



世界卫生组织

Nutrients in Drinking Water

世界卫生组织 (WHO)

饮用水中的 营养素

主译 马冠生



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE



世界卫生组织

饮用水中的营养素

Nutrients in Drinking Water

世界卫生组织 (WHO)

主 译 马冠生

译 者 马冠生 张 娜

人民卫生出版社

Published by the World Health Organization in 2005 under the title *Nutrients in Drinking Water*.

© World Health Organization + 2005

The Director General of the World Health Organization has granted translation and publication rights to an edition in *Chinese* to *Peking University*, which is solely responsible for the *Chinese* edition.

图书在版编目 (CIP) 数据

饮用水中的营养素/世界卫生组织著;马冠生主译. —北京:人民卫生出版社,2017

ISBN 978-7-117-24229-5

I. ①饮… II. ①世…②马… III. ①饮用水-营养素
IV. ①R151.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 042891 号

人卫智网	www.ipmph.com	医学教育、学术、考试、健康, 购书智慧智能综合服务平台
人卫官网	www.pmph.com	人卫官方资讯发布平台

版权所有,侵权必究!

饮用水中的营养素

主 译: 马冠生

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京铭成印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 11

字 数: 268 千字

版 次: 2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-24229-5/R·24230

定 价: 38.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

序 言

水是生命健康的基石，《中国居民营养素膳食参考摄入量》中建议，居民每日饮水1.5~1.7L，以保证人体健康的生理所需。世界各国对于饮用水的安全都极为重视，世界卫生组织（WHO）也因此制订了《饮用水水质准则》，作为世界各国制订饮用水国家标准的重要依据，保障了基础性的饮用水安全。

但是除了安全以外，关于饮用水还有一个非常重要的课题需要深入研究，即水中的营养，也就是水中的营养成分有哪些，这些营养成分与人体健康的关系，去除这些营养素对人体有什么影响？但是，这些问题过去一直被忽视。尤其在我国，由于环境和社会发展不平衡等多种因素，导致国内对饮用水安全的关注远远大于对饮用水营养的关注，甚至关于饮用水营养问题的科学探讨都没有得到应有的重视。随着我国经济的快速发展，人民生活水平的不断提高，人们对水品质的要求也越来越高，因此普及饮用水中的营养知识就变得尤为重要。

世界卫生组织第一版的《饮用水水质准则》就提出：“饮用水中的钙、镁的典型摄入量约为成人总摄入量的5%~20%”，并且在2003年世界卫生组织修订第四版《饮用水水质准则》前，就在罗马组织了来自世界各国的营养学和医学方面的专家，专门对饮用水中的营养问题进行了深入的探讨。会议重点审视了饮用水中的矿物质被去除或者被人为添加后，对人体健康的长期影响。最终结果表明，水中的矿物元素可以部分补充人群膳食矿物元素的摄入，尤其是钙和镁，并且可能在心血管疾病方面对人体健康存在一定保护，而去除水中矿物质可能存在一定健康风险。会议也认为需要进一步深入的评估这一关系，为后续指导性意见提供依据。会议相关成果集结为《饮用水中的营养素》一书。

因此，《饮用水中的营养素》作为世界卫生组织在饮用水营养方面的权威论著，有必要翻译并在国内出版发行。一方面普及饮用水营养方面的知识，更为重要的是引起国内对饮用水中矿物元素与人体健康关系的科学研究和理性探讨。

本书翻译过程中，秉承遵照原著，真实、准确，努力做到“信、达、雅”。全书主要分为饮用水中的营养成分、占膳食中的比例、与心血管疾病的相互关系、去除矿物质产生的健康风险、以及水中的矿物质营养对婴幼儿和对儿童的影响等14类科学专题，每类专题都给出了相应科学结论和参考文献，供读者参考引用，知识信息非常丰富。期望相关领域的研究人员和普通公众，能从本书中获得有益信息，对饮用水营养和饮用水中的矿物元素引起足够的重视，使得本书在制定相关政策、宣传教育、日常生活中有积极的借鉴作用，也可供从事医学、营养、食品等相关行业的人员参考。

