

中国近海放射性水平

李树庆 祝汉民 吴复寿 马振东 李学成等编

中国近海 放射性水平

海洋出版社

版社

中国近海放射性水平

李树庆 祝汉民 吴复寿 马振东 李学成 等编著

海洋出版社

1987年·北京

内 容 简 介

本书介绍了对我国近海放射性水平及沿海放射性污染源所进行的较系统地调查研究工作的成果, 阐述了我国近海的放射性水平和动态变化, 以及我国近海的放射性污染状况, 是我国放射卫生防护工作中所积累的宝贵资料, 为加强海洋放射性监测, 防止海洋环境的放射性污染, 保护近海资源和维护人民健康提供了科学依据。本书还介绍了有关放射性核素的分析方法。

本书可供环境保护系统、海洋化学、放射卫生学专业等方面的科技工作者和大专院校的环境科学、放射卫生、环境保护、海洋化学等有关专业的师生参考。

责任编辑 朱志军

责任校对 刘兴昌

中国近海放射性水平

李树庆 祝汉民 吴复寿 马振东 李学成 等编著

海 洋 出 版 社 出 版 (北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 北京益康印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.625 字数: 230千字

1987年3月第一版

1987年3月第一次印刷

印数: 1—900

统一书号: 13193·0921

定价: 3.80元

2-76/42

14

前 言

我国海岸线漫长，近海海域辽阔，资源丰富。沿海有许多大工业城市，整个沿海地区在发展国民经济中有着举足轻重的地位。目前我国的经济正朝着“对外开放、对内搞活”的方向发展，沿海 14 个城市开放之后，海上运输、对外贸易以及旅游事业等的发展将更加迅猛，使沿海地区对国家经济生活的开发将起更大的作用。

与此同时，排放到近海中的污染物也会逐渐增多。随着我国原子能事业的发展，核电站在沿海地区的兴建，各种放射性同位素废液的排放，以及以往国内外核试验后放射性落下灰的沉降，均使我国近海海域受到某种程度的放射性污染。搞清海域中放射性核素的含量（对未污染的也称天然本底值），对于估算放射性对人体可能造成的内照射剂量，制定放射性废物的排放标准，控制海洋污染，保护水产资源，保护人民健康，为海洋环境监测提供参考数据都有重要意义。

早在 1964 年，我国首次核试验开始不久，卫生部就部署下属沿海各省、直辖市、自治市、卫生厅（局）组织放射卫生防护单位定点、定时对渤海、黄海、东海和南海各沿岸海域中的海水，底泥，海生物进行放射性水平的常规检测。1980 至 1982 年卫生部又组织辽宁、河北、天津、山东、江苏四省一市的卫生厅（局）和卫生部工业卫生实验所对渤海、黄海沿海的放射性污染源和沿岸放射性水平进行了系统调查。1982 年福建省卫生厅组织本省的放射卫生单位对福建省近海海域的放射性水平进行了全面调查。通过常规监测及系统调查，基本上掌握了我国近海海域的放射性水平，及放射性物质的动态变化、转移规律和可能给人体带来的照射剂量。现将辽宁、河北、天津、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、广西等省、直辖市、自治区的各调查单位和卫生部工业卫生实验所提供的总结资料，由辽宁省劳动卫生研究所、卫生部工业卫生实验所和天津市卫生防疫站负责，编著成《中国近海放射性水平》一书。参加工作的主要人员有李树庆、祝汉民、吴复寿、马振东和李学成。朱昌寿研究员对本项工作提出不少指导性意见，深表谢意。该书可供国内卫生、海洋、水利、渔业、环保等部门参考。

由于我们水平有限，错误和不足之处在所难免，望读者批评指正。

编 者

1985 年

目 录

渤海沿岸海域放射性水平及卫生评价.....	李树庆 吴复寿 祝汉民 孙福聚 刘庆林 杨文纯(1)
辽宁近海海域放射性水平及其评价.....	李树庆 徐绍琴 刘如业 焦淑芬 马振东 张敬坤 刘学成 赵世煥(15)
辽宁近海海域总 α 、总 β 放射性水平与评价.....	李树庆 刘如业(28)
辽宁近海海域的 ^{60}Co 含量.....	焦淑芬 陈虹 陆占惠 张谦 范桂云 李树庆(34)
辽宁近海海域 ^{106}Ru 的放射性水平.....	徐绍琴 赵世煥 李家兴 李树庆 罗红 张谦 孙晓华(39)
大连近海海域放射性水平.....	刘成全 张敬坤
	张振东 杨永莲 陈桂兰 秦翠华 王桂芹 牟吉民 阎维乾 林敬先 藏家明
	李树庆(43)
锦州近海海域放射性水平.....	刘学成 王德民 常兴 苏纯银 李宝旭 朱玉茂 仲桂珍 张冶江(53)
河北省近海海域放射性水平.....	孙福聚 寇荣春(60)
天津近海海域的放射性水平及其卫生学评价.....	吴复寿 马相民 杨笑梅
	刘琴贤 张大吉 李昆 牛丽萍 王淑芹 董惠芬 张淑芬 高迎庆 马凤武(68)
青岛近海海域放射性水平.....	杨文纯 徐金玉 侯玉美 宋方考 王启明 陈以民(78)
连云港海区的放射性水平.....	刘庆林 吴国法 周日辉 朱梅(84)
东海海域的放射性水平.....	冯忠良(执笔)(95)
浙江沿岸的放射性水平.....	赵义坊(执笔)(103)
福建近海海域的放射性水平.....	杨孝桐 翁德道 张金包
	陈秀云 张春良 钱庭荣 陈文英 方国秋 魏木水 陈志盛 陈纪溪 杨文光 赖苏克(113)
海南岛海区的放射性水平.....	林钻轩 陈学胜 吴增汉 钟强荣(125)
广西北部湾海水和海鱼中总 β 、 ^{90}Sr 放射性水平.....	覃家光(执笔)(132)
新鲜海产品中的氡含量.....	周仲兴 邵庆翔(135)

