

中国阳江 高本底辐射研究

魏履新 等 编著

*HIGH BACKGROUND RADIATION
RESEARCH IN YANGJIANG CHINA*

原子能出版社 *Atomic Energy Press*

中国阳江高本底辐射研究

High Background Radiation Research in Yangjiang China

魏履新 等编著

原子能出版社

Atomic Energy Press

图书在版编目(CIP)数据

中国阳江高本底辐射研究/魏履新等编著. 北京:原子能出版社,1996.9

ISBN 7-5022-1525-5

I. 中… II. 魏… III. 大地辐射-本底污染-本底调查-研究-中国-阳江 IV. X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 11126 号

内 容 简 介

本书是根据高本底辐射研究组对广东省阳江高本底辐射地区及其对照地区长达 17 年的多学科协作研究成果进行系统总结汇集而成的。全书包括环境辐射水平与居民受照剂量,高本底辐射地区与对照地区环境与人群的可比性,居民平均寿命与死因,辐射致癌、致畸变和致突变效应。书中在小剂量、低剂量率照射对人群健康的影响方面构成了一个整体;并在每篇文章中从研究途径、方法和结果等方面作了详细介绍;还结合现有的知识对小剂量电离辐射对人体的作用机理方面作了讨论。

本书可供放射卫生和辐射防护工作者,放射医学、放射生物学和辐射流行病学等研究和教学人员参考。

Brief Introduction

This book systematically summarizes the research work conducted by the High Background Radiation Research Group (HBRRG, China) from 1972 through 1990 on health survey in the high background radiation areas in Yangjiang, Guangdong Province of China and the nearby control areas, which provided some information for evaluating whether any detrimental effect of low dose, low dose rate exposure exists. It includes: environmental radiation levels and doses estimation, comparability of host and environmental factors which may affect the incidence and mortality of mutation-related diseases other than ionizing radiation between the investigated areas and the control areas, mortality rate of cancer and incidence of hereditary diseases and congenital deformities, and the frequencies of chromosomal aberrations among the inhabitants whose families have lived in such areas for many generations. The results of observation were analyzed and discussed for exploring the mechanism that the low dose of ionizing radiation acts on the human beings.

©原子能出版社,1996

原子能出版社出版 发行

责任编辑:李 镁

社址:北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码:100037

原子能出版社印刷厂印刷 新华书店经销

开本:787×1092mm 1/16 印张 15.63 字数 390 千字

1996 年 9 月北京第 1 版 1996 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—600

定价:43.50 元

总结实践经验
巩固科研成果

陈敏章

一九五五年十月

《中国阳江高本底辐射研究》编委会

主 任 魏履新 Wei Lüxin

Chief Editor

委 员

Editors

魏履新 Wei Lüxin

查永如 Zha Yongru

陶祖范 Tao Zufan

何伟辉 He Weihui

陈德清 Chen Deqing

袁镛龄 Yuan Yongling

赵 儒 Zhao Ru (特邀)

学术秘书 陈德清 Chen Deqing (兼)

Scientific Secretary

《中国阳江高本底辐射研究》作者名单

(按撰写文章先后为序)

魏履新(Wei Lixin), 卫生部工业卫生实验所, 北京 100088

(Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Public Health, Beijing 100088), 教授

查永如(Zha Yongru), 广东省职业病防治院, 广州 510260

(Guangdong Prevention and Treatment Center of Occupational Diseases, Guangzhou 510260), 主任医师

陶祖范(Tao Zufan) 卫生部工业卫生实验所, 北京 100088

(Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Public Health, Beijing 100088), 研究员

何伟辉(He Weihui), 广东省职业病防治院, 广州 510260

(Guangdong Prevention and Treatment Center of Occupational Diseases, Guangzhou 510260), 主任医师

陈德清(Chen Deqing), 卫生部工业卫生实验所, 北京 100088

(Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Public Health, Beijing 100088), 研究员

袁镛龄(Yuan Yongling), 湖南省劳动卫生研究所, 长沙 410007

(Hunan Institute of Labour Hygiene, Changsha 410007), 研究员

赵士庵(Zhao Shian), 卫生部工业卫生实验所, 北京 100088

(Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Public Health, Beijing 100088), 副研究员

