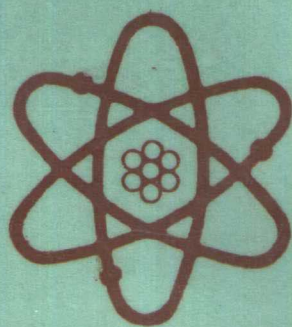


330

— 长江水系 放射性水平调查及评价

1984

李振平 主编



原子能出版社

X522
9057

长江水系 放射性水平调查及评价

· 1984 ·

李振平 主编

原子能出版社

内 容 简 介

长江水系放射性水平调查是1984~1985年完成的一项大规模调查工作。调查对象有水体、底泥、鱼体和部分沿岸土壤；涉及的分析测量项目有总 α ，总 β ，U，Th， ^{226}Ra ， ^{210}Po ， ^{40}K ， ^3H ， ^{90}Sr ， ^{137}Cs 和 ^{239}Pu 等11项；根据调查结果对长江水系辐射环境质量做了初步评价。本汇编收入了此次调查中有代表性的论文32篇，包括调查与评价总报告、各支流调查报告、核素分析、介质分析和质量保证等内容；反映了长江水系放射性水平现状、分布特点和变化趋势。

本汇编可供环境科学、辐射防护、放射卫生和放射生物等学科领域的广大科技工作者参考，也可供高等院校环境保护和原子能等专业师生参考。

长江水系 放射性水平调查及评价

•1984•

李振平 主编

责任编辑 韩国光

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

原子能出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092¹/₁₆·印张14插一·字数340千字

1988年9月北京第一版·1988年9月北京第一次印刷

印数1—1000

ISBN 7-5022-0125-4

X·6 定价：4.85元

前 言

长江是我国第一大河，在国民经济和国计民生中处于重要地位。调查建国以来由于工农业的发展（包括核工业的发展和放射性核素的广泛应用）给长江生态环境带来的影响，了解江水质现状和趋势，是我国环境科学研究的重大课题。

核工业部长江水系放射性水平调查协作组于1984年对长江水系的放射性水平进行了全面调查。根据调查结果，对长江水系的辐射环境质量进行了评价。为了促进环境保护事业的发展，进行广泛交流，现将有关此次调查的论文汇集成册公开出版。

长江水系放射性水平调查是在长江流域10个省、自治区、直辖市范围内的65个站位、100个断面、119个采样点同步进行的。参加单位共27个，参加人员共928人。这是一项在统一计划组织下的大规模的协作调查工作。调查对象包括水体、底泥、鱼体以及有代表性的支流、江段的沿岸土壤。分析测量项目有总 α 、总 β 、U、Th、 ^{226}Ra 、 ^{210}Po 、 ^4K 、 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 等11项。样品分析采用了统一的化学分析方法和 γ 谱法、液体激光荧光法等。对不同方法，不同实验室之间进行了比对，调查数据用BCM-S68K微型电子计算机处理。整个调查工作具有严密的组织管理体系，并严格执行了质量保证的有关规定，从而保证了调查工作的顺利进行和数据的准确可靠。

调查结果表明，当前所调查的长江水体中放射性核素的含量远低于国家对露天水源的限制浓度。所调查的几种鱼，其放射性核素含量远低于国家规定的限制浓度。土壤调查结果表明，放射性核素含量一般均在国内外报道的背景值以内。剂量估算表明，常年使用长江水（包括饮用、食鱼及食用用长江水灌溉农田上生长的稻米和蔬菜），居民所接受的最大个人有效剂量当量仅占天然辐射水平的2%。因此，就放射性核素影响而言，工业、农业、交通及居民使用长江水都是安全的。

本汇编共分三大部分：第一篇为长江水系放射性水平调查，收入了调查总报告、各支流报告、核素分析、河段调查及大气沉降对江水放射性水平的影响等文章；第二篇为长江水系辐射环境质量评价，收入了评价总报告、个别支流居民所受剂量的估算与评价，以及用于长江水系剂量估算的计算机程序等文章；第三篇为长江水系放射性水平调查的质量管理，收入了有关组织管理、采样工作、样品分析测量的质量控制等文章。原拟收入的《长江水系放射性水平调查分析方法》和《国外水系辐射监测译文集》已作为本汇编附本单独成册印发，这次不再收入本汇编。

读者从本汇编中可全面了解长江水系放射性水平现状、分布特点等辐射环境状况。

本汇编可为制定长江水系环境保护的全面规划和估算居民剂量提供参考数据；可为制定我国水质标准提供依据；并可为探索核素在环境中转移规律提供资料。

本汇编可供环境科学、辐射防护、放射卫生和放射生物等学科领域的广大科学技术工作者参考。

本汇编经潘自强等同志审阅，特此致谢。由于时间仓促和水平所限，不足之处恳请广大读者指正。

编者

1986年12月

ABD 96/07

.....
.....
《长江水系放射性水平调查及评价》

编辑委员会

主 编 李振平

副主编 王志波 陈明峻

编 委 (按姓氏笔画排列)

王志明 王志波 朱震南

孙维藩 杨启烈 李振平

李盛芳 肖柏如 何振芸

陈明峻 罗国祯 **章仲侯**

韩国光 廖振松

.....
.....