附 录

海水中总 α 放射性的测定.....	马相民(138)
海水中总 β 放射性的测定.....	杨文纯(141)
海洋环境样品中U、Th的分光光度测定.....	马相民 刘琴贤 董惠芬(145)
海水和海生物中U、Ra、Th的系统分析方法.....	常兴(152)
用Ge(Li) γ 谱仪测定海洋环境中U、Ra、Th、 ^{40}K 、 ^{137}Cs 的方法.....	刘志和 赵淑权(157)
渤海近海区(天津、塘沽附近)底质放射性核素的Ge(Li) γ 谱仪测定及其地球化学研究.....	刘志和 苏协铭 李培泉 卢光山(163)

海水和海底质中 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 和 ^{144}Ce 的系统分析.....	
.....杨笑梅 刘琴贤 牛丽萍 孙积涛 赵淑权(171)	
HDEHP 直接萃取测定大体积海水中 ^{90}Sr	杨孝桐(183)
海洋环境样品中 ^{60}Co 的萃取-电沉积分析方法.....	焦淑芬(188)
海洋环境样品中 ^{106}Ru 的分析.....	马俊杰 周世贤 赵世煥(194)
海水和海生物中氟的分析方法.....	周仲兴 邵庆翔(201)
附表1	(208)
附表2	(210)
附表3	(211)

渤海沿岸海域放射性水平及卫生评价

李树庆 吴复寿 祝汉民 孙福聚

刘庆林 杨文纯*

本文对 1980—1982 年渤海放射性污染源及放射性水平调查资料和 1970—1981 年常规监测资料进行了综合分析和评价,查明了渤海沿海的放射性污染源及污染核素,掌握了沿岸海水、底质和海生物中总 α , 总 β , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{144}Ce , ^{60}Co , ^{106}Ru , U, Th, ^{226}Ra 的放射性水平及动态变化;总结了上述核素在底质和海生物中的浓集系数以及有关核素之间的比值,评价了海洋环境的放射性质量;初步估算了对人体可能造成的内照射剂量;得出了渤海未见天然放射性核素的明显污染,而已受人工放射性核素的极轻微污染的结论;提出了加强海洋放射性监测和防止放射性污染的建议。为制定放射性废物排放标准、制定海产品的放射性物质限制量、保护近海资源和维护人民健康提供了科学依据。

一、渤海的环境概况

(一) 自然和社会概况

渤海北起北纬 41° , 南至北纬 $31^\circ 40'$, 西起东经 $117^\circ 35'$, 东至东经 $126^\circ 50'$ 。全海域总面积约为 45.7 万平方公里,总容量为 1.8 万立方公里¹⁾。

渤海属于封闭的内海,平均水深 18 米。有渤海、辽东、莱州三大海湾。黄海为半封闭海,平均水深 40 米。主要海湾有胶州湾、海州湾。由于湾多水浅,水交换能力差,稀释和自净能力受到一定的影响。

渤海沿岸地势自西北向东南倾斜,坡度平缓。渤海海流由黄海海流余脉、辽东沿岸流及渤海沿岸流三部分组成。高盐水自海峡北部进入渤海后,在中心区分成两支。一支沿辽东湾西岸北上至辽河口与辽东湾南下的盐水相接,形成顺时针方向流动;另一支伸入渤海湾后与沿海河及莱州湾外向东流的低盐水相接,形成逆时针方向流动。最后在海峡南部流入北黄海²⁾。渤海潮汐大部分属于不规则的半日潮,涨潮流速大,时间短;落潮流速小,

* 参加本项研究工作的有辽宁劳动卫生研究所等六单位的百余人。此处仅是整理数据与执笔的六位同志。

1) 渤海污染防治科研成果编写小组,渤海海域污染防治研究总论,1982 年 9 月。

2) 辽宁、河北、天津、山东沿海污染调查协作组,渤海及黄海南部沿岸海域污染调查报告汇编,1973 年。

时间长,促使湾外的泥沙容易向湾内输送,并在湾顶部淤积。上述海流和海潮对放射性物质的分布可能有一定的影响。

注入渤海海的河流达 60 余条,其中主要的有辽河、海河、淮河、黄河等。年径流量达千余亿立方米。大量淡水和生物营养盐的输入对海生物的生长繁殖是有益的。

本海区沿岸人口达 7400 多万,主要城镇 130 座,工矿企业 18000 多家。在我国社会主义建设中具有重要的作用。

(二) 放射性污染源概况

在 1979 年至 1980 年对渤海海沿岸进行了一次较全面的放射性污染源调查。其使用天然放射性核素和应用人工放射性同位素的单位多集中于锦州和大连沿海一带。

使用天然放射性核素和应用人工放射性核素的单位,在锦州沿海有近二十家,在大连沿海有十余家。这些单位分别向锦州湾海区和大连海区排放大量的放射性废水、废物和废渣。经调查,这些放射性废水、废物和废渣中,天然放射性核素有 U, Th, Ra, 人工放射性核素有 ^{60}Co , ^{106}Ru , ^{131}I , ^{198}Au , ^{55}Fe 和 ^{54}Mn 等。

二、研究内容和方法

(一) 站位的布设

布设原则:以放射性废物排入海口为主,以港湾为重点,适当选择未受放射性物质污染的站位。

总共设立站位 42 个,其中常规监测站位有 8 个,其具体位置和经纬度见图 1 和表 1。

(二) 样品采集和处理

1. 1970—1981 年常规监测(表 2)

2. 1980—1981 年调查采样(表 3)

3. 样品处理

(1) 海水:经酸化后,搅拌片刻,静置 24 小时后虹吸清水供分析。

(2) 底质:于电热恒温箱中 110°C 下烘干,取出捣碎,除掉杂质,60 目过筛,供分析。

(3) 海生物:

