

方允中 赖业馥 编著

辐射与营养

RADIATION AND NUTRITION



原子能出版社

辐 射 与 营 养

方允中
赖业馥 编著

原 子 能 出 版 社

内 容 简 介

本书系统地、全面地介绍了辐射条件下营养的理论与实际问题。其章次为：基本概念，辐射对营养素代谢的影响，营养素对辐射损伤的防治作用，食物对辐射损伤的防治作用，放射病的营养治疗，放射性工作人员的营养保健。

全书内容涉及多种学科，文字力求简明扼要，深入浅出。本书可作为营养学、卫生学、生物化学、辐射生物化学、辐射生物学、放射医学学科的大专学生、研究生、研究人员以及临床医师和保健人员的参考书。

辐 射 与 营 养

方允中 编著

赖业馥

责任编辑 张书贤

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京昊海印刷厂印刷

(北京市海淀区西苑操场甲73号)

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售



开本 850×1168¹/₃₂ · 印张11.125 · 字数299千字

1989年4月北京第一版·1989年4月北京第一次印刷

印数 1—1500

ISBN 7-5022-0050-9

R·6 定价：4.40元

E689/03

前 言

《辐射与营养》是以辐射条件下营养的理论与实际问题为中心内容的重要学术领域。它属于营养学、卫生学、生物化学、辐射生物化学、辐射生物学、放射医学等学科的边缘范畴。在这些学科基础上，经过几十年的不断发展，它正孕育成新学科——辐射营养学。

这门未来新学科因扎根于营养学等多种学科，故其基础理论必然地来源于这些学科。它又有其自己的理论，主要为辐射对营养素代谢的影响以及营养素或特殊食物对辐射损伤的防治作用。前一部分与辐射生物化学有不可分割的关系，后一部分是辐射损伤防治的营养措施的理论依据。这些理论的重要进展不仅促进了辐射营养学的孕育，而且也有助于推动有关学科的某些理论研究。理论与实际是互相联系的，在这方面存在着重大的辐射营养问题，如急、慢性放射病防治中需要的有效营养措施以及在放射性工作人员的保健中需要的适宜营养原则与方法。许多年来，不少学者在这方面做了大量的工作，积累了丰富的研究资料，已为这门学科的建立奠定了基础。

随着和平利用原子能事业的蓬勃发展，人们对于辐射条件下辐射防护、辐射事故病人的治疗以及核战争条件下大批放射病病人的医疗救护等问题表示了很大的关注，因此辐射条件下营养问题亦受到重视。这些营养问题是现代营养学的新内容。近年来，关于环境因素，如冷、热、光、高空、深水等对人体营养状况的影响以及营养素作用的研究进展得十分迅速。作为环境因素之一的辐射条件当然与其它环境因素一样，对人体营养的影响既有特殊性，又有共同点。由于辐射有强烈的生物效应，故辐射条件下营养问题的研究在环境营养学中颇受到注意。在某些学

科中，辐射可作为特殊实验手段，以观察辐射条件下蛋白质、酶等生物大分子结构与功能的关系，从而可得到非辐射条件下观察不到的结果。这些特殊实验条件还可应用于生化研究，以获得难以得到的信息。这方面系统资料同时也对研究辐射与营养的关系颇有参考意义。值得提出的是，辐射损伤是辐射作用于人或动物所产生的自由基直接或间接地损伤机体而产生的典型疾病。在当前自由基生物学与医学处在高度发展的时期，有一些学者开始注意到营养素与减轻体内自由基损伤作用的关系。营养素、自由基与辐射损伤的关系将成为“辐射营养学”的研究新基点。总之，“辐射营养学”将与有关学科在相互联系与相互渗透中得到更快的发展。

虽然有关辐射与营养的资料很多，但颇为分散，难于查阅，而且至今尚未见到较全面的与较系统的关于辐射与营养的专著。为了适应当前科学技术发展的需要，我们认为颇有必要以专著形式从理论与实用方面系统地介绍这门新兴学科领域的全貌，遂收集了国内外有关辐射与营养的资料，并结合多年的研究经验，编著此书。其内容涉及多种学科，虽然内容较广，但文字力求简明扼要，深入浅出。由于文献浩瀚，遗漏之处，在所难免。书中内容若有不妥之处，敬请读者指正为幸。

