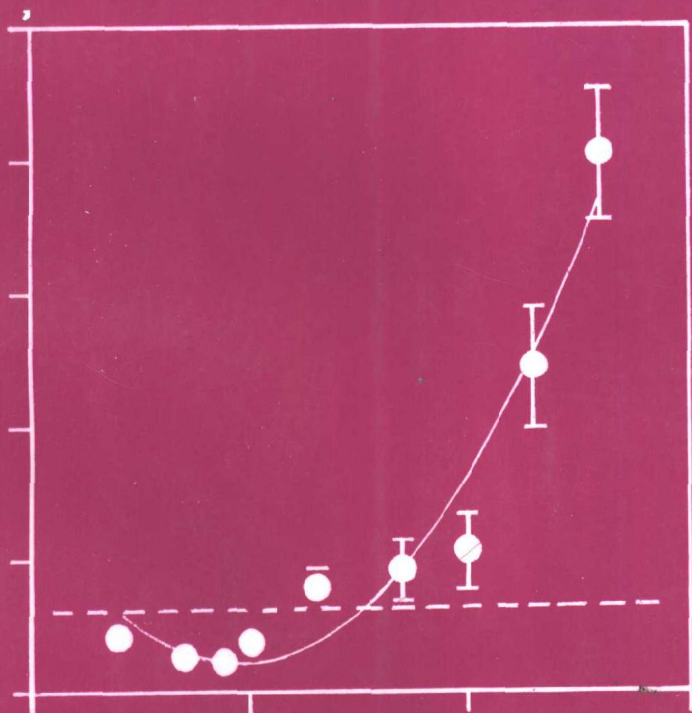


低水平辐射 兴奋效应

刘树铮 著



科学出版社

低水平辐射兴奋效应

刘树铮 著

科学出版社

1996

RADIATION HORMESIS WITH LOW LEVEL EXPOSURES

Liu Shuzheng

Science Press

Beijing, China

1996

(京) 新登字 092 号

内 容 简 介

本书介绍低水平辐射兴奋效应研究的有关情况。全书共分 6 章。前 3 章简要介绍了这一领域研究的历史和意义、辐射生物效应的基本规律、低水平辐射生物学作用的特点；第 4 及第 5 章重点阐述了低水平辐射诱导适应性反应和增强免疫功能的研究现状；第 6 章对未来研究的发展从分子机制的探讨提供了一些线索。

可供放射生物学、辐射防护、环境科学等领域的研究人员、教学人员和研究生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

低水平辐射兴奋效应/刘树铮著. -北京: 科学出版社, 1996

ISBN 7-03-004811-3

I. 低… II. 刘… III. 生物辐射效应-兴奋 (生理)-研究
IV. Q691

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 09883 号

科 学 出 版 社

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

新世纪印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1996 年 1 月第一版

开本: 787 × 1092 1/32

1996 年 1 月第一次印刷

印张: 11 7/8

印数: 1—600

字数: 252 000

定价: 19.80 元

推进放射生物学前沿研究，
为辐射防护和人民健康服
务。

陈敏章
九五年八月

序

人欲在自然界和谐生活，就必须了解低水平电离辐射慢性作用的效应。《低水平辐射兴奋效应》一书使我们理解到这一点。刘树铮教授是这一领域的世界权威。他在此书中引导读者了解电离辐射的基本概念，并综述了主要的辐射生物效应，介绍了细胞和生理机制，提出了未来研究的途径。刘教授此书的问世实为幸事，它将对今后几代有很大的帮助和启发。

兴奋效应是低剂量的任何因子对任一系统的刺激作用。此词来源于希腊词“hormein”，意即兴奋。有人用生物阳性效应表示这种刺激。其同义词包括适应性反应和反向效应。物理、化学和生物因子都可激起兴奋效应。兴奋效应不同于顺势疗法，前者在刺激和响应的性质方面都具普遍性，后者则采用独特的微小剂量药物。本书的焦点是低剂量电离辐射的刺激作用。

兴奋效应学是研究兴奋的科学。电离辐射生物效应的完整剂量响应曲线类似抛物线。常常将其绘成一条彩虹，其倒置型即为J型或U型曲线。若将此曲线的剂量轴延伸至环境辐射水平以下，则可假想存在“辐射缺乏”。如果电离辐射为机体所必需，则本书提供的基础将非常宝贵。