鱼类:洗净、去鳞、晾干,称鲜重,分离骨肉,分别炭化、灰化。

贝类:洗净、晾干、蒸至贝壳张开,剥肉,称鲜重,液汁加在肉内,然后炭化、灰化。

藻类和虾蟹类:洗净、晾干,称鲜重,炭化、灰化。

分析 ^{137}Cs 、 ^{106}Ru 的样品灰化温度不超过 450°C 。

其它样品灰化温度为 500°C 。所有样品灰化后,研磨,过筛,然后称量分析。

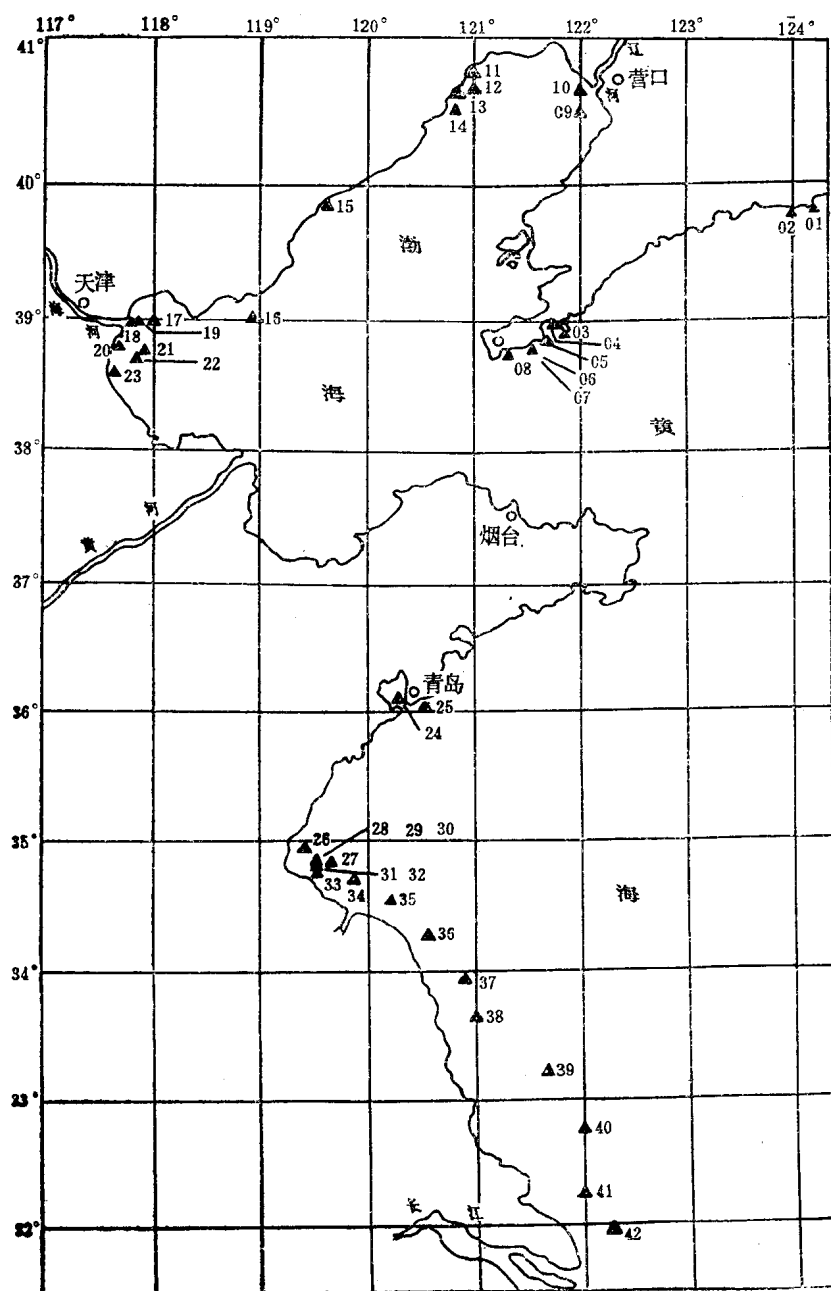


图 1 渤黄海放射性调查站位

表1 渤海沿海放射性调查站位

站 号	北 纬	东 经	站 号	北 纬	东 经
01	39°49'	124°16'	22	38°40'	117°52'
02	39°45'	123°59'	23	38°33'	117°37'
03	38°54'5	121°50'4	24	36°5'5''	120°15'
04	38°59'3	121°59'9	25	36°6'30''	120°32'48''
05	38°56'3	121°39'4	26	34°56'	119°22'
06	38°44'7	121°29'5	27	34°54'	119°36'
07	38°45'	121°29'2	28	34°54'	119°30'
08	38°46'	121°17'4	29	34°52'	119°30'
09	40°31'	122°09'	30	34°50'	119°30'
10	40°36'	122°07'	31	34°48'	119°30'
11	40°50'	121°08'	32	34°46'	119°30'
12	40°40'	121°06'	33	34°43'	119°52'
13	40°38'	120°50'	34	34°33'	120°13'
14	40°28'	120°50'	35	34°15'	120°34'
15	39°50'	119°37'	36	33°55'	120°48'
16	39°07'	118°54'	37	33°36'	121°07'
17	39°00'	118°00'	38	33°11'	121°38'
18	39°05'	117°45'	39	32°45'	122°00'
19	38°56'	117°47'	40	32°45'	122°00'
20	38°55'	117°53'	41	32°12'	122°06'
21	38°50'	117°41'	42	31°55'	122°14'

表2 常规监测项目表

品 种	总 β	^{90}Sr	^{137}Cs
海 水	每 季 度 一 次	每 半 年 一 次	每 半 年 一 次
海 生 物	每 年 一 次	每 年 一 次	每 年 一 次

