

放射性污染与海洋生物

蔡福龙 陈文桂 邵汉阳 编著

海洋出版社

放射性污染与海洋生物

蔡福龙 陈文桂 邹汉阳 编著

海洋出版社

1983年·北京

内 容 简 介

本书共分七章，简述了海洋中天然和人工放射性核素的分布，以及海洋生物体内的组成元素，并着重讨论了人工放射性核素在海洋生物体内的代谢过程和辐射效应，以及与人类健康的关系，还介绍了研究生物浓集的某些实验方法和技术。

本书可供从事海洋环境保护、卫生保健、核排废设计、放射生态学、海洋生物学和水产科学及其它领域工作的科研人员和有关专业的师生参考。

放射性污染与海洋生物

蔡福龙 陈文桂 邹汉阳 编著

海洋出版社出版

(北京复兴门海贸大楼)

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1983年3月第1版 1983年3月第1次印刷

开本：787×1092 1/32 印张：6 插页：1

字数：120千字 印数：1—3,000

统一书号：13193·0165 定价：1.00元

前 言

海洋环境的放射性污染已经成为全世界最关心的问题之一。核试验的落下灰、原子能工业、放射性同位素实验室和核动力船只等排放的废物，是海洋放射性污染的主要来源。由核爆炸进入海洋中的放射性，迄今已达几百兆居里，从核能利用排入海洋中的放射性，每年达几十万居里。可以预计，核能在人类未来的活动中将成为重要的能源之一。因此，研究核能的安全开发利用方法便成了影响人类未来的一个重大问题。

海洋占地球面积的71%。地球上生物每年约产生1,540亿吨有机碳，其中87%（1,350亿吨）是来自海洋。海洋每年可向人类提供30亿吨鱼类和贝类，现在每年被利用的还不到一亿吨。海洋将是人类食用的蛋白质的主要来源之一。海洋中的矿产资源极其丰富，如石油，锰矿球（一种含有锰、铁、铜、镍和钴等二十几种金属元素的矿球）和很多化学元素。若把海水中的全部盐类都提取出来，可填平整个北冰洋还绰绰有余。由此可见，海洋与人类的关系非常密切。

各种来源的放射性废物，通过大气沉降、雨水冲刷、河流汇集，最终都归入大海。这些放射性物质进入海洋之后，参与海洋中的各种物理化学反应，不断地影响海洋中元素地球化学的成分，同时有相当一部分被海洋生物浓集，直接影响这些生物的生命活动。人类通过开发海洋的各种作业和活动，通过食用海产品，将直接或间接地受到海洋中各种放射性的影响。海洋中放射性物质对海洋生物的影响，对人类健康的潜在危害，都是与生物对这些放射性核素的浓集分不开。

的。为了详尽掌握这个浓集过程的特点，就必须了解组成海洋生物原有的化学元素的质和量，了解海洋中放射性核素的物理化学状态对生物浓集过程的影响。从研究方法上考虑，则必须把室外和室内的工作结合起来，加以全面的分析和评价。

关于放射性污染对海洋生物的影响，以及这种污染对人类的潜在危害，国际原子能机构（IAEA）和欧洲核能机构（ENEA）曾召开过多次学术讨论会，发表了不少有价值的论文。在我国，由于种种原因，这方面的研究工作还刚刚开始。然而，随着我国原子能事业的不断发展，我国有可能在沿海建立核电站，在海上出现核舰艇、核商船。可以肯定，有关海洋放射性污染与海洋生物之间关系的研究工作，将会得到加强并取得新的成果。

本书以阐述放射性污染与海洋生物之间的关系为主题，从海洋环境放射性的角度，着重讨论放射性物质在海洋生物体内的浓集代谢过程，产生这个过程的机制及其影响因素，研究这个过程的实验方法和生物饲养技术；同时概述了海洋生物体内化学元素的状况，放射性核素在海洋环境中的含量分布和对海洋生物的辐射剂量率及其计算方法；也介绍了放射污染物与人类健康的关系；辐射效应（特别是低剂量慢性辐射效应）是一个学术上存在争议的问题，各家说法不尽一致，本书关于这个问题只提供若干必要的资料。全书共分成七章。参考文献主要是依据其科学价值选择的，不打算一一列举。

