

阳江核电站邻近海域的总 α 、总 β 放射性比活度水平

吴梅桂, 赵峰*, 赵力, 谷河泉, 周鹏, 李冬梅, 娄全胜

(国家海洋局南海环境监测中心, 广东广州 510300)

摘要:采用共沉淀法分析测定了阳江核电站邻近海域2012—2013年海水样品总 α 、总 β 的放射性比活度、表层沉积物样品中总 β 的放射性比活度以及2013年生物样品中总 β 的放射性比活度。结果表明:2012—2013年两年间阳江核电站邻近海域海水中总 α 的放射性比活度范围为:0.083~0.205 Bq/L, 平均值为0.134 Bq/L;总 β 的放射性比活度范围为:0.029~0.059 Bq/L, 平均值为0.043 Bq/L。与渤海、黄海、东海、珠江口等其他海域相比,阳江核电邻近海域总 α 、总 β 放射性比活度水平相对较低。2012—2013年阳江核电站邻近海域表层沉积物中总 β 的放射性比活度范围为:620~1 125 Bq/kg(干重),平均值为814 Bq/kg(干重)。与渤海、黄海、东海、珠江口等各海域沉积物相比,研究海域沉积物中总 β 的放射性比活度位于中等水平。2013年阳江核电站邻近海域生物样品总 β 的放射性比活度范围为:16.1~74.7 Bq/kg,平均值为39.4 Bq/kg,其中鱼类的总 β 平均值为64.6 Bq/kg,虾类的总 β 平均值为36.8 Bq/kg,贝类的总 β 平均值为16.7 Bq/kg,呈现鱼类>虾类>贝类的分布趋势。

关键词:海洋环境科学;总 α ;总 β ;共沉淀;阳江核电站

DOI: 10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2020. 03. 014

中图分类号:P76

文献标识码:A

文章编号:2095-4972(2020)03-0427-07

自然环境中天然存在的以及人类活动产生的放射性核素多数是发射 α 、 β 射线的放射源。总 α 是指除氦以外的所有天然和人工放射性核素的 α 辐射体总称,总 β 是指除 ^3H 外的所有发射 β 粒子的同位素。总 α 、总 β 测量结果本身虽不能确切给出样品中核素的种类及含量,但对于分析核素已知条件下,该方法具有筛选作用^[1]。此外,总 α 、总 β 放射性分析因其测量周期较短、成本低,对样品的总放射性水平能快速进行评价,故在辐射环境分析中被广泛采用,对积累环境辐射水平数据、总结环境辐射水平变化规律、判断环境中放射性污染有重要的实际意义^[2]。

随着核工业的发展、反应堆与核电站的建立以及放射性同位素的广泛应用,总 α 、总 β 放射性的测量问题越来越多地受到关注,涉及辐射防护、环境监

测、食品卫生以及放射性医疗、气象、考古等诸多领域^[3]。总放射性测量在事故应急中应用较多,尤其是用于食品或水样的早期污染判断中,也是核与辐射应急监测的首要之一。目前总 α 、总 β 放射性监测仍作为多数核设施的常规监测项目^[4]。关于海水中总 α 、总 β 放射性测量,东海^[5-6]、黄海^[7-8]、南海^[9-14]均有涉及。

阳江核电站邻近海域濒临南海且海域开阔,对该海域在放射性监测预评价方面的调查研究近年来逐渐增多^[15]。本次调查采样时间为2012—2013年,测定阳江核电站运行前周边海域海水、沉积物和生物体中总 α 、总 β 放射性比活度水平,期望能够为科学评价阳江核电站运行后海洋生态环境变化以及周边环境放射性水平的监测工作提供基础数据,为快速初判可能发生的核与辐射突发事件,及时上报

收稿日期:2019-04-07

基金项目:国家海洋局南海分局局长基金资助项目(180104);国家海洋公益性资助项目(201505005-6);广东省自然科学基金资助项目(2017A030310592);热带海洋环境国家重点实验室开放课题资助项目(LTO1709)