目 录

前言

第一篇 长江水系放射性水平调查

长江水系放射性水平调查	(3)
长江水系放射性水平按流量加权的结果	(16)
大气沉降对江水放射性水平的影响	(21)
长江水系水中总 α 放射性水平	(27)
长江水系水中总 β 放射性水平	(31)
长江水系铀放射性水平	(33)
长江水系水中天然钍放射性水平	(41)
长江水系水中 ^{226}Ra 放射性水平	(44)
长江水系 ^{102}Po 放射性水平	(47)
长江水系水中 ^{40}K 放射性水平	(50)
长江水系水中 ^3H 放射性水平	(53)
长江水系水中 ^{90}Sr 放射性水平	(59)
长江水系水中 ^{137}Cs 放射性水平	(62)
长江水系 ^{239}Pu 放射性水平	(67)
长江水系鱼类放射性水平调查	(70)
长江水系底部沉积物中放射性水平调查	(77)
汉江(陕西江段)沿岸土壤放射性水平调查	(84)
湘江两岸及洞庭湖区土壤放射性水平调查	(89)
川江水系放射性水平调查	(97)
洞庭湖水系放射性水平调查	(101)
鄱阳湖水系放射性水平调查	(110)
太湖和安徽、江苏运河水系放射性水平调查	(114)
金沙江河段放射性水平调查	(121)
青衣江河段放射性水平调查	(124)
嘉陵江河段放射性水平调查	(130)
乌江河段放射性水平调查	(136)
赣江河段放射性水平调查	(139)

第二篇 长江水系辐射环境质量评价

长江水系辐射环境质量评价	(145)
附录 用于长江水系放射性剂量估算的DFWY计算机程序	(174)
嘉陵江流域居民经水途径所受剂量的估算与评价	(176)

第三篇 长江水系放射性水平调查的质量管理

长江水系放射性水平调查组织体系与质量管理.....	(185)
长江干流放射性水平调查采样工作的质量保证措施.....	(189)
长江水系放射性水平调查分析测量工作的质量控制.....	(206)
附录 长江水系放射性水平调查参加单位及人员.....	(216)
长江水系放射性水平调查采样点分布图.....	(219)

第 一 篇

长江水系放射性水平调查

长江水系放射性水平调查

一、引言

长江为我国第一大河，世界第三大河，全长6300km，流域面积180万km²。长江发源于“世界屋脊”的青藏高原唐古拉山北麓，干流经过青海、西藏、云南、四川、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海等10个省、自治区、直辖市。从渡口到宜昌称为长江上游，长约2000km。从宜昌南津关峡口到江西湖口称为长江中游，长938km。湖口以下直到上海市入东海，称为长江下游，长853km。

长江水系干、支流共有3600多条河流，主要支流可分为川江水系（为调查方便，将汉水也包括在内），洞庭湖水系，鄱阳湖水系，安徽、江苏运河水系。

川江水系指在四川境内汇入长江干流的上游水系，它包括贯穿四川盆地的嘉陵江水系，岷江水系以及雅砻江、沱江、乌江、大渡河等主要支流。它们分别从南、北两个方向汇入长江。干流在四川境内的长度约占长江总长度的二分之一。流域面积约占四川省总面积的95%。洞庭湖水系包括洞庭湖和湘、资、沅、澧及其支流，流域面积24.7万km²，湖南境内占90%。鄱阳湖水系包括鄱阳湖和赣江、抚河、信江、修水及其支流，分布在江西省大部分地区。鄱阳湖是我国最大的淡水湖，湖水面积随季节变化，约为2700~5400km²。太湖和安徽、江苏运河水系指长江下游与长江相通的主要河道和湖泊，包括太湖、安徽巢县运漕河、江苏大运河和江苏溧阳的溧漕河。

长江水量年际变化不大，最大与最小年水量的比值一般在2左右。长江水量年内变化明显，6~10月为丰水期，这5个月的水量占年水量的61~75%。枯水期在12月至来年3月，水量未超过年水量的15%。长江干流水温，冬季最低在5℃左右，高于气温；春季在18℃左右，夏季水温最高在30℃左右，低于气温。这些条件有利于鱼类繁殖和工农业用水。