《低水平辐射兴奋效应》一书对未来发展的方向有以下的重要性：①学术研究；②国家资源；③工业发展；④个体健康；⑤医疗实践；⑥公共福利。本人关于辐射兴奋效应的两本书已有日文译本，曾有人要求翻成中文。这也说明中国对

刘教授此书的需要。

T. D. 拉基

1995 年 1 月

科罗拉多州

拉夫兰市

PREFACE

To live in harmony with nature one must understand the effect of chronic exposure to low levels of ionizing radiation. "RADIATION HORMESIS WITH LOW LEVEL EXPOSURES" provides this understanding. Dr. Shu-Zheng Liu is a world authority in the field. He leads the reader through the basic concept of ionizing radiation, reviews the major biologic effects, introduces cellular and physiologic mechanisms, and suggests avenues for future research. We are fortunate that Prof. Liu has made this book available. It will be a great help and inspiration to present and future generations.

Hormesis is the stimulatory effect of low doses of any agent in any system. The word derives from the Greek; **Hormein** =to excite. **Biopositive** is used to indicate this stimulation. Synonyms include **adaptive response** and **reverse effect**. Physical, chemical and biologic agents may evoke hormesis. The general nature of both stimulant and response differentiates hormesis from the unique specificity and miniscule doses used in homeopathy. The focus of this book is stimulation by low doses of ionizing radiation.

Hormology is the study of excitation. The complete dose response curve for the biologic effects of ionizing radiation resembles a parabola. It is often drawn as a rainbow, the in-

verted form is the J or U curve. Hypothetically, extension of the curve into subambient levels suggests a "radiation deficiency". If ionizing radiation were essential, this book would be an invaluable basis for future development of radiation supplementation.

"Radiation hormesis with low level exposures" is an important book for the future direction of 1) academic research, 2) national resources, 3) industrial progress, 4) personal health, 5) medical practice and 6) public welfare. Frequent requests for Chinese translations of my two books on radiation hormesis, available in Japanese, show the need of Dr. Liu's book in China.


T. D. Luckey
Loveland, Colorado

January, 1995

前 言

放射生物学早期文献中，曾记载低水平辐射刺激某些生命活动的报告。但这些资料在当时要么未引人注意，要么被认为“反常”，当成偶然现象而被忽略。近十余年来，随着研究手段的更新和科学资料的积累，这一领域的研究愈益受到学术界的重视。著者对此问题的研究始于1979年参加广东天然辐射高本底地区居民健康调查的全国协作项目，负责免疫生化组的研究。在该地区居民抽样检查中，意外地发现其外周血T细胞免疫反应性增高。当时尚未见到类似的文献报道。1982年再次检查了同一地区居民的血样，复证了这一现象，同时又发现淋巴细胞受紫外线照射后其DNA修复合成高于对照，而且免疫反应性的增高不伴有T_H细胞（抑制性T细胞亚组）减少。这些初步发现，促使我们自1983年以来进行了一系列的实验研究。此时读到T. D. Luckey教授1982年关于低水平辐射可能有益于生理功能的论文（见参考文献[255]），稍后其专著传到国内（见参考文献[254]）。1985年，在美国加州奥克兰市举行了有关辐射兴奋效应的第一次国际讨论会，著者应邀在会上作了报告（见参考文献[245]）。通过交流加深了对这一重要问题的认识，并结识了这一研究领域各国科学界人士。此后，我们的研究集体比较集中地对低水平辐射增强免疫功能和诱导适应性反应的规律进行了较系统的实验研究。随着科学资料的不断积累，理论认识逐步深化。著者受中华医学会委托，于1993年在长春主持召开了“低水平辐射及有关因子生物效应国际研讨会”，会上比较集

中地讨论了低水平辐射兴奋效应的研究进展。这一领域的国际权威学者和中、青年科学家百余人聚首讨论，广泛交流，更加深了我们对低水平辐射兴奋效应的理解。15 年来的科学积累和学术交流为撰写本书奠定了基础。