表3 调查项目表

品 种	总 α ^{226}Ra	总 β ^{144}Ce	^{90}Sr ^{106}Ru	^{137}Cs ^{60}Co	U	Th
海 水	于枯水期、丰水期和平水期每年各一次					
海 生 物	于生产旺季采集主要经济鱼类、贝类、虾蟹类和藻类等共21种					
底 质	于辽宁、天津沿岸采集一次共19个点					

(三) 分析项目和方法 (见表 4)

表4 样品分析方法和仪器

项 目	样 品	单 样 量	分 析 方 法	测 量 仪	仪 器 探 测 下 限
总 α	海 水	2l	三氯化铁-亚硫酸钾沉淀载带法	FJ-332a 低本底仪	0.5pCi/l*
	底 质	200mg	加入标准钍, 相对饱和源法	FJ-337 闪烁探头	1—2.0pCi/g
总 β	海 水	3~5l	铁明矾-氯化钡沉淀法	FJ-332 β 低本底仪	0.1—0.5pCi/l
	底 质	200mg	相对测定(KCl标准液)法	SX-1 β 低本底仪	0.05—0.1pCi/g
U	海 水	200ml	N-235-TRPO 萃取分离法	751 分光光度计	10^{-7} g/l
	底 质	0.5g		721 分光光度计	10^{-8} g/g
Th	海 水	200ml	N-235-TRPO 萃取分离法	751 分光光度计	10^{-7} g/l
	底 质	0.5g		721 分光光度计	10^{-7} — 10^{-8} g/g
^{226}Ra	海 水	5l	硫酸钡载带射气法	FD-125 氡气分析仪	0.01—0.1pCi/l
	底 质	3g			0.01—0.1pCi/g
^{90}Sr	海 水	40l	P-204 萃取法, 硫酸盐沉淀法, P-204 反相色层法, 离子交换法	FJ-332 β 低本底仪	0.05—0.1pCi/l
	底 质	100g		SX-1 β 低本底仪	0.05—0.1pCi/g
^{137}Cs	海 水	40l	AMP 碘铋酸盐沉淀法	FJ-332 β 低本底仪	0.05—0.1pCi/l
	底 质	200g	磷钼酸铵法	SX-1 β 低本底仪	0.05—0.1pCi/g
^{60}Co	海 水	40l	1-硝基-2萘酚萃取	FJ-332 β 低本底仪	0.1pCi/l
	底 质	100g	电沉积法	FJ-2603 β 仪低本底仪	0.01pCi/g
^{106}Ru	海 水	30l	蒸馏法	FJ-332 β 低本底仪	0.01—0.1pCi/l
	底 质	100g	氯化镁法还原	FJ-2603 低本底仪	0.01pCi/g
^{144}Ce	海 水	30l	P-204 反相色层法	FJ-332 β 低本底仪	0.05—0.1pCi/l
	底 质	200g		SX-1 β 低本底仪	0.05—0.1pCi/g

* pCi = 3.7×10^{10} Bq。

三、结果和讨论

(一) 海水的放射性水平及动态变化

表 5 与表 6 分别表示渤海近岸海水的放射性水平及动态变化。表 5 结果表明, 海水中的总 β 均值为 2.46 ± 0.93 pCi/l。总 α 均值为 3.56 ± 2.19 pCi/l。 ^{90}Sr 的浓度均值为 0.50 ± 0.29 pCi/l。其均值和低值分别接近于日本近海表层海水中 ^{90}Sr 浓度的 0.50pCi/l

表5 渤海近岸海水中的放射性水平(pCi/l)

项 目	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	范 围
总 β	2.5 ± 0.9	0.97—9.2 (413)*
总 α	3.6 ± 2.2	2.9—6.1 (45)
^{90}Sr	0.50 ± 0.29	0.12—2.1 (153)
^{137}Cs	0.35 ± 0.15	0.15—0.67 (56)
^{144}Ce	0.08 ± 0.11	0.02—0.31 (6)
^{60}Co	0.028 ± 0.02	0—0.06 (18)
^{106}Ru	0.45 ± 0.34	0.08—1.3 (11)
U	2.9 ± 0.40	0.93—7.6 (55)
Th	0.50 ± 0.18	0.01—1.1 (40)
^{226}Ra	0.23 ± 0.19	0.04—1.3 (35)

* 括弧内为样品数。

(1963年)和0.19 pCi/l (1973年)^[1]。 ^{137}Cs 浓度的均值为 0.35 ± 0.15 pCi/l。 ^{144}Ce 和 ^{60}Co 的浓度均值分别为 0.08 ± 0.11 pCi/l和 0.028 ± 0.019 pCi/l, 稍高于可探测的限值。 ^{106}Ru 的浓度均值为 0.45 ± 0.34 pCi/l。天然放射性核素U的浓度均值为 2.93 ± 0.37 $\mu\text{g/l}$, 和大洋中的3 $\mu\text{g/l}$ 相一致^[2]。Th的浓度均值为 0.50 ± 0.18 $\mu\text{g/l}$, 高于日本海海水中Th的浓度均值 $(2.2 \pm 0.9 - 3.3 \pm 0.4) \times 10^{-3}$ $\mu\text{g/l}$ (^{232}Th)。 ^{226}Ra 的浓度均值为 0.23 ± 0.19 pCi/l, 稍高于东海表层水中 ^{226}Ra 的浓度均值(0.04—0.15 pCi/l)^[2]。