长江流域人口约3.5亿，工农业总产值占全国的45%以上。沿江居民使用江水包括生活饮用水、工业用水和灌溉田地，同时也包括打鱼、运输、运动和疗养等生产和娱乐活动。放射性物质在水体中的积聚，会通过各种用水途径构成对人体的辐射照射。本次调查的目的在于按照统一的技术和程序测定水体中各种放射性物质的浓度，分析、比较所得数据，了解水体中放射性物质的分布特点，对水系放射性状况及其卫生学意义做出评价，为制定长江水系水体保护规划和有关的环境标准提供依据和资料。

调查对象包括水、底泥、鱼类以及个别支流江系的土壤。分析测量项目有总 α ，总 β ，³H，⁴⁰K，⁹⁰Sr，¹³⁷Cs，U，Th，²²⁶Ra，²¹⁰Po，²³⁸Pu等共11项。共设65个站位，100个断面，119个采样点。其中长江干流49个采样点，川江水系23个采样点，洞庭湖水系21个采样点，鄱阳湖水系18个采样点，安徽、江苏运河水系8个采样点。于1984年丰水期与枯水期各采样一次。这次调查共采集了1347个样品，获得了上万个原始数据。

二、调查方法

1. 采样

根据调查的目的和要求,考虑到长江水系的地理特点、人口分布和可能的放射性污染源的分布,并尽量与当地厂矿或环保部门的监测断面相一致,来布置采样点位置。采样点分布见书末“长江水系放射性水平调查采样点分布图”。对多数断面,只取主航道中心距水面0.5m的表层水水样,在干流三大城市断面,设北岸、南岸和主航道三个采样点,并取主航道距水面15m的中层水样。在取水样的位置使用挖斗式采样器或HQM₃-5型底栖生物采样器取底泥样2kg(干重)。鱼样为当地江、湖主要鱼种,取一种鱼或2~3种混合,总重35kg(鲜重)。

土壤样按土壤类型分布面的主次而确定采样点数目。采样按统一规定的梅花型采集。

2. 样品的前处理

水样取后立即加酸(对³H, ⁴⁰K除外),调节pH≈2,保存。对⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²³⁹Pu样品加酸后静置24h,上清液加载体或沉淀剂,进一步浓缩后送回实验室分析。

鱼样去鳍、鳞、鳃和内脏后用蒸煮法将骨、肉分开,然后炭化、灰化。

底泥样品烘干、研磨、过筛(120目)后备用。

3. 分析测量方法

(1) 方法的选取

对⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, U, ²³⁹Pu采用已有的标准方法,其余项目采用国内外常用的成熟方法。放射性物质的测量方法见表1。

表1 各监测项目的测量方法

项 目	样 品	用 量	测 量 方 法	探 测 仪 器	探测下限*
总α	水样	5l, 10l	活性MnO ₂ 吸附载带法, 蒸发法	FJ-332α 低本底探测仪等	4.8×10 ⁻⁴ Bq
	底泥	1g	相对饱和层法	FJ-332α 低本底探测仪等	
	鱼样	0.5g灰	相对饱和层法	FJ-332α 低本底探测仪等	
总β	水样	3l	蒸发法	FJ-2600 低本底α, β探测仪等	2.0×10 ⁻² Bq
	底泥	2g	饱和层法	FJ-2600 低本底α, β探测仪等	
	鱼样	10g灰	饱和层法	FJ-2600 低本底α, β探测仪等	
³ H	水样	500ml	电解浓集法	FJ-353 双道液体闪烁计数器	1.0Bq
⁴⁰ K	水样	50ml	火焰光度法	EEL火焰光度计	3.0×10 ⁻³ Bq**
	底泥	300g	原子吸收分光光度法	YXF原子吸收光度计	
	鱼样	200mg	钾离子选择电极法 γ谱法, 同水样方法 同水样方法	401型钾电极 S-88Ge(Li) 谱仪, 同水样	
⁹⁰ Sr	水样	40l	二-(2-乙基己基)磷酸萃取色层法	FJ-2600低本底α, β探测仪	2.0×10 ⁻² Bq
	底泥	100g	二-(2-乙基己基)磷酸萃取色层法	FJ-2600低本底α, β探测仪	
	鱼样	10g灰	二-(2-乙基己基)磷酸萃取色层法	FJ-2600低本底α, β探测仪	