马冠生

北京大学公共卫生学院

2016年12月

前言

2003 年 11 月，世界卫生组织（WHO）在位于罗马的世卫组织欧洲环境与健康中心召开研讨会，组织了一批来自营养、医学和科学等多领域专家研讨了一系列涉及饮用水中的营养组成和饮用水在某些情况下对总膳食营养贡献的议题。该会议由 WHO 东地中海区办公室发起，会议的初衷是进一步完善海水淡化相关的健康和环境方面的指导意见，致力于对第 4 版的 WHO《饮用水水质准则》进行进一步的修订和完善。有 18 位分别来自加拿大、智利、捷克、德国、爱尔兰、意大利、摩尔多瓦、新加坡、瑞典、英国和美国的专家受邀参加会议，未能与会的受邀者则提供了论文。会议的任务是审视长期饮用“人造的”或者“改良的”被添加或去除矿物质的水对人体健康的潜在影响。值得一提的是，本次会议议题源于长期饮用通过除盐工艺生产的淡化海水和淡咸水以及某些膜处理淡水的后果问题，和这些水基于健康角度的优化重组的问题。

讨论的范围包括以下几个问题：

- 饮用水对人类营养的潜在贡献是什么？
- 综合气候、运动、年龄和其他因素，每个人每天的普遍饮水量是多少？
- 饮用水中的哪些物质对身体健康是特别有益的？
- 在什么条件下，饮用水能够成为总膳食摄入中摄取某些有益物质的重要方式？
- 水中的钙、镁及其他微量元素与某些类型的心血管疾病死亡率之间有何联系？
- 从公共卫生的角度看，是否存在某些物质可以用来补充去除矿物质的饮用水的矿物质含量？
- 水中的氟在益齿、氟斑牙和氟骨症中起到什么样的作用？

为了改善其安全性和/或感官质量，饮用水通常会进行一个或多个加工处理流程。淡水经过一个或多个过程进行处理，如絮凝、沉淀、颗粒介质过滤、吸附、离子交换、膜过滤、慢砂过滤和杀菌，有时还需软化。随着水需求的增长，水资源短缺的地区越来越多地将海水和微咸水等高盐度水通过脱盐淡化转化为饮用水，使得该类技术变得越来越具有经济吸引力。世界上每天通过脱盐处理被生产出来的水超过 60 亿加仑。为了控制其对管道配送系统的侵蚀，对脱盐水再矿化是必要的。由于脱盐水再矿化的要求，有个逻辑性的问题是：是否有方法可以带来额外的益处，比如重组一些重要的矿物质？

天然水源多样化的成分取决于它们的地质和地理起源以及它们经历的处理方式。例如，雨水和以雨水为主的地表水的盐度和矿化度很低，然而一些地下水却可能是高度甚至过度矿化的。如果出于健康的原因进行水的再矿化，那么另一个逻辑性问题是，一些含有适宜矿物元素的天然水是否更加健康？

会议的结论是，只有一些天然水源中含有的矿物元素能够达到足够的浓度和分布，对通过饮用这种水的一些人群的膳食摄入起到重要的补充作用。镁和钙是对于饮用硬水的人群的膳食摄入最可能有贡献的两种物质。在过去的 50 年中，有大约 80 项不同类型的流行病学研究提供的信息表明，饮用硬水可能减少人群缺血性心血管病的发病率。虽然研究结果大多具有生态学 and 多样化差异，但是本次会议的结论提示，硬水可能对许多的心血管疾病具有有益作用，尤其是镁可能是其中贡献最大的因素。这一结论得到了一些病例对照研究以及临床研究的支持。还有一些关于其他健康益处的报告，但暂时还没有足够的证据佐证这些观点。会议还决定，在做出指导决定之前，世卫组织应对该假设进行包括生物可信性检查在内的更详细的评估。计划在 2006 年举行一次后续专题讨论会和会议，以讨论这项建议。

关于氟方面，会议得出的结论是，水中摄入适宜水平的氟离子有助于牙齿健康。会议还指出，较高的摄入量可能促进氟斑牙生成，更高的摄入量会导致氟骨症。会议结论指出，是否将去除矿物质的水中再矿化入氟取决于：现有供水中的氟浓度、饮水量、龋齿致病因素的流行程度、人群口腔卫生习惯和公共牙科保健意识水平，以及为民众提供牙科护理的替代形式和可获得的氟。

