</sup>K activity concentrations of various lithology

场,居民生活区),其浓度变高,高于覆盖层之下基岩的背景值;而自然环境变化较少的地段(如林地),核素浓度保持低水平。在同一地表背景下,地质因素又是主要影响因素,在花岗岩地区,由于岩石(包括微风化、中等风化或强风化露头)的直接出露,地面放射性核素<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th、<sup>40</sup>K的浓度水平高,而在第四系沉积物覆盖的地区,由于覆盖层中放射性核素的流失,浓度一般较低。结果表明地面放射性核素<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th、<sup>40</sup>K的浓度高低与地质因素、环境因素都密切相关,地质因素是影响地面放射性核素浓度的主要因素。

### 3.3 $\gamma$ 辐射外照射水平评价

采用空气吸收剂量率、年有效剂量和外照射指数等指标对青岛地区环境中 $\gamma$ 辐射水平进行评价。结果表明,调查区天然放射性元素在土壤中分布均匀,辐射场无限大且均匀,铀和镭处于放射性平衡状态,满足Beck公式法<sup>[7]</sup>估算吸收剂量率的条件。

用Beck公式法通过地面的 $\gamma$ 能谱测量数据来计算地表1m高处的空气吸收 $\gamma$ 射线的剂量率,即通过

钾、铀、钍放射性核素的放射性比活度来估算1m高处的吸收剂量率。

陆地地表上1m高处空气吸收 $\gamma$ 射线的剂量率( $Dr$ )可用公式(1)进行计算:

$$Dr = k_K \times A_K + k_U \times A_U + k_{Th} \times A_{Th} \quad (1)$$

式中, $Dr$ 为离地表1m高处空气的 $\gamma$ 辐射吸收剂量率,单位为nGy/h; $k_K$ 、 $k_U$ 、 $k_{Th}$ 分别为钾、铀、钍的换算系数,分别为0.043、0.427、0.662, $A_K$ 、 $A_U$ 、 $A_{Th}$ 分别为钾、铀、

钍的放射性比活度(Bq/kg)。

年有效剂量( $Daed$ , annual effective dose,单位为mSv)是评价放射性核素 $\gamma$ 辐射外照射的一个重要指标,可用公式(2)进行计算<sup>[8]</sup>:

$$Daed = Dr(nGy/h) \times 8760 \times a_1 \times a_2 \times 10^{-6} \quad (2)$$

式中, $a_1$ (0.2)是居民在室外的平均居留因子; $a_2$ (0.7Sv/Gy)是大气中吸收剂量转换成年有效剂量的换算系数。

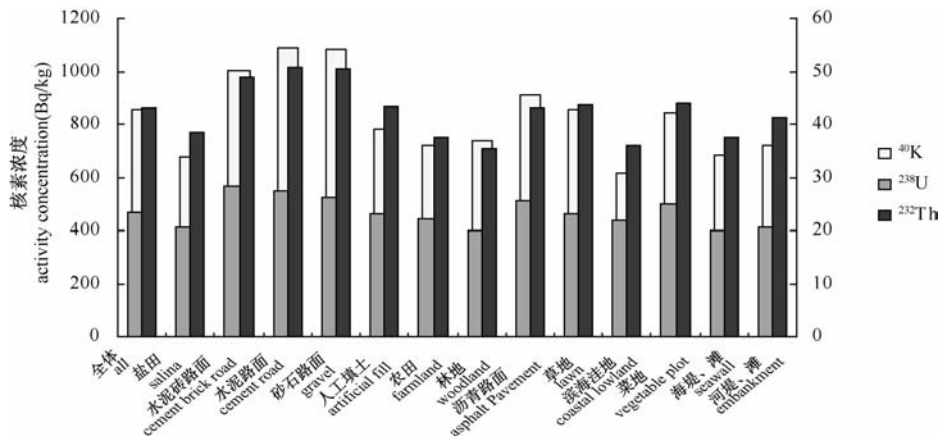


图4 第四纪沉积物上各调查对象的放射性核素浓度平均值直方图

Fig. 4 The survey of radioactive nuclide average concentration in quaternary sediments