作者简介:吴梅桂(1986—),女,硕士,工程师;E-mail: rosemg1027@163.com

*通讯作者:赵峰(1983—),男,硕士,工程师;E-mail: 116008508@qq.com

信息提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 站位布设

本调查站位布设以阳江核电站入水口和排水口

为基准点,设置海水、沉积物共同站位 12 个,生物站位 3 个。具体站位布设如图 1 所示。

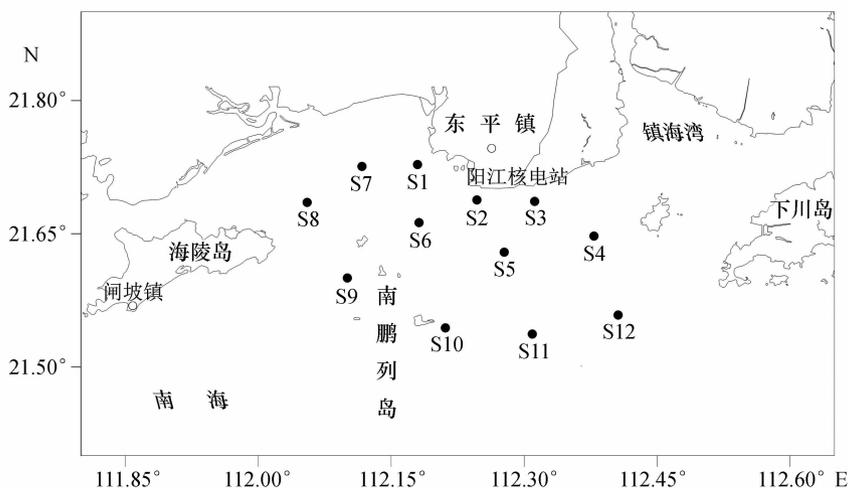


图 1 阳江核电站邻近海域海水、沉积物、生物样品采集站位

Fig. 1 Stations for seawater, sediments and organism sampling in adjacent sea area of Yangjiang Nuclear Power Plant

1.2 样品采集

本研究海水和沉积物样品采样时间为 2012 年 12 月 28 日和 2013 年 3 月 28 日。海水采集表层水 (0.0 ~ 0.5 m), 用 5 L 塑料桶采集, 每升海水加入 1 mL 浓盐酸保存在聚乙烯桶内, 运回实验室处理。沉积物样品均用抓斗式采泥器采集, 取表层 (0.0 ~ 2.0 cm) 样品不少于 1.0 kg, 用塑料袋封装后, 冷冻保存。

本研究生物样品采集时间为 2013 年 5 月 3 日—5 日, 在设定站位周边 (东平镇、闸坡镇和下川岛, 如图 1) 收集鱼类、虾类和贝类各 3 种, 重量不少于 10.0 kg, 用塑料袋封装后, 冷冻保存运回实验室。

1.3 海水中总 α 和总 β 的测定

考虑到海洋环境系统的特殊性, 本研究采用共沉淀方法, 有效克服蒸发浓缩法对于海水体系和含盐体系的不适用性^[16]。量取 3 L 海水, 采用 BaSO_4 和 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 共沉淀方法富集海水中的大部分放射性核素, 通过布氏漏斗过滤收集沉淀, 灼烧、冷却称重、研磨、转入测量盘, 加入无水乙醇润湿铺匀, 红外灯下烘干, 置于干燥器中冷却至室温, 利用低本底 α/β 测量仪同时测定总 α 和总 β 计数, 测量时间 6 h。总 α 测量采用相对比较测量法, 使用铀标准溶液 (10 Bq/mL) 作为标准源; 总 β 测量采用相对测量

法, 采用优级纯氯化钾制备标准源^[17], 厚度与样品源相同。

1.4 沉积物和生物体中总 β 的测定

沉积物样品运回实验室, 晾干后磨细、混匀, 80 目过筛备用; 生物样品运回实验室后鉴种、烘干、炭化、灰化、冷却称重, 计算灰鲜比, 研磨并 80 目过筛备用。

准确称取 0.500 g 过筛后的样品, 置于不锈钢盘中, 滴入少量无水乙醇润湿, 用小玻璃棒仔細铺匀, 红外灯下烘干。最后将样品转移至低本底 α/β 测量仪, 测量时间 4 h。沉积物和生物体的总 β 放射性以优级纯氯化钾制备标准源^[17]。

1.5 放射性比活度的计算

① 总 α 的比活度计算公式如下。

$$A = \frac{W_1 \cdot I}{V \cdot W \cdot \eta} \quad (1)$$

式 (1) 中: A 为海水中总 α 放射性比活度 (Bq/L); η 表示仪器计数效率 (%); I 表示样品源的净计数率 (cps); W_1 为待测水样的总灰重 (mg); W 为测量用样的总灰重 (mg); V 表示待测水样的体积 (L)。