本书是编著者的初步尝试，由于水平有限，书中不当之处，欢迎读者匡正。

本书初稿承蒙研究员吴宝铃先生和李永祺副教授仔细审

阅，并提出许多宝贵意见；研究员魏履新先生在百忙中极为关心此书的出版。编者对专家们热情帮助特别表示感谢。余兴光同志协助本书誊写和绘图工作，在此一并致谢。

目 录

第一章 海洋生物中的化学元素	(1)
第一节 生物体的构成元素.....	(1)
第二节 海洋生物体的水分和灰分.....	(4)
第三节 海洋植物中的元素平均含量.....	(10)
第四节 海洋动物中的元素平均含量.....	(13)
第二章 海洋环境的放射性	(15)
第一节 海洋中天然放射性核素的浓度.....	(15)
第二节 海洋中人工放射性核素的浓度.....	(19)
第三节 海洋生物的辐射剂量率.....	(23)
第四节 海洋环境中辐射剂量率的测定.....	(38)
第三章 放射性核素在海洋生物体内的浓集和代谢	(48)
第一节 概要.....	(48)
第二节 放射性核素在生物体内代谢的室内实验方法.....	(55)
第三节 天然放射性核素在海洋生物中的浓集和代谢.....	(58)
第四节 裂变产物在海洋生物中的代谢.....	(61)
第五节 活化产物在海洋生物中的代谢.....	(79)
第四章 生物过滤	(94)
第一节 定义和作用.....	(95)
第二节 滤床的管理.....	(97)

第一章 海洋生物中的化学元素

地球化学和生物学的不同点在于：生物学中，基本的要素是生物种类；地球化学中，基本的要素则是化学物质的种类。元素可以说是最有代表性的化学物质。当然，根据不同的情况，它可以是核素或稳定元素。

地球化学研究的主要目的不在于活体生物的功能及其能量传递，而在于化学元素的迁移方向及其分布状况。当然，为了解释在地球化学研究的第一个阶段所获得的有关化学物质运动状况和分布形态的资料，也应当吸收其它学科的知识^[1]。

在仔细研究环境污染的同时，我们也知道，在水生生物（包括海洋生物）中早已检出高浓度的重金属和若干有机化合物。因此，我们常常会用到“生物浓集”这个术语。随着核试验和原子能设施产生的放射性废物排入海洋，人们对于放射性核素在海洋生物中的浓集问题，非常关切。

为了深入研究海洋生物浓集放射性核素问题，首先就要了解海洋生物中原来的构成元素，这里摘录了日本著名的海洋生物学家不破敬一郎（1973）所搜集的一些资料^[2]。

第一节 生物体的构成元素

一、亲生元素和生命元素

构成生物体的主要元素和在生物圈里反复出现的元素种类，都叫做亲生元素（Biophile elements）。这是地球化学

中元素分类的一个方面，是相对于所谓的“亲石元素”、“亲气元素”而言的。另一方面，从生物学乃至生物化学的观点看，有些元素对生物体的生命活动是必不可少的，这样一些元素就叫做生命元素 (Bio-elements)。生命元素除了包括亲生元素外，还包含了其他的元素 (见表1.1和表1.2)。

表 1.1 亲生元素和生命元素

亲 生 元 素					生 命 元 素				
H	C	N	O	P	H	C	N	O	P S
(Na	Mg	S	Cl	K	Cl	K	Na	Mg	Ca Fe
Ca	Fe	B	F	Si	B	V	Mn	Co	Cu Zn
Mn	Cu	I)			Mo	I	(Sr	Si	Al F)

表 1.2 动植物体中的生命元素

动 物 体					植 物 体				
H	C	N	O	P S	H	C	N	O	P
K	Ca	Mg	Fe	Mn Cu	S	K	Ca	Mg	Fe
Zn	Na	Cl	I	Co V	Mn	Cu	Zn	B	Mo
Mo	(	F	Ba	Sr)	Cl	(Si	Al	Co)	