续表

项 目	样 品	用 量	测 量 方 法	探 测 仪 器	探测下限*
^{137}Cs	水样	100 l	AMP吸附、碘铋酸铯沉淀制 源、 β 计数	低本底 β 测量仪	$2.0 \times 10^{-2} \sim 2.0 \times 10^{-3} \text{ Bq}$
	底泥	300 g	γ 谱法	S-88Ge(Li) 谱仪	
	鱼样	5~10 g 灰	同水样	S-88Ge(Li) 谱仪	同水样
U	水样	100 ml	激光法	UA-3铀分析仪	
	底泥	300 g	固体荧光法	光电荧光光度计	$5.0 \times 10^{-5} \text{ g}$
	鱼样	200 mg	γ 谱法 固体荧光法	S-88Ge(Li) 谱仪 光电荧光光度计	同水样
Th	水样	2~5 l	N-235-二甲苯萃取分光光度法	751分光光度计	$1.0 \times 10^{-7} \text{ g}^{**}$
	底泥	300 g	γ 谱法	S-88Ge(Li) 谱仪	
	鱼样	2 g 灰	同水样	同水样	同水样
^{226}Ra	水样	10 l	氢氧化铁载带射气法	FD-125型钍钍仪	$5.0 \times 10^{-3} \text{ Bq}$
	底泥	300 g	γ 谱法	S-88Ge(Li) 谱仪	
	鱼样	4 g 灰	王水浸取, 射气法	同水样	同水样
^{210}Po	水样	10 l	氢氧化物吸附法, 银片自沉积, α 测量		
	底泥	50 g	氢氧化物吸附法, 银片自沉积, α 测量	六路低本底	$4.0 \times 10^{-4} \text{ Bq}$
	鱼样	4 g 干样	氢氧化物吸附法, 银片自沉积, α 测量	α 探测仪	
^{239}Pu	水样	100 l	氢氧化物沉淀-阴离子交换法	六路低本底	
	底泥	30 g	氢氧化物沉淀-萃取色层法	α 探测仪	$3.0 \times 10^{-4} \text{ Bq}$
			硝酸浸取后, 按水样测量方法		

* 探测下限 $= \frac{3}{\eta} \sqrt{\frac{2B}{t}}$, 式中 η 为仪器效率, B 为本底计数率, t 为测量时间。

** 该值为化学法测量的灵敏度。

(2) 质量控制

质量控制是环境监测十分重要的技术工作。它包括分析实验室内部质量控制与外部质量控制。前者包括空白试验, 校准曲线核查, 平行样分析, 加标样分析, 编制质量控制图等。外部质量控制主要是分发标准样品进行实验室间的评价。

在长江水系调查中做了下列几项有关质量控制方面的工作。对不同方法, 不同实验室之间进行了方法比对。对采用的分析方法进行了环境样品的验证实验。放射化学法分析样品时采用平行样, 部分样品做了加标样分析。分析结果进行互检, 对水样中U的两种分析方法结果进行比较, 同时对底泥样品的化学分析法和 γ 谱法进行比较。绘制了仪器本底质量控制图。所有的原始数据经过整理、复核后输入BCM-S 68K微型电子计算机进行处理。

三、结 果

1. 水中放射性水平与分布

长江水系水中各种放射性物质的测量结果列于表2。表中给出的各监测项目的算术平均

值由各采样点枯、丰两水期均值计算而得。枯水期采样点113, 丰水期采样点119, 丰水期新增加6个采样点, 在分析丰水期结果及核素分布时用了这些数据。但考虑到多数核素浓度在枯、丰水期存在系统差异, 所以这些新增加的采样点分析结果未计入全年均值。未检出样品按最低可探测限参加计算平均值。

由表2数据可知, 天然铀对水中总 α 放射性浓度的贡献大约占1/3 ($2.2 \times 10^{-2} \text{Bq/l}^{-1}$), 天然钍的贡献大约占1/4 ($1.7 \times 10^{-2} \text{Bq/l}^{-1}$), 而 ^{40}K 对水中总 β 放射性浓度的贡献大于50%。

表2 长江水系水中放射性水平

项 目	样 品 数	范 围*	均值±标准误
总 α , $\times 10^{-2} \text{Bq/l}$	220	1.1~27.4	6.9±0.3
总 β , $\times 10^{-2} \text{Bq/l}$	152	4.1~29.9	10.6±0.2
^3H , Bq/l	216	1.9~19.2	7.7±0.2
^{40}K , $\times 10^{-2} \text{Bq/l}$	212	1.5~12.8	4.9±0.1
^{90}Sr , $\times 10^{-3} \text{Bq/l}$	212	1.6~67.4	13.7±0.6
^{137}Cs , $\times 10^{-4} \text{Bq/l}$	218	0.3~27.1	5.0±0.3
U , $\times 10^{-1} \mu\text{g/l}$	224	0.7~45.1	8.8±0.4
Th , $\times 10^{-1} \mu\text{g/l}$	212	0.2~10.8	1.6±0.1
^{226}Ra , $\times 10^{-3} \text{Bq/l}$	222	0.4~25.7	6.0±0.2
^{210}Po , $\times 10^{-3} \text{Bq/l}$	148	0.1~13.5	1.8±0.2
^{239}Pu , $\times 10^{-5} \text{Bq/l}$	30	0.3~11.0	2.6±0.2