崔广志(Cui Guangzhi), 卫生部工业卫生实验所, 北京 100088

(Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Public Health, Beijing 100088), 研究员

赵静华(Zhao Jinhua), 湖南省劳动卫生研究所, 长沙 410007

(Hunan Institute of Labour Hygiene, Changsha 410007), 副研究员

林钻轩(Lin Zuanxuan), 广东省职业病防治院, 广州 510260

(Guangdong Prevention and Treatment Center of Occupational Diseases, Guangzhou 510260), 副主任医师

杜开如(Du Kairu), 上海放射医学研究所, 上海 200032

(Shanghai Institute of Radiation Medicine, Shanghai 200032), 教授

梁绵英(Liang Mianying), 广东省职业病防治院, 广州 510260

(Guangdong Prevention and Treatment Center of Occupational Diseases, Guangzhou 510260), 主管技师

冯瑞林(Feng Ruilin), 广东省职业病防治院, 广州 510260

(Guangdong Prevention and Treatment Center of Occupational Diseases, Guangzhou 510260), 主管技师

周舜元(Zhou Shunyuan), 卫生部工业卫生实验所, 北京 100088

(Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Public Health, Beijing 100088), 副研究员

郭芙蓉(Guo Furong), 卫生部工业卫生实验所, 北京 100088

(Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Public Health, Beijing 100088), 主管技师

刘玉生 (Liu Yusheng), 卫生部工业卫生实验所, 北京 100088

(Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Public Health, Beijing 100088), 技术员

王作元 (Wang Zuoyuan), 卫生部工业卫生实验所, 北京 100088

(Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Public Health, Beijing 100088), 研究员

J. D. Boice Jr, National Cancer Institute, Bethesda, MD, USA

G. W. Beebe, National Cancer Institute, Bethesda, MD, USA

M. M. Kaplan, Farmbrook Medical Two, Southfield, MI, USA

H. R. Maxon III, University of Cincinnati Medical Center, Cincinnati, OH, USA

A. B. Schneider, Michael Reese Hospital and Medical Center, Chicago, IL, USA

T. A. Wesseler, University of Cincinnati Medical Center, Cincinnati, OH, USA

A. G. Ershow, National Cancer Institute, Bethesda, MD, USA

R. A. Kleinerman, National Cancer Institute, Bethesda, MD, USA

L. G. Littlefield, Medical Sciences Division, Oak Ridge Associated Universities, Oak Ridge, TN, USA

D. Preston, National Cancer Institute, Bethesda, MD, USA

S. A. Mednick, University of Southern California, Social Science Institute, Los Angeles, California
90089-111, USA

高长文 (Gao Changwen), 卫生部工业卫生实验所, 北京 100088

(Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Public Health, Beijing 100088), 技师

崔燕薇 (Cui Yanwei), 广东省妇幼保健院, 广州 510000

(Guangdong Maternal and Child Health Center, Guangzhou 510000), 主任医师

刘树铮 (Liu Shuzheng), 白求恩医科大学, 卫生部放射生物实验室, 长春 130021

(Department of Radiobiology, Norman Bethune University of Medical Sciences, Changchun
130021), 教授

张纯祥 (Zhang Chunxiang), 中山大学物理系, 广州 510275

(Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275), 教授

W. Hofmann Division of Biophysics, University of Salzburg, Austria

R. Katz Department of Physics, University of Nebraska, Lincoln, USA

李开宝 (Li Kaibao), 卫生部工业卫生实验所, 北京 100088

(Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Public Health, Beijing 100088), 研究员

赵招罗 (Zhao Zhaolou), 卫生部工业卫生实验所, 北京 100088

(Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Public Health, Beijing 100088), 主管技师

序

《中国阳江高本底辐射研究》一书出版了。这本书是我国乃至国际上,对小剂量电离辐射效应进行科学评价的一部具有珍贵价值的科学作品,其重要的理论与实际意义远远超过了这一课题的本身。

