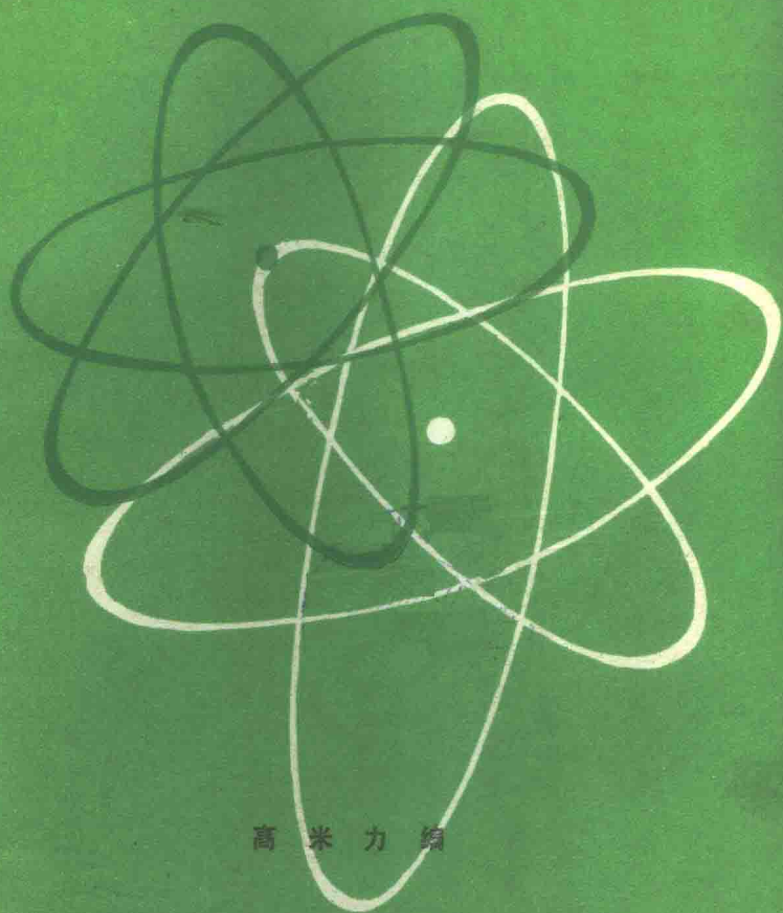




高 米 力 编

放射性与环境

中国环境科学出版社

放射性与环境

高米力 编

中国环境科学出版社

1989

内 容 简 介

本书阐述了在环境中存在的放射性的来源以及分布的特点。总结了放射性核素在土壤、植物、食品和人体中分布、转移的一般规律，并运用一些经验公式和数学模式估算了放射性从环境经由各种途径到达人体的内、外照射剂量。这是一本比较全面的简明的放射性生态学书籍。

本书可供从事环境保护、辐射防护、放射医学及环境监测等领域的科研工作者和有关专业的师生参考。

放 射 性 与 环 境

高米力 编
责任编辑 刘永良

*

中国环境科学出版社出版

北京崇文区东兴隆街69号

外文青年印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

1989年10月 第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1989年10月第一次印刷 印张: 3 1/4

印数: 1—3000 字数: 73千字

ISBN7-80010-363-3/×.212

定价: 1.50元

前 言

现在,在许多国家,人们往往是“谈核色变”,一说到放射性就害怕得不得了。在一定意义上反映了人们对放射性这东西了解的太少了。其实,远在产生地球的时候,地球上就已经存在着天然放射性。人类在其产生的第一天起,就生存在这样一种放射性环境之中。

随着社会的发展,人类进行了一系列的实践活动,诸如建设燃煤电站,利用磷酸盐岩,开发特殊建材,开采、冶炼各种伴生放射性核素的矿物,开发地热,增加高空活动等,促进了社会向前发展,并有效地改善人类自身的生存条件和生活环境。正是这一系列的活动,增加了人类接受天然辐射照射的机会。

从1945年到现在,全世界已进行过大约1000多次核试验,造成全球性的放射性沉降。各种核设施的建立,以及迅猛发展的放射性同位素的应用,必然造成相当数量的放射性废物的处置、投放和埋藏。在这些过程中,放射性物质不可避免地被释放到环境中,引起大气、海洋、陆地的放射性的污染。

保护环境免受放射性的污染,象人口、粮食、能源问题一样,成为当今世界上急需解决的重大问题之一。加强放射性生态环境的研究,已成为世界各先进国家进行研究的主要课题。而放射生态学则是研究放射性生态环境的工具。

本书介绍了天然和人工放射性的来源与在陆地、海洋生态系的分布。对放射性在环境中如何转移、扩散、浓集规律进行了探讨。

环境中低剂量下的内外照射会对人体产生怎样的效应?