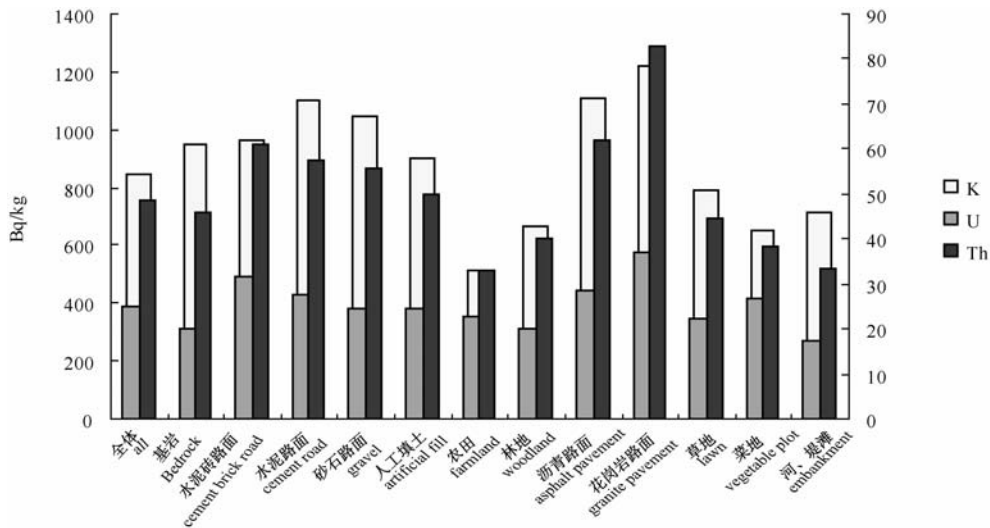


图5 砂砾岩上各调查对象的放射性核素浓度平均值直方图

Fig. 5 The survey of radioactive nuclide average concentration in glutenite

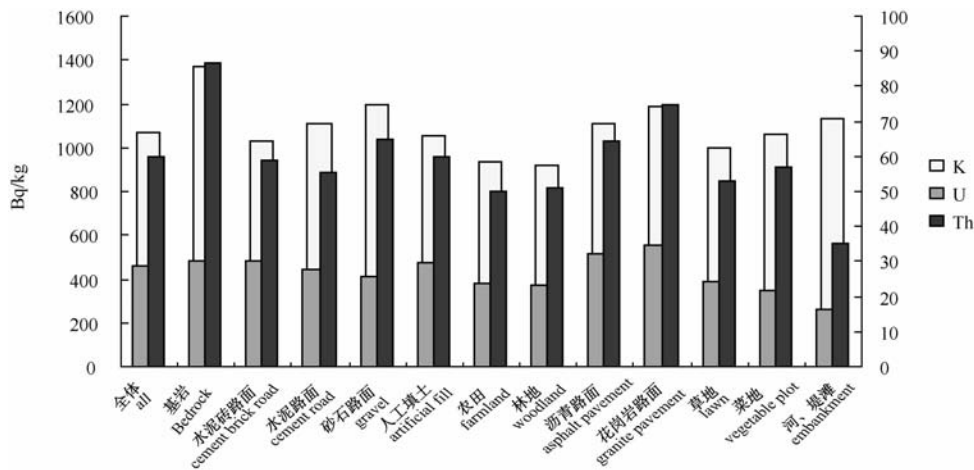


图6 正长花岗岩上各调查对象的放射性核素浓度平均值直方图

Fig. 6 The survey of radioactive nuclide average concentration in granite

外照射指数 ( $I_\gamma$ ) 是指建筑材料产品中的放射性核素镭、钍、钾的比活度对居民所造成的外照射程度, 以此来评价居民所受的外照射风险程度。可用公式 (3) 计算居民环境中的放射性核素  $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$  的比活度。

$$I_\gamma = C_{\text{Ra}}/370 + C_{\text{Th}}/259 + C_{\text{K}}/4810 \quad (3)$$

式中:  $I_\gamma$  为外照射指数;  $C_{\text{Ra}}$  为  $^{226}\text{Ra}$  的放射性核素比活度 (Bq/kg),  $^{226}\text{Ra}$  的比活度与 U 的比活度相同。  $C_{\text{Th}}$  为  $^{232}\text{Th}$  的放射性核素比活度 (Bq/kg);  $C_{\text{K}}$  为  $^{40}\text{K}$  的放射性核素比活度 (Bq/kg)。

采用式 (1) 计算得到研究区的  $Dr$  为 84.2nGy/h, 略高于全国的 81.5nGy/h 和世界的 80nGy/h; 计算得

到本区的年有效剂量值是 0.10mSv, 低于 UNSCEAR 推荐的正常地区平均年有效剂量 0.46mSv<sup>[1]</sup>, 外照射指数  $I_\gamma$  均值为 0.46, 低于国家对建筑材料外照射指数的限制 ( $I_\gamma < 1$ ) 标准 (表 3)。因此可以认为青岛地区属于正常辐射水平地区。

#### 4 结论

根据调查区内地面放射性核素 ( $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$ ) 浓度平均值估算的离地面 1m 高处的空气吸收剂量率为 84.2nGy/h, 由此推算出公众照射所致居民年吸收剂量为 0.1mSv, 远低于 1999 年 ICRP 82 号建议书所

表 3 青岛地区放射性核素空气吸收剂量率、

## 年有效剂量率和外照射指数

Table 3 The dose rate in air, annual effective dose rate and external hazard index of soil in Qingdao area

地点 location	剂量率 dose rate (nGy/h)	年有效剂量率 annual effective dose rate (mSv/a)	外照射指数 external hazard index
青岛 Qingdao	84.2	0.10	0.46
山东省 Shandong	73.1	0.09	—
全国 * China	81.5	—	1.0
世界 ** world	80	0.46	—

注: \* 引自文献[4]; \*\*引自文献[1]。表中数据均为均值。

Note: \* Data from references[4]; \*\*Data from references[1]. Data in the table are the mean.