小剂量、低剂量率的电离辐射对人的健康有无危害,这是当前在放射生物学、放射医学与辐射防护中广大公众最关注的课题之一。在著名放射卫生学家魏履新教授的领导下,课题组的同仁于1972年开始进行了长期的研究。研究中选择了较对照地区的本底辐射高3倍的广东省阳江高本底地区的居民为对象,进行了多学科深入调查研究。这一地区具有人口多、世代居住的特征,有长期保存的历史档案及可用的人口资料。这些都为课题研究提供了基本资料。

研究者们用恰当的统计方法对观察到的百万人年的癌症死亡资料进行了分析,未发现癌症死亡率的增加;研究中还除白血病外全部癌的超额相对危险做出了估计,并给出了统计学的不确定度;高本底地区儿童先天性畸形和遗传性疾病总患病率与对照地区的基本相同,其唐氏综合征患病率也在一般地区患病率范围内(0.87‰),但非常显著的高于对照(0.18‰);高本底地区居民外周血淋巴细胞染色体畸变率高于对照,而其免疫反应能力也有增强的趋势。

本研究坚持了长期追踪观察,以获得统计学要求的人年数;采用多种方法和仪器进行剂量测量,并参加国际比对,以得到可靠的测量数据;在混杂因素的分析 and 对照人群的选择上,用不同方法做了广泛深入的研究,以确定高本底和对照地区人群的可比性。这样,所得的结果优于国际上同类研究的水平。

本研究前后共发表论文近百篇,第一篇论文在1980年美国的《科学》杂志上发表以来,受到了国内外学术机构与学者的高度重视。研究结果被联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)、国际放射防护委员会(ICRP)、国际原子能机构(IAEA)及世界卫生组织(WHO)等权威学术机构引用。日本同行将研究论文译成日文专辑。

这一研究提供的重要结论,从核能应用的实践上,为核电站及放射性厂矿的选址,放射卫生标准的制订,核事故后的卫生学评价,以至于安定人们的社会心理状态等都将会起到重要的作用,产生重大的社会效益。从理论上,对传统的概念“任何剂量的辐射都是有害的”提出了质疑,为近年来放射生物学家们所探讨的小剂量电离辐射的“刺激”与“适应性”效应的研究,提供了极其珍贵的人群资料。

我相信这本书的问世,必将受到国内外学者由衷的欢迎,大大推进这一领域的研究向着更高层次发展。

吴德昌

中国工程院院士

1996年8月

前 言

1970年在卫生部组织召开的放射性本底监测、放射卫生防护会议上,由于与会者在小剂量电离辐射对人体健康影响的认识上存在着分歧,因而对放射卫生防护标准的限值不能取得一致的意见。当时的卫生部领导确定先进行调查研究,待取得可用资料之后再定限值。在制定研究计划时把“高本底辐射地区居民健康状况与放射性本底水平的关系的调查”列为研究课题之一。

经过一年多时间的准备后,由广东省职业病防治院、湖南省劳动卫生研究所和卫生部工业卫生实验所等单位组成的高本底辐射调查协作组(现改称“高本底辐射研究组”)根据地质部门提供的线索于1972年对广东省阳江的一些地区和邻近的正常本底地区进行了较为详细的探索性调查。这次探索性调查发现:阳江的一些地区不仅具有天然放射性本底水平高的特点,而且具有人口众多、世代居住的特征,在辐射水平和人群数量方面提供了深入研究的基础。另外,当地具有有效的民政管理和完整的医疗卫生体系,有长期保存的历史档案和大体上可用的人口资料,特别可贵的是当地民风诚实朴素,并乐于和本研究组合作,为开展调查研究提供了必要的条件。在当地政府和卫生机构的支持下,高本底辐射研究组经过对研究地区的选择(包括对照地区的选择)和技术准备于1975年起开展了系统的调查研究工作。