这是当今尚未得出肯定结论的探索性课题。本书也介绍了国内外的一些研究情况。

放射生态学是一门较为年轻，但却富有生命力的边缘科学。它与放射生物学、放射医学、放射化学、气象学、水文地质学均有紧密的联系，同时又是环境科学的基础学科之一。为了更好地保护生态环境，我们必须研究放射生态环境。

由于作者水平有限，书中肯定会有不当之处，恳请读者提出批评意见。

编 者 1989年2月

目 录

第一章	环境放射性的来源	(1)
第二章	环境中的天然放射性	(7)
第三章	海洋中的放射性	(25)
第四章	土壤和植物中的放射性	(50)
第五章	饮食中的放射性	(68)
第六章	人体组织中的放射性	(75)
第七章	剂量估算与模式	(83)
结束语		(99)
参考文献		(91)

第一章 环境放射性的来源

一、放射生态学概述

生态学的词源 “eicos”，按希腊文的意思当“房子”讲，“logos”的意思是“科学”。这就是说生态学是研究生物生存环境的科学。研究环境与生物（包括人类在内的一切生命体系）、生物与生物之间相互作用、制约和关系的科学就叫做生态学。生态学是一门古老，但又具有旺盛生命力的学科，也是环境科学的基础学科之一。

放射生态学是研究放射性核素在环境中稀释、扩散、浓集、转移的规律以及采用一系列参数，通过数学模式来估算从环境经由各种道路抵达人体的内、外照射剂量，从而来制定出更合理的防护措施。

生态系统 (ecosystem) 简单地可分为陆地生态系统和海洋生态系统。若要仔细分还可多一些，详见下表。

生态系

陆地生态

- ①森林生态 45亿公顷 生物现存量极大
- ②草原生态 30亿公顷 (约占陆地24%)
- ③沙漠冻原生态 分别为30亿公顷和170万公顷, 因水分与温度限制, 只有很少的生物能存在
- ④农田生态 生长着农作物的群落
如把经营管理都考虑进去则属农业生态学
- ⑤河口地带及其海岸 这是世界上最肥沃的区域
- ⑥河川 总面积虽小, 但它在自然的生态系中, 是人类利用最多的(水源、运输、污水处理等)一个区域
- ⑦湖泊、池塘及淡水沼泽地 在地质学方面是较新的, 在能量方面, 它是自给自足的
- ⑧淡水、沼泽地 也是一个天然的肥沃生态系, 水田可以看作是这个生态系的一个类型

海洋生态

- 潮间带 海洋生态系统约占覆盖地球表面约70% (360亿公顷)。它是世界上最大的、层次最厚的生态系
- 近海、近洋 在生物学方面是最富于多样性的

二、天然放射性的来源

远在地球上发生生命的时刻，放射性在生物学过程中就起了重大的作用。因为在那个时期放射性物质的数量比现在要多几倍，而地球上由放射性元素的蜕变所放出的总能量已接近于从太阳所获得的能。

自1975年以来，在非洲发现了所谓“O-K L A”天然反应堆。被称为“奥克劳现象”，指在加蓬发现的史前时代“天然反应堆”。在西非加蓬有许多铀矿， ^{235}U 丰度比一般要低，大约在 2×10^9 年前，那时天然铀中含有较高的 ^{235}U ，条件合适，成为天然反应堆，把 ^{235}U 烧掉了，反应后的裂变产物和超铀元素都衰变完了，这样的铀矿山给我们提供了一个天然核反应实验室。

关于天然放射性，人们并不陌生。它们是地球以外的宇宙射线和存在于地球本身的天然放射性核素。后者主要是以 ^{282}U （铀系）、 ^{232}Th （钍系）、 ^{235}U （铀系）为母体衰变成的若干核素及 ^{40}K 等。具体说有U、Th、Ra、Rn、Tn（钍射气， ^{220}Em 是Rn的同位素）及一系列子体、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{40}K 、 ^{87}Rb 等。天然放射性核素不仅存在于地球上、而且在空间和别的星球上也都存在。世界上一些地方如印度，巴西高本底地区的外照射量率可达 $100\mu\text{r/h}$ ，比正常值高10倍。由于海拔高度、地质条件、生活习惯等差异，不同地区居民受到天然辐射源的照射剂量也有一定波动。联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR) 1977报告书给出的典型值，见下表。

