



EI LIANG YUAN SU

YU YING YANG JIAN KANG

微量元素 与营养健康

上海市微量元素学会 组编

主 编 倪亚明 颜崇淮

张 敬 许道礼

孙爱贞



同济大学出版社

TONGJI UNIVERSITY PRESS

微量营养素

微量营养素与营养健康

微量元素 与营养健康

微量元素与营养健康
微量元素与营养健康
微量元素与营养健康
微量元素与营养健康
微量元素与营养健康



中国医药出版社

内容简介

微量元素与营养健康

倪亚明 颜崇淮 张敬 主编
许道礼 孙爱贞

1584 978-7-308-4013-0
 ISBN 978-7-308-4013-0
 中国版本图书馆CIP数据
 2009年7月第1版
 2009年2月第1次印刷
 1584 978-7-308-4013-0

中国版本图书馆CIP数据
 2009年7月第1版
 2009年2月第1次印刷
 1584 978-7-308-4013-0

中国版本图书馆CIP数据
 2009年7月第1版
 2009年2月第1次印刷
 1584 978-7-308-4013-0

中国版本图书馆CIP数据
 2009年7月第1版
 2009年2月第1次印刷
 1584 978-7-308-4013-0



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

本书在编写过程中，参考了国内外许多文献，在此表示衷心的感谢。

内 容 简 介

本书由来自各高校、医院、科研单位的上海市微量元素学会的理事和专家们,集各学科专长,合作编写而成。本书针对与人体健康相关的几十种微量元素,详尽介绍了它们的生理功能、代谢机制、缺乏与中毒的症状及预防措施以及在生物样品中的检测方法等,让人们了解微量元素与营养健康有一个比较系统全面的了解和认识,帮助公众克服营养保健的误区。本书可供卫生、医疗、保健单位从事微量元素与营养专业工作人员阅读参考,也可作为高等院校相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微量元素与营养健康/倪亚明等主编. —上海: 同济大学出版社, 2009. 5

ISBN 978 - 7 - 5608 - 4013 - 0

I. 微… II. 倪… III. 微量元素营养 IV. R151.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 057074 号

微量元素与营养健康

倪亚明 颜崇淮 张 敬 许道礼 孙爱贞 主编
责任编辑 姚焯铭 责任校对 徐春莲 封面设计 方超

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店
印 刷 同济大学印刷厂
开 本 850mm×1168mm 1/32
印 张 6.625
印 数 1—3 100
字 数 170 000
版 次 2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978 - 7 - 5608 - 4013 - 0

定 价 14.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

编 委 会

主 编 倪亚明 颜崇淮 张 敬 许道礼
孙爱贞

编 委(以姓氏笔画为序)

史奎雄 朱汉民 李义久 苏耀东
吴胜虎 严文钰 张元勋 柳启沛
洪昭毅 程五凤

前 言

当今的社会发展面临着人口、食物、健康、环境、资源等重大问题，而生命科学与技术的飞速发展为解决这些问题提供了新的途径。一方面，生命科学从分子、基因、细胞水平了解生命活动规律；另一方面，向群体、物种、生态系统进行发展，同时将微观与宏观有机地联系起来。生命科学作为 21 世纪的引领学科，必将与其他学科产生交叉、融合，对人类生命健康与社会发展产生深远的影响。

随着社会经济的不断发展以及生活水平的不断提高，人们愈来愈关爱生命，注重健康，讲究营养。因为营养是人类生命和生存的物质基础，尤其是人体中微量元素在维持机体健康方面发挥着极其重要的作用。由于现代分析技术与分子生物学的迅速发展，人们发现，微量元素含量极其微小而作用非常巨大，且不可替代。它主要的生理功能是在各种生化反应的酶系统中起催化作用，以维持正常的能量转换与新陈代谢等生命过程。世界著名营养学家久司道夫指出：“没有酶，就没有生命”。日本最近出版的畅销书《远离疾病的生活》的作者新谷先生在从医 40 年经验与研究中得出一个结论：健康的关键是体内酶的量。可见，微量元素对酶、营养与健康是何等的重要。

