

舟山口岸进口鱿鱼中 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 比活度水平分析

周秀锦¹, 鲁 华², 邵宏宏¹, 张 静¹, 杨赛军¹

(1. 舟山出入境检验检疫局, 浙江 舟山 316021; 2. 舟山市食品药品检验检测研究院, 浙江 舟山 316021)

摘 要: 目的: 研究日本福岛核事故对舟山口岸进口鱿鱼中 ^{134}Cs 和 ^{137}Cs 比活度的影响。方法: 选取北太、日本海、阿根廷和秘鲁4个区域2011—2014年间310份鱿鱼样品, 采用高纯锗 γ 谱仪分析样品中 ^{134}Cs 和 ^{137}Cs 的比活度。结果: 共检出阳性样品20份, 检出率为6.5%, 其中北太鱿鱼占阳性样品的85.0%, ^{134}Cs 的最高比活度为 $4.12 \times 10^3 \text{ Bq/g}$, ^{137}Cs 的最高比活度为 $6.89 \times 10^3 \text{ Bq/g}$, 远低于各国限量标准(最低限量为 $100 \times 10^3 \text{ Bq/g}$)。结论: 舟山口岸进口鱿鱼放射性核素 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 比活度低于 $10.0 \times 10^3 \text{ Bq/g}$, 不会危害食品质量安全, 但是北太和日本海鱿鱼相对检出率高, 应给予一定的关注。

关键词: 高纯锗 γ 谱仪; 鱿鱼; 放射性核素 ^{134}Cs 和 ^{137}Cs ; 比活度

Investigation of the Specific Activity Values of ^{134}Cs and ^{137}Cs in Import Squid at Zhoushan Ports

ZHOU Xiujin¹, LU Hua², SHAO Honghong¹, ZHANG Jing¹, YANG Saijun¹

(1. Zhoushan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Zhoushan 316021, China;

2. Zhoushan Institute for Food and Drug Control, Zhoushan 316021, China)

Abstract: Objective: To examine the influence of the Japanese Fukushima nuclear accident on the activity concentrations of ^{134}Cs and ^{137}Cs in import squid at Zhoushan ports. Methods: A total of 310 samples from the North Pacific Ocean, the Sea of Japan, Argentina sea area, and Peru sea area were selected during 2011–2014, and the activity concentrations of ^{137}Cs and ^{134}Cs in these samples were analyzed by using a high-purity germanium (HPGe) gamma-ray spectrometer. Results: Among 310 samples analyzed, 20 (6.5%) were found to be positive and the North Pacific squid accounted for 85.0% of the total positive samples. The highest specific activity values of ^{137}Cs and ^{134}Cs were 6.89×10^3 and $4.12 \times 10^3 \text{ Bq/g}$, respectively, far lower than the standard limits in different countries (the minimum limit is $100 \times 10^3 \text{ Bq/g}$). Conclusion: The specific activity values of ^{137}Cs and ^{134}Cs in import squid at Zhoushan ports were lower than $10.0 \times 10^3 \text{ Bq/g}$, not harmful to food quality and safety. However, the relative detection rates of squid from the North Pacific Ocean and the Sea of Japan squid were higher. Thus, attention should be paid to this issue.

Key words: high purity germanium gamma-ray spectrometer; squid; nuclear pollution; specific activity

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201614034

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 14-0189-04

引文格式:

周秀锦, 鲁华, 邵宏宏, 等. 舟山口岸进口鱿鱼中 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 比活度水平分析[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 189-192.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201614034. <http://www.spkx.net.cn>

ZHOU Xiujin, LU Hua, SHAO Honghong, et al. Investigation of the specific activity values of ^{134}Cs and ^{137}Cs in import squid at Zhoushan ports[J]. Food Science, 2016, 37(14): 189-192. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201614034. <http://www.spkx.net.cn>

2011年3月日本特大震灾和海啸导致福岛第一核电站放射性物质严重泄漏及事后多次发生高浓度放射性核素污染水的直排入海事件, 过程扑朔迷离、瞬息万变、险象环生, 应对的复杂性、长期性及后果的严重性和不确定性超乎预料, 引起对核电发展前景及其公众认知必

将产生深远影响。此次事故严重影响生态环境, 其后遗症逐渐显现出来, Aliyu等^[1]对该事故释放的放射性核素对人类和非人类生物环境的相互作用和影响做了详细的概述。关于日本周边海域水产品污染严重, 2011—2014年期间多篇文献报道多种鱼类被污染并富集 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、

