

【论著】

海阳核电厂周边地区食品中放射性核素调查

许家昂 李全太 陈英民 李海亮 毕明卫

中图分类号:X591 文献标识码:A 文章编号:1004-714X(2011)04-0387-03

【摘要】 目的 获得海阳核电厂运行前周边地区食品中关键核素的放射性活度水平数据,为评价或解释该核电厂在正常运行期间、事故及事故后期间对周边食品影响提供本底数据。方法 采集海阳核电厂周边的小麦、白菜、海鱼及牛奶等食品样品,样品预处理和制备均采用《辐射环境监测技术规范》HJ/T61-2001的方法,核素活度水平使用HPGe- γ 谱仪测量系统测量。结果 海阳核电厂周边的食品样品,小麦中 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{137}Cs 和 ^{40}K 活度浓度算术平均值分别为 7.4×10^{-2} 、 1.8×10^{-1} 、 5.5×10^{-2} 和 8.2×10^1 Bq/kg,范围分别为 $2.7 \times 10^{-2} \sim 2.1 \times 10^{-1}$ 、 $1.1 \times 10^{-1} \sim 3.0 \times 10^{-1}$ 、 $1.9 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^{-1}$ 和 $3.5 \times 10^1 \sim 1.2 \times 10^2$ Bq/kg;白菜中 ^{226}Ra 、 ^{137}Cs 和 ^{40}K 活度浓度算术平均值分别为 1.8×10^{-2} 、 1.8×10^{-2} 和 5.0×10^1 Bq/kg,范围分别为 $1.3 \times 10^{-3} \sim 2.7 \times 10^{-2}$ 、 $1.1 \times 10^{-2} \sim 3.3 \times 10^{-2}$ 和 $4.0 \times 10^1 \sim 8.6 \times 10^1$ Bq/kg;鱼样品中 ^{232}Th 、 ^{137}Cs 和 ^{40}K 活度浓度算术平均值分别为 3.7×10^{-2} 、 1.4×10^{-2} 和 2.1×10^1 Bq/kg;牛奶中 ^{226}Ra 、 ^{137}Cs 和 ^{40}K 活度浓度为 1.2×10^{-2} 、 1.8×10^{-2} 和 3.8×10^1 Bq/kg;其他核素放射性水平均低于相应的方法探测下限。结论 海阳核电厂30km范围内部分食品中的人工和天然放射性核素活度浓度处在本底水平,食用后对居民造成的剂量负担较少。

【关键词】 海阳核电厂;放射性核素;活度浓度;食品

The Investigation of Activity Concentrations of Radionuclides in Foods in the Adjoining Areas of Haiyang Nuclear Power Plant. XU Jia - ang, LI Quan - tai, CHEN Ying - min, LI Hai - liang, BI Ming - wei. *Institute of Radiation Medicine Shandong Academy of Medicine Sciences Jinan 250062 China.*