在生命元素中，H、C、N、O、P 和 S 等六种非金属元素是以有机物的形式构成生物体的。Cl、K、Na、Mg、Ca、Fe 和以上六种元素，都是常量元素。除了这12种常量元素以外，其余元素则当作微量元素。

随着分析方法的发展，人们对天然物质的精细组成的了

解，也就更加深入。W.Noddack，认为：岩石矿物中含有的元素极其丰富。也就是说，所有的元素种类都包含在所有的岩石矿物之中；有些元素之所以尚未被检出，仅仅是因为分析的灵敏度不高，一旦分析方法有了发展，所有元素都能被检出。这就是所谓的“元素普遍存在”理论。这种理论最初流行于“岩石圈”，但后来也适用于天然物质。至于生物体，现有的分析工作说明，这种理论也近似地适用于生物圈。这并不是不可思议的事情。因为生物体对于化学元素的摄取并不表现强烈的专一性。表 1.3 列出海洋和地球表面植物体的元素平均组成。植物体内总共含有60种元素，除了表中所列举的41种元素外，还有Be、Sc、Ga、Zr、Ag、Cd、Sb、Te、Hf、Ta、W、Re、Au、Tl、Bi、Th、Pt族元素、稀有气体等20种左右元素。在总数达100多种的元素中，这个数量

表 1.3 植物体内的元素平均组成
(总重量的百分比) ⁽³⁾

O	70	Cl	0.02	Zn	0.0005	As	0.00003
C	18	Fe	0.01	Rb	0.0005	Co	0.00002
H	10.5	Al	0.005	Cu	0.0002	Li	0.00001
Ca	0.5	Ba	0.003	V	0.000n	Mo	0.00001
K	0.3	Sr	0.002	Cr	0.000n	Y	0.00001
N	0.3	Mn	0.001	Br	0.00015	Cs	~0.00001
Si	0.2	B	0.001	Ge	0.0001	Se	10 ⁻⁶
P	0.07	I	0.00n	Ni	0.00005	U	10 ⁻⁶
S	0.05	Ti	0.0008	Pb	0.00005	Hg	n×10 ⁻⁷
Mg	0.04	F	0.0005	Sn	0.00005	Ra	n×10 ⁻¹²
Na	0.02						

已超过了半数，体现了在生物体中也有所谓“元素普遍存在”的理论。如果把这个事实和生物体活动所必需的生命元素联系起来看，则包含着一个极其有趣的问题，值得人们加以探讨。例如，由于元素的化学性质极其相似，Rb和Cs这二种元素，也和生物体活动必需的元素K一样被摄入植物体内。同样地，在动物血液中，Na元素是和微量元素Li共存的。在生物圈中也应象岩石圈那样研究元素的地球化学迁移方式。

第二节 海洋生物体的水分和灰分

当我们把重量作为测定生物样品的基准时，应当考虑鲜重、干重和灰分。从生物体的鲜重如何得到干重和灰重（例如怎样调节温度来烘干、灰化），至今还没有统一的规定。所以，许多分析工作者所报告的分析结果，必然缺乏统一性，只能从理论上近似的估计。鲜重和干重的差别在于水分；干重和灰重的差别在于有机质，这个差值即为生物体内除水分以外的氢、氧、碳、氮和硫等构成元素的部分重量。表1.4—1.6列出了各类生物的水分和灰分的含量。

表 1.4 海洋生物体的水分和灰分含量 (鲜重的百分比)