在研究工作的早期,辐射测量和剂量学方面的参考文献较多,但同类研究的流行病学资料短缺,主要的参考文献来自联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)的报告书、印度和巴西公布的高本底辐射调查报告以及日本、美国合办的原子弹灾害委员会(ABCC,1975年改名为放射线影响研究所,简称RERF)早期发表的材料。虽然当时ABCC还未对小剂量照射人群的观察结果进行专门的统计学分析,但他们使用的方法学和他们研究资料的严谨性对我们均有重要的参考意义。由于认识到本研究结果和结论的重要性,本研究组从一开始就十分重视调查工作中的质量保证和质量控制。此外,为了使研究者了解全面的进展情况,使技术领导者能够协调各专题的任务,研究组至少每年举行一次工作会议。

高本底辐射地区居民健康调查的内容随着研究工作的进展逐步由广泛而趋于集中。在辐射水平和剂量学方面重视对人体直接测量的数据;在健康影响方面则集中于恶性肿瘤死亡率的调查、宿主和环境干扰因素的研究、唐氏综合征(Down's syndrome)患病率调查、免疫功能和染色体畸变的检查。为了揭示和表达研究结果潜在的含义,本研究组逐步开展生物实验和微量量学理论研究,并学习使用当代的生物统计学、健康危险估计模型和计算方法。

在1979年,笔者代表本研究组应邀在日本广岛放射线影响研究所(RERF)作了“中国高本底辐射地区居民健康状况调查”的演讲。这是本研究组第一次在国外报告研究结果。当时国际晚期效应组(ILEG)会议刚刚结束,许多国家的与会者参加了RERF举办的这次报告会。该报告引起了他们很大的兴趣。次年8月,美国《科学》杂志发表了这篇演讲的全文,引起了更为广泛的反应和兴趣。自此以后,本研究组几乎每年都有成员被邀请参加日本的辐射研究学术会议,并参加德国、美国、伊朗以及国际组织的有关会议。同时,本研究组也经常请国外专家学者来我国参加有关的国际会议或专题讨论会,以探讨共同关心的问题。如1986年在南京召开的小剂量电离辐射生物效应国际讨论会;1981,1985和1988年的高本底辐射研究组阶段总结学

术会议等,其中高本底会议有两次是在调查地区召开的。这些面对面的学术交流与讨论,以及报刊评论与书信往来使本研究组的工作生机盎然。它们开阔了研究者的眼界,增添了研究者的知识,更重要的是增强了研究者的信心 and 责任感以及从事本项研究的热情和兴趣。通过热烈的讨论往往给人留下难忘的印象,促使人们去思考、去深化这项研究。本研究组成员认识到:开展小剂量、低剂量率电离辐射对人群的健康影响研究是发展核能和电离辐射源应用必不可少的。由于可供调查的场所和人群有限,国际间的合作就显得非常重要。因此,我国的高本底辐射地区健康调查和研究的结果不仅能为我国提供有用的资料,而且对世界有关国家也将做出自己的贡献。

正是这些积极因素使本研究组在长期的共同事业中,始终保持着研究的热情,成为一个团结的集体。本研究组的经历从一个侧面体现了我国政府执行改革开放政策的正确性。我们的工作一直得到中华人民共和国卫生部、国家科学技术委员会的支持,从1985年起又得到了国家核安全局的支持。本研究工作还得到广东省各级政府和卫生机构的支持和具体帮助。本研究作为项目中的专题被列入国家“六五”、“七五”的科技攻关计划之内,受到极大重视。

本书的文章主要是在1988年高本底辐射研究组总结学术会议(台山会议)论文报告的基础上加以整理编撰而成。这些文章包括本研究组总的研究结果和各专题组17年工作的研究结果。本研究组用了两年多的时间核对数据、重新统计资料,并进行了多次讨论。对以往发表过的资料有的作了一些修改,但仍保留了原来的数据。为了使读者能够了解这项研究的过程和背景材料,编辑组编写了一些补充材料和附件。虽然这项研究仍在继续,所得的看法不是最终的结论,但是,现有的结果和分析对电离辐射危险概率估计及其应用仍具有重要的参考价值。若有不足之处,还望读者提出批评指正。