近 20 年来，社会上对微量元素的认识与应用也有一个过程，也发生过诸如有机锗、加碘盐、铅中毒等一系列风波。个别厂家趁机推出一些营养品、保健品，有的夸大功效，有的造成误导，难免产生不良影响。

3 年前，上海市微量元素学会的理事——他们分别来自上海各高校、医院、科研单位，具有各自在营养学、预防医学、临床医学、生物化学、分析化学、环境科学等学科领域长期教学或临床经验以及最新的科研成果——经过群策群力，博采众长，编写了这本《微量元素与营养健康》。各位专家教授几易其稿，力求深入浅出，通

俗易懂。通过对几十个微量元素的系统论述,使读者对各种微量元素及其生理功能有深刻的理解,对它们的分析检测、营养保健作用有进一步的了解。本书可作为各卫生、医疗、保健单位从事微量元素与营养专业工作人员的参考书,也可作为各高等院校的生命科学、环境科学和医药院校相关专业的教学参考书。

本书共四篇,分述几十种微量元素,原上海市营养学会理事长、复旦大学柳启沛编写绪论和铜、铁、锗;上海市营养学会名誉理事长史奎雄编写硒和钴;新华医院洪昭毅编写碘、锌和硅;上海交通大学程五凤编写钼、锰和砷;华东医院朱汉民编写铬和铝;同济大学张敬编写镍;中科院上海原子核研究所张元勋编写硼、锂和锡;原新华医院吴胜虎编写氟和汞;交通大学医学院颜崇淮编写铅和镉;同济大学李义久编写钡、铋、铈和稀土元素;同济大学苏耀东编写第四篇检测方法;原上海市营养学会名誉理事严文钰曾提供初稿一份(现已由其他出版社出版)。由于十几位作者共同参编本书,风格各异,疏漏与不足在所难免,希望各位同仁与读者提出宝贵意见以便进一步修改,谢谢!

在庆祝上海市微量元素学会成立 20 周年之际,我们对于参编本书的各位理事和专家深表感激!本书的出版得到同济大学出版社的大力支持,经过编辑的努力能顺利面世,我们深表感谢!

编 者

2009 年 3 月 19 日

目 录

前言

绪论

1. 营养学上的第三次大飞跃 1
2. 微量元素的生理作用 6
3. 体内微量元素的平衡 14
4. 体内微量元素的浓度 16
5. 微量元素的安全性的评价 19

第一篇 人体必需微量元素

一、碘 21

1. 碘在人体中的代谢 22
2. 碘的需要量和来源 23
3. 缺碘的后果 25
4. 缺碘的预防 26
5. 碘过量的影响 27

二、锌 29

1. 锌的代谢 29
2. 锌的生化特征 31
3. 锌的生理作用 32
4. 锌缺乏症 35
5. 锌的参考摄入量 39
6. 食物中的锌含量 40
7. 锌过量的影响 41

三、硒	42
1. 从硒中毒到硒必需	42
2. 无机硒与有机硒的区别	43
3. 硒的生理作用	43
4. 硒的防病作用	45
5. 硒的人体需要量	49
6. 硒营养水平的评价	50
7. 食物中硒的含量	50
8. 硒过量的影响	51
四、铜	53
1. 铜的代谢	53
2. 铜的生理作用	57
3. 铜失衡的影响	59
4. 食物中铜的含量	62
5. 铜的参考摄入量 and 平衡	63
五、钼	65
1. 钼的生理作用	65
2. 钼失衡的影响	66
3. 钼的参考摄入量	68
六、铬	70
1. 铬的生理作用	70
2. 铬失衡的影响	72
3. 铬的参考摄入量	72
七、钴	75
1. 钴的生理作用	75
2. 钴失衡的影响	75
3. 钴的参考摄入量	78
八、铁	80
1. 铁的生理作用	80