目 录

1. 饮用水中的营养素	1
I. 简介	1
II. 会议中探讨的课题	2
III. 饮水与健康的关系	6
IV. 结论和建议	9
2. 饮用水脱盐指南的制定：背景资料 (<i>Joseph A. Cotruvo</i>)	11
I. 前言	11
II. 饮用水的生产	11
III. 脱盐技术	14
IV. 过滤膜	15
V. 蒸馏技术	15
VI. 其他系统	16
VII. 与脱盐有关的潜在技术问题	17
VIII. 石油污染	18
IX. 结论	20
3. 水需求量，影响因素和推荐摄入量 (<i>Ann C. Grandjean</i>)	22
I. 前言	22
II. 水摄入量不足所产生的不良后果、水需求量以及影响水需求量的因素	22
4. 饮用水中的必需营养素 (<i>Manuel Olivares & Ricardo Uauy</i>)	37
I. 前言	37
II. 营养需求量与推荐量的定义	37
III. 在饮食中以及可能在水中存在哪些对于营养和健康是必需的重要 膳食矿物质和电解质	39
IV. 矿物质和电解质的推荐膳食供给量 (RDA) 是多少？它们是如何确定的？	39
5. 饮用水中矿物质：生物利用度对世界各种人群和健康的影响 (<i>Choon Nam Ong</i>)	54

I. 前言	54
II. 亚洲的研究	54
III. 泛美地区的研究	56
IV. 非洲的研究	57
V. 北美地区的研究	57
VI. 欧洲的研究	58
VII. 西太平洋地区的研究	60
VIII. 结论	61
6. 美国饮用水中选定的微量矿物元素在每日总膳食摄入量中的贡献 (Joyce Morrissey Donohue, Charles O. Abernathy, Peter Lassovszky, George Hallberg)	
I. 前言	65
II. 信息来源	66
III. 数据与分析	67
IV. 分析结果	69
V. 结论	77
7. 与心血管健康有关的矿物质 (Leslie M. Klevay & Gerald F. Combs)	
I. 前言	80
II. 心脏病风险的营养决定因素	80
III. 水与心脏病	81
IV. 与水中矿物质含量有关的其他疾病	81
V. 硬水有益还是软水有害	81
VI. 供水中的微量元素	82
VII. 结论	83
8. 特定人群的矿物质与心脏健康研究 (Floyd J. Frost)	
I. 前言	88
II. 缺镁	88
III. 钙、铜及锌缺乏	90
IV. 镁、剧烈运动及心脏性猝死	90
V. 结论	91

9. 如何理解流行病学相关性 (<i>Gunther F. Craun & Rebecca L. Calderon</i>)	94
I. 前言	94
II. 流行病学研究的类型	95
III. 暴露 - 疾病关系	96
IV. 相关性的因果关系	98
V. 病因网	99
VI. 结论	100
10. 水硬度与心血管病: 1957—1978 年流行病学研究回顾 (<i>Rebecca L. Calderon & Gunther F. Craun</i>)	102
I. 前言	102
II. 专家组的科学回顾	102
III. 流行病学研究小结	104
IV. 关联强度	107
V. 暴露 - 反应之间的关系	107
VI. 相关性的特异性	108
VII. 可逆性	109
VIII. 生物学合理性	109
IX. 结论	109
11. 饮用水的硬度与心血管疾病: 1979—2004 年流行病学研究综述 (<i>Silvano Monarca, Francesco Donato, Maria Zerbini</i>)	112
I. 前言	112
II. 方法	113
III. 结果	113
IV. 讨论	115
V. 结论	118
12. 饮用去矿物质水 (又称软化水) 产生的健康风险 (<i>Frantisek Kozisek</i>)	130
I. 概述	130
II. 饮用去矿物质水或低矿物质水的健康风险	132
III. 去矿物质饮用水的适宜矿物含量	136
IV. 饮用水的钙、镁和硬度水平准则和指令	137

V. 结论	138
13. 饮用水中的营养矿物质：对婴幼儿营养的影响 (<i>Erika Sievers</i>)	143
I. 前言	143
II. 婴儿营养中的矿物质摄入量评估	143
III. 婴幼儿时期饮用水的摄入量	144
IV. 饮用水对婴儿期和幼童时期营养矿物质摄入量的贡献	147
V. 结论	153
14. 氟 (<i>Michael A. Lennon, Helen Whelton, Dennis O'Mullane, Jan Ekstrand</i>)	158
I. 前言	158
II. 人体的氟摄入量	158
III. 摄入的氟对牙齿的影响	159
IV. 氟摄入量与健康	161
V. 除盐的影响	162
VI. 结论	162

1.