本书发表的文章中有几篇是本研究组部分成员与国外学者共同研究的结果,研究组织不是高本底辐射研究组的专题组。此外,现在发表的文章中有的涉及到剂量-效应关系的理论探讨,由于是探讨性的,所以尽管各自观点不同,我们仍然都予以发表。

台山会议期间,国外的和香港地区的专家 Sir Edward Pochin(英国);Dr W. J. Schull(美国);H. Jammet(法国);重松逸造博士,广田荣三博士,近藤宗平教授,滝泽行雄教授,蜂谷纪之博士(日本);Dr K. Renz, Dr Oberhausen(德国);曹王敏贤博士和陈木华博士(香港)参加了全部学术报告会和讨论会,并详细地提出了他们的宝贵意见和建议。对他们的热情支持和帮助,我们表示衷心的感谢。台山会议以后,日本国的近藤宗平教授搜集且组织翻译了本研究组公开发表的50多篇文章(不包括本书内的文章),经过他辛勤的努力,该日文专辑已完成。这对于中国和日本在小剂量电离辐射生物效应研究的学术交流方面将起到重要的推动作用。

吴德昌教授多次参加本研究组的讨论会并多次在国际放射防护委员会(ICRP)第一专门委员会介绍本研究的进展情况,对此我们致以深切的谢意。姚家祥教授为翻译本书中的英文摘要和图表中的英文词句做了细致而认真的工作,在此一并致谢。

魏履新

1996年6月

目次

序	吴德昌
前言	魏履新
第1章 综合报告	(1)
1.1 阳江高本底辐射地区流行病学调查(1972—1986年)	(1)
1.2 研究的组织管理与质量控制	(36)
1.3 高本底辐射地区居民健康状况的调查(1972—1977年)——第一阶段研究概况	(44)
1.4 天然放射性高本底辐射地区的研究(1978—1981年)——第二阶段研究概况	(67)
1.5 阳江天然放射性高本底辐射地区第三阶段研究概况(1982—1984年)	(75)
参考文献	(82)
第2章 辐射水平与剂量估算	(85)
2.1 环境辐射水平	(85)
2.2 环境 γ 射线致居民外照射剂量	(93)
2.3 天然放射性核素致居民骨剂量	(107)
2.4 空气中 ^{222}Rn , ^{220}Rn 及其子体致居民内照射剂量	(111)
参考文献	(119)
第3章 可比性研究	(122)
3.1 致癌与致突变因素的群体调查	(122)
3.2 突变相关因素的比较研究	(127)
3.3 某些癌亡与突变相关因素关系的分析	(133)
3.4 人体胎盘和头发中的微量元素	(137)
参考文献	(139)
第4章 死因调查及恶性肿瘤死亡率研究	(141)
4.1 预期寿命	(141)
4.2 死因分析	(148)
4.3 恶性肿瘤死亡率调查方法与误差分析	(153)
4.4 恶性肿瘤死亡率(1970—1986年)	(159)
4.5 流行病学调查数据的贮存与分析	(164)
参考文献	(168)
第5章 健康效应	(170)
5.1 遗传与胚胎效应	(170)
5.2 居民淋巴细胞染色体畸变率	(178)
5.3 阳江高本底辐射地区妇女甲状腺结节和染色体畸变的研究	(182)
5.4 阳江高本底辐射对儿童智力发育的影响	(189)
5.5 儿童唐氏综合征患病率调查	(194)
5.6 高本底辐射和对照地区唐氏综合征患病率差异的原因分析	(196)
参考文献	(201)
第6章 机理探讨	(205)

6.1 小剂量电离辐射对防御和适应功能的影响	(205)
6.2 小剂量 α 粒子照射的肺癌危险概率——流行病学数据和理论探讨	(212)
6.3 微剂量学概念和理论在辐射流行病学研究中的应用	(220)
参考文献	(222)
附录	(228)
附录 1 重要活动纪实	(228)
附录 2 已发表的资料题录	(234)
附录 3 参加本研究的单位和科技人员名单	(237)