收稿日期: 2015-10-08

基金项目: 浙江省公益科技计划项目(2015C37051); 浙江检验检疫科技计划项目(ZK201426)

作者简介: 周秀锦(1974—), 女, 高级工程师, 硕士, 研究方向为食品质量安全及标准化。E-mail: zxxj@zs.ziq.gov.cn

^{137}Cs 等放射性核素^[2]。我国近海海域的核辐射污染自核泄漏事故以来已引起高度重视^[3], Wu Junwen等^[4]评价了中国海域海水中放射性核素 ^{137}Cs , 最高比活度为 1.43 bq/m^3 。在应对核辐射突发事件中检测 ^{137}Cs 和 ^{134}Cs 作为评价食品包括水产品的质量安全指标^[5], 黄卫琴等^[6]对我国东海海产品中 ^{131}I 、 ^{137}Cs 比活度水平分析, 李宾等^[7]则利用高纯锗 γ 谱仪对2011—2012年山东进出口水产品核污染状况进行了监测分析, 检出了3种人工放射性核素。高纯锗 γ 谱仪检测的前处理简单、操作方便、能量分辨率高、线性好, 尤其是大批量样品测定时, 是核污染监测中必不可少的检测设备^[8-9]。为有效掌握福岛核电站泄漏的放射性物质对日本周边海域海产品的污染程度, 本实验采用高纯锗 γ 谱仪分析舟山口岸进口鱿鱼中放射性核素 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 活度水平, 客观有效地评价我国进口鱿鱼产品的放射性核素含量, 为制定放射性核素污染预防控制策略和处理机制提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 样品采集及制备

检测样品由浙江舟山出入境检验检疫局国家海洋生物制品检测重点实验室提供, 来源包括法定检测、监控和社会委托的远洋捕捞进口鱿鱼, 溯源地域分别来自于北太、日本海、阿根廷和秘鲁共310份, 采样时间在2011—2014年。样品按照文献^[8]方法进行预处理, 鱿鱼样品用自来水清洗表面异物和内脏, 室温条件下自然晾干, 取 $2.5\sim 4.0\text{ kg}$, 样品称量质量后放入干燥箱 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 烘 $24\sim 48\text{ h}$, 鲜干质量比大于10。烘干后的样品粉碎研磨后直接装样测量, 保持样品盒整洁, 并记录装样前后样品盒质量。

1.2 仪器与设备

50P4高纯锗 γ 能谱分析系统(P型探测器、Gamma Vision 32谱仪软件、相对效率: 50%、数字多道: DSPEC JR2.0、计量检定日期: 2014-03-16(有效期3 a)) 美国Ortec公司; 生物灰检测效率标准源(编号: SW130930, 质量 206.4 g) 标准源盒和样品盒尺寸和形状相同(直径 75 mm 、高 70 mm); GM300研磨仪 德国莱驰公司; Heratherm OMG-100干燥箱 美国Thermo公司; YHG.600-BS-II远红外快速干燥箱 上海跃进公司。

1.3 方法

能量刻度采用 ^{152}Eu 多点能量刻度, 效率刻度采用中国计量科学研究所制作的生物灰检测效率标准源。高纯锗 γ 能谱分析系统监测 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs , 监测时间为 16 h , 然后使用Gamma Vision 32谱分析软件进行数据分析。

鱿鱼样品中放射性核素 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 的比活度计算参

照GB/T 11713—2015《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》^[10]的方法, 计算公式为:

$$A = \frac{NF_1F_3}{F_2EmBTe^{-\lambda\Delta t}} \times 1000$$

式中: A 为样品中核素比活度/ (Bq/g) ; N 为从测量开始到结束时所获得的样品核素特征峰净面积(计数); T 为样品测量活时间/ s ; m 为测量样品的质量(当测量样品不是采集的样品直接装样测量时, 用相应于采集时的样品质量或体积代替)/ kg (或体积 L); Δt 为核素衰变时间, 即从采样时刻到样品测量时刻之间的时间间隔/ s ; λ 为放射性核素衰变常数/ s^{-1} ; F_1 为样品测量期间的衰变校正因子, 如果被分析的核素半衰期与样品测量的时间相比大于100, F_1 可取为1; F_2 为样品相对于刻度源 γ 自吸收校正系数, 样品密度和刻度源的密度相同或相近, F_2 可取1; F_3 为 γ 符合相加修正系数, 对发射单能 γ 射线核素, 或估计被分析 γ 射线的相应修正系数不大时, 可取 F_3 为1; E 为相应能量 γ 射线的全能峰效率; B 为相应能量 γ 射线发射几率。式中 F_1 、 F_2 、 F_3 、 $e^{-\lambda\Delta t}$ 可通过控制实验条件, 使其近似取1。