人体内含有很多的天然放射性，如 ^{14}C 可达到 $110\mu\text{Ci}$ ^{40}K 可达 $0.1\mu\text{Ci}$ ，这并不奇怪。

表1 正常地区天然辐射源对每人每年的照射剂量

辐 射 源	mrad/a			
	性 腺	全 肺	骨 衬 细 胞	红骨髓
外照射宇宙射线	2.8	2.8	2.8	2.8
地表辐射	3.2	3.2	3.2	3.2
内照射 ⁴⁰ K	1.5	1.7	1.5	2.7
²²² Rn及子体	0.2	3.0	0.3	0.3
其 他 核 素	2	5.5	9.1	4
总 计	7.8	110	8.4	9.2

三、人工放射性的来源

从1945年到1974年30年间,全世界共进行过801次核试验。所造成的全球性沉降,至今还在威胁着人们。核裂变产物如:⁹⁰Sr、¹³⁷Cs、¹³¹I、¹⁰³Ru、¹⁰⁶Ru、⁹⁵Zr-⁹⁵Nb、¹⁴¹Ce、¹⁴⁴Ce、²³⁹Pu及²⁴⁰Pu等核素。其中⁹⁰Sr、¹³⁷Cs、²³⁹Pu的半衰期均较长,而且对人体的危害也较大。

核燃料的生产及核动力的放射性废物排放要产生以下核素如:⁸⁵Kr、¹³³Xe、¹²⁹I、³H、¹⁴C、²³⁹Pu、²⁴¹Am等。

而且在今后，将会有更多的核电站投入运行，随之而来的是核燃料后处理、核废物处置等一系列问题。所以我们可以说，现在环境的放射性污染还主要是核爆炸引起的，但今后就可能是核动力、核燃料后处理的问题。

随着工农业和科学技术的发展，各种辐射源和同位素的应用（X、 γ 射线、加速器）日趋广泛，这就存在着增加污染的可能。

四、两种来源的放射性的比较

鉴于自然本底的平均剂量约为 0.1 rad/a ，长寿命裂变产物贡献给核战争幸存者的剂量（5000万吨裂变）比人的平均寿命所受的自然本底照射剂量少 $1/3$ ，明显小于高本底地区所受的辐射剂量。下表是对全世界居民受天然辐射源照射期间，人工辐射源增加的照射能引起相同剂量负担的相应的照射天数。

表2 来自不同辐射源的全剂量负担

照 射 源	全 球 剂 量 负 担 (d)
天然辐射源一年的照射	3 6 5
商业空中旅行一年	0.4
以目前的生产率每年磷酸盐肥料的应用	0.04
以目前全球发电量 [104MW(e)] 由烧煤动力发电厂一年对全球造成的照射	0.02
有辐射的日用消费品一年的照射	3
以目前全球核电站发电量为 $8 \times 10^4 \text{ MW(e)}$ 计算一年造成的照射	0.6
1951~1976年核爆炸平均一年的照射	3 0
医疗诊断辐射的应用每一年的照射	7 0

由表 2 可以明显地看出，天然放射性比人工放射性对人的影响大得多；而人工放射性中又以医疗照射产生的剂量最大。相比之下，核电站的剂量是微不足道的。

第二章 环境中的天然放射性

地球上任何形式的生物，包括人类在内，都不可避免地受到来自天然辐射源的照射。大规模的人类实践活动，诸如建设燃煤电站，利用磷酸盐岩，开发特殊建材，开采、冶炼各种伴生放射性核素的矿物，开发地热，增加高空活动等，无疑将会促进社会生产向前发展，并将有效地改善人类自身的生存条件和生活环境。但是，正是通过这一系列活动，也增加了人类接受天然辐射照射的机会。世界各国对研究各自的环境天然辐射水平都十分重视，仅就外照射剂量率而言，近年来已有占世界人口约30%的国家和地区进行了全面的调查。