分类 (门Phylum) ^①	水分 (%) ^②	灰分 (%) ^③	备 注 ^④
褐藻植物 (Phaeophyceae)	80.09 (134) 68.17—92.8	5.59 (16) 3.81—7.27	墨角藻 (<i>Fucales</i>) 等
红藻植物 (Rhodophyceae)	78.16 (26) 56.09—86.25	55.8 (6) 2.25—9.7	红皮藻 (<i>Rhodymenia</i> Grev) 粗枝软骨藻 (<i>Chondria crassicanalis</i> Harv)
绿藻植物 (Chlorophyceae)	77.14 (3) 70.83—82.6		石莼 (<i>Ulva lactuca</i> L.) 浒苔 (<i>Euteromorpha intestinalis</i> Link)
海绵动物 (Porifera)	83.62 (15) 73.23—94.10	8.36 (10) 4.2—14.9	粘质海绵纲 (Demospongiae) 普通海绵属 (<i>Myxospongia</i>)
腔肠动物 (Coelenterata)	92.76 (31) 82.2—99.3	2.92 (15) 1.89—8.47	水螅属 (<i>Hydra</i>), 筒螅属 (<i>Tubularia</i>) 多管水母 (<i>Aequorea coerulescens</i> Brandt) 海月水母属 (<i>Aurelia</i>) 等 海葵目 (Actinotaria)
蠕形动物 (Vermes)	78.08 (54) 64.27—97.02	4.68 (46) 1.50—13.64	光裸星虫 (<i>Sipunculus undus</i> Linnaeus)

续表 1.4

分类 (门Phylum) ^①	水分 (%) ^②	灰分 (%) ^③	备 注 ^④
棘皮动物 (Echinodermata)	69.94 (10)	18.50 (9)	海星纲(Asteroidea)
	55.01—81.5	4.6—45.9	小刺蛇尾 (<i>Ophiothrix exigua</i> Lyman) 球海胆属(<i>Strongylocentrotus</i>) 刺瓜参 (<i>Intermedius</i>)
软体动物 ^⑤ (Mollusca)	79.94 (80)	2.26 (72)	牡蛎属 (<i>Ostrea</i>), 章鱼属 (<i>Octopus</i>)
	70.0—88.36		乌贼属 (<i>Sepia</i>)
节肢动物 ^⑥ (Arthropoda)	79.76 (46)	4.71 (32)	溞属 (<i>Daphnia</i>), 对虾属 (<i>Penaeus</i>)
	62.64—93.43	0.007—16.45	蜆站属 (<i>Cambaroides</i>), 虾站属 (<i>Squilla</i>)
被囊动物 (Tunicata)	94.20 (4)	8.29 (16)	海鞘目 (Ascidacea)
	90.20—97.00	2.72—28.97	双体海鞘 (<i>Didemnoidea tigrinum</i>) 菊海鞘属 (<i>Botryllus tuberatus</i>) 玻璃海鞘属 (<i>Cinoia intestinalis</i>) 柄海鞘 (<i>Styela clava</i> Herdman)

续表 1.4

分类 (门Phylum) ①	水分 (%) ②	灰分 (%) ③	备 注 ④
脊椎动物 ⑦ (Vertebrata)	75.01 (616) 55.55—89.15	1.53 (610) 0.11—5.50	白斑角鲨 (<i>Squalus acanthias</i> Linnaeus) 长鼻蝠 (<i>Raja tengu</i> Jordan), 鲟属 (<i>Acipenser</i>) 大海鲢 (<i>Megalops cyprinoides</i> Broussonet) 鲭属 (<i>Clupea</i>)、沙丁鱼属 (<i>Sardina</i>) 油鲳 (<i>Sphyraena pinguis</i> Günther) 庸鲽属 (<i>Hippoglossoides</i>) 日本鲽 (<i>Engraulis japonica</i>), 金枪鱼属 (<i>Thunnus</i>)

注: ① 海藻植物中的硅藻类, 其灰分与干重的百分比为 32.9%。原生动物 (包括有孔虫和夜光虫) 水分和灰分的测定值很少;

② 和 ③ 上行数值为平均值, 括弧内数字为计算平均值的测定数目, 下行数目为最大值的范围。以下各表类同;

④ 进行测定的主要生物种类;

⑤ 指软体部位 (除去外壳) 的测定值, 按纲分类的软体动物的测定值列于表 1.5;

⑥ 海产节肢动物是属于甲壳类, 这里主要指软体部位的测定值, 按目分类的甲壳类动物列于表 1.6;