* 个别奇异点应用数理统计方法作了舍弃。

枯水期与丰水期结果比较列于表3。

表3 枯水期与丰水期结果比较

项 目	枯 水 期		丰 水 期	
	样 品 数	均值±标准误	样 品 数	均值±标准误
总 α , $\times 10^{-2} \text{Bq/l}$	110	5.6±0.4	114	8.0±0.5
总 β , $\times 10^{-2} \text{Bq/l}$	76	9.5±0.5	80	12.0±0.5
^3H , Bq/l	110	7.3±0.3	115	8.3±0.4
^{40}K , $\times 10^{-2} \text{Bq/l}$	106	4.4±0.2	117	5.2±0.2
^{90}Sr , $\times 10^{-3} \text{Bq/l}$	111	10.5±0.9	112	16.3±1.2
^{137}Cs , $\times 10^{-4} \text{Bq/l}$	102	5.8±0.6	116	4.2±0.3
U , $\times 10^{-1} \mu\text{g/l}$	112	10.1±0.8	117	7.4±0.4
Th , $\times 10^{-1} \mu\text{g/l}$	106	1.5±0.4	117	1.6±0.1
^{226}Ra , $\times 10^{-3} \text{Bq/l}$	111	3.0±0.2	116	8.8±0.6
^{210}Po , $\times 10^{-3} \text{Bq/l}$	75	2.1±0.3	79	1.4±0.1
^{239}Pu , $\times 10^{-5} \text{Bq/l}$	15	1.7±0.7	15	3.6±0.7

经过统计学检验发现, 总 α , 总 β , ^{90}Sr , ^{226}Ra 枯水期与丰水期之间差别非常显著。 ^3H , ^{40}K , ^{137}Cs , U , ^{210}Po , ^{239}Pu 枯水期与丰水期之间差别显著。

造成上述的结果其原因可能有如下几点:

(1) 总 α , ^{226}Ra , ^{210}Po 等主要存在于土壤和岩石中, 丰水期恰是长江流域的雨季, 雨水冲刷着土壤和风化后的岩石会将核素带入江河。例如土壤中 ^{226}Ra 平均含量为 3.7×10^{-2}

表4 水中放射性核素浓度的比较 (1)