2 结果与分析

2.1 检测方法的效率刻度、能量刻度及 γ 能谱图

根据生物灰样标准源 γ 能谱建立检测方法的效率刻度和能量刻度, 首先搜寻标准源谱图中 ^{241}Am (59.54 keV)、 ^{133}Ba (81.00 keV)、 ^{57}Co (136.47 keV)、 ^{137}Cs (661.66 keV)、 ^{134}Cs (795.86 keV)、 ^{65}Zn (1115.55 keV)、 ^{60}Co (1173.24 、 1332.50 keV)、 ^{152}Eu (1408.01 keV)的主峰, 然后将主峰列表和核素库列表相对比, 寻求最佳匹配的刻度。选择半峰高宽观察半高宽的拟合偏差, 删除大于5%的核素。生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法的效率刻度、能量刻度及 γ 能谱图见图1~3。

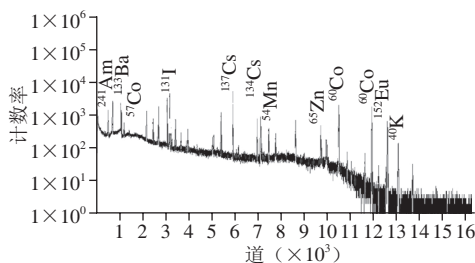


图1 生物灰标准源 γ 能谱图

Fig. 1 Gamma ray spectrum of standard source of biological ash

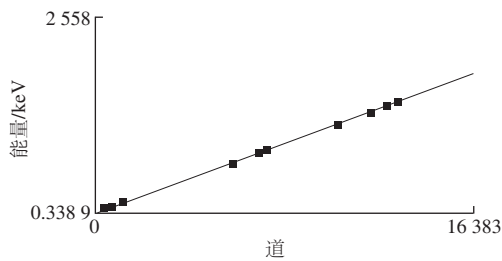


图2 放射性核素的能量刻度曲线

Fig. 2 Energy calibration curve of radionuclides

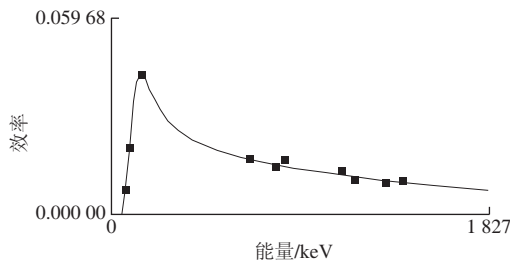


图3 放射性核素的效率刻度曲线

Fig. 3 Efficiency calibration curve of radionuclides

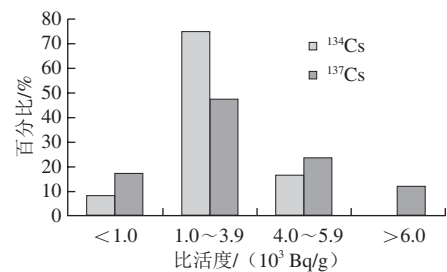
2.2 舟山口岸进口鱿鱼中放射性核素¹³⁴Cs、¹³⁷Cs活度分析

舟山口岸在2011—2014年间共检测310批进口鱿鱼样品,分别来自北太(228批)、日本海(27批)、秘鲁(30批)、阿根廷(25批)。其中检测有数据的鱿鱼样品20份,检测率为6.5%。其中北太鱿鱼占阳性样品的85.0%,检出¹³⁴Cs的样品有12个,检出¹³⁷Cs的样品有17个;日本海鱿鱼检出¹³⁷Cs的样品有2个;秘鲁鱿鱼检出¹³⁷Cs的样品有1个,阿根廷鱿鱼中未检出¹³⁴Cs和¹³⁷Cs。从检测结果来看,检出¹³⁴Cs的样品均有检出¹³⁷Cs,是由于二者均为核爆炸的裂变产物;而检出¹³⁷Cs的样品未必检出¹³⁴Cs,是由于¹³⁴Cs的半衰期只有2a,而比半衰期为30a的¹³⁷Cs短暂很多,¹³⁴Cs衰变导致比活度下降很多^[7]。

