

- 7 白光. 关于慢性放射病的回顾与思考[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1999, 19(4): 230-233.
- 8 GBZ/97-2002. 放射性肿瘤判断标准和处理原则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- 9 白光. 浅谈个人剂量监测[J]. 核安全, 2004, 1: 21-24.
- 10 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.
- 11 AO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO, WHO, 安全丛书 No. 115, 国际电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 维也纳, 1997.
- 12 中华人民共和国职业病防治法[S]. 北京: 中国法制出版社, 2001.
- 13 香港特别行政区, 第(C)21号法律公告: 辐射条例[S]. 1997.
- 14 WHO. Efficacy and radiation safety in interventional radiology[R]. Geneva, 2000.
- 15 ICRP(郭彦君译, 殷蔚伯等校). 避免介入放射学操作放射损伤[J]. 国外医学临床放射学分册, 2003, 26(增刊): 26.
- 16 Jankowski. Distribution of equivalent doses to skin of the hands of nuclear medicine personnel[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2003, 106(2): 177.
- 17 Al-Haj A N. Occupational doses during the injection of contrast media in paediatric CT procedures[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2003, 103(2): 169.

(收稿日期: 2005-03-24)

文章编号: 1001-098X(2005)04-0176-04

地表水中天然和人工放射性的研究现状

张瑞菊 涂彧

摘要 随着核能生产、稀土工业发展及放射性同位素应用而导致放射性物质潜在污染的可能性。为保护水环境和居民健康, 世界各地对水中天然和人工的放射性水平进行了分析。本文简述近年来对地表水中放射性的研究现状。

关键词 地表水; 天然放射性; 人工放射性; 辐射监测

中图分类号 X591 **文献标识码** A

Current progress in research of natural and artificial radioactivity in surface waters

ZHANG Rui-ju, TU Yu

(Institute of Radiation Medicine and Public Health, Suzhou University, Suzhou 215007, China)

Abstract With the development of nuclear energy production, rare-earth element industry and use of radioactive sources, potential possibility of radiation contamination exists. Analysis of natural and artificial radioactivity in waters was carried out in order to protect our environment and public health. Current progress in research of radioactivity in surface waters will be viewed in the article.

Key Words surface waters; natural radioactivity; artificial radioactivity; radiation monitoring

地表水中的放射性核素可以通过饮水、食物等途径使人类受到内照射, 由于通过这些途径接受的辐射剂量与体内存在的放射性核素的量密切相关, 从人类辐射防护的角度来讲, 一个重要的目的就是精确估算饮食中吸收核素的量。

1 地表水中放射性核素的来源

地表水中的放射性主要是由于地壳中的天然放射性物质 (naturally occurring radioactive material, NORM) 的存在。近来由于核电厂的建立、核武器的实验和制造以及放射源的使用等人类活动, 造成了一些人工放射性核素的产生。另外, 人类在开采、

加工铀矿石和矿砂的过程中, 在化肥生产、石油燃料开采、金属提炼等过程中也增加了环境中 NORM 的水平, 这被称为技术性增加的放射性物质 (technologically enhanced radioactive material, TERM) 或技术性增加的天然放射性物质 (technologically enhanced NORM, TENORM)。放射性物质可以在产生 TERM 过程的各个环节通过不同的途径到达地表水, 其中雨水可将矿山废渣、侵蚀土壤、耕地等的放射性核素冲刷形成径流汇入地表水, 污染水源^[1]。

地表水中含有各种不同浓度的发射 α 和 β 粒子的放射性核素, 一旦被人类摄入就会作为放射源使人体受照。由于 α 粒子的传能线密度很高, 故对发射 α 粒子的核素应予以特别关注。镭(Ra)同位

素由天然放射性核素 ^{238}U 和 ^{232}Th 衰变而来, ^{226}Ra 发射 α 粒子, 是水中放射性的主要来源之一, 由于它的半衰期很长 ($T_{1/2}=1620\text{a}$), 会长时间地对人体进行内照射, 因此, 水中溶解的 ^{226}Ra 的危害约为 ^{90}Sr 的 40 倍。按照美国辐射防护委员会规定, 饮用水中 ^{226}Ra 的最大允许活度为 $0.148\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ [2,3]。

2 总 α 、总 β 活度及其限值

按照 WHO(1993)限值, 总 α 包括除氡外的所有发射 α 粒子的同位素, 总 β 包括除 ^3H 外的所有发射 β 粒子的同位素; 饮用水中总 α 活度的推荐限值为 $0.1\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$, 总 β 为 $1\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ WHO, 1993), 其目的在于确保人在每日消耗 2L 水的情况下, 受到的年剂量当量低于 $0.1\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ 。天然水中总 β 活度主要来自长寿命核素 ^{40}K 、 ^{210}Pb 和 ^{226}Ra , 其他还有一些人工放射性核素, 如 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 。由于 Th 的溶解性很低, 天然水中总 α 活度主要来自 U 和 Ra 的同位素。