饮用水中的营养素

长期饮用去矿物质、人工添加矿物质和改变矿物质含量的
饮用水对健康的潜在影响

专家意见
会议组报告

I. 简介

目前，世界各地都在广泛地实践应用海水和淡盐水的脱盐技术，该技术发展迅速，已经逐渐成为获得新淡水资源的主要来源。海水处理工艺主要包括脱盐，再矿化，得到的饮用水与淡水来源的饮用水相比，其矿物质组成发生了变化。

WHO《饮用水水质准则》为世界各地的饮用水水质法规和标准制订提供参考。该准则通过“滚动修订”方式持续更新，包括编制附属文件充实准则的内容，并提供实现饮用水安全的良好操作经验指导。这份准则包含对脱盐技术的良好操作指导，使其成为安全饮用水的一种来源。

1999年，WHO的东地中海地区办事处提出如下建议：制订WHO“安全水指导：海水淡化的健康与环境”，因为很多现有设施已经逐项开发；需要在选址的重要原则、海岸线保护、设备使用时化学品与接触面的应用、水处理和设备建设、污染物、配水、微生物控制和最终产品水质等方面分别考虑。国际指导将减少特别决策，促进知情决策，帮助提供更高水质，考虑环保因素，降低费用，促进项目更快完工。对于世界各地日益增加的脱盐需要，将及时给予上述指导。此准则的立项计划于2000年在德国柏林举行的WHO饮用水水质准则委员会会议上提出。2001年5月，在巴林麦纳麦的一次专家磋商会议上对此提议进行了审查，并提出了执行计划和程序。随后于2003年，在WHO欧洲地区驻意大利罗马办事处召开的一次会议的上形成了这份报告和配套文件。该会议是上面所述脱盐指导开发计划的一部分。

本报告中的健康问题来源于长期饮用的水中矿物质含量已经发生重大改变，因此必须再矿化，以便与管道输水系统兼容。报告还研究了饮用水中钙和镁之间的关系对某些心血管疾病风险的影响。此外，根据水的摄入量，简要回顾了再矿化水中的氟化物对牙齿的影响。

1. 背景资料

不同来源的饮用水会采用一种或几种不同的处理工艺，以提高水的安全性和/或品质。

应根据不同源水、组成和需要去除的污染物选择不同的处理工艺。地表淡水通常采用凝聚、沉淀、快速砂滤和消毒处理。地下水通常经过天然过滤，一般进行较少的处理，有些可能只需要消毒。其他处理工艺可能还包括 pH 值调节、软化、添加化学防腐蚀剂、碱度调节、碳过滤/吸附、膜过滤、慢砂滤和氟化处理。可采用的消毒剂有氯气、二氧化氯、臭氧或氯胺。所以，在水的处理中，往往会直接或间接地带入一些化学物质。

对于如淡盐水、海水等含有较高盐分的水（例如，盐分大约在 1000ppm 到 40000ppm），处理工艺必须除去大部分溶于水中的盐，使水适于饮用。主要处理方法包括反渗透，其他膜处理或蒸馏/蒸汽冷凝处理。这些工艺需要大量预处理，水质调节和再矿化，以至于成品水明显不同于源水，不会过度影响管道输水系统。

在淡水处理过程中，污染物和一些潜在的有益营养物质会被去除，而一些物质可能被带入。通过软化或膜过滤处理的水，由于处理工艺的影响，其矿物质含量会发生重大变化。

为了稳定被分离其中溶解物质的水，降低其腐蚀性，常采用石灰或石灰石对饮用水进行再矿化，提高碱性。此外，氢氧化钠、碳酸氢钠、碳酸钠、磷酸盐和硅酸盐有时也会单独或混合使用。石灰石的主要成分是碳酸钙，有时也含有大量的碳酸镁和其他矿物质，其组成与采石场的地理位置有很大的关系。很多国家规定了包括石灰在内的水处理化学物质和材料的质量规范，这些规范确保用于饮用水处理的化学物质在规定的使用条件下，其添加不会显著增加饮用水中潜在有害污染物的浓度。

2. 审查范围

根据饮用水准则，对饮用水的相关组成进行审查以保护和提高公众健康。

- 饮用水对人体总营养摄入的可能贡献有哪些？
- 考虑到气候，锻炼，年龄等因素，人一般每天消耗多少饮用水？
- 饮用水中通常存在哪些物质对身体健康和生活舒适产生重大影响？
- 在什么条件下，饮用水能对人体总饮食中有益物质摄入量产生显著影响？
- 水中所含钙、镁和其他微量元素与某些心血管疾病的死亡率之间存在怎样的关系？
- 根据公共健康观点，是否有一种物质可以作为将矿物质添加到处理后的去矿物质饮用水中作为补充的典型案例分析？
- 氟化物在再矿化饮用水中是保护牙齿的作用更显著，还是引起氟斑牙和氟骨病的作用更显著？