2. 铁失衡的影响	83
3. 铁的吸收和利用	86
4. 铁的参考摄入量	90

第二篇 人体可能必需的微量元素

九、锰	93
1. 锰的生理作用	93
2. 锰失衡的影响	94
3. 锰的参考摄入量	96
十、硅	98
1. 硅的生理作用	98
2. 硅的毒性作用	99
3. 硅的参考摄入量	100
十一、镍	101
1. 镍的生理作用	101
2. 镍的毒性作用	103
3. 食物中的镍含量	105
十二、硼	107
1. 硼的生理作用	107
2. 硼的毒性作用	108
3. 硼的参考摄入量	109
十三、钒	111
1. 钒的生理作用	111
2. 钒的参考摄入量	113

第三篇 其他微量元素

十四、氟	114
1. 氟的生理作用	114

88	2. 氟缺乏的影响	115
88	3. 氟的毒性作用	117
00	十五、铅	122
	1. 铅的一般性质	122
	2. 环境铅污染	123
80	3. 铅的代谢	124
80	4. 铅的毒性作用	125
100	5. 儿童铅中毒的预防	126
00	十六、镉	129
80	1. 镉的一般性质	129
80	2. 环境镉污染	129
80	3. 镉的代谢	131
001	4. 镉的毒性作用	133
10	十七、汞	136
101	1. 汞的一般性质	136
801	2. 汞的代谢	137
801	3. 汞的毒理作用	137
70	十八、砷	143
701	1. 砷的一般性质	143
801	2. 砷缺乏的影响	144
001	3. 砷的毒性作用	145
11	十九、铝	147
111	1. 铝的一般性质	147
811	2. 铝的毒性作用	147
	3. 铝的摄入量	150
	二十、锆	154
111	1. 锆的一般性质	154
111	2. 锆的毒性作用	155

3. 锗与锗-132	157
二十一、锂	160
1. 锂的一般性质	160
2. 锂的生理作用	161
3. 锂的毒性作用	162
二十二、锡	163
1. 锡的一般性质	163
2. 锡的生理作用	163
3. 锡的毒性作用	164
二十三、钡	166
1. 钡的一般性质	166
2. 钡的生理作用	166
3. 钡的毒性作用	167
二十四、铋	169
1. 铋的一般性质	169
2. 铋的生理作用	169
3. 铋的毒性作用	170
二十五、铟	171
1. 铟的一般性质	171
2. 铟的生理作用	171
3. 铟的毒性作用	173
二十六、稀土元素	176
1. 稀土元素的一般性质	176
2. 稀土元素的生理作用	176
3. 稀土元素的代谢	179
4. 稀土元素的毒性	181
5. 稀土元素的应用	184
6. 我国植物性食物中的稀土元素含量	185

137	.....	3
第四篇 生物样品中微量元素的检测		
091	1. 检测样品的选择	187
101	2. 参考标准的建立	188
381	3. 测定中误差的来源	189
681	4. 提高分析结果的可靠性	191
801	5. 常用分析测试方法	192
103	.....	2
附录 上海市微量元素学会历届理事会成员名单 194		
106	.....	二十六
后记 196		
106	.....	2
107	.....	3
109	.....	二十四
109	.....	1
109	.....	2
110	.....	3
111	.....	二十六
111	.....	1
111	.....	2
113	.....	3
116	.....	二十六
117	.....	1
117	.....	2
117	.....	3
118	.....	4
118	.....	5
120	.....	6

绪 论

1. 营养学上的第三次大飞跃

微量元素对人体的必需性和与人体健康关系的探讨,被认为是继蛋白质及维生素发现后的营养学的第三次大飞跃。

1) 微量元素与生命息息相关

生物进化论告诉我们,最早的生命来自海洋,生物体内几乎含有海洋里的各种元素,它们与体外环境形成一种平衡。直至到了在陆地生存的人类,其体内的元素也基本上与体外的环境形成一种平衡,也往往含有自然界的各种元素,一个健康的人,体内的元素也同样保持着一定的比例。但人体结构之奥秘、成分之复杂,要透彻了解却是非常不容易的。诸如人体中元素的状况、作用,特别是与生命息息相关的微量元素的状况、作用,一直是人们关心的问题。随着科学的发展,科学家不断探索、研究,才初步解开了其神秘的面纱。