一、磷肥中的天然放射性

为了增产，人们大量地施用磷肥。而磷肥中却含有可观的天然放射性元素。1945年，在美国发现宾夕法尼亚州的一处桃花不结果。人们认为这是受附近生产 UF_6 工厂的影响。后来发现从加里尼佛亚运来的桃子中也含有铀。经调查发现，铀是来自磷肥，磷肥中铀的含量为75~150 ppm。磷、铀共生的特点，使铀伴随着磷肥。这样，铀通过施磷肥，进入了土壤和植物中。

磷酸盐矿石中的铀含量高，尤以海生磷酸盐矿石中为最高。摩洛哥、苏联、美国和中国都大量生产磷酸盐矿石。例如美国磷酸盐矿石中铀含量为 $8 \sim 400 \text{ppm}$ ，平均 80ppm 。1973年年产矿石1.27亿吨，含铀1.1万吨，够60座反应堆用1年。我国磷酸盐矿分布广泛，山东、湖北、云南都有。含铀量为 $0.5 \sim 34 \text{ppm}$ 。山东全省的磷肥均已做过调查，摸清了天然放射性核素铀、钍、镭的含量。

80%的磷酸盐作为肥料而施撒在土地上，其土地氡的析出率不亚于尾矿堆。估计每年释放到大气中 10^{18}Bq 氡 (Rn)。

在美国佛罗里达半岛的北部和中部均盛产磷酸盐矿石。中部比北部的放射性高。含量见下表。

表3在佛罗里达磷酸盐原料中的U和Ra [pCi/g]

材 料		北佛罗里达	中心佛罗里达
母岩 ($\text{U} \cdot \text{Ra}$)		8	38
三重过磷酸钙	^{226}Ra	12	20
	^{238}U	26	56
炉 渣	^{226}Ra		61
	^{238}U		61
磷 酸 铵	^{238}U	25	70
付产品石膏	^{226}Ra	14	26

在母岩中 ^{238}U 和 ^{226}Ra 两核素基本处于放射性永久平衡，而在磷酸生产中放射性平衡显然被破坏了，铀跟随着磷酸存在，而 ^{226}Ra 则出现在付产品中。

表4 在磷酸盐原料中放射性核素浓度] PCI/g]

原 料	^{226}Ra	^{235}U	^{230}Th	^{232}Th
可销售的岩石	42	41	42	0.44
粘土矿泥	45	44	48	1.4
砂尾矿渣	8	5	4	0.9

由上表看出在矿渣中仍含有一定量的天然放射性。

下边介绍一下在世界上不同地区的磷酸盐岩石中所含的天然铀、钍、镭的平均含量。其中美国南卡罗莱纳州产的磷酸盐岩石中的天然铀含量为最高，达3.99/万即399ppm。

表 5 不同来源磷酸盐岩石中铀、钍、镭平均含量

岩 石 来 源	Ra(mg/kg)	U(mg/kg)	Th(mg/kg)
佛罗里达州陆地卵石	73	208	14
同上	74	222	11
同上	53	148	13
同上	43	127	17
佛罗里达州软磷酸盐	31	102	19
佛罗里达州废物池及各种磷酸盐	21	76	17
田纳西州褐岩	4	11	6
同上	4	13	5
同上	4	10	6
田纳西州青金石	7	16	3
田纳西州白岩	5	10	2
田纳西州磷酸石灰石	3	8	2
南卡罗莱纳州	133	399	19
北卡罗莱纳州	18	79	9
阿肯 州	11	30	13
俄克拉荷马州	10	25	8
蒙 塔 那 州	4	114	7
爱 达 荷 州	49	151	8
怀 俄 明 州	62	183	12
犹 他 州	50	128	7

续表 5

岩 来 源	Ra(mg/kg)	U(mg/kg)	Th(mg/kg)
美国和加拿大各种磷酸盐	4	12	10
墨西哥和危地马拉	12	27	4
西印度群岛	3	8	14
库拉索岛	5	14	1
委内瑞拉	27	72	12
秘鲁淋洗磷酸盐	22	106	8
秘鲁磷酸盐	38	167	11
巴西奥林达	96	274	40
巴西磷灰石	1	9	35
智利和厄瓜多尔群岛	1	3	6
摩洛哥	46	141	8
阿尔及利亚	31	104	14
突尼斯	14	88	83
埃及	37	122	6
塞内加尔和其他非洲磷酸盐	37	107	117
西班牙和其他 西欧国家磷酸盐	0	5	4
苏联和波兰磷酸盐	15	50	7
苏联磷灰石	2	6	23
约旦和土耳其	25	48	0
印度、中国和东南亚	4	12	6