表6 渤海近岸海水中放射性物质含量(pCi/l)的逐年变化

年 份	总 β		^{90}Sr		^{137}Cs
	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	范 围	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	范 围	$\bar{X} \pm S\bar{x}$
1970	5.1 ± 3.2	1.3—9.2	1.2 ± 0.8	0.45 ± 2.1	
1971	3.0 ± 0.3	2.6—3.4	0.96 ± 0.77	0.36 ± 2.1	
1972	2.9 ± 0.4	2.5—3.4	0.60 ± 0.08	0.54 ± 0.71	
1973	2.6 ± 0.7	1.4—3.1	0.57 ± 0.21	0.37 ± 0.88	
1974	2.4 ± 0.8	1.7—3.6	0.50 ± 0.17	0.25 ± 0.73	
1975	2.9 ± 0.5	2.0—3.5	0.55 ± 0.19	0.34 ± 0.86	
1976	2.2 ± 0.4	1.7—2.7	0.40 ± 0.09	0.36 ± 0.53	0.55
1977	2.6 ± 0.8	1.4—3.5	0.44 ± 0.03	0.39 ± 0.47	0.42
1978	2.0 ± 0.4	1.3—2.4	0.25 ± 0.09	0.12 ± 0.33	0.38
1979	1.5 ± 0.3	1.0—1.9	0.27 ± 0.04	0.23 ± 0.33	0.41 ± 0.19
1980	1.7 ± 0.6	1.0—2.3	0.23 ± 0.07	0.14 ± 0.29	—
1981	1.8 ± 0.5	1.5—2.7	0.29 ± 0.07	0.22 ± 0.41	0.34 ± 0.05

表6结果表明,海水中的总 β , ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 含量均逐年下降。但从 ^{90}Sr 的数据可看出,1980年的渤海近岸海水中 ^{90}Sr 数据稍高于1966—1967年大西洋表层水中 ^{90}Sr (0.04—0.20 pCi/l)和同期日本近海表层水中 ^{90}Sr 的浓度(0.20 pCi/l)。

表7比较了渤海6个采样点中总 β 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 浓度均值和海州湾连云港附近7个采样点中总 β 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 的浓度均值。从表7可看出渤海湾的浓度均比海州湾的要高出一倍左右,经 T 检验相差显著。

上述结果表明了渤海的稀释、扩散能力均比黄海差。因为渤海是封闭状态,而黄海是半封闭状态,渤海的水交换能力比黄海差,所以它的某些核素浓度均比黄海高。

表7 渤海湾与海州湾数据之比较

核素	渤海湾数据 pCi/l	海州湾数据 pCi/l	T 检验
总 β	2.8 ± 1.2	1.2 ± 0.32	$t > t_{0.01} P < 0.01$
^{90}Sr	0.40 ± 0.06	0.22 ± 0.02	$t > t_{0.01} P < 0.01$
^{137}Cs	0.27 ± 0.10	0.15 ± 0.05	$t > t_{0.05} P < 0.05$

(二)海生物的放射性水平及动态变化

1970 到 1981 年相继对 21 种海生物的放射性水平进行了分析测定, 结果见表 8。结果表明, 黄花鱼等 10 种鱼肉的总 α 、总 β 均值分别为 0.52 ± 0.85 与 2.2 ± 0.71 nCi/kg。

表8 渤海湾海生物中的放射性水平

项 目*	鱼 肉		虾 蟹 类		贝 类		海 带	
	$\bar{X} \pm S\bar{X}$	范 围	$\bar{X} \pm S\bar{X}$	范 围	$\bar{X} \pm S\bar{X}$	范 围	$\bar{X} \pm S\bar{X}$	范 围
总 α (nCi/kg)	0.52 ± 0.85 (6)**	0.04—2.4	0.50 ± 0.10 (5)	0.16—0.57	0.44 ± 0.34 (5)		1.67 (1)	
总 β (nCi/kg)	2.2 ± 0.71 (162)	0.13—5.0	2.2 ± 1.8 (50)	0.48—13.4	1.82 ± 0.78 (71)	0.12—4.6	8.9 ± 3.9 (34)	2.6—21.7
^{90}Sr (pCi/kg)	10.2 ± 14.2 (78)	0.30—58.1	31.9 ± 45.9 (33)	1.51—222	14.8 ± 11.7 (9)	0.63—25.9	26.2 ± 20.1 (20)	2.2—80.3
^{137}Cs (pCi/kg)	14.8 ± 10.1 (48)	3.47—36.1	14.4 ± 13.4 (17)	1.66—51.4	11.2 ± 6.21 (6)	4.1—20.0	43.1 ± 72.9 (8)	4.6—234
^{60}Co (pCi/kg)	0.72 ± 1.0 (6)	0—2.8	1.6 ± 1.4 (8)	0—4.7	0.68 ± 0.79 (5)	0—2.20	1.2 ± 3.4 (2)	2.1—4.6
^{106}Ru (pCi/kg)	5.1 ± 0.60 (2)	4.5—5.7	5.3 ± 2.4 (3)	2.42—8.36	4.7 ± 4.9 (8)	1.5—14.4	24.1 ± 2.2 (1)	
^{144}Ce (pCi/kg)	0.61 ± 0.64 (4)	0.21—1.7	1.2 ± 0.67 (4)	0.23—2.13				
U ($\mu\text{g/kg}$)	4.6 ± 7.5 (13)	0.80—28.0	8.7 ± 9.7 (12)	1.2—37.8	21.0 ± 9.6 (6)	2.8—33.0		
Th ($\mu\text{g/kg}$)	2.5 ± 1.6 (13)	0.84—5.8	11.1 ± 6.4 (12)	2.4—26.6	48.2 ± 64.6 (7)	1.7—151.9		
^{226}Ra (pCi/kg)	2.9 ± 4.4 (10)	0.66—16.1	4.9 ± 3.5 (10)	2.0—13.3	6.1 ± 6.2 (6)	2.4—19.1		

* 总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 为1970—1981年的均值, ^{137}Cs 为1976—1981年均值, 其余为1981年均值。

