

MARINE RADIOECOLOGY

# 海洋放射生态学

蔡福龙 编著



原子能出版社

# MARINE RADIOECOLOGY

ISBN 7-5022-1811-4



9 787502 218119 >

ISBN 7-5022-1811-4/Q178.53 定价:12.00元



# 海洋放射生态学

蔡福龙 编著

原子能出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

海洋放射生态学/蔡福龙著. -北京:原子能出版社,1998.1

ISBN 7-5022-1811-4

I. 海… I. 蔡… III. 海洋生态学:放射生态学  
N. Q178.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 29510 号

**海洋放射生态学**

蔡福龙 编著

(本书的出版得到国家自然科学基金(项目编号660303)的赞助)

© 原子能出版社,1997

原子能出版社出版发行

责任编辑:李 涛 孟远辉

社址:北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码:100037

中国文联印刷厂印刷 新华书店经销

开本:787×1092mm 1/32 印张:6.375 字数:138千字

1998年5月北京第1版 1998年5月北京第1次印刷

印数:1-400

定价:12.00元

## 内 容 简 介

本书介绍了海洋放射生态学的发展历史、现状与任务,描述了作为海洋放射生态学原理所必须了解的海洋生态环境。以静态的观点阐述了天然放射性核素与人工放射性核素在海洋环境中的含量,估算了它们对海洋生物可能造成的辐射剂量;以动态的观点阐述了十几种重要放射性核素在海洋环境中的分布及其运动规律,悬浮物对其行为的影响和放射性核素的海洋沉积;剖析了放射性物质在海洋生物体内的行为特征及其在海洋生态系中迁移的生物学过程;阐明电离辐射的生物学基础,并从个体效应、遗传效应、群落效应等方面介绍了电离辐射对海洋生态系可能造成的影响。

本书可供从事海洋生态、环境保护、核电建设、水产养殖、卫生保健等方面工作的科学技术工作者和行政管理人员及高等院校有关专业师生参考。

# 目 录

第一章 海洋放射生态学的发展与任务	(1)
第一节 历史与现状	(1)
第二节 地位和任务	(2)
第二章 海洋生态环境	(5)
第一节 海洋的重要地位及其利用	(5)
第二节 世界大洋与近岸水域	(6)
第三节 大洋环流	(9)
第四节 海洋沉积	(12)
第五节 海洋生态系的特点	(14)
第三章 海洋环境的放射性	(18)
第一节 海洋中天然放射性核素的含量	(18)
第二节 海洋中人工放射性核素的含量	(20)
第三节 海洋生物的辐射剂量率	(27)
第四章 放射性核素在海洋中的迁移	(38)
第一节 放射性核素在海水中的运动	(38)
第二节 悬浮物对核素行为的影响	(62)
第三节 放射性核素的海洋沉积	(65)
第五章 生物过程的作用	(74)
第一节 生物浓集的概念	(74)
第二节 天然放射性核素在海洋生物体内的行为特征	(75)
第三节 人工裂变产物在海洋生物体内的行为特征	(77)
第四节 人工活化产物在海洋生物体内的行为特征	(95)
第五节 海洋生物浓集放射性核素的途径与机制	(120)
第六节 放射性核素在海洋食物链网中的传递	(128)

第七节 生物监测·····	(133)
第六章 辐射生物学作用的生物化学基础·····	(137)
第一节 电离辐射的化学过程·····	(137)
第二节 细胞的辐射生物化学·····	(149)
第三节 细胞对损伤 DNA 的修复·····	(160)
第七章 电离辐射对海洋生物及其生态系的影响·····	(163)
第一节 个体效应·····	(163)
第二节 遗传效应·····	(169)
第三节 辐射效应的其他问题·····	(170)
第四节 海洋生态系统的辐射效应·····	(174)
ABSTRACT·····	(177)
参考文献·····	(179)

# 第一章 海洋放射生态学的发展与任务

## 第一节 历史与现状

海洋放射生态学是研究放射性物质在海洋生态系统内循环以及辐射对海洋生态系影响的一门学科。它以海洋同位素地球化学和海洋辐射生物学为基础,并随这两大学科的发展而发展。

从 40 年代以来,放射生态学(包括海洋放射生态学)是伴随着核试验和核工业的建立而发展起来的。其中,美国和前苏联取得的成就尤为卓著<sup>[1~4]</sup>。芬兰、法国、意大利、日本和英国的研究人员以及其他各国科学家,通过与国际原子能机构(IAEA)协作,对此也作出了重要的贡献。