② 总 β 的比活度计算公式如下。

海水:

$$B_1 = \frac{W_1 \cdot I}{V \cdot W \cdot \eta} \quad (2)$$

沉积物:

$$B_2 = \frac{I}{W \cdot \eta} \times 10^6 \quad (3)$$

生物体:

$$B_3 = \frac{I \cdot M}{W \cdot \eta} \times 10^3 \quad (4)$$

式(2~4)中: B_1 、 B_2 、 B_3 表示海水、沉积物、生物体中总 β 放射性比活度[Bq/L、Bq/kg(干重)和Bq/kg(湿重)]; M 表示生物样品的灰重在鲜重的占比(%)。

2 结果与讨论

2.1 海水中总 α 和总 β 放射性比活度

2012年12月调查海域表层水温在18.6~19.6℃之间,平均值为19.0℃;盐度在30.241~31.058之间,平均值为30.813;2013年3月调查海域表层水温在21.4~22.0℃之间,平均值为21.6℃;盐度在28.051~29.818之间,平均值为29.091。表1给出了2012年12月和2013年3月调查海域表层海水总 α 和总 β 放射性比活度。

表1 阳江核电站邻近海域海水中总 α 和总 β 放射性比活度

Tab. 1 Specific radioactivity of sea water gross α and gross β in adjacent sea area of Yangjiang Nuclear Power Plant

站位	2012年12月				2013年3月			
	温度/℃	盐度	总 α 比活度/ (Bq·L ⁻¹)	总 β 比活度/ (Bq·L ⁻¹)	温度/℃	盐度	总 α 比活度/ (Bq·L ⁻¹)	总 β 比活度/ (Bq·L ⁻¹)
S1	18.7	30.791	0.125±0.010	0.045±0.003	21.5	29.413	0.187±0.011	0.036±0.003
S2	19.5	30.950	0.112±0.010	0.044±0.002	21.9	29.418	0.125±0.009	0.032±0.003
S3	19.4	30.697	0.177±0.010	0.052±0.003	21.8	28.051	0.205±0.014	0.039±0.003
S4	18.7	30.715	0.125±0.005	0.052±0.003	21.8	28.236	0.083±0.008	0.044±0.003
S5	18.6	30.834	0.129±0.010	0.037±0.002	22.0	28.388	0.114±0.009	0.037±0.003
S6	18.8	31.025	0.101±0.008	0.034±0.002	21.8	29.286	0.120±0.009	0.042±0.003
S7	19.6	30.941	0.191±0.013	0.055±0.003	21.4	29.209	0.117±0.011	0.029±0.003
S8	18.9	30.870	0.110±0.009	0.048±0.003	21.4	28.690	0.121±0.008	0.040±0.003
S9	19.5	31.058	0.123±0.008	0.045±0.003	21.6	29.818	0.122±0.009	0.036±0.003
S10	18.8	30.914	0.133±0.009	0.059±0.003	21.5	29.406	0.159±0.012	0.038±0.003
S11	18.8	30.723	0.154±0.009	0.050±0.003	21.5	29.651	0.112±0.010	0.036±0.003
S12	18.6	30.241	0.122±0.009	0.048±0.003	21.5	29.529	0.138±0.011	0.044±0.003
范围	18.6~19.6	30.241~31.058	0.101~0.191	0.034~0.059	21.4~22.0	28.051~29.818	0.083~0.205	0.029~0.044
平均值	19.0	30.813	0.133	0.047	21.6	29.091	0.134	0.038

2.1.1 海水中总 α 比活度 2012、2013年阳江核电站邻近海域表层海水中总 α 放射性比活度变化范围分别为0.101~0.191、0.083~0.205 Bq/L,平均值分别为0.133、0.134 Bq/L。2012年与2013年调查海域表层海水总 α 放射性水平相当,且变化趋势相似,均呈现由陆向海方向先降低后升高的趋势,总 α 最高值均出现在S3站位。刘怀等(1987)测得珠江口海域总 α 比活度范围为0.060~0.150 Bq/L,平均值为0.100 Bq/L^[9]。苏喜玲等(1989)测得珠江口海域总 α 比活度范围为0.080~0.166 Bq/L,平均值0.122 Bq/L^[12]。本研究测得的值与上述2个结果较为相近。