** 括弧内为样品数。

^{90}Sr 含量以对虾皮的均值 120 ± 88.5 pCi/kg 鲜为最高(见表 9), 其次为鱼骨的均值 84.7 ± 80.6 pCi/kg 鲜, 海带为 26.2 ± 20.1 pCi/kg 鲜, 海生物中 ^{137}Cs 含量以海带为最高, 均值达到 43.1 ± 72.9 pCi/kg 鲜, 鱼肉为 14.8 ± 10.1 pCi/kg 鲜, 而鱼肉内脏并不高, 虾蟹和贝类的 ^{137}Cs 含量与鱼肉相近。鱼肉的 ^{137}Cs 含量低于 1961—1962 年英国近海鱼类的 10—30 pCi/kg 鲜。而虾蟹贝类则稍高于同期的 1—10 pCi/kg 鲜。 ^{144}Ce 的含量较低, 波动在 0—2.83 pCi/kg 鲜, 多数在探测极限以下。 ^{60}Co 含量以虾蟹较高, 为 $1.56 \pm$

1.40 pCi/kg鲜, 和日本学者 1978—1979 年测得的贝类中 ^{60}Co 为 0.41—6.1 pCi/kg鲜相近^[3]。 ^{106}Ru 的含量以海带的 24.12 ± 2.17 pCi/kg鲜为最高, 鱼肉、虾、蟹和贝类在 4.66 ± 4.94 — 5.31 ± 2.43 pCi/kg鲜之间。U 含量以海带中的 $79.5 \mu\text{g/kg}$ 鲜为最高, 但仍明显低于日本沿岸褐藻中的 $(2.35 \pm 0.24) \times 10^3 \mu\text{g/kg}$ 鲜。其次是虾蟹与贝类, 分别为 8.69 ± 9.65 与 $21.0 \pm 9.61 \mu\text{g/kg}$ 鲜, 鱼肉最低, 均值为 $4.56 \pm 7.49 \mu\text{g/kg}$ 鲜。Th 含量以贝类最高, 为 $48.2 \pm 64.6 \mu\text{g/kg}$ 鲜, 而鱼、虾和蟹最低, 为 2.53 ± 1.56 和 $11.09 \pm 6.44 \mu\text{g/kg}$ 鲜。Th 含量与国外报道的相一致, 即以海藻最高, 无脊椎动物次之, 鱼类最低。鱼肉、虾、蟹与贝类中的 ^{226}Ra 含量在 2.53 ± 1.56 — 6.14 ± 6.18 pCi/kg鲜之间。

表 9 为 1970—1981 年间海生物中 ^{90}Sr 含量的动态变化, 从表中可以看出, 鱼肉、鱼

表 9 海生物中 ^{90}Sr 含量的逐年变化情况(pCi/kg)

年	鱼肉 $\bar{x} \pm S\bar{x}$	鱼骨 $\bar{x} \pm S\bar{x}$	虾蟹 $\bar{x} \pm S\bar{x}$	海带 $\bar{x} \pm S\bar{x}$	对虾皮
1970	37.4 ± 18.9	340 ± 60	69.3 ± 58.1		
1971	18.9 ± 17.3	42.9 ± 23.8	10.8 ± 8.4		
1972	24.0 ± 11.8	163.4 ± 114.4	40.8	25.3	
1973	12.4 ± 10.0	85.2 ± 60.7	44.7 ± 35.2	15.1 ± 7.9	65.4
1974	15.9 ± 10.6	18.8 ± 78.0	26.3 ± 7.1	25.4 ± 14.2	60.5
1975	4.9 ± 5.8	78.3 ± 65.5	6.6 ± 2.9	21.7 ± 11.8	82.5
1976	3.4 ± 4.3	102.8 ± 94.0	5.7 ± 0.88	17.7 ± 15.6	107
1977	1.1 ± 0.75	71.2 ± 47.0	8.6 ± 2.8	20.4 ± 12.8	101
1978	1.7 ± 1.1	111.7 ± 77.5	12.3 ± 10.6	39.7	236
1979	0.96 ± 0.88	55.8 ± 43.6	6.6 ± 2.8	34.0 ± 28	63.0
1980	0.75 ± 0.37	60.9 ± 54.7	4.1	18.0 ± 12	46.8
1981	0.86 ± 0.40	24.1 ± 23.6	8.8 ± 5.3	44.3 ± 36.0	

骨和对虾的 ^{90}Sr 含量基本上是逐年下降的, 尤以鱼肉更为明显, 但鱼骨中的 ^{90}Sr 含量下降较慢, 且有起伏, 这可能与鱼骨中的 ^{90}Sr 代谢有关。海带的 ^{90}Sr 含量以 1971 年的 400 pCi/kg鲜为最高, 此后一直波动在 15—44 pCi/kg鲜之间, 保持相对稳定。

(三)底质的放射性水平

表 10 为 1981 年测得的渤海沿岸底质的放射性水平。

从结果可以看出, 底质中 U 的数据低于文献报道的大陆架底质的 $3 \mu\text{g/g}$, 而与远洋底质的均值 1.0 — $1.8 \mu\text{g/g}$ 相近。Ti 的数据接近文献值 3 — $10 \mu\text{g/g}$ 。 ^{226}Ra 的数据也接近陆生底质的 2.5 pCi/g, 但低于太平洋底质——软泥的 14.1 pCi/g 和红粘土的 pCi/g^[2]。

(四)不同样品中有关核素的比值

表 11 表示海生物、海水与底质中总 β /总 α 、 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 与 Th/U 的比值。总 β /总 α 比值以鱼肉为最高, 主要和鱼肉中 ^{40}K 含量较高有关。海水与底质的总 β /总 α 比值最低, $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 的比值, 在鱼肉、虾蟹和海带中相差不大, 这说明这三种生物对 ^{137}Cs