⑦ 指鱼纲的软体部位的测定值。

表 1.5 软体动物的水分和灰分的含量 (鲜重的百分比) (%)

分 类 (纲Class)	水 分 (%)	灰 分 (%)	备 注
瓣 鳃 类 (Lamellibranchiata)	82.47 (81)	2.22 (54)	帆蚌属 (<i>Hyriopsis</i>)
	70.16—89.97	0.57—11.3	鲍属 (<i>Haliotis</i>)
腹 足 类 (Gastropoda)	80.24 (14)	3.11 (13)	凤螺属 (<i>Strombus japonicus</i>)
	72.46—88.36	1.14—6.80	拟蛭螺 (<i>Neritopsis</i>) 螺蛳属 (<i>Turbo</i>)
头 足 类 (Cephalopoda)	77.10 (5)	1.46 (5)	真蛸 (<i>Octopus vulgaris</i> Lamarck)
	70.0—87.22	0.9—2.37	巴氏蛸乌贼 (<i>Stenoteuthis bartrami</i> Lesueur) 金乌贼 (<i>Sepia esculenta</i> Hoyle)

表 1.6 甲壳类动物的水分和灰分含量⁽⁴⁾

分 类 (目Order)	水 分 (%)	灰 分 (%)	备 注
螳 脚 目 (Branchipoda)	90.67	1.71	
桡 足 目 (Copepoda)	87.72 (6) 84.8—93.43	0.013 (3) 0.007—0.012	剑水蚤属 (<i>Cyclops</i>)
糠 虾 目 (Mysidaceae)	77.79	3.55	糠虾属 (<i>Mysis</i>)
端 足 目 (Amphipoda)	78.51 (6) 73.93—83.46	6.23 (2) —	钩虾属 (<i>Gammarus</i>)
等 足 目 (Isopoda)	75.84 (5) 68.17—80.90	9.36 (4) 7.02—11.8	栉水虱属 (<i>Asellus</i>)
口 足 目 (Stomatopoda)	71.96	5.94	
十 足 目 (Decapoda)	75.85 (26) 62.64—83.06	6.09 (20) 1.2—16.45	青虾属 (<i>Macrobrachium</i>) 海螯虾属 (<i>Nephrops</i>)
蔓 足 目 (Cirripedia)	30.37	64.04	藤壶属 (<i>Balanus</i>)

第三节 海洋植物中的元素平均含量

表1.7列出几种(按门分类)海洋植物中的元素含量。植物的分类是和表1.4相对应的。黄藻植物只列出硅藻类的分析值。表中数据是用ppm(干重)表示(1ppm相当于1克干重植物中含有1微克的元素),表中数据不包括植物主要成分(碳、氢、氧和氮)的含量。列出的35种元素,不区分哪些是生命元素,哪些是微量元素或其它元素。元素按字母顺序排列。数据主要引自Goldberg收集的资料^[5]。有些分析的例子虽少,但有一定可靠性的数据也被采用了。干重则引用形成报告时的原有数值。必要的时候,其它基准(如鲜重或灰分)可用表1.4所列的数值进行换算得来。

表 1.7 海洋植物的元素含量 (ppm干重)^{①〔2〕}

元素	硅藻纲 ^② (Diatomeae)	褐藻纲 (Phaeophyceae)	红藻纲 (Rhodophyceae)	绿藻纲 (Chlorophyceae)
Ag	5 (4) 0.7—10	0.3 ^③		
Al	580 (2) 500—660	60		
As		8	4	0.3
Au		0.01		0.01 0.003—0.016
Ba	2,500 (7) 7—9,900	30		
Be		0.03 (3) 0.005—0.04		
Ca	1,600 (5) 330—3,300	17,000 (1) 3,100—80,000	31,000 (10) ^③ 1,100—250,000	14,000 (7) 8,300—35,000
Cd		0.3 (3) 0.1—0.4	0.15 (2) 0.1—0.2	0.2
Cl		4,700	7,100	