编著者 1987年5月1日

目 录

第一章 基本概念

第一节 辐射与营养的关系	1
一、辐射与营养的一般和特殊关系	1
二、关于辐射与营养的理论问题	3
三、关于辐射与营养的实际问题	4
第二节 辐射与辐射损伤	5
一、电离辐射与物质分子的相互作用	5
二、电离辐射的直接作用和间接作用	7
(一) 稀释效应	9
(二) 氧效应	9
(三) 防护效应	10
(四) 温度效应	10
三、电离辐射对生物分子的影响	10
(一) 核酸	11
(二) 蛋白质(包括酶)	12
(三) 脂类	13
(四) 糖类	13
(五) 维生素	14
四、辐射损伤	17
(一) 细胞的辐射损伤	17
(二) 组织的辐射损伤	19
第三节 营养保健的基础知识	20
一、热能营养	20
(一) 热能供给量	21
(二) 热能消耗量	21
二、糖类营养	22
(一) 淀粉	22

(二) 蔗糖	22
(三) 乳糖	22
(四) 葡萄糖	22
(五) 果糖、山梨醇与木糖醇	23
(六) 纤维素及其它多糖	23
三、脂类营养	23
(一) 脂肪	23
(二) 磷脂	23
(三) 胆固醇	24
四、蛋白质营养	24
(一) 蛋白质或氨基酸的需要量	24
(二) 蛋白质的生理价值或营养价值	25
五、维生素营养	28
(一) 维生素缺乏或不足	28
(二) 维生素的需要量	29
六、无机盐营养	29
第四节 营养治疗的基础知识	30
一、饮食治疗	31
二、胃肠外营养	32
参考文献	33

第二章 辐射对营养素代谢的影响

第一节 能量代谢	35
一、氧化磷酸化的抑制	36
二、整体、组织与细胞的氧耗量	39
第二节 糖类代谢	42
一、肝糖原增加	42
二、血糖增加	43
(一) 糖的异性作用增强	44
(二) 组织对糖的利用能力下降	44
(三) 糖酵解作用减低	45
三、影响照射后糖类代谢的因素	46

第三节 脂类代谢	47
一、组织中脂类含量的变化.....	47
(一)骨髓中脂肪含量.....	47
(二)肝脏中脂类含量.....	47
(三)血液中脂类含量.....	48
二、脂类的合成代谢与分解代谢.....	48
(一)骨髓.....	49
(二)淋巴器官.....	50
(三)肝脏.....	50
三、辐射引起的脂类过氧化.....	52
(一)脂类过氧化在辐射生化损伤中的作用.....	53
(二)酶与天然抗氧化剂对脂类过氧化的防护作用与清除作用.....	55
第四节 蛋白质或氨基酸代谢	57
一、蛋白质的合成.....	57
(一)骨髓中血红蛋白的生物合成.....	57
(二)淋巴器官中蛋白质的生物合成.....	58
(三)肝脏中蛋白质的生物合成.....	59
(四)血浆中蛋白质组成成分的变化.....	59
(五)抗体的合成.....	60
(六)结缔组织中胶原蛋白的合成.....	60
二、辐射对动物组织中蛋白质分解代谢的影响.....	60
(一)尿中尿素、氨基酸与牛磺酸排出量增加.....	63
(二)尿中肌酸排出量增加.....	64
(三)尿中色氨酸代谢物排出异常.....	65
(四)转氨酶活性变化.....	66
第五节 辐射对维生素代谢的影响	67
一、脂溶性维生素代谢.....	68
(一) 维生素 A.....	68
(二) 维生素 E.....	69
二、水溶性维生素代谢.....	69
(一) 维生素 B 族.....	69
(二) 维生素 C.....	77

第六节 辐射对水与无机盐代谢的影响	82
一、血液及尿中的电解质	82
二、其它无机盐代谢	83
第七节 代谢的调节与控制	83
一、激素的变化对代谢的调节作用	84
(一) 照射后间脑和中枢神经系统对代谢的调节作用	84
(二) 垂体对代谢调节的作用	84
(三) 肾上腺皮质	85
二、cAMP 与 cGMP 的变化	85
(一) cAMP	86
(二) cGMP	87
参考文献	89