表10 渤海沿岸底质的放射性水平

项 目	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	范 围	样品数
总 α (pCi/g·干)	22.0 $\pm$ 14.0	30.0—42.0	34
总 β (pCi/g·干)	21.9 $\pm$ 0.70	12.5—42.1	40
^{90}Sr (pCi/g·干)	0.29 $\pm$ 0.22	0.013—0.68	40
^{137}Cs (pCi/g·干)	0.38 $\pm$ 0.27	0.07—0.72	40
U ($\mu\text{g/g}$ ·干)	1.2 $\pm$ 0.56	0.55—1.5	36
Th ($\mu\text{g/g}$ ·干)	7.2 $\pm$ 2.46	0.55—10.4	36
^{226}Ra (pCi/g·干)	1.3 $\pm$ 0.70	0.49—2.7	36
^{60}Co (pCi/g·干)	0.028 $\pm$ 0.028	0—0.12	34
^{136}Ru (pCi/g·干)	0.052 $\pm$ 0.098	0—0.32	22
^{144}Ce (pCi/g·干)	0.05 $\pm$ 0.03	0.02—0.10	12

表11 海水、生物和底质中有关核素之比值

项 目	鱼 肉 $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	虾 蟹 类 $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	贝 类 $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	海 带 $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	海 水 $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	底 质 $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$
β/α	18.7 $\pm$ 19.6 (5)*	3.5 $\pm$ 2.4 (7)	5.3 $\pm$ 2.1 (5)		0.40 $\pm$ 0.10 (413)	0.27 $\pm$ 0.30 (74)
$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$	34.8 $\pm$ 8.4 (47)	35.9 $\pm$ 22.5 (17)	24.3 $\pm$ 12.5 (6)	36.5 $\pm$ 17.3 (6)	1.3 $\pm$ 0.22 (52)	4.8 $\pm$ 5.7 (80)
Th/U	1.2 $\pm$ 0.35 (12)	3.6 $\pm$ 1.7 (12)	4.4 $\pm$ 4.7 (6)	0.23 $\pm$ 0.21 (2)	0.14 $\pm$ 0.08 (40)	7.5 $\pm$ 4.1 (72)

* 括弧内为样品数。

和 ^{90}Sr 均同时吸收,而以贝类的为最低。海水的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值为 1.29 ± 0.22 稍高于日本近海的 $1.0^{[2]}$,低于太平洋等远海的平均值 $1.6^{[4]}$ 。底质的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值平均为 4.83 ± 5.69 ,这说明底质对 ^{137}Cs 的吸附能力大于 $^{90}\text{Sr}^{[2]}$,使海水中 ^{137}Cs 含量相对降低,致使近海海水中 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值偏低。Th/U比值以底质为最高,海水最低,海生物中以海带最低。

(五) 浓集系数与分配系数

进入海洋的放射性核素可从水体向海底沉积物及海生生物体中转移,并进行循环,其蓄积情况与核素性质、海流特征及样品种类有关。为了解核素的转移分配、最终归宿及整个海域的自净能力,分别估算出有关核素在生物中的浓集系数与底质中的分配系数。浓集系数为单位重量生物样品的放射性与单位体积海水的放射性比值,分配系数为单位重量底质样品的放射性与单位体积海水中放射性的比值,结果见表12和表13。

从表12可以看出,海生物对总 α 的浓集系数以海带为最高,达407,其次是虾蟹和贝类,分别为106与101。对总 β 的浓集系数也以海带为最高,达 $(3.88 \pm 1.74) \times 10^3$ 。其它生物介于 $(0.47-1.69) \times 10^3$ 之间。对 ^{90}Sr 的浓集以对虾皮和鱼骨为最高,为别为280和212,其次是海带,达73.5。对 ^{137}Cs 的浓集系数以海带最高,为42.7,其次是鱼肉35.4

表12 海生物的平均浓集系数

项 目	鱼 肉 $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	虾 蟹 类 $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	海 带 $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	贝 类 $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$
总 α	25.7 $\pm$ 25.5 (6)*	101.1 $\pm$ 37.4 (7)	407.3 (2)	106.3 $\pm$ 82.1 (5)
总 β	(1.0 $\pm$ 0.41) $\times 10^3$ (143)	(0.88 $\pm$ 0.29) $\times 10^3$ (47)	(3.88 $\pm$ 1.74) $\times 10^3$ (31)	(0.740 $\pm$ 213) $\times 10^3$ (60)
^{90}Sr	15.0 $\pm$ 12.7 (72)	58.0 $\pm$ 53.1 (32)	73.5 $\pm$ 46.5 (20)	21.6 $\pm$ 20.8 (9)
^{137}Cs	35.4 $\pm$ 8.9 (48)	35.4 $\pm$ 24.6 (17)	42.6 $\pm$ 18.4 (6)	24.3 $\pm$ 12.5 (6)
U	1.1 $\pm$ 1.0 (13)	1.9 $\pm$ 1.3 (11)	21.8 $\pm$ 10.8 (2)	7.3 $\pm$ 1.6 (6)
Th	4.5 $\pm$ 1.5 (13)	27.0 $\pm$ 15 (12)	15.5 $\pm$ 11.9 (2)	204.4 $\pm$ 133.8 (7)
^{226}Ra	14.5 $\pm$ 4.8 (10)	22.8 $\pm$ 8.7 (10)	100.0 (2)	21.8 $\pm$ 8.0 (6)

^{90}Sr 、总 α 、总 β 为1970—1981年均值, ^{137}Cs 为1976—1981年均值, 其余均为1978—1981年均值。

* 括号内为样品数。

表13 放射性物质在底质中的分配系数

项 目	总 α	总 β	^{90}Sr	^{137}Cs	U	Th	^{226}Ra
均 值	(6.8 $\pm$ 5.2) $\times 10^4$	(2.0 $\pm$ 3.2) $\times 10^4$	(1.2 $\pm$ 1.3) $\times 10^3$	(1.6 $\pm$ 1.3) $\times 10^3$	(0.70 $\pm$ 0.69) $\times 10^3$	(1.2 $\pm$ 2.0) $\times 10^3$	(3.7 $\pm$ 2.3) $\times 10^3$
样品数	16	18	18	17	18	11	17

总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 为1970—1981年的均值, ^{137}Cs 为1976—1981年均值, 其余为1981年均值。