3 水样的收集与处理

收集水样时要离开河床一定的距离, 并且要远离边界、天然或人工的障碍物, 要避免停滞的、浑浊的水区。在水样收集之前, 收集容器(一般为聚乙烯瓶)要用流动水清洗 3 次以上。由于收集的水样可能携带大量的悬浮固体物质, 会严重影响测量的准确性, 因此在分析之前必须进行过滤。水样酸化的目的是防止核素沉淀和容器壁的吸附, 但是否进行酸化要取决于研究的目的。当进行放射学调查时, 由于粒子和胶体的部分在水处理过程中会被去除, 所以这两部分应不予考虑。水样在过滤后进行酸化时会将与胶体相关的大部分金属带入溶液。另外, 酸的存在会大大加强液体闪烁计数过程中的猝灭, 故在应用该方法进行分析时不应酸化。为避免水样中悬浮和溶解物质在贮存过程中进行离子交换, 水样在收集后应尽早进行分析 [1]。

4 地表水中放射性水平及剂量学评价

由于核技术的不断开发和利用, 它带来的环境危害也引起了普遍的关注。近年来, 世界各地很多研究机构和研究者应用各种不同的方法对水中的放射性进行了分析, 做出了放射学评价。

Pujol L 等 [1] 对西班牙埃布罗河流域地表水中

的总 α 和总 β 活度、相关的天然放射性核素 (^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{234}U 和 ^{238}U) 和一些人工放射性核素 (^3H 、 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs) 进行了分析: 总 α 、总 β 、 ^{226}Ra 、 ^{234}U 和 ^{238}U 活度分析采用液体闪烁计数法, ^{40}K 活度分析用原子吸收光谱法, 结果显示河主干水样中总 α 和总 β 平均活度分别为 $(0.095\pm 0.004)\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $(0.213\pm 0.012)\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$, ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{234}U 和 ^{238}U 的平均活度分别为 $(0.132\pm 0.009)\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $(0.0282\pm 0.0008)\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $(0.032\pm 0.006)\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$; 关于人工放射性核素, ^{90}Sr 的平均活度为 $(6.6\pm 0.3)\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1}$, 只在 8% 的水样中检测到 ^3H , 而所有水样中都没有检测到 ^{137}Cs 。人工放射性核素 ^3H 、 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 主要来源于大气中裂变产物以及空中核爆炸产生的落下灰, 同时发现地质环境、大城市、农业面积和水坝是影响天然放射性核素水平的主要因素。据估算, 埃布罗河水中几乎 100% 的总 α 和 97% 的总 β 来自天然放射源, 总 α 主要来自铀 (35%) 和 ^{226}Ra 及其 α 子体 (65%), 总 β 主要来自 ^{40}K (54%)、 ^{226}Ra 及其 β 子体 (43%) 和 ^{90}Sr (3%); 该地区居民每年由于摄入该河水而接受的年剂量为 $7.59\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ (天然辐射占 98.3%), 这仅仅是其受到的天然本底辐射平均年有效剂量贡献的 0.3%。

Özmen H 等 [3] 对哈查湖浅表水中的放射性分析显示: ^{226}Ra 、总 α 和总 β 的活度分别在 $(0.52\pm 0.02)\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $(2.02\pm 0.06)\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $(0.65\pm 0.03)\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ ~ $(2.52\pm 0.07)\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $(0.01\pm 0.01)\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ ~ $(0.14\pm 0.01)\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间; ^{40}K 的活度与总 β 活度正相关, β 辐射大部分来自同一放射源 ^{40}K , 而发射 α 粒子的 ^{226}Ra 与总 α 活度正相关, α 辐射来自天然放射性同位素组成的混合物。

Gürsel K 等 [4] 测得自来水中 ^{226}Ra 和 ^{222}Rn 的活度分别为 $(0.01\pm 0.043)\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $(0.019\pm 0.048)\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$, 没有超过饮用水中的最大允许值 $0.2\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$; 饮用水和地表水中总 α 、总 β 活度分别在 $0.007\sim 0.5\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.020\sim 5.6\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间; 利用 ^{226}Ra 的剂量转换因子 $0.038\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{L}^{-1}$ (ICRP, 1998), 按一个标准人每日消耗约 2L 水, 则水中 ^{226}Ra 对年有效剂量的贡献在 $0.4\sim 1.4\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间; 湖、海水中 ^{40}K 的活度接近总 β 值, 是 β 活度的主要贡献者。