2.1.2 海水中总 β 比活度 2012、2013年阳江核电站邻近海域表层海水总 β 放射性比活度平均值分别为0.047、0.038 Bq/L,变化范围分别为0.034~0.059、0.029~0.044 Bq/L。

2012年调查海域表层海水总 β 放射性比活度略高于2013年,且变化趋势不同,2012年均呈现由陆向海方向先降低后升高趋势,2013年则呈现核电站以西海域由陆向海方向先降低后升高,核电站以东海域由陆向海方向升高趋势。

在放射性常规监测中,采用BaSO₄和Fe(OH)₃共沉淀方法测定海水中的总 β 放射性水平既不包含³H,也不包含⁴⁰K。而天然海水中的总 β 放射性

90%以上都是由 ^{40}K 提供。在核应急监测中,去 ^{40}K 后的海水中总 β 放射比活度,能更好的反映核事故中总 β 放射水平。以下所列均为去钾总 β 。

据有关文献报道,东海大陆架海水中总 β 的平均放射性比活度为 $0.063\text{ Bq/L}^{[15]}$,厦门港海水中总 β 的平均比活度为 $0.060\text{ Bq/L}^{[18]}$,渤海海水中总 β 的平均比活度为 $0.100\text{ Bq/L}^{[19]}$,珠江口海水中总

β 的比活度为 $0.052\sim 0.144\text{ Bq/L}$,平均值为 $0.078\text{ Bq/L}^{[9]}$,青岛近海海域海水中总 β 的比活度为 $0.027\sim 0.083\text{ Bq/L}$,平均值为 $0.054\text{ Bq/L}^{[8]}$,大亚湾海域海水中总 β 的比活度为 $0.029\sim 0.073\text{ Bq/L}$,平均值为 $0.051\text{ Bq/L}^{[14]}$ 。与上述海域比较,阳江核电站邻近海域海水中总 β 的平均比活度处于较低水平(表2)。

表2 我国部分海域海水总 β 平均放射性比活度

Tab.2 Specific radioactivities of sea water gross β in some sea areas of China

海域	总 β 比活度平均值/ ($\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$)	总 β 比活度范围/ ($\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$)	文献
东海大陆架	0.063	—	李培泉等(1982) ^[5]
厦门港	0.060	—	蔡福龙等(1985) ^[18]
渤海	0.100	0.056 ~ 0.163	国家海洋局第一海洋研究所环保组 (1985) ^[19]
珠江口	0.078	0.052 ~ 0.144	刘怀等(1987) ^[9]
青岛近海	0.054	0.027 ~ 0.083	李恒等(2009) ^[8]
大亚湾核电站邻近海域	0.051	0.029 ~ 0.073	赵力等(2013) ^[14]
阳江核电站邻近海域	0.043	0.029 ~ 0.059	本研究

2.2 沉积物中总 β 放射性比活度

2012、2013年阳江核电站邻近海域表层沉积物中总 β 放射性比活度平均值分别为 $829,811\text{ Bq/kg}$ (干重),变化范围分别为 $641\sim 1\,125,689\sim 870\text{ Bq/kg}$ (干重)。

图2给出2012、2013年沉积物中总 β 的分布图,2012年调查海域沉积物中总 β 最高值出现在S2站位,2013年调查海域沉积物中总 β 最高值出现在S4站位,两次调查海域沉积物中总 β 都基本呈现由近岸向外海逐步降低的趋势。

海洋沉积物中总 β 放射性的主要来源是由 ^{40}K 、铀、钍的 β 衰变子体等天然放射性和少量人工 β 放射性(如 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs)组成^[20]。在核电站以及其他核设施和核事故区域人工放射性同位素对沉积物中总 β 的放射性含量有显著影响,在远离这些区域的地方,沉积物中总 β 放射性的含量主要受天然放射性同位素的制约。根据有关海域沉积物中总 β 放射性的变化,就可以快速监测海洋环境的放射性污染^[7]。

关祖杰等(1994)测得香港海域沉积物总 β 放射性比活度变化范围为 $940\sim 1\,360\text{ Bq/kg}$ (干重),平均值为 $1\,120\text{ Bq/kg}$ (干重)^[21]。李恒等(2009)测得青岛近海海洋沉积物总 β 放射性比活度变化