II. 会议中探讨的课题

1. 饮用水摄入量

了解水的摄入量是非常重要的。每天水的摄入量还决定其中所含的矿物质的摄入量。一个人每天的水摄入量大致等于人体必要的水损失加上由于人体活动和气候引起的排汗量。WHO（2003 年）和其他组织（ILSI，2004 年）已经综述了在各种条件下人体摄入和水合作用对水的需求量，表 1-1 提供了水合作用需要的水量方面的资料。WHO 和一些管理机构在计算饮用水准则和标准时，一般采用成人每天水摄入量为 2L 的假设。强体力活

动，特别是在非常炎热的天气下，会明显增加对水的需求，排汗速度可达 3 ~ 4L/h，这个数值随着工作/锻炼强度和持续时间、年龄、性别、训练、耐热性、气温、湿度、风速、云量和着装等而变化。美国军方估算了每小时水摄入量与能量种类的关系，并且同样得出结论，水摄入量不宜超过 1.03L/h 或 11.35L/d。承受热和生理压力的人们需要特别注意水和总盐分（氯化钠）的摄入量，在凉爽环境中，人体对盐的需要量为 2 ~ 4g/d，而在炎热环境中，人体对盐的需要量达到 6 ~ 12g/d。在这些条件下，盐的摄入量不足可能导致致命的结果——低钠血症。

表 1-1 水合作用需要的水量（L/d）-参考值估计，WHO，2003 年

	平均值	高温下体力劳动	怀孕/哺乳的总需要量
成年女性	2.2	4.5	4.8（怀孕） 3.3（哺乳）
成年男性	2.9	4.5	
儿童	1.0	4.5	

人体摄水来源包括日常饮水、其他饮料中的水和食物中的水（固有的水和/或在食物制作过程中加入的水），另外，人们还可从食物的代谢中获得部分水。一般认为，人体每天平均水摄入量中约三分之一来自食物。其余所需水必须通过摄入液体获取。

获取的方便程度、环境温度、口味、口味的多样性、饮品温度、饮品与人的接近程度，甚至盛装的容器都会对水的摄入量产生影响。我们还发现，文化差异也会影响消费饮品的类型。显然，潜在的有害污染物和有益元素的每天摄入总量与水的消费总量和类型存在直接关系。

2. 饮用水是必需矿物质的来源之一

目前有大约 21 种矿物元素被确定或认为可能是人体所必需，包括 4 种具有生理功能的阴离子或阴离子团（氯 Cl^- ，磷 PO_4^{3-} ，钼 MoO_4^{2-} ，氟 F^- ）；8 种具有生理功能的简单阳离子 [钙 (Ca^{2+})，镁 (Mg^{2+})，钠 (Na^+)，钾 (K^+)，铁 (Fe^{2+})，铜 (Cu^{2+})，锌 (Zn^{2+})，锰 (Mn^{2+})]，它们通过完整蛋白质或各种小型有机分子螯合；两种非金属离子 [碘 (I) 和硒 (Se)] 是代谢过程中形成的共价化合物 [例如碘化甲（状）腺氨酸，硒代半胱氨酸的组分]；5 种附加元素的离子：硼 (B)，铬 (Cr)，镍 (Ni)，硅 (Si) 和钒 (V)，其营养意义仍需要进一步研究。因此，14 种矿物元素对于人体健康是必要的；这些元素以组合形式影响骨骼和膜结构 (Ca, P, Mg, F)、水和电解液平衡 (Na, K, Cl)、新陈代谢催化作用 (Zn, Cu, Se, Mg, Mn, Mo)、氧结合 (Fe) 和激素的功能 (I, Cr)。

微量营养素缺乏给健康带来的影响包括由于免疫功能降低、身体和心理发育受损导致的发病率及死亡率的增加。一些矿物元素特别是铁和碘的缺乏，已经成为世界上很多地方的基础健康问题。全球近 40% 的妇女患贫血症，这在很大程度上是由于从饮食中获取的铁量不足引起的。钙（可能还包括镁）的摄入量较低导致世界各地许多儿童患佝偻病，妇女患骨质疏松症。由于饮食不当，很多儿童缺铁、锌、铜以及其他微量营养素，特别是在发展中国家。世界上三分之一的儿童身心健康发育不良，很多儿童容易感染传染病，儿童死