Pavel P 等 [5] 对里海海水中的放射性核素 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 和 ^{240}Pu 进行了分析, 结果显示: 在 1995 年, ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 和 ^{240}Pu 的平均活度分别为:

(8.0 ± 1.6) $\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$ 、(6.3 ± 0.4) $\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$ 和(5.0 ± 0.4) $\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$, ^{90}Sr 的活度要比预期的高(IAEA, 2001), 可能是由于排入里海的水中 ^{90}Sr 含量过高引起的; 1996年, ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 的平均活度分别为(7.5 ± 0.4) $\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$ 和(5.2 ± 1.0) $\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$, 而从里海的北部到南部 ^{239}Pu 和 ^{240}Pu 活度却有明显的下降趋势, 分别为(8.0 ± 0.8) $\mu\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 和(6.8 ± 1.7) $\mu\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

5 水的纯化对放射性活度的影响

Dávila RJI 等^[2]对墨西哥市场上 21 家国产和国际品牌的瓶装水(纯净水和矿泉水)的总 α 总 β 活度进行了分析, 发现放射性活度和矿物盐量之间有一定的联系, 而矿物盐量却与水源及水的处理工艺相关, 普遍的规律是: 溶解固体的总量(传导性)越低, 放射性的水平就越低, 在可信度为 95% 时, 传导性与总 α 、总 β 放射性活度之间的相关系数分别为 0.74 和 0.70。

Jiménez A 等^[6]通过对采用不同工艺处理的纯化前以及纯化后水样的对比分析得出: ① 水样在处理过程中提高矿物盐量, 可以成功地去除 ^{226}Ra , 使其降为原来的 70%; ② 在 pH 值 7.1~7.8 之间, 通过添加化学反应剂提高水的矿化, 可以成功地去除溶液中高达 90% 的总铀; ③ 在水的纯化过程中 ^{90}Sr 的去除量是很少的, 平均只达到 15%。另外, 普通的水纯化技术就可以去除溶液中除 ^{90}Sr 外的其他放射性核素。在纯化过程中去除铁, 这对降低溶液中 ^{239}Pu 和 ^{240}Pu 的活度是必须的。

6 水样 β 放射性测量中的自吸收

在水样活度计算中, 要考虑的一个重要因素是样品残渣。残渣厚度的增加会引起样品自身对放射性的吸收, 导致到达探测器的粒子数减少, 这种现象就是自吸收。Pujol L 等^[7]对江、海水中总 β 活度的分析结果显示, 如果对自吸收不进行修正, 测得的 β 活度要比真实值低 6.9%~24.2%。因此, 在确定水样的 β 活度时必须对自吸收进行定量。目前可以应用两种方法来确定自吸收因子: 一种是假定自吸收呈指数规律, 用外部的吸收器来估计它的吸收系数, 另一种是采用不同的标准物质绘制自吸收曲线。根据前一种方法, 他们用纸作为吸收体确定了不同 β 放射性物质的吸收系数, 发现吸收系数依赖于 β 射线的最大能量, 它可以表示

为: $\mu = A E_{\text{max}}^{-B}$, 式中 μ 为吸收系数, A 、 B 为常数 ($A=17$ 或 16.86 或 16.1; $B=1.14$ 或 1.51 或 1.47), E_{max} 为 β 射线的最大能量, 而自吸收因子可以通过吸收系数获得。

7 剩余 β 活度

钾有 3 种主要的同位素, 两种稳定性的(^{39}K 占 93.26%, ^{41}K 占 6.37%)和一种放射性的(^{40}K , 占 0.011%)。 ^{40}K 是环境水样中总 β 活度的主要成份, 但它的放射毒性却很低。因此, 在判断样品“真正”的放射毒性时应从总 β 活度中扣除 ^{40}K 的贡献。扣除后的部分被称作剩余 β 活度。一般来讲, 剩余 β 活度很低, 要获得它, 首先必须要获得钾活度的精确值。在常规应用中, 钾活度可以用以下几种方法通过原子发射光谱法测定: ① 标化方法; ② 分析物添加方法; ③ 模拟方法; ④ 抑制物添加方法。

Suarez-Navarro JA 等^[8]用以上几种方法分别测定咸水中钾活度来选择一种最好的方法, 同时也研究了几种适合的运算模式(线性的、平方的和有理数的)来标化仪器。经分析认为, 测定钾活度最好的方法为抑制物添加法, 它能去除或降低咸水中的主要干扰物质; 另外, 在低钾活度时, 新的有理数运算模式精确度最高, 是最适合的运算模式。