【Abstract】 Objective The datas of the activity concentrations of the critical nuclides in foods of the adjoining areas of Haiyang Nuclear Power Plant were obtained before the operation and the main goal of the investigation was to determine the background levels of the radionuclides distinguishing from those in the normal operation, nuclear accident and after the accident for evaluating or interpreting the radioactive impact to the foods. **Methods** The samples of the wheats, cabbages, fishes and milk of the adjoining areas of Haiyang Nuclear Power Plant were collected. The methods about preprocessing and preparation of the samples were based on Technical Criteria for Radiation Environmental Monitoring (HJ/T61-2001). The activity concentrations of the critical nuclides in foods were tested using HPGe- γ Energy Spectrum Measurement System. **Results** The results showed that the average levels of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs and ^{40}K in wheats were 7.4×10^{-2} Bq \cdot kg $^{-1}$, 1.8×10^{-1} Bq \cdot kg $^{-1}$, 5.5×10^{-2} Bq \cdot kg $^{-1}$ and 8.2×10^1 Bq \cdot kg $^{-1}$ respectively, their range were from 2.7×10^{-2} Bq \cdot kg $^{-1}$ to 2.1×10^{-1} Bq \cdot kg $^{-1}$, from 1.1×10^{-1} Bq \cdot kg $^{-1}$ to 3.0×10^{-1} Bq \cdot kg $^{-1}$, from 1.9×10^{-2} Bq \cdot kg $^{-1}$ to 1.0×10^{-1} Bq \cdot kg $^{-1}$ and from 3.5×10^1 Bq \cdot kg $^{-1}$ to 1.2×10^2 Bq \cdot kg $^{-1}$ respectively. The average levels of ^{226}Ra , ^{137}Cs and ^{40}K in cabbages were 1.8×10^{-2} Bq \cdot kg $^{-1}$, 1.8×10^{-2} Bq \cdot kg $^{-1}$ and 5.0×10^1 Bq \cdot kg $^{-1}$ respectively, their range were from 1.3×10^{-3} Bq \cdot kg $^{-1}$ to 2.7×10^{-2} Bq \cdot kg $^{-1}$, from 1.1×10^{-2} Bq \cdot kg $^{-1}$ to 3.3×10^{-2} Bq \cdot kg $^{-1}$ and from 4.0×10^1 Bq \cdot kg $^{-1}$ to 8.6×10^1 Bq \cdot kg $^{-1}$ respectively. The average levels of ^{226}Ra , ^{137}Cs and ^{40}K in fishes were 3.7×10^{-2} Bq \cdot kg $^{-1}$, 1.4×10^{-2} Bq \cdot kg $^{-1}$ and 2.1×10^1 Bq \cdot kg $^{-1}$ respectively. The average levels of ^{226}Ra , ^{137}Cs and ^{40}K in the milk was 1.2×10^{-2} Bq \cdot kg $^{-1}$, 1.8×10^{-2} Bq \cdot kg $^{-1}$ and 3.8×10^1 Bq \cdot kg $^{-1}$ respectively. The activity concentrations of the other radionuclides in foods were lower than the levels of the Minimum Detectable Activity Concentration respectively. **Conclusions** The activity concentrations of the artificial and natural radionuclides in foods of the adjoining areas within 30 km of Haiyang Nuclear Power Plant are about to the background levels. The committed equivalent doses of the residents suffered from the critical nuclides in foods are in the background levels.

【Key words】 Haiyang Nuclear Power Plant; Radionuclide; Activity Concentration; Foods

海阳核电站位于海阳市留格庄镇原冷家庄和董家庄,占地面积2256亩,东北有乳山湾;西南有凤城港;东部和南部面临广阔的黄海,地处三面环海的岬角东端。山东海阳核电厂规划建设六台百万千瓦级压水堆核电机组,一次规划、分期建设,一期建设2台AP1000压水堆核电机组。山东海阳核电厂厂址半径30km范围内人口共约60万人,粮食作物品种主要是小麦、玉米、地瓜和大豆,少量的谷子、高粱、水稻、绿豆、碗豆和大麦等;蔬菜主要有大白菜、萝卜、韭菜和菠菜等;奶牛场零星分布规模较小;养殖场主要分布在《海阳市海洋功能区划图2006.9》给出的海域保留区及其附近,养殖种类主要以贝类(花甲、

文蛤、沙蛤等)为主,此外还有一些对虾和海参的养殖。厂址附近居民消费的主食以面粉为主,其次为薯类、玉米和高粱等;副食品主要为大白菜等蔬菜、水果、肉类食品和水产品。

该项本底调查是为了获取山东海阳核电厂厂址所在地的环境放射性本底数据,确定环境放射性本底水平及其变化,为评价核电厂运行后的环境放射性的污染程度提供依据;为制定运行后环境监测方案、评价公众所受剂量和提出运行监测技术要求与设备性能要求提供技术依据。

1 材料和方法

1.1 仪器设备 中国原子能研究院研制的HPGe- γ 谱仪测量系统(型号: CIAE-MMCA 8000), ^{137}Cs 的能量分辨率为1.69 keV。标准源:(统一使用中国CDC辐射安全所提供的灰样源和灰样本底,灰样源由中国计量科学研究院制作测试,证书编

基金项目:卫生行业科研专项基金(200802018);山东省科技攻关项目(2011GSF12006)