表1 舟山口岸进口鱿鱼中放射性核素¹³⁴Cs、¹³⁷Cs比活度
Table 1 ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs activities of import squid in Zhoushan ports

样品种类	阳性样品数量	样品总量	¹³⁷ Cs比活度/ (10 ³ Bq/g)	¹³⁴ Cs比活度/ (10 ³ Bq/g)
日本海鱿鱼	2	27	0.43~1.89	
北太鱿鱼	17	228	0.40~6.89	0.41~4.12
秘鲁鱿鱼	1	30	0.42	
阿根廷鱿鱼	0	25		

由图4可以看出,阳性样品中¹³⁴Cs的放射性比活度集中在1.0~3.9×10³ Bq/g, 占有阳性样品的75%;而¹³⁷Cs的放射性比活度在1.0~5.9×10³ Bq/g之间的阳性样品约70.6%。说明2011—2014年舟山口岸进口北太鱿鱼中放射性¹³⁴Cs和¹³⁷Cs的比比活度相对稳定,且含量较低。

图4 阳性样品中¹³⁴Cs和¹³⁷Cs的比活度分布情况Fig. 4 Distribution diagram of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs in positive samples

2.3 阳性样品中最高比活度与各国限量标准的比较

检测结果显示:¹³⁷Cs的最高比活度为6.89×10³ Bq/g,¹³⁴Cs的最高比活度为4.12×10³ Bq/g,均低于10.0×10³ Bq/g。由表2可以看出,舟山口岸进口鱿鱼所有阳性样品的¹³⁴Cs和¹³⁷Cs比活度远低于各国限量值。

表2 关于水产品中放射性Cs的国际限量标准

Table 2 Relevant provisions on standard limits for radio-cesium in aquatic products in different countries

国家	标准号或执行时间	限量值/(10 ³ Bq/g)
欧盟	No 351/2011 ^[11]	600
美国	CPG 7119.14 ^[12]	1 200
韩国	2012.04	100
日本	2012.04 ^[13]	100
中国	GB 14882—1994 ^[14]	800
泰国	2011.07	500

3 讨论

本研究对舟山口岸进出口鱿鱼中放射性核素污染的检测数据不可替代且不可重复,是日本核泄漏事故爆发后舟山口岸进口鱿鱼检测的第一手资料,从检测结果来看,目前该事故可能会对舟山口岸进口鱿鱼质量安全造成影响,主要表现在放射性¹³⁷Cs的污染。

黄卫琴等^[6]2011年对东海鱿鱼¹³⁷Cs比活度进行了γ能谱分析,¹³⁷Cs比活度为0.06~0.09×10³ Bq/g,截止到2011年5月东海海产品中¹³⁷Cs未显著升高。李宾等^[8]对山东口岸进出口水产品核污染监测结果表明,100份阳性样品中不仅检出¹³⁴Cs和¹³⁷Cs,还首次检出了¹¹⁰Ag,检出时间约在福岛核事故爆发1a之后,其中¹³⁴Cs和¹³⁷Cs的最高比活度分别为16.7×10³ Bq/g和27.8×10³ Bq/g,均高于舟山口岸进口鱿鱼中铯的含量,另舟山进口鱿鱼所测样品均未检测到¹¹⁰Ag。Suseno等^[15]报道了在印度尼西亚沿岸的生物鱼¹³⁷Cs比活度小于MDA~109.75×10³ mBq/g,贝类、螃蟹和虾最高值分别为38.78×10³、4.02×10³ mBq/g和6.16×10³ mBq/g,数值较低,均未检出¹³⁴Cs。Arai^[16]检测了迁徙中的鲑鱼,发现海润型鲑鱼中¹³⁴Cs和¹³⁷Cs的最高比活度分别为8.03×10³ Bq/g和10.2×10³ Bq/g。多处水产品中发现放射性核素或放射性核素浓度增加,这是由于日本福岛泄漏核物质通过气溶胶、水循环等运输方式稀释和转运的结果。