微量元素学科是营养学中近 50 年来逐渐形成的一个新兴分支。人们对微量元素的了解和重视,是与近代科学技术特别是尖端新技术和理化分析手段的迅速发展分不开的。它的功劳在于使生物样品中含量极微的微量元素可以检测出来。此外,细胞生物学和分子生物学的发展又为微量元素的生物化学作用提供了研究手段。

微量元素与人的生命、健康、长寿以及工农业生产息息相关。随着微量元素科学研究的逐渐深入,目前已渗透至医学保健、食品营养、生物化学及工农业生产等领域,开展了微观的、甚至超微观的检测,进行分析和研究,使一些过去难以解释的生物化学现象得到澄清,使一些难以防治的疾病得到了新的、可靠的解决途径。如,克山病本来是世界各国长期以来一种原因不明的、难以治疗的

地方病,经过我国科学家的多方努力,发现缺硒是其病因之一,从而使该病基本得到了有效的防治,1979年,我国公布了这一成果,令世界瞩目,并使硒与慢性疾病关系的研究上了一个新台阶。

2) “人是泥做成的”

“人是泥做成的”这句话原出自宗教经书,但从现代化学分析看,世界上一切生物包括人都是以元素为基础构成的,地球上天然存在的元素在生物体内几乎都可以找到,而且在人的生命活动过程中,还不断地与环境(食物、水、土壤、空气)进行着以化学元素为基础的物质交换。

自然界(地球)中的元素很多,从《元素周期表》中可查到的为103种,这些天然元素凡是以水溶形式存在的,都可以通过食物、饮水及其他途径进入人体。因此,人体中几乎含有元素周期表中自然界存在的所有元素,且在人体组织中各种元素的含量与环境中的元素组成趋势大体是一致的。

“地球”、“环境”、“泥”是一体的,从这方面来讲,“人是泥做成的”是有一定道理的。

3) 宏量元素是人体主要组成元素

人体中各种元素的含量差别很大,一般可将其分为宏量元素和微量元素。宏量元素人们也称之为“常量元素”。我们从相对应微量元素来论,就称之为宏量元素。它们每一种含量占有体重的0.01%以上,并且是人体主要的组成元素或结构元素。

这些宏量元素,按其在人体内的含量多少顺序排列为氧(O)、碳(C)、氢(H)、氮(N)、钙(Ca)、硫(S)、磷(P)、钠(Na)、钾(K)、氯(Cl)和镁(Mg)等共11种,其中O、C、H、N又称有机元素。它们占据了人体元素构成总量的99.95%,O、C、H、N、Ca、S及P等7种共占了94%,而H、O以结合为水的形式占有65%,成为人体基本结构元素。所有宏量元素原子序数均较小,且1/3左右为非金属元素,其中Na、K、Ca、Mg四种为轻金属。

这些元素除钙、磷等元素是骨骼主要成分,形成骨架以支撑身体体型和维持有利于运动的态势外,在人体中的主要生理功能是

维持细胞内和细胞外液体的渗透压平衡;调节体液的酸碱度即 pH 值,因而有成酸食物(含硫、磷、氯元素为主)和成碱(含钙、镁、钠、钾为主)食物;维持神经和肌肉的细胞膜的生物兴奋性,传递信息使肌肉收缩;此外,还可使血液凝固,起止血作用;酶是体内代谢的重要成分,但是酶尚需通过某些元素的激活才能发挥其作用。