作者单位:山东省医学科学院放射医学研究所,山东 济南 250062
作者简介:许家昂(1969~),男,山东胶南人,副研究员,研究方向:环境放射性监测与防护评价。

号: Dyhd2010-0366, 参考日期: 2010 年 3 月 5 日)。

1.2 样品采集

1.2.1 采样点布局 距核岛 10km 环内不同的陆地方向分别选取高家村、大辛家村、大辛家养殖场、大埠圈养殖场、梁家村和桃源村共 6 个调查点; 距核岛 10~30km 内分别选取野鸡芥村、祈家村、黄家村、留格庄村、龙头村、杜家村、育黎镇鲁济村和乳山寨寨中村共 8 个调查点; 总共 14 个采样点。

1.2.2 样品采集 参考《辐射环境监测技术规范》HJ/T61-2001 于 2010 年 1 月 20~22 日在上述设定的采样点采集当地生产的有代表性的样品。以小麦 15kg、白菜 14kg、海鱼 9kg、牛奶 14kg 进行样品采集, 见表 1。

样品在采集时做好采样记录, 注明样品名称、编号、采样日期、采样地点、GPS 卫星定位(经纬度)等详细信息。

表 1 山东海阳核电站周边区域生物样品采集位置

编号	采样地点	样品名称	经纬度
1 号	黄家村	白菜、小麦	N36°42'20.81" E121°12'57.26"
2 号	高家庄	白菜、小麦	N36°42'57.64" E121°16'20.89"
3 号	大辛家村	白菜、小麦	N36°44'43.70" E121°21'49.68"
4 号	留格庄村	白菜、小麦	N36°46'59.48" E121°19'03.24"
5 号	乳山寨寨中村	白菜、小麦	N36°53'00.25" E121°26'42.66"
6 号	育黎镇鲁济村	白菜、小麦	N36°57'06.20" E121°26'46.20"
7 号	杜家村	白菜、小麦	N36°47'50.19" E121°22'47.22"
8 号	桃源村	白菜、小麦	N36°46'37.30" E121°27'03.86"
9 号	梁家村	白菜、小麦	N36°46'21.85" E121°24'11.43"
10 号	龙头村	白菜、小麦	N36°53'33.86" E121°15'47.27"
11 号	祁家村	白菜、小麦	N36°44'14.96" E121°06'15.76"
12 号	大埠圈养殖场	鳊鱼 ¹⁾	- -
13 号	大辛家养殖场	乌贼 ¹⁾	- -
14 号	野鸡芥村	牛奶	N36°45'15.68" E121°04'32.79"

注: 1) 在该养殖场的销售点购买。

1.3 样品预处理 取白菜、小麦、鱼类样品的可食部分洗净、晾干、称重、记录, 在烤箱中以 100~110℃ 烘干后在马福炉中以 180℃ 碳化后逐步升温至 430℃ 灰化, 称每个样品灰总质量并记录。分别取 0.50kg 牛奶置于 2L 烧杯在电炉上小火蒸干后, 蒸干 8.00kg 后一并进入上述灰化程序进行灰化处理。

1.4 仪器探测效率的测定

1.4.1 测量 测量上述以生物样品灰作基质的标准源, 一般测量时间为 48h, 记录 γ 射线特征峰的峰面积、活时间。用同质同量样品灰测试相同时间以扣除本底。

1.4.2 计算 用公式 (1)、公式 (2) 分别计算标准源当前活度、特征峰效率。

$$A_i = A_{0i} e^{-(\ln 2) t/T_i} \quad (1)$$

表 2 生物样品中已检出核素活度浓度水平 (Bq/kg)

样品名称	样品数量	²²⁶ Ra		²³² Th		¹³⁷ Cs		⁴⁰ K	
		算术均数	标准误	算术均数	标准误	算术均数	标准误	算术均数	标准误
小麦	11	7.4E-02	1.8E-02	1.8E-01	2.1E-02	5.5E-02	9.8E-03	8.2E+01	1.0E+01
白菜	11	1.8E-02	2.4E-03	-	-	1.8E-02	1.9E-03	5.0E+01	3.8E+00
鱼类	2	-	-	3.7E-02	2.6E-02	1.4E-02	9.9E-03	2.1E+01	1.5E+01
牛奶	1	1.2E-02	-	-	-	1.8E-02	-	3.8E+01	-