项 目	干				流		支				湖 泊
	上 游	中 游	下 游	总 平 均	川江 (s) 水系	洞庭湖水系 (s)	鄱阳湖水系 (s)	安徽、江苏运河			
总 α , $\times 10^{-1}$ Bq/l 样品数	8.3 $\pm$ 0.7 26	6.5 $\pm$ 0.8 34	7.5 $\pm$ 0.4 38	7.4 $\pm$ 0.3 98	5.9 $\pm$ 0.8 40	8.6 $\pm$ 1.0 40	4.6 $\pm$ 1.0 24	6.2 $\pm$ 0.7 12	8.5 $\pm$ 2.1 16		
总 β , $\times 10^{-1}$ Bq/l 样品数	10.1 $\pm$ 0.4 26	9.6 $\pm$ 0.2 30	10.7 $\pm$ 0.3 38	10.2 $\pm$ 0.2 94	11.6 $\pm$ 1.0 40	—	—	11.0 $\pm$ 1.2 12	9.1 $\pm$ 0.05 4		
^3H , Bq/l 样品数	9.0 $\pm$ 0.5 26	7.7 $\pm$ 0.5 34	8.3 $\pm$ 0.2 36	8.3 $\pm$ 0.2 96	9.9 $\pm$ 0.6 36	5.1 $\pm$ 0.4 40	7.0 $\pm$ 0.8 26	6.8 $\pm$ 0.8 12	5.7 $\pm$ 0.5 18		
^{40}K , $\times 10^{-1}$ Bq/l 样品数	4.1 $\pm$ 0.1 26	3.9 $\pm$ 0.1 34	4.9 $\pm$ 0.2 38	4.3 $\pm$ 0.1 98	4.8 $\pm$ 0.4 40	5.0 $\pm$ 0.3 40	6.2 $\pm$ 0.7 16	7.4 $\pm$ 1.3 12	5.7 $\pm$ 0.2 16		
^{90}Sr , $\times 10^{-3}$ Bq/l 样品数	14.7 $\pm$ 1.4 18	16.8 $\pm$ 1.7 32	19.8 $\pm$ 2.0 38	17.1 $\pm$ 1.0 86	6.0 $\pm$ 0.7 38	9.1 $\pm$ 0.8 40	10.9 $\pm$ 1.7 28	20.8 $\pm$ 4.3 12	18.1 $\pm$ 4.8 18		
^{137}Cs , $\times 10^{-4}$ Bq/l 样品数	2.3 $\pm$ 0.3 22	7.7 $\pm$ 0.7 30	7.6 $\pm$ 0.8 34	5.9 $\pm$ 0.1 86	4.8 $\pm$ 0.5 38	3.4 $\pm$ 0.7 40	3.8 $\pm$ 0.7 22	2.7 $\pm$ 0.3 12	2.6 $\pm$ 0.3 16		
U, $\times 10^{-1}\mu\text{g/l}$ 样品数	9.5 $\pm$ 0.5 26	8.9 $\pm$ 0.4 34	6.9 $\pm$ 0.2 38	8.3 $\pm$ 0.2 98	11.2 $\pm$ 0.9 40	12.3 $\pm$ 2.0 40	3.8 $\pm$ 1.0 28	7.2 $\pm$ 2.0 12	5.7 $\pm$ 1.0 18		
Th, $10^{-1}\mu\text{g/l}$ 样品数	2.0 $\pm$ 0.3 24	2.2 $\pm$ 0.4 28	1.6 $\pm$ 0.2 34	1.9 $\pm$ 0.3 86	1.4 $\pm$ 0.2 40	1.4 $\pm$ 0.1 40	0.6 $\pm$ 0.0 28	2.8 $\pm$ 0.7 12	1.3 $\pm$ 0.2 18		
^{226}Ra , $\times 10^{-3}$ Bq/l 样品数	8.3 $\pm$ 0.6 26	7.7 $\pm$ 0.2 34	5.4 $\pm$ 0.2 38	7.2 $\pm$ 0.3 98	8.7 $\pm$ 0.9 38	3.9 $\pm$ 0.6 40	3.0 $\pm$ 0.7 28	2.8 $\pm$ 0.4 12	2.9 $\pm$ 0.4 18		
^{210}Po , $\times 10^{-3}$ Bq/l 样品数	1.5 $\pm$ 0.3 12	1.0 $\pm$ 0.1 28	1.0 $\pm$ 0.1 28	1.1 $\pm$ 0.1 68	1.8 $\pm$ 0.6 10	1.9 $\pm$ 0.3 40	3.2 $\pm$ 0.5 28	— —	— —		
^{239}Pu , $\times 10^{-5}$ Bq/l 样品数	0.9 $\pm$ 0.2 12	— —	— —	0.9 $\pm$ 0.2 12	3.8 $\pm$ 0.8 18	— —	— —	— —	— —		

(1) 均值标准误差。(2) 川江水系未包括长江干流的采样点。(3) 洞庭湖、鄱阳湖数据曾重复使用。

Bq/g, ^{210}Po 为 $(0.81\sim 2.2)\times 10^{-2}\text{Bq/g}$ 。大量夹带泥砂的洪水沿着各支流涌入长江,致使江水猛涨,因而上述核素丰水期较枯水期高。

(2) 核武器试验是产生 ^{90}Sr 的主要来源,江水中总 β 和 ^{90}Sr 也主要来自核试验。长江流域约有50~70%的雨水在丰水期降落。同时 ^{90}Sr 在土壤中的丰度较大且不易被土壤束缚,随着雨水冲刷进入江河,从而造成丰水期总 β 和 ^{90}Sr 浓度高于枯水期。

(3) ^{137}Cs 能够被水中悬浮物和泥砂强烈吸附,而丰水期水中泥砂含量远大于枯水期,从而造成 ^{137}Cs 丰水期低于枯水期。

将水系的数据按干流、支流,湖泊分类比较,结果列于表4。

从表4中看出,干流中U, ^{226}Ra 从上游到下游有逐渐降低的趋势。 ^{90}Sr 从上游到下游有逐渐升高的趋势。经统计学检验, U, ^{226}Ra 值是上游、中游高于下游, ^{137}Cs 值是中游、下游高于上游。

在支流水系中,经统计学检验,洞庭湖水系总 α , U与其他水系差别显著;川江水系 ^3H , ^{226}Ra , U与其他水系差别显著;安徽、江苏运河水系 ^{90}Sr 与其他水系差别显著。