“放射生态学”一词是 50 年代由美国和前苏联科学家提出的。但早在 40 年代初就有了这方面内容的研究工作。就美国来说,1943 年,当第一座军用钚堆——汉福特堆开始运转几个月后,由于哥伦比亚河受污染,华盛顿大学便建立了应用渔业实验室,进行水生生物的辐射效应研究;在 1946 年开始的比基尼岛和埃尼威托克岛的核爆炸试验中,试验前后科学家们对其周围的生态问题作了调查记录;1949 年在波福、北卡罗莱纳的一些实验室也进行了放射性核素的循环和生物吸收的研究,这些实验室后来都成为放射生态实验室。50 年代,在田纳西州的国立橡树岭实验室也制订了一个放射生态学研究计划。同时,美国生态学会曾建立过一个放射性对天然种群影响的委员会<sup>[5]</sup>。设在华盛顿的国家科学院,亦组织一个原



子能辐射对海洋和水产品影响的委员会<sup>[6]</sup>。从 60 年代开始,放射生态学研究领域的重点转向与核能生产有关的项目,其中日益受关注的是有关重元素如铀和钚以及难于控制的物质如氘和氦的问题。

与此同时,前苏联在放射生态学领域所取得的成就与美国相似。Polikarpov<sup>[7~8]</sup>就前苏联放射生态学和海洋放射生态学的研究范围曾经发表过精辟的论述。英国、芬兰、瑞典、日本、法国和意大利等国在该领域的研究活动也不断增加。

中国的海洋放射生态研究工作开始于 60 年代初。厦门大学生物系、武汉水生生物研究所、中央卫生部所属沿海省市的劳动卫生研究所、山东海洋学院、中国科学院华东海洋研究所、中国科学院青岛海洋研究所、国家海洋局第三海洋研究所等单位都先后进行了放射性核素在水生生物中的吸收、转移研究工作以及海产品的放射性监测工作。70 年代国家海洋局第三海洋研究所成立了海洋放射生态研究小组,进而成立海洋放射性研究室;国家海洋局第一海洋研究所成立的海洋放射性研究小组,连同科学院青岛海洋研究所以及一些高校,对我国某些特定海区如渤海、台湾海峡西部海域、秦山和大亚湾两个核电站的邻近海域开展了海洋放射性背景值调查。1988 年开始对渤海、黄海、东海、南海进行常规的海洋放射性监测工作。国家海洋局第三海洋研究所还采用示踪方法围绕放射性核素在海洋生物体内的吸收、积累、分布、代谢以及在海洋小生境中的转移、海洋食物链网中的传播等开展了一系列的研究工作。

## 第二节 地位和任务

海洋放射生态学是一门重要、复杂、综合的边缘学科,涉

及到海洋学、水文学、沉积学、物理学、化学、生物学、生态学、生理学、生物化学、细胞学、遗传学、数学、剂量学等等。由于海洋放射生态学把这些领域在一定程度上结合起来，所以它的进展常常有助于上述各个学科的发展。

在核武器试验频繁的年代里，海洋放射生态学的研究，主要是跟踪调查各种海洋介质中的放射性水平，特别是裂变产物的沉降量和海洋的蓄积量、海洋生物的摄取量及体内的滞留量。原子能工业的建立、原子能的和平利用，产生了大量的放射性“三废”。无论是核工业正常运行情况下有控制的排放，还是核事故情况下无控制的排放，都将释放一定量的气体、气溶胶、废水或废物。众所周知，不管是核试验产生的放射性落下灰还是核设施产生的放射性“三废”，最终将通过种种渠道汇入大海。这些放射性核素在海水、悬浮物、沉积物和海洋生物体内可能发生一系列诸如物理化学反应、生物浓集和迁移的变化过程。这些过程将影响海洋中放射性核素在空间的分布，也影响生物体对这些放射性物质的累积。这些变化与海洋环境和生物的污染以及人体遭受的辐射危害密切相关。