亡有一半是由于传染病造成的。由于碘缺乏，大约 7.5 亿人因碘缺乏患有甲状腺肿或呆小症，几乎有 20 亿人碘的摄入量不足。这些营养缺乏导致成年人的工作效率低下，发病率和死亡率增加。还有很多疾病可能与饮食中缺乏铜、铬和硼有关。在发达国家，膳食结构的改变可能引发某些疾病，例如牛奶摄入量降低可能导致骨质疏松症。

饮用水可能天然含有或有意无意加入一些必需矿物质。饮用水中的矿物质含量变化较大，由于自然条件的作用（例如钙，镁，硒，氟，锌）、人为添加（氟）或管道滤出（铜），大多数饮用水提供的必需矿物质较少。很多人购买矿泉水，是因为他们感觉矿泉水比普通饮用水更有利于健康。

肠道吸收饮用水中的矿物质的效率受各种因素影响，包括特定化学形式的固有特性、肠道环境的生理条件以及通过饮食摄入矿物质等有关的外部因素。例如，水溶性硒（亚硒酸盐、硒酸盐）属于被动吸收，其吸收效率（60% ~ 80%）低于食物中的硒代氨基酸（90% ~ 95%）（通过肠道主动吸收）；水中的无机氧化铁吸收效率非常低（<5%），类似于植物性食物中的非血红蛋白铁的吸收；矿物质吸收效率随着年龄的增长而降低（铜，锌），出生后早期缺乏调节会影响吸收（铁，锌，铬），在缺乏期间受体增量调节会导致吸收效率适应增加（铁，锌，铜，锰，铬），同时也受其他协同营养物质（硒-碘，铜-铁）代谢，组织合成代谢和分解代谢效应的影响。

水中矿物质和食物中矿物质的生物利用率的决定因素相似。例如，肌醇六磷酸、磷和甘油三酸酯都可以降低腔内溶解性以及钙的吸收性；肌醇六磷酸和其他不可消化的纤维成分可以结合铁，锌，铜和镁，而硫化物可结合铜，降低其吸收。使用相同转运蛋白的矿物质可能互相抑制（ SO_3^{2-} 与 SeO_3^{2-} ； Ca^{2+} 与 Zn^{2+} ； Cd^{2+} 与 Zn^{2+} ； Zn^{2+} 与 Cu^{2+} ）。相反，二价阳离子（ Ca^{2+} ， Fe^{2+} ， Cu^{2+} ， Zn^{2+} ）的生物利用率可通过某些螯合物质得以提高（例如肉中某些成分与维生素 C），这些物质能促进其肠道吸收，同时也可通过某些益生元（例如菊粉和其他左旋寡糖）提高。总之，水中的离子与一些含有肌醇六磷酸或多酚以及一些催化剂的植物源食物一起食用时，生物利用度较差。同样，当钙与含有草酸盐的蔬菜（苋菜，菠菜，大黄，甜菜，食用甜菜）一起摄入时，利用也较差；与具有较高的未精炼、未发酵谷物食品，或含有较高肌醇六磷酸的豆制品一起摄入时，水中的钙、铁、镁、磷或锌元素的利用较差。另外，钙和草酸盐在肠道中的络合物可能降低肾结石形成几率。表 1-2 总结了这些矿物质的典型生物利用度。

饮用水对营养状态的潜在影响也取决于水的摄入量，水的摄入量很大程度上受行为因素和环境条件的影响。相对水摄入量最大的个体主要有婴儿、热带居民和从事重体力劳动的个人。

根据所有这些因素，这些常在饮用水中被发现可能具有显著水平，并受到特别关注的营养物质为：

- 钙——在骨骼健康和心血管健康方面起到重要作用；
- 镁——在骨骼和心血管健康方面有重要作用；
- 氟化物——在预防龋齿方面有效；
- 钠——一种重要的细胞外电解质，如果排汗过多，会损失；
- 铜——在抗氧化功能、铁元素利用和心血管健康方面有重要作用；
- 硒——在一般抗氧化功能和免疫系统方面有重要作用；

• 钾—对于各种生物化学效应具有重要作用，但它通常不会在天然饮用水中以显著水平出现。

表 1-2 饮用水中营养学上重要的矿物质的典型生物利用度和摄入量

生物利用度	摄入量	
	某些供给中的适度数量	大多数供给中的较低数量
高	硒*	磷
	钠	钾*
	氯	钼
	氟	碘*
		硼*
中等/可变	钙*	锰
	镁*	
	铜*	
	锌*	
低	铁*	铬