鄱阳湖、洞庭湖和太湖湖水中的放射性物质浓度的比较列于表5。

表5 三大湖泊水中放射性浓度比较

项 目	洞 庭 湖 均值±标准误	鄱 阳 湖 均值±标准误	太 湖 均值±标准误
样 品 数	8	4~6*	4
总 α , $\times 10^{-3}\text{Bq/l}$	13.6±2.3	3.2±0.5	3.7±0.4
^3H , Bq/l	5.0±0.5	6.1±0.1	6.6±0.1
^{40}K , $\times 10^{-3}\text{Bq/l}$	5.8±0.3	5.2±0.8	5.7±0.6
^{90}Sr , $\times 10^{-3}\text{Bq/l}$	8.1±1.1	16.8±4.4	40.2±0.9
^{137}Cs , $\times 10^{-4}\text{Bq/l}$	2.1±0.6	2.1±1.2	3.8±0.6
U, $\times 10^{-1}\mu\text{g/l}$	9.6±0.6	2.4±0.4	2.8±0.2
Th, $\times 10^{-1}\mu\text{g/l}$	1.6±0.2	0.6±0.1	1.6±0.3
^{226}Ra , $\times 10^{-3}\text{Bq/l}$	3.4±0.4	2.9±1.2	2.2±0.4
^{210}Po , $\times 10^{-3}\text{Bq/l}$	1.1±0.1	3.5±0.7	
总 β , $\times 10^{-2}\text{Bq/l}$			9.1±0.1

* 鄱阳湖总 α , ^3H , ^{40}K , ^{137}Cs 四项样品数为4, 其他项为6。

从表5得知,鄱阳湖、太湖的 ^{90}Sr 明显高于洞庭湖,经统计学检验有非常显著性差别,洞庭湖的U明显高于鄱阳湖、太湖的;而鄱阳湖的钍最低。

在长江中,下游水流较平稳的地区,分别选择了7个断面进行江心与两岸比较,结果绝大多数核素比值接近1,说明同一断面是混合得比较均匀的。在同一断面的江心,分别取表层水和中层水进行比较,其比值基本上也接近1。

水中几组天然核素的相关分析列于表6,从表中可知总 α - ^{226}Ra ,总 α -U, ^{226}Ra -U,总 β - ^{40}K 四组彼此是正相关,其他几组尚未看出相关性。

根据长江水源保护局提供的资料,1984年流量均值为 $27600\text{m}^3/\text{s}$,则每年由长江水(不包括水中泥砂)带进东海的放射性物质分别为370t铀,13t钍,3.48TBq(^{94}Ci) ^{226}Ra ,0.41TBq(^{111}Ci) ^{137}Cs ,11.7TBq(^{315}Ci) ^{90}Sr ,7.77PBq($2.1\times 10^5\text{Ci}$) ^3H 。

在本次调查以前,对长江水系放射性水平的调查结果及国内外其他水系水中放射性核素浓度值可参见文献[1~13]。

表6 水中几种天然核素的相关分析

组 别	自 由 度	计算 γ 值	理论 γ 值 $\gamma=0.05$	判 断	直 线 方 程
总 α - ^{226}Ra	107	0.215	0.195	正相关	$y=0.0178x+4.898$
总 α -U	108	0.230	0.195	正相关	$y=1.702x+5.385$
总 α -Th	102	0.021	0.195	无相关	
总 α - ^{210}Po	70	-0.042	0.232	无相关	
^{226}Ra -U	109	0.315	0.195	正相关	$y=1.953x+4.345$
^{226}Ra - ^{210}Po	72	-0.003	0.232	无相关	
总 β - ^{40}K	74	0.575	0.232	正相关	$y=0.962x+5.996$

2. 底泥中放射性水平

底部沉积物(简称底泥)在水环境放射生态系中起着重要作用^[14~18]。进入水中的放射性污物质会通过水中悬浮物的吸附沉积到底部。吸收或吸附有放射性物质的水生生物的残骸的沉积,也可能是底泥中放射性的另一重要来源。底泥中的放射性物质通过上述途径可能达到很高的水平,因此调查底泥中的放射性水平是评价水系状况的一个重要方面。

长江水系底泥中放射性水平的测定结果见表7。各种放射性核素在底泥中富集的情况是不同的,以单位质量底泥中的活度与单位体积水中的活度相比,其比值定义为分配系数,所

表7 底泥中的放射性水平

项 目	样 品 数	范 围	均值士标准误
总 α , $\times 10^2\text{Bq/kg}$	76	3.80~52.2	15.3 ± 0.71
总 β , $\times 10^2\text{Bq/kg}$	38	1.10~27.0	7.57 ± 0.22
^{40}K , $\times 10^2\text{Bq/kg}$	104	2.00~10.0	5.16 ± 0.12
U, $\times 10^3\mu\text{g/kg}$	118	0.40~20.9	2.05 ± 0.12
Th, $\times 10^3\mu\text{g/kg}$	110	2.80~31.9	12.4 ± 0.52
^{226}Ra , Bq/kg	106	15.0~442	40.8 ± 2.2
^{210}Po , Bq/kg	82	4.10~176	41.3 ± 3.6
^{90}Sr , Bq/kg	72	0.20~16.1	4.53 ± 0.45
^{137}Cs , Bq/kg	34	0.50~54.1	6.95 ± 1.68
^{239}Pu , $\times 10^{-1}\text{Bq/kg}$	24	0.60~5.50	2.40 ± 0.35