排入环境的放射性核素向人体转移的途径已由国际放射防护委员会(ICRP)于1965年发表的第1号出版物给出了模式示意图，并由1978年发表的第29号出版物再次加以阐明。它阐述了人体摄入环境放射性核素的典型途径。海洋放射生态学的任务是要定量地给出有关海洋环境的参数，以便对居民所受照射的剂量当量作出评价。这些参数主要包括海洋对放射性核素的容纳量、稀释扩散能力、沉积物的吸附及解吸能力、海洋生物的摄入量及体内的滞留量、海洋生物对放射性核素的转移量、放射性核素在海洋环境的迁移途径、转移份额以及最后的归宿。海洋放射生态学的研究成果已经广泛应用到

沿海核设施的选址、制定和改进海洋环境的监测方案、评价居民受照射剂量、制定控制“三废”排放的法规、标准以及海产食品的卫生标准等。从对海洋生态系的影响方面考虑,海洋放射生态学的任务还有它独特的一面,即正确地估计海洋生物从海洋环境中接受放射性核素的剂量,继续研究海水中低浓度放射性核素对经济生物卵子及其胚胎发育的影响,重点研究核设施排污口附近水域海洋生物个体和种群的辐射效应,并调查海洋生物种类遗传多态性的程度即基因酶多态性的程度。为了解多态性的意义,应当在实验室和现场条件下研究这种多态性对正在变化的物理环境和生物学环境的反应能力。为了弄清急性照射和慢性照射对这种体系影响的特殊意义,应当提出一些更好的方法来研究生物个体、种群,乃至整个生态系的辐射效应,以便将来为保护海洋生态系制定某些标准。

## 第二章 海洋生态环境

### 第一节 海洋的重要地位及其利用

地球是太阳系中唯一存在着巨大水量的星体。在地球的5.1亿平方公里的表面积中,海洋的覆盖面积约为3.61亿平方公里,也就是说,海洋占地球表面积的71%。按体积而论,海水总量为14.59亿立方公里。此外,海洋中还含有3.5%的溶解盐,相当于1立方公里海水含盐4000万吨。

海洋的重要地位是惊人的。首先,海洋几乎对地面上的一切变化过程都产生影响。它控制着自然环境中水的循环和二氧化碳气体的流动。其次,海水不但维持了生物的生存,而且保障了生物数亿年来的进化,使得今天的生物如此千姿百态。再者,海洋还控制着地质上的风化过程和侵袭过程。它是世界各河流搬运无数吨沉积物的汇聚区。海洋中的砂岩是陆生沉积物形成的,而灰岩则是由海洋生物的躯体形成的。在海洋岩层和沉积层中,还含有广阔的金属和非金属矿床。

由于海洋体积大,流动迅速,具有非凡的自身净化能力,因此才使它长期免遭污染。只是近年来,人类的活动才威胁到海洋的这种特有的自身净化能力。只要海洋不遭受毁灭性的掠夺,它就能向人类提供重要的能源。海洋中蕴藏着的大量的重氢(氘)是核聚变能生产中不可缺少的原料。在海洋所能提供的能量中还包括石油、火山喷发的能量、洋中脊和洋底热流以及波浪,特别是潮汐和洋流的能量。

从海洋中获得的淡化水能够提高陆地的食物产量。一旦

海水淡化的方法发展到商用的程度,世界许多地区特别是仍然因食物短缺而烦恼的干旱和半干旱的地区,缺水现象肯定也会得到缓解。事实上,按每立方公里的体积计算,海岸带存在的有机物较之陆地要丰富得多,由于这些有机物质能够保障营养盐源源不断地供应,因而海上养殖在一些海岛国家已成为一种有吸引力的行业。海洋中还蕴藏着数百万吨鱼类和其他蛋白质丰富的海洋食物。它们的存在,为人类解决世界食物问题提供了极大希望。假如说,由于大规模的核灾难、无法控制的环境污染或过度稠密的人口等缘故,万一有朝一日陆地生活环境达到人类无法生存的地步,世界海洋将可提供另一个有益的住所。为此,海洋工程师和海洋科学家们正在进行各种技术项目的试验,如人类在深水中长期生活的能力和提供一定数量人口使用的水下公园或商场的建造等等。