本书的目的是介绍低水平辐射兴奋效应研究的历史和现状，阐述此种效应发生的规律和可能机制，以适应当前越来越多的放射生物学和其它领域的研究者乃至医疗卫生和环境保护行政部门以及一般读者的兴趣和需要。鉴于 T. D. Luckey 在此之前已有专著综述早年的文献资料，涉及生物进化发展不同阶段机体辐射兴奋效应的表现，本书着重分析近十余年来有关哺乳动物和人体对低水平辐射反应的研究，特别介绍了国内，包括著者实验室在这一新兴领域中的研究资料，并尽可能将这些资料系统化。书中重点阐述了低水平辐射诱导适应性反应（第四章）和增强免疫功能（第五章）的研究现状，因为当前最受关注的致癌问题与 DNA 损伤修复和免疫监视密切关联。从低水平辐射兴奋效应在这两方面的表现可能加深对辐射与致癌这一问题的理解。

考虑到本书对象中非放射生物专业读者的需要，在介绍这一领域研究历史（第一章）之后和阐述低水平辐射生物学作用特点（第三章）之前，在第二章中对辐射生物效应的基本规律作了扼要论述，以保持全书的系统性。第六章对未来研究的展望只是从当前颇受重视的分子机制的探讨提供一些线索。由于篇幅所限，根据出版部门的建议仅列举了与重点内容有关的近期文献。这样取舍可能给一些有兴趣深入探究的读者带来不便，尚希见谅。

本书在伦琴教授发现 X 射线 100 周年之际问世，希望对放射学界的文库大海献上微小的一滴，表示著者对一个世纪来诸多先辈科学家的敬意。希望本书将有助于推动此领域的

研究。

本书之得以出版首先要感谢中国科学院科学出版基金的资助和科学出版社的支持。T. D. Luckey 教授评阅了本书的英文撰写提纲并为本书作序；夏寿萱、李志旺教授评阅了本书的中文撰写提纲并分别审阅了第一、二章和第五章初稿；苏士杰、鞠桂芝教授分别审阅了第三章和第四章初稿；他们的宝贵建议和评论对提高本书质量起到了很大的促进作用。连建安教授在全书一至四稿的撰写和修改过程中给予了无私的帮助和许多中肯的建议，并协助校阅了全书清样。白求恩医科大学放射生物教研室和卫生部放射生物实验室的全体同仁多年来和著者共同的研究探索是撰写本书的重要基础，书中凝结了他们的劳动和智慧。在此谨对以上诸位教授和同仁致以诚挚的谢意。

书中有关放射医学和辐射防护的术语和单位基本上按国际和国家统一规范。早期尚未实行现行规定者仍保留当时文献中采用的术语和单位。有关电离辐射的单位均依国际单位制。吸收剂量单位用 Gy ($=100\text{rad}$) 和 mGy ($=0.1\text{rad}$)，个别地方用 cGy ($=1\text{rad}$)；剂量当量单位用 Sv ($=100\text{rem}$) 和 mSv ($=0.1\text{rem}$)；放射性活度单位用 Bq (衰变/s)，以往许多文献中常用 mCi ，按 $1\text{mCi}=3.7\times 10^7\text{Bq}$ 转换。低水平辐射系指低剂量、低剂量率辐射。按 UNSCEAR 1986 年报告，低剂量辐射指 0.2Gy 以内的低 LET 辐射或 0.05Gy 以内的高 LET 辐射；低剂量率则指 0.05mGy/min 以内的照射。涉及实验研究和人群调查的资料，符合上述条件者统称低水平辐射，但多数实验研究所用剂量率均超过 0.05mGy/min，凡剂量在 0.2Gy 以内者称低剂量辐射。低剂量亦称小剂量，由于当前国际文献中一般采用低剂量辐射 (low dose radiation)，为便于与国际文献接轨，书中均用“低剂量辐射”一词。

近年来生命科学发展迅猛，著者学识有限，对某些重要文献难免有疏漏之处，对一些理论和技术性较强的专门问题，可能有理解不当之点。希广大读者予以指正。

刘树铮

1995年3月

于长春

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 辐射兴奋效应的概念	1
第二节 辐射兴奋效应研究的发展	1
第三节 辐射兴奋效应研究的意义	10
第二章 电离辐射生物效应的基本原理	15
第一节 电离辐射的种类和作用特点	15
一、电离辐射的种类	15
二、电离辐射与物质的相互作用	17
三、电离和激发	19
四、自由基	22
五、直接作用和间接作用	28
六、氧效应	30
七、传能线密度	34
第二节 电离辐射的分子效应	40
一、靶分子	40
二、DNA 结构损伤	42
三、DNA 代谢和功能改变	48
四、DNA 损伤的修复	51
五、辐射作用与基因活化	58
第三节 电离辐射的细胞效应	68
一、细胞的放射敏感性	68
二、细胞存活曲线	74
三、染色体结构变化	82