表8 放射性核素在底部沉积物中的分配系数

项 目	分 配 系 数
总 α	$(3.5\pm 0.4)\times 10^4$
总 β	$(7.6\pm 0.5)\times 10^3$
^{40}K	$(1.4\pm 0.1)\times 10^4$
^{90}Sr	$(2.8\pm 0.3)\times 10^2$
^{226}Ra	$(2.1\pm 0.3)\times 10^4$
Th	$(1.3\pm 0.1)\times 10^5$
U	$(6.5\pm 1.0)\times 10^3$
^{239}Pu	$(2.2\pm 0.5)\times 10^4$
^{210}Po	$(1.0\pm 0.3)\times 10^5$
^{137}Cs	$(4.0\pm 1.1)\times 10^4$

得结果列于表8。由表8的数据可以看出,分配系数以极易被微粒物质吸附的 ^{210}Po 和形成难溶化合物的Th为最高。稳定同位素丰度较大、易于迁移的 ^{90}Sr ,分配系数最低。

3. 鱼样品中的放射性水平

本次调查中,鱼样品的采集为一次性采样(1984年9月)。根据自然条件及污染源分布,在长江干流、支流及三个湖泊(洞庭湖、鄱阳湖、太湖)共设14个站位进行采样。采集到的鱼品种有杂鱼(细鳞裂腹鱼、长鳍吻鲈鱼、中华倒刺鲃、圆口铜鱼及鲢鱼等)、鲤鱼、草鱼和鲢鱼等,测得的结果见表9。各种放射性核素在鱼样品中的富集系数,随放射性核素的不同以及样品种类(鱼、骨)不同而异。表10列出鱼肉、鱼骨的富集系数。表10表明,鱼肉的总 β , ^{137}Cs , ^{210}Po 的富集系数较高,U最低。影响富集系数的因素很多,可以说是因地而异的。在本次调查中,虽然样品数较少,就平均值而言,所得各核素的富集系数均在文献报道的范围值内^[19,20]。

表9 鱼样品中放射性水平

项 目	样品名称	样品数	范围*	平均值±标准误
U, $\mu\text{g/kg}$ (鲜重)	肉	19	0.17~9.39	1.49±0.51
	骨	17	4.50~84.3	24.3±5.0
Th, $\mu\text{g/kg}$ (鲜重)	肉	17	0.18~2.80	1.91±0.44
	骨	14	1.26~27.0	15.6±2.2
^{226}Ra , $\times 10^{-2}\text{Bq/kg}$ (鲜重)	肉	20	1.49~6.68	3.11±0.35
	骨	16	6.26~459	162±27
^{40}K , Bq/kg (鲜重)	肉	9	0.07~77.8	58±6.5
	骨	—	—	—
^{210}Po , Bq/kg (鲜重)	肉	17	0.06~5.18	1.55±0.34
	骨	18	1.16~9.05	4.54±0.55
^{90}Sr , $\times 10^{-1}\text{Bq/kg}$ (鲜重)	肉	19	0.07~20.0	0.38±0.07
	骨	17	2.1~1330	251±91
^{137}Cs , $\times 10^{-2}\text{Bq/kg}$ (鲜重)	肉	20	0.25~8.0	3.03±0.43
	骨	5	2.4~34.0	14.2±2.2
总 α , Bq/kg (鲜重)	肉	17	0.0006~0.69	0.18±0.06
	骨	16	0.054~20.2	4.58±1.35
总 β , Bq/kg (鲜重)	肉	20	51.5~103	75.5±3.8
	骨	18	4.48~191	74.3±12.2

* 个别奇异点应用数理统计方法作了舍弃。

表10 鱼类的富集系数

项 目	鱼 肉		鱼 骨	
	样 品 数	富集系数	样 品 数	富集系数
总 α	18	1.3×10	16	1.3×10^2
总 β	12	7.0×10^2	10	1.7×10^3
^{90}Sr	18	3.5	10	1.4×10^3
^{137}Cs	20	1.5×10^2	—	—
^{210}Po	16	4.6×10^2	17	2.0×10^3
U	19	2.1	19	7.1×10
Th	16	17.2	16	1.2×10^2
^{226}Ra	19	6.2	18	2.8×10^2