范围为 $820\sim 1\,080\text{ Bq/kg}$ (干重),平均值为 930 Bq/kg (干重)^[8]。相较而言,本调查所测总 β 放射性比活度水平较低。沉积物中总 β 放射性比活度、分布与沉积物的矿物组成、有机质含量、生源物质的放射性比活度以及人工放射性污染源等紧密相关^[7],为了更好的理解和对比沉积物总 β 比活度,还需要后续研究矿物组成、有机质含量等因素对总 β 比活度分布的影响。

2.3 生物体中总 β 放射性比活度

放射性核素进入海洋环境后,发生了一系列物理、生物和化学的变化过程。这些放射性核素随海流、风浪而稀释扩散,或被海洋生物吸收积累在体内,或沉降到海底被沉积物吸附,或被悬浮物吸附,从而不同程度地形成海洋生物体的辐射剂量。海洋生物吸收放射性物质的问题一直受到人们的重视,因为它们从环境中吸收和积累放射性物质,从而成为海洋放射性污染物质的携带者和传播者,通过洄游或漂流将污染物质带到非污染海域。同时经动物摄食和食物链传递,放射性核素可能进一步在高营养级生物中富集^[22]。

2013年阳江核电邻近海域生物样品总 β 的放射性比活度范围为: $16.1\sim 74.7\text{ Bq/kg}$ (湿重,下同),平均值为 39.4 Bq/kg ,其中鱼类的总 β 比活度

平均值为 64.6 Bq/kg, 虾类的总 β 比活度平均值为 42.0 Bq/kg, 呈现鱼类 > 虾类 > 贝类的分布趋势(表 3)。36.8 Bq/kg, 贝类的总 β 比活度平均值为 16.7