与虾蟹 35.4。关于海生物对 ^{137}Cs 和 ^{90}Sr 的浓集系数, 文献各不相同。日本学者报道, 对 ^{137}Cs 分别为 10—20 与 10。而有的报道海鱼对 ^{90}Sr 浓集系数为 4—5^[4]。也有的作者指出, 海藻、甲壳类和鱼类对 ^{90}Sr 的浓集系数分别为 50、2 与 1—24, 对 ^{137}Cs 的浓集系数分别为 46、20—10⁵ 与 10—100^[2]。总之, 海生物对 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 的浓集系数波动较大, 与海生物的品种、年龄、体重、生活习性、采样季节、介质元素含量、分析方法及分析者的不同等因素有关。海生物对 U, Th, ^{226}Ra 的浓集系数, 以贝类对 Th 的 204.4 $\pm$ 133.8 最高, 尤以渤海湾产的毛蚶浓集 Th 的能力最强, 其全部可食部分与肉对 Th 的浓集系数分别为 303.8 与 197.8, 这与其长期定居于含 Th 量较高的底质中有关。其它生物, 除海带对 ^{226}Ra 的浓集系数 100 较高外, 一般介于 1—27 之间。

从表 12 可以看出, 海带对总 α 、总 β , ^{137}Cs , ^{90}Sr 和 U 的浓集系数均大于其它所有生物(指可食部分)。因此可以考虑把海带作为 ^{137}Cs , ^{90}Sr 的指标生物。另外, 也可以考虑把毛蚶作为 Th 的指标生物。

表 13 表示 ^{137}Cs 等放射性核素在底质中的分配系数。结果表明, 总 α 的分配系数 $(6.8 \pm 5.2) \times 10^4$ 稍高于总 β 的 $(2.0 \pm 3.2) \times 10^4$ 。 ^{137}Cs 为 $(1.6 \pm 1.3) \times 10^3$, 稍高于 ^{90}Sr 的 $(1.2 \pm 1.3) \times 10^3$ 。同在氧化条件下 ^{137}Cs , ^{90}Sr 在黑海底质中的分配系数分别为 1.2×10^3 与 1.4×10^3 相近^[2]。Th 的分配系数 $1.2 \pm 2.0 \times 10^5$ 几乎比 U、Ra 高两个数量级。

(六) 海水、海生物的 ^{90}Sr 与沉降物的 ^{90}Sr 之间的关系

图 2 表示 1970—1980 年鱼肉、海水与沉降物中 ^{90}Sr 的年平均动态变化。

由图 2 可见, 总的趋势是三者的 ^{90}Sr 水平逐渐下降, 并且互相之间都相关。

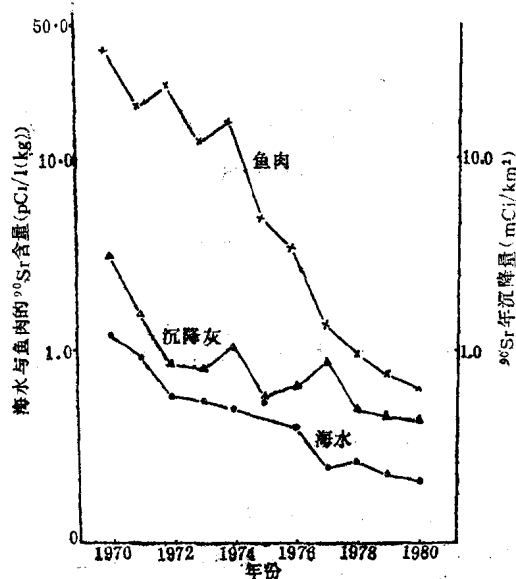


图 2 鱼肉、海水和沉降物中 ^{90}Sr 水平的动态变化

由图 3-1、图 3-2 和图 3-3 表明, 沉降物与海水, 沉降物与鱼肉以及海水与鱼肉中的 ^{90}Sr 含量之间的相关系数分别为 0.88, 0.81 和 0.89。由此可见, 渤海海域中的 ^{137}Cs , ^{90}Sr 等人工放射性核素主要来源于以往大气层核试验所产生的放射性沉降物。

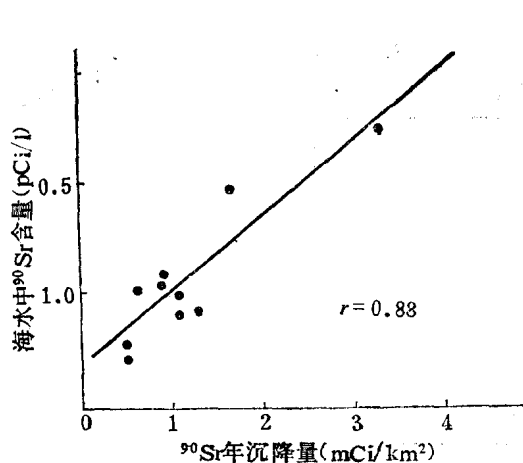


图 3-1 海水中 ^{90}Sr 与沉降 ^{90}Sr 的关系

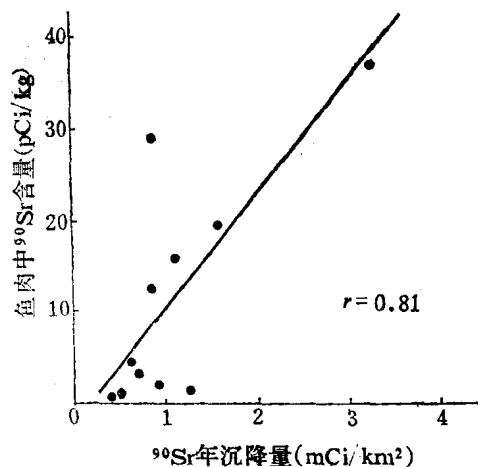


图 3-2 鱼肉中 ^{90}Sr 与沉降 ^{90}Sr 的关系