注: “-”指未检出, 探测下限见表 3。

表 3 生物样品中未检出核素该方法的探测下限 (Bq/kg)

样品	¹³¹ I	¹²⁵ Sb	¹⁴⁰ La	¹⁰³ Rh	¹³³ I	¹⁴⁰ Ba	¹³⁴ I	⁹⁵ Zr
小麦	1.E-02	4.E-02	2.E-02	1.E-02	1.E-02	4.E-02	9.E-02	1.E-02
白菜	6.00E-03 ~ 3.00E-02	2.00E-02 ~ 9.00E-02	1.00E-02 ~ 6.00E-02	6.00E-03 ~ 3.00E-02	6.00E-03 ~ 3.00E-02	2.00E-02 ~ 1.00E-01	5.00E-02 ~ 2.00E-01	1.00E-02 ~ 5.00E-02
鱼类	2.E-02	5.E-02 ~ 7.E-02	3.E-02 ~ 4.E-02	2.E-02	2.E-02	6.E-02 ~ 8.E-02	1.E-01 ~ 2.E-01	3.E-02 ~ 4.E-02
牛奶	9.E-03	3.E-02	2.E-02	9.E-03	1.E-02	3.E-02	7.E-02	1.E-02

$$\varepsilon_i(E) = a_{si} / (A_i P_i) \quad (2)$$

式中: A_i 为刻度时 (2010 年 10 月 1 日) 标准源中 ¹⁵²Eu、¹³⁷Cs 的活度 (Bq); A_{0i} 为加入的标准源中 ¹⁵²Eu、¹³⁷Cs 的活度 (Bq) (参考日期为 2010 年 3 月 5 日); t 为刻度日期到参考日期的时间差 (a); T_i 为 ¹⁵²Eu、¹³⁷Cs 的半衰期 (a); $\varepsilon_i(E)$ 为标准源 ¹⁵²Eu、¹³⁷Cs γ 射线全能峰探测效率; a_{si} 为标准源 ¹⁵²Eu、¹³⁷Cs 全能峰 244.7、344.3、661.6、778.9、964.1、1332.5、1408keV 净计数率 (s⁻¹); P_i 为 ¹⁵²Eu、¹³⁷Cs 核素所选特征 γ 射线的发射几率。

经计算, 得出标准源特征峰测量效率的计算公式为式 (3), 另外, ²³⁸U 在 93keV (92.4、92.8 keV) 特征峰的效率为 0.010。

$$\varepsilon_i(E) = 1.022E^{-0.743} \quad (3)$$

1.5 生物样品灰中核素测定、计算 根据生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法^[1], 把样品灰化至与标准源相似体积时进行测量, 活度浓度计算公式为:

$$A_i = a_{si} F_i / (t \varepsilon_i(E) P_i m_i) \quad (4)$$

式中: A_i 为样品中待分析核素的活度浓度 (Bq/kg); a_{si} 为待分析核素的全能峰净计数; F_i 为待分析核素的时间衰变校正系数; t 为样品的测量时间 (s); $\varepsilon_i(E)$ 为待分析核素的 γ 射线全能峰探测效率; P_i 为待分析核素的特征峰分支比; m_i 为样品用量 (kg)。

另外, 置信度 95% 时的谱仪系统和测量过程对某核素的活度探测下限 L_D 为:

$$L_D = \frac{4.66}{\varepsilon P m} \sqrt{n_b / T_b} \quad (5)$$

式中: ε 为特征 γ 射线全能峰探测效率; P 为核素所选特征 γ 射线的发射几率; n_b 为该核素所选特征 γ 射线的全吸收峰本底计数率 (s⁻¹); T_b 为本底测量时间 (s); m_i 为样品用量 (kg)。