第三章 营养素对辐射损伤的防治作用

第一节 各种营养素对辐射损伤的防治作用	95
一、热能	95
(一) 热能的生理作用	95
(二) 热能营养与辐射损伤防治的关系	96
二、糖类	98
(一) 糖类的生理作用	98
(二) 糖类对辐射损伤的防治作用	99
三、脂类	103
(一) 脂类的生理作用	103
(二) 脂类对辐射损伤的防治作用	104
四、蛋白质及氨基酸	108
(一) 蛋白质及氨基酸的生理作用	108
(二) 蛋白质及氨基酸对辐射损伤的防治作用	109
五、维生素	114
(一) 维生素 A	115
(二) 维生素 D	117
(三) 维生素 E	118
(四) 维生素 K	123

(五) 维生素 B ₁	125
(六) 维生素 B ₂	129
(七) 烟酸	130
(八) 维生素 B ₆	132
(九) 泛酸	137
(十) 叶酸与维生素 B ₁₂	139
(十一) 硫辛酸	150
(十二) 抗坏血酸	152
(十三) 维生素 P	158
(十四) 其它维生素	162
六、无机盐	164
(一) 钙、磷、镁、钠、钾等无机盐对辐射损伤的防治作用	164
(二) 微量元素对辐射损伤的防治作用	165
第二节 营养素对辐射损伤的综合防治效果	165
一、各种营养素之间的相互关系	166
(一) 维生素 A	166
(二) 维生素 D	166
(三) 维生素 E	167
(四) 维生素 B ₁	167
(五) 抗坏血酸	167
二、营养素与药物的相互关系	167
三、营养与激素等生理因素的相互关系	168
(一) 激素	168
(二) 神经活动与精神状态等生理因素	169
四、营养素对辐射损伤的综合防治效果	170
(一) 影响营养对辐射损伤防治效果的因素	170
(二) 维生素与蛋白质的复合效果	182
(三) 氨基酸(色氨酸和组氨酸)与某些 B 族维生素、乳清酸与叶酸以及除了这些营养措施外添加维生素 C 与 P 的综合疗效	182
(四) B 族维生素和磷脂的复合效果	182
(五) 多种维生素的疗效	183

(六) 维生素与抗菌素的复合效果.....	184
参考文献.....	184

第四章 食物对辐射损伤的防治作用

第一节 动物性食物对辐射损伤的防治作用.....	193
--------------------------	-----

一、蛋与乳.....	193
(一) 小肠吸收功能障碍程度减轻.....	194
(二) 照射后氮的负平衡转变为平衡或正平衡.....	195
(三) 抗坏血酸、核黄素与烟酸的代谢.....	195
(四) 照射动物活存率的提高.....	197
二、干酪与酸牛奶.....	199
三、肝.....	199
(一) 多次亚致死剂量照射后动物活存率的提高.....	201
(二) 全身一次照射后动物活存率的提高.....	202
(三) 血清中蛋白成分水平改变程度减轻.....	204
(四) 烟酸代谢紊乱程度减轻.....	204
四、含有胶原蛋白的食物.....	207
(一) 活存率及动物死亡前的活存日数增加.....	209
(二) 体重下降程度减轻与恢复.....	209
(三) 某些生化指标改变减轻.....	213
五、其它动物性食物.....	214