有史以来,海洋始终是人类考察的广阔天地,是人类受到鼓舞的巨大源泉。海洋为世界运输业提供了最廉价的航道,时至今日海上运输仍然是世界 50 亿人口彼此联系的主要手段之一。

由此可见,研究海洋放射生态学将为海洋资源的保护、开发、利用以及海上的各种活动提供有益的指导。

## 第二节 世界大洋与近岸水域

在地球上,陆地的平均海拔高度约为 0.75 公里,而海洋的平均深度则为 4 公里。事实上,如果把整个地球整平,海水就会泛滥成灾,把所有的陆地淹没,平均水深可达 2.5 公里。

在南半球,海洋居支配地位,通称为水半球;而在北半球,陆地则居支配地位,通称陆半球。陆半球包括欧亚大陆,北美洲以及赤道以北的非洲地区;水半球包括南美洲、赤道以南的

非洲地区,大洋洲和南极洲。

世界五大洋为太平洋、大西洋、印度洋、北冰洋和南冰洋。南太平洋、南大西洋和南冰洋占据了南半球约 90% 的面积;北太平洋、印度洋、北大西洋和北冰洋则构成了北半球水域。在世界几个大洋中,太平洋是面积最大,水温最低和深度最大的一个大洋。它约占地球表面积的三分之一,水容量为 6.96 亿立方公里。太平洋中的大部分海流都处于深层,平均深度超过 5 公里。太平洋的西部边缘参差不齐,为几个边缘海所环绕,它包括鄂霍次克海、日本海、东海、黄海、南海、东印度多岛海、珊瑚海和塔斯曼海等。在南北两侧,太平洋分别以南冰洋和白令海为界,大西洋由北向南延伸,呈现出不规则的形状,它的面积仅为太平洋的二分之一,在非洲西部和巴西东部的陆地之间,洋面相当狭窄。西侧凸出的陆地,把整个大洋分成南北大西洋。北大西洋由几个边缘海和海洋环绕,其中有地中海、波罗的海、北海、黑海、比斯开湾、巴芬湾、哈得孙湾、墨西哥湾以及加勒比海等。每年密西西比河、亚马逊河和刚果河都会把大量的沉积物带入大西洋。印度洋近似三角形,印度的三条最大河流——恒河、印度河和普拉特河载入印度洋的陆源沉积物之多,在世界各大洋中是少见的。在印度洋的边缘有红海、波斯海、阿拉伯海和孟加拉湾等。在五大洋中,北冰洋是面积最小、深度最浅的一个大洋,它位于“世界之颠”。北冰洋以白令海峡与太平洋分界,而经格陵兰两侧的一些小海与大西洋相连:在东面有格陵兰海、挪威海和丹麦海峡连通大西洋,在西面有巴芬湾、戴维斯海峡和拉布拉多海连通大西洋。南冰洋又称“南大洋”,在南半球处于支配地位,占世界海洋总面积的 20% 以上。它地处西风带,强烈的西风导致产生一支强劲的西风漂流。

近岸水域包括河口、盐沼、海岸泻湖、三角洲。

河口是人类极其重要的自然资源区。河口不仅是商业、工业及娱乐活动的场所,而且在鱼类和其他动植物的自然循环中也起着重要的作用。河口区是淡水和海水大量混合的区域,正因为如此,才使生物种类如此繁多,从微生物到鱼类、鸟类以及哺乳类动物无所不有。河口不但是贝类养殖的理想场所,而且是经济生物的索饵场、产卵地。河口是多种群体的水域,所有这些生物种群,都以浮游藻类、大型海藻、红树林等各种生长繁茂的海洋植物维持生存。河口水体是一种与海洋相连的半封闭水体,由于径流所致,河口区以淡水和海水相混合为其特征。

河口主要有四种类型,即溺谷、峡湾、沙坝、河口及构造河口。

溺谷是在冰期,特别是冰川融化使世界范围内的海平面上升时期形成的。低洼区是海平面上升的结果,使大片流域被淹没而形成河口。故此类河口,在许多低洼地区是常见的,尤其是在北美洲的大西洋沿岸地区和墨西哥湾沿岸地区,这类河口屡见不鲜。