8 结语

水质的变化为环境变化的重要指标之一, 随着自然环境的变迁和人类自身的活动, 地表水中放射性核素的种类和活度均会不断地随之改变。为正确评价地表水中放射性核素对周围居民产生健康危害的危险度, 应进行定期的监测和剂量估算。另外, 对水处理过程中降低放射性核素活度的措施尚需进一步探讨和规范化, 确保饮用水中核素的水平达到规定的限值。

参 考 文 献

- 1 Pujol L, Sanchez-Cabeza JA. Natural and artificial radioactivity in surface waters of the Ebro river basin (Northeast Spain)[J]. *Environ Radiol*, 2000, 51: 181-210.
- 2 Dávila R JI, López del RH, García FM, et al. Radioactivity in bottled waters sold in Mexico[J]. *Appl Radiat Isotopes*, 2002, 56(6): 931-936.
- 3 Özmen H, Külahel F, Cukurovalli A, et al. Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake [J]. *Chemosphere*, 2004, 55(3): 401-408.
- 4 Karahan G, Öztürk N, Bayülken A. Natural radioactivity in various

- surface waters in Istanbul, Turkey[J]. Wat Res, 2000, 34(18): 4367-4370.
- 5 Povinec P, Froehlich K, Gastaud J, et al. Distribution of ^{90}Sr , ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ in Caspian Sea water and biota[J]. Deep-Sea Res, 2003, 50(II): 2835-2846.
- 6 Jiménez A, De La Montaña R M. Effect of water purification on its radioactive content[J]. Water Res, 2002, 36(7): 1715-1724.
- 7 Pujol L, Suarez-Navarro JA. Self-absorption correction for beta radioactivity measurements in water samples[J]. Appl Radia Isotopes, 2004, 60(5): 693-702.
- 8 Suarez-Navarro JA, Pujol L. Determination of potassium concentration in salt water for residual beta radioactivity measurements[J]. Radiat Measure, 2004, 38: 145-151.

(收稿日期: 2004-11-19)

文章编号: 1001-098X(2005)04-0179-07

辐射损伤的分类及诊断

——介绍美国国家战略储备辐射工作组关于急性放射病治疗的建议之一

闵锐 李雨 潘真

摘要 美国国家战略储备辐射工作组根据可能遭受到的放射性恐怖袭击, 制定了不同急性照射剂量范围、出现不同数量伤员的救治方案, 为内科和相关医疗专业的医生提供评估和处理大规模辐射损伤伤员的基本临床指南。该建议以恶心、呕吐发生的时间和严重性, 照射后数小时及数日内淋巴细胞下降绝对值, 以及外周血淋巴细胞染色体畸变率(包括双着丝粒和染色体环)来评估个体受照射剂量。各个时期出现的造血、胃肠道、脑血管和皮肤系统的临床征兆和症状等是病人分类、选择治疗和预后的重要信息。

关键词 辐射损伤; 个体辐射剂量; 分类; 诊断**中图分类号** R818.04 **文献标识码** A

Triage and diagnosis of radiation injuries

——Introduction of a suggestion on acute radiation sickness therapy made by strategic national stockpile radiation working group of USA. Part 1

MIN Rui, LI Yu, PAN Zhen

(Department of Radiation Medicine, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China)

Abstract Strategic National Stockpile Radiation Working Group developed a consensus document to provide a framework for physicians in internal medicine and the medical subspecialties to evaluate and manage large-scale radiation injuries for aiding individuals injured by a terrorist act involving radioactive material. Scenarios have been developed for such acts that include a range of exposures resulting in few to many casualties. Individual radiation dose is assessed by determining the time to onset and severity of nausea and vomiting, decline in absolute lymphocyte count over several hours or days after exposure, and appearance of chromosome aberrations (including dicentrics and ring forms) in peripheral blood lymphocytes. Documentation of clinical signs and symptoms (affecting the hematopoietic, gastrointestinal, cerebrovascular, and cutaneous systems) over time is essential for triage of victims, selection of therapy, and assignment of prognosis.

Key Words radiation injury; individual exposure dose; triage; diagnosis

“9·11”事件后, 世界各国对如何防范和应对各种形式的恐怖袭击和突发事件相当重视。医学紧急救援是各种紧急应对措施和预案中不可缺少的重要

组成部分, 而如何快速、准确、适当、有效地救治大批量伤员又是问题的关键所在。事故发生地的医务工作者通常是医学救援的先导力量, 美国国家战略储备辐射工作组 (Strategic National Stockpile Radiation Working Group) 为了便于在紧急情况下早期