相比日本海鲑鱼、秘鲁和阿根廷鲑鱼,北太鲑鱼放射性核素铯检出率较大,这和北太鲑鱼的生活习性有关,北太鲑鱼生活在 $43^{\circ} \sim 44^{\circ} \text{N}$ 、 $150^{\circ} \sim 158^{\circ} \text{E}$ 之间距福岛约1 000 公里的亚热带乃至温带海域,且北太鲑鱼在7~11月份随太平洋洋流洄游至福岛附近,据Inoue等^[17-18]报道,2011年5~6月份北太海域海水 ^{137}Cs 最高活比活度为 3.9 Bq/m^3 ,是事故发生前的2 倍还要多,日本东北部海域 ^{137}Cs 的含量明显高于其他周边海域。唐峰华等^[19]监测到福岛核事故释放并扩散至北太平洋公海海域的放射性核素有 ^{110}Ag 、 ^{134}Cs 和 ^{137}Cs ,最高值分别为 101.31×10^3 、 32.63×10^3 、 $32.63 \times 10^3 \text{ Bq/g}$ 。Kaeriyama等^[2]也证实了来自福岛第一核电站事故排放的 ^{134}Cs 和 ^{137}Cs 在北太平洋西部通过洋流运动而向西南方向浸润。Kim等^[20]研究发现了在朝鲜半岛的干湿沉积物样品中有来自福岛核事故泄露的放射性核素I和Cs,而在其淡水与海洋生物中未发现大量放射性核素的增加情况。Buesseler^[21]的报告表示福岛核事故核泄露附近海域中底层鱼类核素含量明显比中上层鱼类以及远洋鱼类高很多,尤其是放射性Cs核素。Smith等^[22]追踪了来自日本福岛第一核电站事故放射性物质的运输轨迹,结果发现放射性核素 ^{134}Cs 与 ^{137}Cs 大约在2013年6月就到达了北美太平洋大陆架,这是针对福岛海洋放射性信号运输到北太平洋东部的首个系统研究。因此北太鲑鱼因放射性核素 ^{134}Cs 和 ^{137}Cs 的生物积累效应,比活度相对明显,但和山东口岸进出口水产品的监测结果一样,所检测阳性样品中的 ^{134}Cs 和 ^{137}Cs 的比活度远低于各国限量标准,说明福岛核事故后释放到大气和海洋中的放射性核素随着气流和洋流的运动扩散及大气中放射性核素的沉降,虽然进入海洋中的放射性核素经海水的大量稀释,但其导致海洋多种放射性核素浓度的升高是客观存在的,不同海域的样品检测数据即可证实这一事实。Tateda等^[23]通过2 a的动态生物模型研究该事故对日本东部太平洋海岸海洋生物的影响,认为一些鱼类海鲜产品中铯仍为日本监管限制放射性核素。高琦等^[24]建议借鉴日本在应对突发事件方面的优秀经验,加快建立和完善相应的法律体系与监管体制。郭皓等^[25]建议加快建设海洋放射性监测预警体系,加大海域放射性本底调查、环境容量调查和动态监测。因此在以后进出口水产品的监管中,要对来自北太和日本海域鲑鱼放射性核污染给予一定关注,加强监管力度。

4 结 论

舟山口岸进口鲑鱼共检出阳性样品20 份,检出率为6.5%,其中北太鲑鱼占阳性样品的85.0%, ^{134}Cs 的最高比活度为 $4.12 \times 10^3 \text{ Bq/g}$, ^{137}Cs 的最高比活度为 $6.89 \times 10^3 \text{ Bq/g}$,远低于各国限量标准。舟山口岸进口鲑鱼放射性核素 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 比活度处于很低水平状态,不会危害食品质量安全。

参考文献:

- [1] ALIYU A S, EVANGELIOU N, MOUSSEAU T A, et al. An overview of current knowledge concerning the health and environmental consequences of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident[J]. *Environment International*, 2015, 85: 213-228. DOI:10.1016/j.envint.2015.09.020.
- [2] KAERIYAMA H, SHIMIZU Y, AMBE D, et al. Southwest intrusion of ^{134}Cs and ^{137}Cs derived from the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident in the Western North Pacific[J]. *Environmental Science Technology*, 2014, 48(6): 3120-3127. DOI:10.1021/es403686v.
- [3] 杨振姣, 罗玲云. 日本核泄漏对海洋生态安全的影响分析[J]. *太平洋学报*, 2011, 19(11): 92-101. DOI:10.3969/j.issn.1004-8049.2011.11.012.
- [4] WU J W, ZHOU K B, DAI M H. Impacts of Fukushima nuclear accident on the China Seas: evaluation based on anthropogenic radionuclide ^{137}Cs [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(4/5): 552-558.
- [5] 徐翠华, 范瑶华, 周强, 等. 核辐射突发事件中食品和水的 γ 能谱检测与评价方法[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2009, 29(6): 634-638. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2009.06.028.
- [6] 黄卫琴, 刘海宽, 吴锦海, 等. 我国东海海产品中 ^{131}I 、 ^{137}Cs 活度浓度水平分析[J]. *中国辐射卫生*, 2011, 20(4): 426-427.
- [7] 李宾, 周德庆, 陆地, 等. 高纯锗 γ 谱仪监测进出口水产品核污染的应用研究[J]. *南方农业学报*, 2013, 44(10): 1735-1739. DOI:10.3969/j.issn.2095-1191.2013.10.1735.
- [8] 李宾, 周德庆, 陆地, 等. 水产品中放射性铯检测技术的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(17): 369-377.
- [9] 彭崇, 赖晓洁, 陈晶. 用高纯锗(HPGe) γ 谱仪测量天然放射性核素活度[J]. *大众科技*, 2008(10): 99-101. DOI:10.3969/j.issn.1008-1151.2008.10.046.
- [10] GB/T 11713—2015 高纯锗 γ 能谱分析通用方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [11] Commission Implementing Regulation (EU) No 351/2011 of 11 April 2011[S]. *Official Journal of the European Union*, 2011.
- [12] CPG 7119.14 Sec. 560.750 Guidance levels for radionuclides in domestic and imported foods[S]. U.S. Food and Drug Administration, 2005.
- [13] New Standard limits for radionuclides radionuclides in foods[S]. Ministry of Health, Labour and Welfare, 2012.
- [14] GB 14882—1994 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.
- [15] SUSENO H, PRIHATININGSIH W R. Monitoring ^{137}Cs and ^{134}Cs at marine coasts in Indonesia between 2011 and 2013[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 88(1/2): 319-324. DOI:10.1016/j.marpolbul.2014.08.024.
- [16] ARAI T. Salmon migration patterns revealed the temporal and spatial fluctuations of the radiocesium levels in terrestrial and ocean environments[J]. *PLoS One*, 2014, 9(6): e100779. DOI:10.1371/journal.pone.0100779.
- [17] INOUE M, KOFUJI H, HAMAJIMA Y, et al. ^{134}Cs and ^{137}Cs activities in coastal seawater along Northern Sanriku and Tsugaru Straits, northeastern Japan, after Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident[J]. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2012, 111: 116-119. DOI:10.1016/j.jenvrad.2011.09.012.
- [18] INOUE M, KOFUJI H, NAGAO S, et al. Lateral variation of ^{134}Cs and ^{137}Cs concentrations in surface seawater in and around the Japan Sea after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident[J]. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2012, 109: 45-51. DOI:10.1016/j.jenvrad.2012.01.004.
- [19] 唐峰华, 王锦龙, 刘丹彤, 等. 日本福岛核泄漏典型人工放射性核素在北太平洋柔鱼渔场的分布[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(10): 2066-2071.
- [20] KIM C K, BYUN J I, CHAE J C, et al. Radiological impact in Korea following the Fukushima nuclear accident[J]. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2012, 111: 70-82. DOI:10.1016/j.jenvrad.2011.10.018.
- [21] BUESSELER K O. Fishing for answers of Fukushima[J]. *Science*, 2012, 338: 480-482. DOI:10.1126/science.1228250.
- [22] SMITH JN, BROWN R M, WILLIAMS W J, et al. Arrival of the Fukushima radioactivity plume in North American continental waters[J]. *Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America*, 2015, 112(5): 1310-1315. DOI:10.1073/pnas.1412814112.
- [23] TATEDA Y, TSUMUNE D, TSUBONO T, et al. Status of ^{137}Cs contamination in marine biota along the Pacific coast of eastern Japan derived from a dynamic biological model two years simulation following the Fukushima accident[J]. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2015, 151: 495-501. DOI:10.1016/j.jenvrad.2015.05.013.
- [24] 高琦, 赵璇, 王晓文. 日本农产品核污染现状及所采取的应对措施[J]. *农产品加工(上)*, 2015(2): 64-67. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2015.02.019.
- [25] 郭皓, 杜金秋. 海洋核污染与核素迁移[J]. *海洋开发与管理*, 2014, 31(7): 83-86; 95. DOI:10.3969/j.issn.1005-9857.2014.07.17t.