2 结果

2.1 生物样品中核素活度浓度水平 生物样品中已检出核素活度浓度水平见表 2; 其中小麦中 ²²⁶Ra、²³²Th、¹³⁷Cs 和 ⁴⁰K 活度浓度算术平均值分别为 7.4×10^{-2} 、 1.8×10^{-1} 、 5.5×10^{-2} 和 8.2×10^1 Bq/kg, 范围分别为 $2.7 \times 10^{-2} \sim 2.1 \times 10^{-1}$ 、 $1.1 \times 10^{-1} \sim 3.0 \times 10^{-1}$ 、 $1.9 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^{-1}$ 和 $3.5 \times 10^1 \sim 1.2 \times 10^2$ Bq/kg; 白菜中 ²²⁶Ra、¹³⁷Cs 和 ⁴⁰K 活度浓度算术平均值分别为 1.8×10^{-2} 、 1.8×10^{-2} 和 5.0×10^1 Bq/kg, 范围分别为 $1.3 \times 10^{-3} \sim 2.7 \times 10^{-2}$ 、 $1.1 \times 10^{-2} \sim 3.3 \times 10^{-2}$ 和 $4.0 \times 10^1 \sim 8.6 \times 10^1$ Bq/kg; 鱼类和牛奶核素活度水平见表 2。未能检出核素的方法探测下限见表 3 (部分样品因测量所用质量差别分别给出探测下限范围)。

续表 3 生物样品中未检出核素该方法的探测下限(Bq/kg)

样品	⁹⁷ Zr	⁹⁵ Nb	¹³⁴ Cs	⁷² Ga	¹³⁵ I	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th
小麦	1. E - 02	1. E - 02	1. E - 02	1. E - 02	6. E - 02	2. E - 01	-	-
白菜	6. 00E - 03 ~ 3. 00E - 02	5. 00E - 03 ~ 3. 00E - 02	6. 00E - 03 ~ 3. 00E - 02	6. 00E - 03 ~ 3. 00E - 02	3. 00E - 02 ~ 1. 00E - 01	8. 00E - 02 ~ 4. 00E - 01	-	7. 00E - 03 ~ 4. 00E - 02
鱼类	2. E - 02	1. E - 02 ~ 2. E - 02	2. E - 02	2. E - 02	2. E - 02	8. E - 02 ~ 1. E - 01	2. E - 01 ~ 3. E - 01	3. E - 01
牛奶	9. E - 03	8. E - 03	1. E - 02	9. E - 03	4. E - 02	1. E - 01	-	1. E - 02

注:“-”指该核素已检出,不再提供探测下限。

2.2 生物样品放射性核素所致待积有效剂量 生物样品中部分核素所致居民待积有效剂量见表 4。根据 UNSCEAR 提供的²²⁶Ra、²³²Th 和¹³⁷Cs 剂量换算系数^[2],如果小麦、白菜、鱼类和牛奶分别按 2002 年第四次全国营养与健康调查中的以标准人日摄入量 138.5、91.5(偏高估计)、30.1 和 26.3g 估算,则食入小麦、白菜、鱼类和牛奶所致人均平均(年)待积有效剂量分别为 2.5×10^{-1} 、 4.2×10^{-2} 、 2.1×10^{-3} 和 $8.7 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/a}$ 。

表 4 生物样品中部分核素所致居民(年)待积有效剂量

样品名称	所致居民年待积有效剂量($\mu\text{Sv/a}$)		
	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs
小麦	2.1E - 01	1.1E - 03	3.6E - 02
白菜	3.4E - 02	-	7.8E - 03
鱼类	-	4.7E - 05	2.0E - 03
牛奶	6.5E - 03	-	2.2E - 03

海阳核电厂 30km 范围内部分食品中的人工和天然放射性核素活度浓度处在本底水平^[3],食用后对居民造的剂量负担较少。

同类作物中部分核素的活度浓度的不同,可能与该核素在土壤中活度水平分布不同有关。

HPGe- γ 谱仪测量为非破坏性样品分析手段,分辨率高,测量简单易行;但灰化时间较长,应进一步研究生物样品快速预处理手段,以适应核事故应急情况下的生物样品的快速检测。

参考文献:

- [1] GB/T 16145 - 1995. 生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法[S].
- [2] UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation [R]. United Nations, New York, 2000.
- [3] 张景源, 诸洪达主编. 中国食品放射性及所致内剂量[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.