4) 微量元素是体内“微乎其微”的一类元素

与宏量元素相对的一些含量很低的、在体内存在的另一类元素是微量元素,亦称痕量元素。目前体内检出的已达 70 种以上,几乎都能在元素周期表中自然界存在的元素中找到。它们在体内的共同特点是浓度很低,其含量均小于人体重量的 0.01%。

1990 年,FAO/IAEA/WHO 营养专家委员会又提出了在人体组织中的浓度小于 250 $\mu\text{g/g}$ 含量的元素为微量元素。也就是说,微量元素在人体内的含量是以微克或毫克计算的。由于其量的微乎其微,需要摄入的数量相当少,因此,膳食外的补充,也就必须非常谨慎。

5) 微量元素必需性的三个条件与其三类不同的情况

微量元素按其生物学作用可分为必需的和非必需的两大类。元素的必需性是建立在维持生命和人体正常生理活动两方面。1972 年,美国学者提出了三个条件(三个标准),即

- (1) 该元素长期摄入不足将导致生理功能损伤;
- (2) 补充该元素达到生理水平,即可预防或治疗这种损伤;
- (3) 有一个以上相互独立的研究报告和一个以上动物品种的实验证明。

根据上述要求,对微量元素必需性的判断有以下三类情况:

第一类为天然条件下因元素缺乏所发生的缺乏病。如 1832 年发现黄萎病患者血中铁含量低于正常人;1850 年报告甲状腺肿的发生与碘缺乏有关;1935 年探索出钴缺乏是牛羊消瘦病的原因;1961 年伊朗的锌缺乏病和 1979 年我国报道的硒缺乏病等。

第二类是通过动物试验,用缺乏某元素的天然或合成饲料造成缺乏模型。如,1928 年证明了铜为大鼠和家兔所必需,1931 年

和1934年又阐明了锰和锌为大鼠和小鼠所必需;1953年报告了钼是大鼠所必需的;1957年证明了硒是大鼠必需的;1959年又证明了铬为大鼠所必需。

第三类是德国发明了塑料隔离器技术后,在严格控制环境污染的纯净条件下造成的动物模型。1970—1972年间利用这项技术陆续证明了锡(Sn)、镍(Ni)、钒(V)、硅(Si)、氟(F)为大鼠等动物所必需。1974—1991年间又分别证明了铅(Pb)、砷(As)、镉(Cd)、锂(Li)、硼(B)、溴(Br)等为动物所必需。1973年,WHO专家委员会按上述判断标准将已发现的14种微量元素,即铁(Fe)、碘(I)、铜(Cu)、锌(Zn)、锰(Mn)、钴(Co)、钼(Mo)、硒(Se)、铬(Cr)、镍(Ni)、锡(Sn)、硅(Si)、钒(V)和氟(F)等认定为动物所必需,提出了它们的日摄入量范围。

6) 人体究竟有多少种必需微量元素

对微量元素必需性的认识,主要是通过动物实验研究,在长期的探索中积累了相当丰富的资料,研究文献中所记载必需微量元素的数目,至1973年,世界卫生组织(WHO)已确定为上述的14种。

美国营养学会及食品部门1980年按不同年龄和生理状况确定了铁(Fe)、锌(Zn)、碘(I)、铜(Cu)、锰(Mn)、氟(F)、铬(Cr)、硒(Se)、钼(Mo)等9种元素的膳食供给量或安全摄入水平;我国1988年修订的营养素推荐供给量中只提出了Fe、Zn、I、Se等4种元素;英国还曾提出过硅(Si)元素的摄入量。

1990年,FAO/IAEA/WHO的专家委员会根据1973年以来的研究结果和认识,提出了人体必需微量元素的概念是指人体内的生理活性物质、有机结构中的必需成分;当从饮食中摄入的量减少到某一低限值时,即将导致某一种(某些)重要生理功能的损伤。同时,该委员会还强调一种元素在一个动物种属的实验中证明是必需的,但不能推论该元素也是另一种动物或人体所必需的,如要确定,则一定要通过不同动物实验或人群的调查、研究来加以验证。