第二节 植物性食物对辐射损伤的防治作用	215
---------------------------	-----

一、卷心菜.....	215
二、花椰菜.....	218
三、其它植物性食物.....	220

第三节 其它可食物质对辐射损伤的防治作用.....	221
---------------------------	-----

一、酵母.....	221
二、其它可食物质.....	224

参考文献.....	225
-----------	-----

第五章 放射病的营养治疗

第一节 慢性放射病的营养治疗.....	228
---------------------	-----

一、营养治疗原则.....	228
(一) 营养不良或缺乏症的预防及治疗.....	228

(二) 营养供给量的适当增加·····	229
二、三例病人的营养治疗及其效果·····	229
(一) 实验方法·····	229
(二) 实验结果·····	230
第二节 急性放射病的营养治疗·····	235
一、不同病情与不同病期的营养治疗原则及其依据·····	235
(一) 轻度急性放射病·····	235
(二) 中度急性放射病·····	235
(三) 重度急性放射病·····	237
二、营养治疗措施及其效果·····	239
(一) 膳食治疗·····	239
(二) 食欲不振时的营养供给措施·····	246
第三节 复合辐射损伤的营养治疗·····	256
一、复合辐射损伤的病情及代谢特点·····	256
二、严重创伤及复合伤的营养治疗原则·····	258
(一) 循环血容量的补充与心血管功能的改善·····	258
(二) 经口营养或非经口营养的慎重采用·····	259
(三) 经口营养与非经口营养的适宜措施·····	260
(四) 胃肠外营养的氮源问题·····	264
(五) 胃肠外营养的其它问题·····	268
三、营养治疗效果·····	269
(一) 营养治疗对伤后代谢的影响·····	269
(二) 营养治疗对伤后免疫力的影响·····	270
(三) 营养治疗对伤后的细胞膜功能的影响·····	271
(四) 营养治疗对创伤愈合及伤后活存率的影响·····	27
第四节 营养因素对放射性物质从体内排除的影响·····	273
一、放射性碘的排除·····	273
二、铯、钾、锶等放射性物质的排除·····	274
第五节 病人食谱拟定方法·····	274
一、供给标准的确定·····	275
二、蛋白质、脂肪和糖类的供给量的确定·····	275
三、食品种类及用量的确定·····	281
四、一日食谱的拟定·····	281

参考文献	281
------	-----

第六章 放射性工作人员的营养保健

第一节 放射性工作人员的营养保健依据	285
一、营养不足或缺乏增加机体的辐射敏感性	285
(一) 热能营养不足或缺乏	286
(二) 蛋白质或氨基酸营养不足或缺乏	287
(三) 必需脂肪酸营养不足或缺乏	288
(四) 维生素营养不足或缺乏	288
二、放射性工作人员的营养需要量	289
(一) 热能需要量	289
(二) 蛋白质或氨基酸需要量	291
(三) 脂肪(包括必需脂肪酸)的需要量	295
(四) 糖类的需要量	296
(五) 维生素的需要量	297
(六) 无机盐(含微量元素)和水的需要量	303
第二节 放射性工作人员的营养保健措施	307
一、保健原则	307
(一) 营养不足或缺乏的预防及治疗	307
(二) 营养供给量的适当增加及膳食平衡的保证	308
(三) 影响营养素吸收或代谢障碍的任何疾病的防治	309
二、保健措施	309
(一) 放射性工作人员的营养供给量的制定	309
(二) 食物的充分供给	315
(三) 烹调食物与调配膳食的合理加工	318
(四) 神经、精神因素对营养素的消化、吸收和利用的影响	319
第三节 放射性工作人员的营养调查方法	320
一、膳食调查	321
(一) 食物中含热量的计算	321
(二) 人体的热能消耗量或需要量的计算	321
(三) 摄入能量与消耗能量之间平衡的评定	323
(四) 膳食中各营养素摄入量的计算和评价	323

二、体格检查.....	325
(一) 人体测量.....	325
(二) 全面体检.....	328
三、实验室检查.....	329
(一) 蛋白质营养状况的常用评定指标.....	330
(二) 必需脂肪酸营养状态的实验室检查.....	331
(三) 糖营养状态的实验室检查.....	331
(四) 维生素营养状态的实验室检查.....	332
参考文献.....	337

第一章 基本概念

自从 X 射线、 γ 射线、 α 射线、 β 射线和中子流等直接或间接引起物质分子或原子电离的射线被发现以后，随着辐射生物学和放射医学的发展，在许多资料中，辐射一词常成为电离辐射的简称。

电离辐射作用于生物体而导致的强烈效应如皮肤发生红斑甚至坏死，早就引起科学家的注意。随后，肿瘤病人经放射治疗后出现的放射病综合征，以及从事放射性工作的医生、工人、技术人员和科学工作者在防护措施较差的条件下发生的慢性或急性放射病更受到科学家的重视。许多年来，对放射病防治问题的研究不仅有力地推动了辐射卫生防护工作，而且较大地促进了放射医学、辐射生物学及其他有关学科的进展。

随着和平利用原子能的事业蓬勃发展，人们对于辐射条件下卫生防护、辐射事故病人的治疗以及核战争条件下大批放射病病人的医疗救护等问题表示了很大的关注，从而促使辐射生物学、放射医学以及和辐射有关的各门学科进展更加迅速。有些学科分支已发展成为边缘学科如辐射遗传学。有些学科的学术研究领域，如辐射与营养已具备了很多内容，积累了丰富资料，正被孕育成为新的学科。