四、细胞功能变化	85
第四节 电离辐射的全身效应	91
一、急性放射综合征	91
二、慢性放射损伤	93
三、辐射远期效应	93
第三章 低水平辐射的生物学作用	105
第一节 低水平电离辐射的来源	105
一、天然辐射	106
二、人为辐射	119
第二节 低水平辐射生物学作用的特点	126
第三节 低水平辐射刺激基本生命活动	129
一、生长、繁殖与寿命	129
二、防卫、修复与适应	137
第四节 低水平辐射剂量效应模型	144
一、细胞存活的剂量效应关系	145
二、染色体损伤的剂量效应关系	147
三、辐射致癌的剂量效应关系	149
第四章 低水平辐射诱导适应性反应	152
第一节 低水平辐射所致细胞遗传学适应性反应	153
一、离体照射诱导的适应性反应	153
二、全身照射诱导的适应性反应	155
三、低浓度化学因子诱导的适应性反应	159
四、低水平辐射诱导细胞遗传学适应反应的一般规律	160
第二节 适应性反应的其它表现	179
一、离体细胞实验	179
二、整体实验	181
三、致癌作用的适应性反应	183
第三节 低水平辐射诱导适应性反应的机制	199
一、细胞遗传学适应性反应	199

二、整体适应性反应	209
第五章 低水平辐射增强免疫功能	212
第一节 免疫系统的组成和功能特点	212
一、免疫器官	212
二、免疫活性细胞	214
第二节 免疫系统的调节	229
一、免疫细胞间的调节	229
二、细胞因子的调节	230
三、整体调节	241
第三节 低水平辐射增强免疫的表现	250
一、免疫系统的放射敏感性	250
二、低水平辐射增强免疫功能的表现	254
第四节 低水平辐射增强免疫的机制	271
一、低水平辐射引起 T_H/T_S 比值升高的假说	272
二、低水平辐射促进放射敏感细胞凋亡的假说	285
三、低水平辐射增强免疫的细胞学基础	291
四、低水平辐射增强免疫的分子机制	299
五、整体调节变化在免疫增强机制中的意义	312
第六章 未来研究的展望	317
第一节 辐射诱导的基因表达及其产物	318
第二节 细胞周期的分子调控	323
一、激酶-周期素系统	324
二、抑癌基因-原癌基因系统	326
三、DDI 基因	327
第三节 探索差异	328
一、剂量与剂量率	329
二、辐射种类	330
三、离体与整体照射	332
参考文献	335

第一章 绪 论

第一节 辐射兴奋效应的概念

兴奋效应 (hormesis), 来源于希腊语 “hormaein”, 意即兴奋 (to excite), 过去也曾用 hormoligosis 一词, 表明涉及低剂量 (oligo)。目前文献中多采用 hormesis。它的含义是任何一种物质 (因子) 在低剂量时引起任一系统的刺激作用。兴奋效应是一种普遍存在的生物现象, 多种环境因子均可引起。本书主要论述低水平电离辐射引起的兴奋效应。

辐射兴奋效应被定义为低水平电离辐射对生物体或其组成部分的刺激作用。这种刺激作用可能对机体有益 (beneficial), 但也可能对机体没有明显的益处。因此不能将刺激 (stimulation) 和有益 (benefit) 简单地等同起来。这是一个比较复杂的问题, 在以后各章论述辐射兴奋效应的具体表现及其生物学意义时, 将进一步分析。

第二节 辐射兴奋效应研究的发展

放射生物学的核心问题之一是辐射剂量与生物效应的关系, 往往简称为剂量效应关系或量效关系。1895 年 12 月 28 日德国 Würzburg 大学的 Wilhelm Conrad Roentgen 教授宣布发现 X 射线后不久, 人们就注意到其生物效应。最早见到的是照射后发生脱发 (Daniels, 1896), 并根据这种观察将 X 射线应用于治疗良性发痣 (Leopold Freund, 1897)。当时