* 至少在一些国家，未能达到理想摄入和/或普遍缺乏

3. 婴儿和新生儿

与成年期相比，婴儿期和儿童期对水和必要的矿物质的需要随体重的增大而增加。新生儿每单位体重需要的水摄入量最高，随着年龄的增长，水摄入量逐渐降低。特殊情况下需要额外的水摄入量，例如早产儿、出生时体重不足的婴儿或患有腹泻疾病的婴儿。老年人和身体虚弱的人往往不能摄入足够的水或其他液体，并且可能因脱水对身体健康造成不利影响（WHO，2003 年）。

《WHO 婴幼儿喂养全球策略》提倡出生后的前 6 个月完全用母乳喂养。如果无法母乳喂养，则有必要考虑采用配方奶粉喂养。用于冲调配方奶粉的饮用水的矿物质含量变化将导致配方奶的矿物质含量变化。缺乏适当的矿物质或存在过量的盐分均对婴幼儿有害，因此有些水可能不适合用于婴幼儿配方奶粉的冲调。钠就是一个很好的例子，因为婴幼儿对钠的需求量较低。

配方奶粉喂养的婴儿也存在过量摄入饮用水中潜在有毒元素的风险，例如高腐蚀性水在通过铜或铅的管道时会浸出大量铜和铅，导致婴儿摄入过量的铜或铅。如果水中的铅主要来源于含铅的黄铜龙头或铅焊管接头，因此不使用“最初流出”的水进行配方奶粉冲调，而是让自来水先流一会儿，一般可明显降低水中的金属含量。如果铅来自于其他部件或管道，则需要其他的处理。供应饮用水时，去矿物质水的再矿化/稳定化应考虑婴儿和儿童的特殊要求，包括钙、镁和基于地区饮食组成的其他矿物质。

Ⅲ. 饮水与健康的关系

1. 水硬度与心血管疾病：水硬度，钙和/或镁，以及心血管疾病风险的流行病学研究

1957 年以来，世界各地出版的 80 多个流行病学研究文献表明，水硬度与心血管疾病风险有关（见 Calderon 和 Monarca 的文章以及表 1-1 的部分摘要）。这些研究在 17 个以上国家开展，主要分布在北美，欧洲和日本。在本报告中收集的大多数研究在英文科学杂志上出版，有些是从东欧文献中翻译过来的。

除少数研究外，大多数研究发现心血管疾病的死亡率和水硬度增加（通过碳酸钙或另一种硬度参数和/或水中钙和镁含量测量）之间存在负相关（保护因素）。来自不同国家的调查者利用不同的研究设计得到了相同的结论，在群体和个体的研究中都证明水硬度的增加对于降低心血管疾病的死亡率有益。报告中最常见的好处是降低了局部缺血性心脏病死亡率。最有力的流行病学证据表明饮用水中镁浓度对心血管疾病存在有益影响，另外也有证据显示为饮用水中钙浓度的影响，但不够强。另外，有来自实验和临床调查的证据，指出钙和镁可能具有协同作用。这些流行病学研究的潜在意义是，通过简单调节水质，有益健康的影响可能长期惠及大量人群。

对镁和钙的一些干预和临床研究（没有特别包含在本报告中）表明它们在降低高血压患者的血压方面可能有效。镁对心脏和血管平滑肌细胞发挥多细胞和分子效应，这可能成为解释其保护作用的有力的依据。关于心脏疾病后静脉滴注镁的几项医疗研究得到的结果不同，但是一个治疗疑似心肌梗死的案例显示，通过静脉注射镁盐 30 天可以降低由心率不齐和心肌梗死引起的死亡率。其他控制人体消耗量的研究中，当比较饮食中镁含量较低和较高的人群时，已测量出其生理差异。