Contents

1 GENERAL REPORT	(17)
1.1 Epidemiological Investigation in High Background Radiation Areas of Yangjiang, China (1972—1986)	(17)
1.2 Management and Quality Control in Studies	(43)
1.3 Health Survey in High Background Radiation Areas (1972—1977, First Stage Report)	(63)
1.4 An Account on the Investigation of High Background Radiation Areas in Guangdong Province (1978—1981) and Some Considerations for Future Research	(74)
1.5 Report of Third Stage (1982—1984) Health Survey in High Background Radiation Area in Yangjiang	(81)
2 RADIATION LEVEL AND DOSE ESTIMATE	(92)
2.1 Natural Environmental Radiation Level	(92)
2.2 Distribution of Environmental γ -Radiation Fields and Absorbed Doses to Population	(106)
2.3 Internal Doses to Bone from Natural Radionuclides	(111)
2.4 Radiation Doses to Population Arising from Inhalation of ^{222}Rn , ^{220}Rn and Their Decay Products	(119)
3 COMPARABILITY BETWEEN INVESTIGATED AREAS	(126)
3.1 Mass Survey of Carcinogenic and Mutagenic Factors	(126)
3.2 Comparative Studies on Mutation-related Factors	(132)
3.3 Analysis of Relationship Between Some Cancer Deaths and Mutation-related Factors	(137)
3.4 Investigation on Microelement in Human Placenta and Hair	(139)
4 CAUSES OF DEATHS AND CANCER MORTALITY STUDY	(147)
4.1 Life Expectancy	(147)
4.2 Analysis of Causes of Death	(152)
4.3 Survey Method and Error Analysis on Cancer Mortality	(158)
4.4 Cancer Mortality (1970—1986)	(163)
4.5 Storage and Analysis of Data on Epidemiological Study	(168)
5 HEALTH EFFECTS	(177)
5.1 Hereditary and Fetal Effects	(177)
5.2 Chromosome Aberrations in Lymphocytes of Inhabitants	(181)
5.3 Thyroid Nodularity and Chromosome Aberrations Among Women in Areas of High Background Radiation in China	(188)
5.4 Influence of High Background Radiation in Yangjiang on Intellectual Development of Children	(193)
5.5 Results of Investigation of Down's Syndrome	(195)
5.6 Causal Analysis of the Difference in Prevalence of Down's Syndrome Between High Background Radiation Area and Control Area	(200)
6 INQUIRING INTO MECHANISM	(211)
6.1 Effect of Low Dose Radiation on Defense and Adaptive Functions	(211)
6.2 Lung Cancer Risk at Low Doses of Alpha Particles—Epidemiological Data and Theoretical Interpretation	(219)

6.3 Application of Microdosimetric Concepts and Theory to Radiation Epidemiological Study	...	(222)
APPENDIX		(228)
Appendix 1 Records of Important Activities		(228)
Appendix 2 A List of Published Data		(234)
Appendix 3 Institutions and Scientists Participating in the Investigation		(237)

第1章 综合报告

1.1 阳江高本底辐射地区流行病学调查(1972—1986年)

评价和预测电离辐射对人类群体的健康危险概率,目前主要是依据中等和大剂量以及高剂量率照射所得的观察资料;而在放射防护工作中经常遇到的却是小剂量、低剂量率,亦即每年低于0.05 Sv的卫生学评价问题。许多研究资料证实:小剂量、低传能线密度(低LET)辐射所诱发的健康危害要比大剂量、高剂量率所观察到的效应小。但小到什么程度却是有争论的。产生争论的原因是获得大人群受小剂量、低剂量率照射的效应观察资料甚为困难。由于资料缺乏,以及理论研究的不充分,因此产生各种假说和推论。

1.1.1 调查研究的目的

通过对世代居住于高本底辐射地区居民的剂量与健康状况的调查与研究,探讨小剂量、低剂量率电离辐射对一个大人群可能造成的健康影响,从而为电离辐射危险概率估计和预测提供有用的直接观测资料。