建议的公众照射年剂量限值 1.0mSv 和世界平均年有效外部剂量限值 0.46mSv, 环境  $\gamma$  辐射属于较安全的地区。

虽然青岛市区地面放射性核素浓度偏高, 但未形成放射性核素浓度高背景区, 尤其是作为  $\gamma$  射线辐射外照射贡献较大的放射性核素<sup>238</sup>U 浓度并不高, 因此认为青岛市区土壤放射性核素浓度形成的辐射环境仍属于正常的本底范围, 是比较安全的。

## 参考文献:

- [1] UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposure from Natural Sources of Radiation, United Nations, New York, 1993
- [2] UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation [M]. New York: United Nations, 1982
- [3] DZ/T 0205—1999, 地面  $\gamma$  能谱测量技术规程[S]
- [4] Wang Zuo-yuan. Natural radiation environment in China, International Congress Series, 2002, 1225: 39–46
- [5] UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, United Nations, New York, 2000.
- [6] UNSCEAR. Ionizing Radiation: Source and Biological Effect, United Nations, 1988
- [7] Beck H L, DeCompo J, Gogolak G. In-situ Ge (Li) and NaI (Tl) Gamma-ray Spectrometry [J]. USAEC, 1972, HASL-258
- [8] UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects and Risks of Ionizing Radiations [M]. New York: United Nations, 2000

(责任编辑 邱爱枝)

(上接第 759 页)

- [6] Arabshahi-Delouee S, Urooj A. Antioxidant properties of various solvent extracts of mulberry (*Morus indica* L.) leaves [J]. Food Chem, 2007, 102: 1233–1240
- [7] 杨世国, 汪志平, 缪云根, 朱祥瑞. 桑叶粗提物清除羟自由基能力的比较[J]. 蚕业科学, 2005, 31(3): 351–353
- [8] 叶文峰, 赵林牙. 桑叶提取物抗氧化性能的研究[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(1): 39–41
- [9] 国家药典委员会. 中国国家药典[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 244
- [10] 杨普香, 管帮福, 黎小萍. 桑叶中黄酮类化合物、氨基酸、桑多酚的含量变化探讨[J]. 蚕桑茶叶通讯, 2003(2): 2–3
- [11] 刘春莲, 李东升. 不同品种不同部位的桑叶中多酚和黄酮类物质含量[J]. 安徽农业科学, 1999, 27(4): 356, 402
- [12] 王娜, 褚衍亮, 方荣俊, 郭秀莲. 几种桑树品种和叶位主要营养及可利用分析[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(8): 146–150
- [13] 田兵, 徐步进, 华跃进. 耐辐射球菌清除活性氧自由基及对 DNA 的保护作用[J]. 核农学报, 2004, 18(5): 376–380
- [14] Yu W, Zhao Y. Chemiluminescence evaluation of oxidative damage to biomolecules induced by singlet oxygen and the protective effects of antioxidants [J]. Biochim Biophys Acta, 2005, 1725: 30–4
- [15] 肖纯, 张凯农. Folin-Denis 试剂测定茶叶酚类化合物[J]. 茶叶通讯, 1996, 21(4): 27–29
- [16] 何书美, 刘敬兰. 茶叶中总黄酮含量测定方法的研究分析[J]. 化学研究简报, 2007, 35(9): 1365–136
- [17] Michel D, Gilles K A, Hamilton J k, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances [J]. Anal Chem, 1956, 28(3): 350–356
- [18] 汪志平, 刘艳辉. 高产多糖钝顶螺旋藻新品系的选育及蛋白质 SDS-PAGE 鉴定[J]. 核农学报. 2004, 18(5): 349–352
- [19] 汪家政, 范明. 蛋白质技术手册[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 42–46
- [20] 吕禹泽, 宋钰, 吴国宏. 葡萄多酚的抗氧化活性[J]. 食品科学, 2007, 27(12): 213–216
- [21] 李勇, 孔令青, 高洪, 严玉霖. 自由基与疾病研究进展[J]. 动物医学进展, 2008, 29(4): 85–88
- [22] 高斌, 高洪. 氧自由基与细胞损伤[J]. 动物医学进展, 2002, 23(5): 34–36
- [23] Wang F, Li J R, Jiang Y M. Polysaccharides from mulberry leaf in relation to their antioxidant activity and antibacterial ability [J]. J Food Process Eng, 2010, 33(1): 39–50
- [24] 邢东旭, 廖森泰, 邹宇晓, 刘吉平, 唐翠明, 吴焱明. 桑叶多糖的抗氧化作用研究[J]. 广东蚕业, 2008, 42(1): 36–39

(责任编辑 高美须 裴颖)