峡湾,即现在的海湾,是一种冰川侵蚀海槽。峡湾以狭长的陡壁为特征。峡湾多数分布在南、北两半球的纬度 38 度以上的地区,特别是挪威、格陵兰、拉布拉多半岛、不列颠哥伦比亚、阿拉斯加和新西兰沿岸区峡湾甚多。

当溺谷被沙坝或沙埂封闭而与海洋分离时,便形成沙坝河口。

有些河口是由于海岸的构造活动,如断层作用或局部下沉后形成的可贮藏水的盆地。美国加利福尼亚州,旧金山和德雷克斯、埃斯特拉河口是构造河口的典型例子。

河口经常延伸进入称为湿地或盐沼的低洼地区。这种延伸主要是由于某些河口植物诸如藻类、海草和各种耐盐植物对沉积物的有效网罗和粘合引起的。典型的盐沼通常都有茂密的盐沼草加以维持。盐沼在高低潮时有周期性的淹没和露出的特点,成为盐沼草生长的有利条件。如果盐沼草在泥滩上蔓延开来,将会进一步扩大盐沼的面积。

潮坪亦称潮沼,是高、低潮时交替淹没和露出的淤泥地。大部分潮坪由许多蜿蜒而流的水道浸入,补充大量的海洋沉积物。低潮时,许多沉积物便沉淀到盐沼底。在盐沼口附近,沉积物以粗砂物质为主,但在靠近陆地一侧的盐沼区,由于海水流动速度减慢,则形成细砂和泥浆的大量沉积。盐沼中大量泥沙的存在和海水的侵袭,能够引起植物窒息。盐沼底层对植物有重大影响,退潮时,盐沼底的泥浆积存了许多海水,从而使许多耐盐植物得以大量生长。反过来,这些植物又有助于淤积更多的沉积物,不断改变着盐沼的面貌。热带地区的红树林能够有效地淤积沉积物,因此,这种植物的大量生长,能够加速盐沼的变化。

当内湾或海湾被沉积沙埂封闭时,便形成了泻湖,在泻湖内,水的盐度由海水入口处到河口处逐渐降低。在泻湖防护水域,特别是靠近河口的水域内,有时获得的沉积物远比波浪和海流运动搬运走的沉积物多得多,其结果便形成了三角洲。

### 第三节 大洋环流

海洋中大尺度运动的海流称为大洋环流。大洋环流的成因,主要是海面吸收太阳的热量。太阳热与表层海水相互作用产生两大环流:(1)风生环流,在其形成过程中,大气层起了极其重要的作用,流深一般限于表层 100m 深度以内;(2)温盐



环流,大洋起到热机的作用,但其效率低于大气层,流深大于风生环流的深度。此外,大洋环流的成因还包括地转、日月引力和气压高度差的影响。

由于受地转的影响,任何流动的流体,在北半球向右偏转,在南半球向左偏转。这种现象称为科氏效应。在理想的大洋条件下,随着深度的增加,便出现流速递减,流向变化的现象。由此产生的这种螺线就叫埃克曼螺线。在大洋中,与风垂直流动的全部水团的净输送叫埃克曼输送。埃克曼层的深度为100m,在这一深度内,流和决定埃克曼螺线的摩擦力均很显著。在这一深度之下的水层,这些摩擦力实际上已不复存在。

在科氏力和重力近似于平衡时产生的流叫做地转流。目前大洋中的主要表层流均被海洋学家们称为地转流。当海水流动时,由于受科氏力的影响而发生偏转现象,致使水流偏离其流向。水流的这种偏转现象一直要持续到科氏力和重力相平衡时为止。

在大洋的上层,风之曳力是流的主要推动力。欧文·兰米尔首先观测到高速强风经常产生左右交替循环的对流,故而人们称之为兰米尔环流。这种环流不仅对热量、溶解气体和营养物质的输送来说是非常重要的,而且在表层水的混合过程中也起到重要的作用。

地球表面不均匀地接收太阳热量,赤道区每单位面积的受热量,相对大于两极区每单位面积的受热量。这种不均衡的热收支,将通过赤道区向两极区输送余热的方式自行调节。由于地球不仅存在陆障,而且是旋转的,故而风生环流在大洋中引起了一些大涡流。

通常,人们把具有独特温、盐范围的水体叫做水型,由两