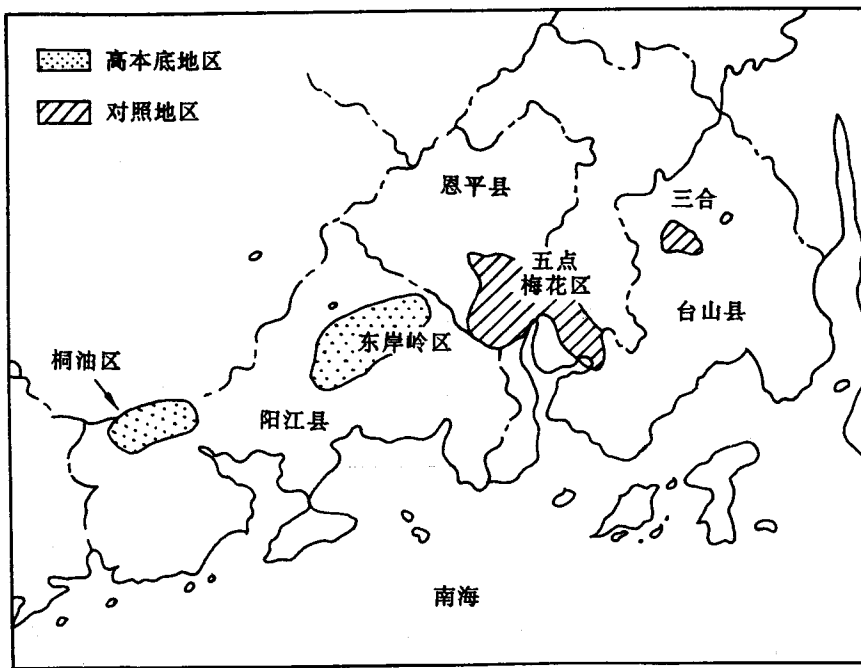


图 1-1 高本底辐射地区 and 对照地区的地理位置示意图

1.1.2 调查地区概况

我们所研究的高本底辐射地区(以下简称 HBRA)包括阳江县内两块居民区,总面积约为 500 km²,如图 1-1 所示。在这两处居民区附近有两座山,山表面的出露岩石为含有独居石的花岗岩,经长年的雨水冲刷,独居石的微粒沉积于附近的低洼地区,即现在调查的地区。长年的沉积和当地本身的地质结构使天然辐射本底增高。根据历史文物、县志和族谱记载,至少在 800 年以前,来自江西省等地的移民在此定居繁衍,现在我们所观察的对象大部分是这些移民的后代大约 8 万人口,居住 6 代以上的家庭约占 90%(表 1-1)。本底辐射正常的对照地区(CA)选自附近的居民区,最近点距 HBRA 约 10 km,海拔高度近似,都低于 50 m。

表 1-1 高本底辐射地区 and 对照地区居民在当地世居情况*

家庭世居代数	高本底地区(HBRA)		对照地区(CA)	
	调查时人数	百分比	调查时人数	百分比
2—5	6912	9.4	25126	32.6
6—10	25737	35.0	39230	50.9
11—15	17501	23.8	9172	11.9
≥16	23384	31.8	3545	4.6

* 依据 1975 年调查材料

1.1.3 调查研究的准则

在人口有限、剂量率不高的地区进行辐射效应的研究十分困难。因此我们为本研究确定了以下准则:

- (1) HBRA 和 CA 两地区的剂量水平差异要足够大,值得进行辐射危险概率的研究。
- (2) 居民的样本量和观察的人年数能适合统计学的要求。
- (3) 可能影响癌症死亡率和突变性疾病发生率的因素(环境的、宿主的、社会的)在 HBRA 和 CA 是可比的;对有意义的差异应在分析资料时予以考虑。
- (4) 在分析资料 and 进行测试以及医学检查时应严格实施质量保证和质量控制。
- (5) 对研究结果应做出合理的解释。

1.1.4 调查研究的项目

- (1) 天然辐射源的来源;
- (2) HBRA 和 CA 的辐射水平和分布;
- (3) 剂量估算——居民的吸收剂量,有效剂量当量和不同年龄组成员的累积剂量;
- (4) 人口资料调查;
- (5) HBRA 和 CA 干扰因素(除电离辐射以外的致癌和致突变因素)调查,包括环境的、宿主的和社会经济的因素;
- (6) 癌症死亡率调查;
- (7) 突变性疾病发生率调查;