(收稿日期:2011-04-25)

3 讨论

【工作报告】

三维重建技术在多发性肋骨骨折中的临床价值

罗长青

中图分类号:R814.42 文献标识码:D

我院是以骨伤科为主的大型综合医院,胸部损伤特别是多发性肋骨骨折更是常见。X 射线检查由于存在一定的局限性,故存在一定的漏诊率。而我院使用的 Philips Brilliance 16 层螺旋 CT,采用容积扫描,能多方位立体成像,特别是三维重建技术的成熟应用,大大降低了多发性肋骨骨折的漏诊率,为患者进一步治疗提供了可靠的第一手资料。

1 资料与方法

本组病例 22 例,其中男 17 例,女 5 例,年龄 18 ~ 80 岁,平均 38 岁。致伤原因为车祸、高处坠落、砸伤、挤压伤、击打等。19 例摄取胸部正位或侧位平片,3 例直接进行 CT 扫描。临床表现主要为胸痛、肋骨压痛、呼吸困难、被动体位、痛苦面容、面色苍白等。

CT 扫描采用 Philips Brilliance 16 层螺旋 CT 扫描机,扫描范围包括肺尖上缘至肺右下角扫描参数:120kV 250mAs 准直器宽度 1.25mm 螺距 0.938 层厚 2mm 重建层距 1mm。在 Slab 工作站中处理原始图像,包括轴位、冠状位、矢状位以及纵隔窗、肺窗、骨窗等,在 Volume 中处理三维图像(逼真的人体骨骼解剖图像),应用 clipping Tools 中的工具,认真仔细地切除多余信息,充分显示清晰的细微骨折。

2 结果

笔者所搜集的 22 例胸部外伤患者中,全部是多发性肋骨骨折(90 处),通过容积扫描及三维重建,其中 5 例两根肋骨骨

折,17 例 3 根以上肋骨骨折,10 例左、右两侧多发肋骨骨折,3 例肋软骨骨折。多发肋骨骨折合并肩胛骨骨折 3 例、合关锁骨骨折 2 例、合并肺挫伤 5 例、合并肝、脾破裂 3 例、合并气胸、血胸 5 例,合并胸骨骨折 1 例,合并胸椎及腰椎骨折 3 例,X 射线平片未发现肋骨骨折者 5 例。

3 讨论

胸部 X 射线检查是诊断肋骨骨折的常规和首选检查方法,但在 X 射线检查时,肋骨骨折有时不易发现。其原因很多,胸部结构重叠较多,细微的骨折线被遮盖;因肋骨的结构单薄,致细微的骨折线缺乏对比而易遗漏;肋骨成半环状,摄片成半环状,摄片时大部分肋骨不能贴近胶片等,都可影响肋骨骨折的显示;使某些细微的骨折及特殊部位的骨折难以显示以致漏诊,尤其对于无明显移位的骨折更是如此。此外,由于肋软骨在 X 射线片上不显影,因此 X 射线平片无法发现肋软骨的骨折;常规前后位胸片难以显示胸骨骨折。常规胸部 CT 扫描尽管较 X 射线平片能较多发现轻微的,尤其是无断端移位的肋骨骨折,但缺点是不能准确定位,对一些与轴位扫描方向平行的肋骨、胸骨骨折及下部肋软骨骨折非常容易漏诊^[1]。

在胸部骨折中,肋骨骨折最为常见,可为单根或多根肋骨骨折,同一根肋骨又可多外骨折。第 1 ~ 3 肋骨较短,且有锁骨、肩胛骨和肌肉保护,很少发生骨折;第 4 ~ 7 肋骨较长且固定,最易折断;第 8 ~ 10 肋骨虽较长,但与胸骨不直接连接,弹性较大,一般不易折断;第 11 ~ 12 肋骨前端游离不固定,故也易折断^[2]。

作者单位:冀中能源邢矿集团总医院影像中心 河北 邢台 054000