第一节 辐射与营养的关系

一、辐射与营养的一般和特殊关系

任何生物都不能离开营养物质而存活。人需要从食物中摄取所需要的营养素，才能维持健康或保存生命。如果人对个别的必需

营养素摄取不足或缺乏，就会患营养素的不足或缺乏症，甚至致死。人患放射病时可涉及许多的营养问题^{〔1〕}。虽然放射病的病因是电离辐射对机体的损伤，并不是营养不足或缺乏，但是为了减轻损伤与促进恢复，或者为了提高机体对辐射的耐受性，从营养学观点来看，无论是放射病病人还是接触辐射的工作人员都需要适宜的营养。

适宜的营养应能保证人体得到日常活动所需要的能量以及维持正常代谢和生理功能所必需的营养素，包括糖类、脂类、蛋白质（或氨基酸）、维生素和无 机 盐，或者能在患病时使症状减轻、恢复加速、有利于疾病治疗。虽然健康人和病人都需要适宜的营养，但是其营养需要量常随人体的生理状况、工作性质与环境条件或病人的病情和 治疗措施有所差异。因此，儿童、老人、孕妇、乳母、成人或者病人的营养适宜标准有相同之处，又有不同点，放射性工作人员和放射病病人的营养需要量也是如此。

这些事实可以说明，辐射与营养的关系既有着一般性，也有着特殊性。谈到一般性，值得注意的是，地球上的任何生物，包括人类在内，自古至今就一直受到天然辐射源的照射。所谓天然辐射源主要就是地球外的宇宙射线和地球本身的辐射。地球上绝大多数居民受到天然辐射源的照射量一般远低于摄入量限值，但是在放射性物质污染地区，如果未采取有效的消除污染与防护措施，则居民受到的照射量可能超过摄入量限值。在这种情况下，射线可以和寒冷、炎热同样看成为环境因素。根据 Selye 学说，任何影响人体的环境因素可看成为非特异性“刺激（stress）”。人体对于这种“刺激”，可以通过垂体-肾上腺系统及其它途径，产生非特异性应激反应。在应激的情况下，人体的某些内分泌腺的机能暂时增强，生理活动或物质代谢均可能发生适应性改变^{〔2〕}。此时，有些接触过这种刺激的人的营养素需要量可能较未接触过这种刺激的人的有所不同，但是既然环境因素有质的差别，各个环境因素包括辐射在内对营养需要量的影响就不可能仅靠 Selye 学说完全解释。它们的影响当会有显著

差异。

如果机体长时期受到超过摄入量限值的照射，则不仅由于辐射的损伤作用，而受到了伤害，而且即使应激（stress），也不能靠激素的调节机能恢复正常。因为在连续刺激的损伤作用下，机体的调节机能可能遭受到破坏，内分泌系统也可能处于紊乱状态。如果机体的伤害得不到恢复，则可能发展成为慢性放射病，即使症状很不明显，隐性病理变化仍可能存在，甚至远期可能诱发血液病或肿瘤。

如果人体受到一次或数次较大的全身照射量，则可发生急性放射病。虽然轻度急性放射病病人经过适当治疗后基本上恢复健康，中度急性放射病病人经过对症治疗后几乎可以治愈，然而各个病人的病情轻重常随个体不同而有差异。这些差异实际上反映了人体对辐射的敏感性。现已有不少证据表明，营养缺乏或不足均可增加机体对辐射的敏感性；营养充裕或者摄取抗放射性能较高的食物可能使辐射损伤减轻；适宜营养措施可提高放射病的综合治疗效果。据此可知，辐射与营养的关系不仅受到一般营养原则的支配，而且还要遵循辐射作用于机体情况下的特殊营养规律。

二、关于辐射与营养的理论问题

关于辐射与营养的重大理论问题是辐射对营养素代谢的影响和营养素对辐射损伤的防治作用。这些问题涉及到辐射生物化学与营养生物化学，属这两门学科的边缘范畴。近二十年来，生物化学进展很快，营养生物化学也随着有了迅速的发展，但是辐射生物化学的研究进展相对缓慢，因而影响了辐射与营养关系的理论研究。关于营养缺乏或不足对辐射敏感性影响的机制，如辐射影响营养素代谢的什么环节，这些环节在辐射损伤的发生和发展中占有什么地位，起着什么作用，有什么关系等等，都还未搞清。研究营养防治效果的机制在很多方面还只是空白。由于缺乏理论