- (8) 染色体畸变检查;
- (9) 儿童生长发育(包括智力)的调查;
- (10) 对调查结果的解释与分析,包括为此进行的免疫学研究和理论探讨。

1.1.5 辐射来源、水平和剂量估算

1.1.5.1 辐射来源

前面已经提到,高本底辐射来源于独居石粒子长年的沉积和当地的地质结构。用 γ 谱仪分别在现场和实验室测量以及用放射化学方法测定土壤样品的结果说明,HBRA 的土壤中天然放射性核素浓度显著地高于 CA 的相应值,而且在 55 cm 深度范围内浓度值没有明显的波动。钍核素的浓度差别最大,HBRA 的测量值比 CA 的相应值高 5 倍以上(表 1-2)。

表 1-2 调查地区土壤中天然放射性核素水平($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)⁽¹⁾

地区和分析方法	^{238}U	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K
高本底地区				
放化分析(1975 年)	93.48 ± 17.22	177.14 ± 82.12	70.3 ± 27.1	490.6 ± 240.3
放化分析(1979 年)	93.48 ± 20.91	248.24 ± 115.08	144.3 ± 55.5	671.4 ± 335.7
Ge(Li) γ 谱仪(1979 年)	118.08 ± 34.44	227.28 ± 85.08	136.9 ± 44.4	490.6 ± 361.5
现场 γ 谱仪(1982 年)	87.33 ± 28.29	149.19 ± 52.20	—	309.9 ± 180.8
NaI(Tl) γ 谱仪(1982 年)	109.47 ± 40.59	236.33 ± 103.16	122.1 ± 40.7	542.3 ± 413.2
平均	100.37 ± 28.29	207.64 ± 87.53	118.4 ± 41.93	501.0 ± 306.3
对照地区				
放化分析(1975 年)	29.52 ± 9.84	34.94 ± 13.56	22.2 ± 7.4	95.5 ± 25.8
放化分析(1979 年)	20.91 ± 8.61	32.47 ± 12.74	29.6 ± 11.1	387.3 ± 103.3
Ge(Li) γ 谱仪(1979 年)	29.52 ± 11.07	36.58 ± 16.58	29.6 ± 11.1	136.9 ± 121.9
现场 γ 谱仪(1982 年)	24.60 ± 7.38	27.13 ± 10.69	—	129.1 ± 93.0
NaI(Tl) γ 谱仪(1982 年)	27.06 ± 8.61	36.17 ± 13.56	29.6 ± 25.7	170.4 ± 131.7
平均	26.32 ± 9.10	33.46 ± 13.48	27.8 ± 13.8	185.5 ± 95.0
高本底/对照	3.8	6.2	4.3	2.7

* 数值与以往报道的有差别,这是由于采用了新的计算方法。

1.1.5.2 电离辐射水平——外照射和内照射

为了解环境 γ 辐射的水平和个人受照剂量及其分布,本研究组曾在不同的年份用不同的测试仪器测量了 HBRA 和 CA 的室内外 γ 射线照射量率和个人累积剂量。经过整理的测量数据列于表 1-3。在内照射方面,本研究组测量了室内外的氡(^{222}Rn , ^{220}Rn)浓度及其子体的潜能值(表 1-4),人肺(尸体解剖)中放射性钍的含量,人呼出气中 ^{220}Rn 浓度,人骨及人牙齿中 ^{226}Ra 和 ^{228}Ra 的含量(表 1-5, 1-6)。结果表明,HBRA 电离辐射水平显著地高于 CA;在外照射方面,HBRA 的辐射水平约为 CA 的 3 倍。在内照射方面,HBRA 的辐射水平比 CA 高 2—6 倍。室内氡及子体的浓度低于预期值是因为被调查地区处于亚热带地区,全年都开窗,室内通风良好⁽²⁾。