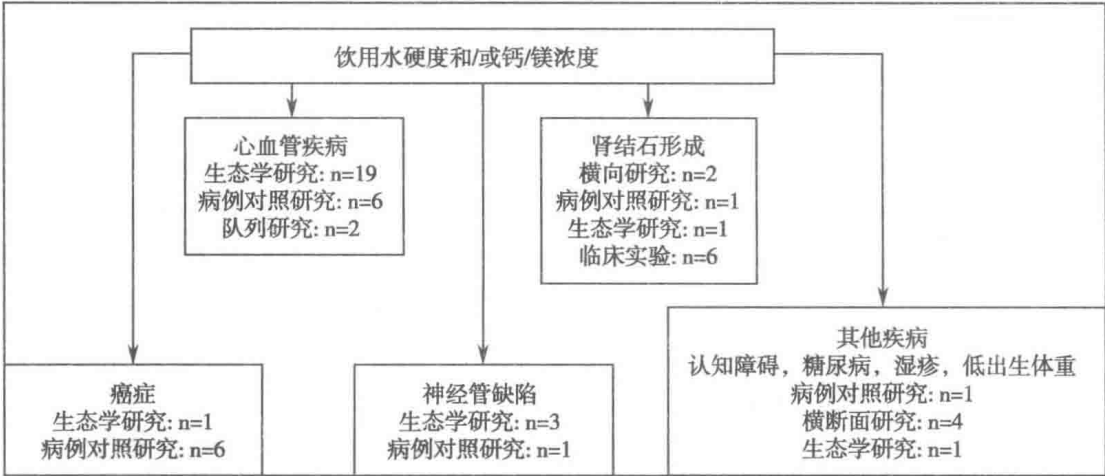


图 1-1 1979—2003 年关于饮用水硬度和慢性疾病关系的主要流行病学研究

2. 其他水成分的研究

其他微量营养素及微量元素营养的研究在本综述中尚未进行全面分析，但营养研究表明这些元素对身体有直接或间接的好处。然而，最近在芬兰发表的研究显示，饮用水中的铁和铜可能与心脏病风险增加有关。另一方面，该研究表明与硬水摄入有关的益处还可以解释为与软水相比，其较低的腐蚀性所带来的间接结果，因其可以降低人们摄入的从管道和设备中溶入饮用水中的金属量。我们需要更多的研究文献来理解这些水中的必需元素和其他微量元素可能存在的风险和好处，以及在水中的含量。

3. 讨论

硬水是钙或镁的一种膳食来源，尽管绝对和相对浓度会随来源和饮水量产生巨大的变化。摄入硬度适中、含有一定量钙和镁的水是日常膳食需求的重要组成部分。在世界范围内，通过膳食摄入的钙和镁通常不足，因此，从饮用水中补充摄入也是一个重要途径，可达到更加理想的状态。也有研究表明在烹调过程中使用硬水能减少食物中钙、镁和其他必要矿物质的流失。如果使用含有较低浓度的矿物质的水生产食品饮料，产品中也会发生钙、镁和其他必要矿物质浓度降低的现象。饮料用水的矿物质含量较低和烹调过程中食物产品（例如，蔬菜，谷类，土豆或肉）的矿物质流失（进入烹调用水）都有可能导导致矿物质的低摄入量。

大部分流行病学研究报告中生态类型不太精确，但也有几个队列研究和病例对照研究。根据已评估的研究，会议得出结论，有充分的流行病学和其他生物学证据支持饮用水中的镁浓度，可能还有钙浓度，与（缺血性）心血管疾病死亡率之间存在负相关的假设。

在较大范围内，没有相关证据表明钙和镁的摄入可能对人体健康有害，而且钙和镁的营养重要性是众所周知的。此外，有限的但是有启发意义的证据显示其也能对其他疾病有益（卒中、肾结石形成、老年人认知功能障碍、低出生体重、儿童骨折、怀孕并发症、高血压以及一些癌症）。建议在再矿化工艺中，添加钙和镁，这可能给消费者带来有益健康的作用。在去矿物质水中加入碳酸钙和碳酸镁（石灰或石灰石）可以使水稳定，并且费用相对低廉。每天增加从该来源摄入相应元素不需要个人改变生活行为，并且这已经成为很多水处理工艺的一部分。

在英国、美国、瑞典、俄罗斯和法国开展的流行病学研究以及对钙/磷代谢和骨骼脱钙作用的研究提供了有关饮用水中钙镁含量（以及水硬度）的资料，这些资料说明，饮用水中的钙镁含量可能具有有益健康的作用。几位作者提出，降低心血管疾病死亡率及其他健康益处与饮用水中至少约 20 ~ 30mg/L 的钙和 10mg/L 的镁水平有关。按照饮用水中钙镁最低水平所建议的每天摄入的钙和镁百分比将随国家及地区的不同而变化。因此，含有较低浓度的矿物质的水可能在某些地区足以为人们带来健康，但是在其他地区可能需要较高浓度。所有的健康益处取决于总的饮食摄入量和除水浓度以外的其他因素。因为资料有限，需要进一步的分析和研究以确定给每个地方的人们提供最有益的钙和镁的水平。

4. 再矿化饮用水中的氟化物

大多数饮用水含有一些氟化物。氟化物在海水中的浓度约为 1.2 ~ 1.4mg/L，在地下