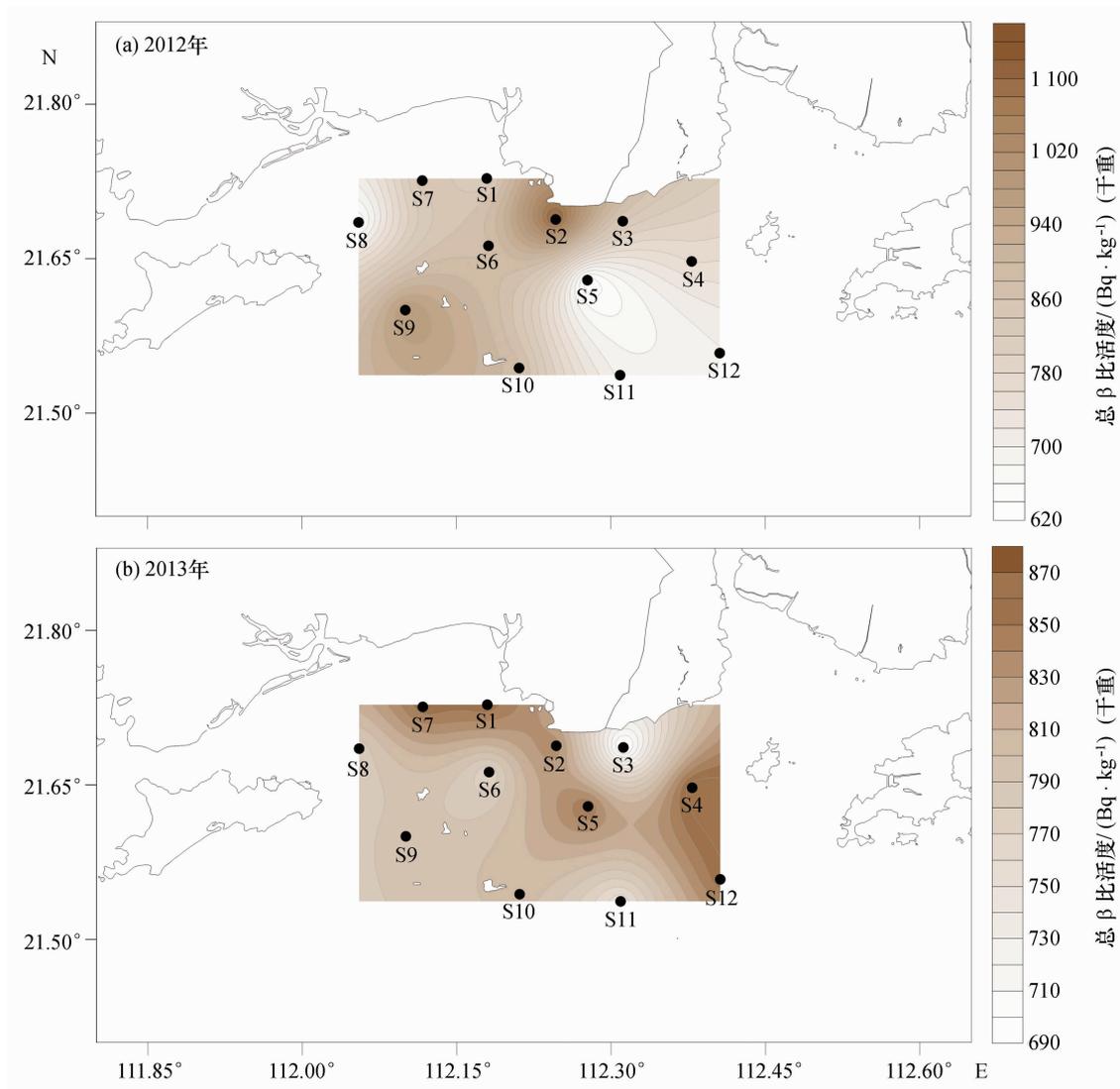


图 2 2012 和 2013 年阳江核电站邻近海域表层沉积物中总 β 比活度分布

Fig. 2 Gross β in sediments in adjacent sea area of Yangjiang Nuclear Power Plant in 2012 and 2013

表 3 阳江核电站邻近海域生物中总 β 比活度

Tab. 3 Gross β in organism samples in adjacent sea area of Yangjiang Nuclear Power Plant

站位	种名	总 β 比活度/(Bq · kg ⁻¹)	灰重占比/%
东平	皮氏叫姑鱼 (<i>Johnius belengerii</i>)	56.2 ± 1.1	33.74
	亨氏仿对虾 (<i>Parapenaeopsis hungerfordi</i>)	42.0 ± 0.8	38.88
	毛蚶 (<i>Scapharca subcrenata</i>)	16.1 ± 1.7	17.90
闸坡	大鳞鲷 (<i>Mugil macrolepis</i>)	62.9 ± 1.3	33.17
	亨氏仿对虾	39.0 ± 0.8	38.27
	毛蚶	16.8 ± 2.0	17.58
下川	日本竹荚鱼 (<i>Trachurus japonicus</i>)	74.7 ± 1.4	32.52
	亨氏仿对虾	29.5 ± 0.8	38.48
	毛蚶	17.3 ± 1.7	17.49

海洋生物对放射性核素的吸收和浓集受环境和生物因素的双重影响。环境因素包括温度、盐度、藻类的光照、pH、放射性核素的浓度及理化特征等。生物因素有年龄、个体重量、生活习性、种类组成、食物摄入途径、生理状态等等。

应该特别指出,生物体的不同组织、器官等不同部位对放射性元素的浓集能力往往有较大差别。一些海洋生物放射性核素的测定结果相差很大,即使同一个种类也会存在同样问题。除了没有规范的方法外,分析中的误差也是造成数据差异的主要原

因^[22]。

3 结语

通过对 2012、2013 年阳江核电站邻近海域海水、表层沉积物和生物样品的总 α 、总 β 放射性比活度的研究发现:阳江核电站邻近海域海水总 α 、总 β 放射性比活度以及沉积物中的总 β 放射性比活度水平接近或低于国内相关文献报导值,属正常本底水平;阳江核电站邻近海域生物样品中总 β 放射性比活度呈现鱼类 > 虾类 > 贝类的分布趋势。

参考文献:

- [1] 陈竹舟,李学群,沙连茂. 环境放射性监测与评价[M]. 太原:中国辐射防护研究院,1991:39-40.
- [2] 李芳,陆继根,沙连茂,等. 固体中总 α 、总 β 放射性监测方法研究[J]. 辐射防护,2007,27(4):228-232.
- [3] 王玉学,王红军. 样品中总 α/β 放射性的测量[J]. 辐射防护通讯,2000,20(1):35-37.
- [4] 刘书田,夏益华. 环境污染监测实用手册[M]. 北京:原子能出版社,1997:40-44.
- [5] 李培泉,康兴伦,卢光山,等. 东海大陆架海水总 β 强度的测定[J]. 海洋科学,1982,6(2):30-33.
- [6] 康兴伦,袁毅,任广法. 长江及其入海口附近总 β 放射性的测定[J]. 海洋与湖沼,1987,18(2):151-155.
- [7] 尹毅. 黄海表层沉积物中总 β 放射性及其分布特征的研究[J]. 海洋与湖沼,1985,16(5):371-379.
- [8] 李恒,王江涛,谭丽菊. 青岛近海海洋中总 β 的测定及其分布特征研究[J]. 中国海洋大学学报,2009,39(增刊):199-202.
- [9] 刘怀,邱礼生. 珠江口海域放射性总 α 、总 β 的分布特征[J]. 热带海洋,1987,6(2):67-75.
- [10] 刘怀. 南海近海海水中放射性总 α 、总 β 的研究[J]. 海洋科学,1987,11(6):34-36.
- [11] 刘怀. 粤东海域放射性总 α 、总 β 及其分布初步探讨[J]. 海洋环境科学,1987,6(4):38-43.
- [12] 苏喜玲,刘怀,郭敏,等. 珠江口海域放射性水平的研究[J]. 海洋环境科学,1989,8(1):17-21.
- [13] 陈进兴. 南海近海水中 U、⁹⁰Sr、¹³⁷Cs、³H 和总 β 放射性分布[J]. 海洋科学,1993,17(1):69-70.
- [14] 赵力,周鹏,张红标,等. 2005—2010 年大亚湾核电站附近海域海水中总 β 放射性水平[J]. 热带海洋学报,2013,32(5):107-112.
- [15] 吴梅桂,周鹏,赵峰,等. 阳江核电站附近海域表层沉积物中 γ 放射性核素含量水平[J]. 海洋环境科学,2018,37(1):43-47.
- [16] SUAREZ-NAVARRO J A, PUJOL L, PABLO M A D. Rapid determination of gross alpha-activity in sea water by coprecipitation[J]. Journal of Radio Analytical and Nuclear Chemistry, 2002, 253(1): 47-52.
- [17] 国家海洋局. 海洋环境放射性核素监测技术规程: HY/T 235—2018[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
- [18] 蔡福龙,庄栋法,陈英. 厦门海域的放射性水平[J]. 海洋环境科学,1985,4(2):11-17.
- [19] 国家海洋局第一海洋研究所环保组. 渤海放射性调查研究[J]. 海洋环境科学,1985,4(2):1-10.
- [20] 陈进兴,吴世炎,张平青. 河口区沉积物中²¹⁰Pb、²²⁶Ra 和总 β 放射性分布规律的研究[J]. 海洋学报,1987,9(2):183-187.
- [21] 关祖杰,杨健明,余君岳,等. 香港海域海洋沉积物的放射性测量[J]. 中山大学学报(自然科学版),1994,33(4):118-121.
- [22] 唐森铭,商照荣. 中国近海海域环境放射性水平调查[J]. 核安全,2005(2):21-30.

Radioactivities of gross α and β in adjacent sea area of Yangjiang Nuclear Power Plant

WU Mei-gui, ZHAO Feng*, ZHAO Li, GU He-quan, ZHOU Peng, LI Dong-mei, LOU Quan-sheng
(South China Sea Environmental Monitoring Center, SOA, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Gross α and gross β in seawater, sediments and organism samples collected in 2012 and 2013 from the adjacent sea area of Yangjiang Nuclear Power Plant were measured by co-precipitation method. The results showed that in 2012 and 2013 gross α in seawater averaged 0.134 (0.083 – 0.205) Bq/L. Gross β in seawater averaged 0.043 (0.029 – 0.059) Bq/L. The gross α and gross β levels were lower compared with those from other sea areas. In 2012 and 2013 gross β in surface sediments was 814 (620 – 1 125) Bq/kg in average. The gross β level was at middle level compared with those from other sea areas. In 2013 gross β in marine organisms averaged 39.4 (16.1 – 74.7) Bq/kg. The averages of gross β in fishes, shrimps and shellfishes were 64.6, 36.8 and 16.7 Bq/kg, respectively.

Key words: marine environmental science; gross α ; gross β ; co-precipitation; Yangjiang Nuclear Power Plant

DOI: 10.3969/J. ISSN.2095-4972.2020.03.014

(责任编辑:杜俊民)