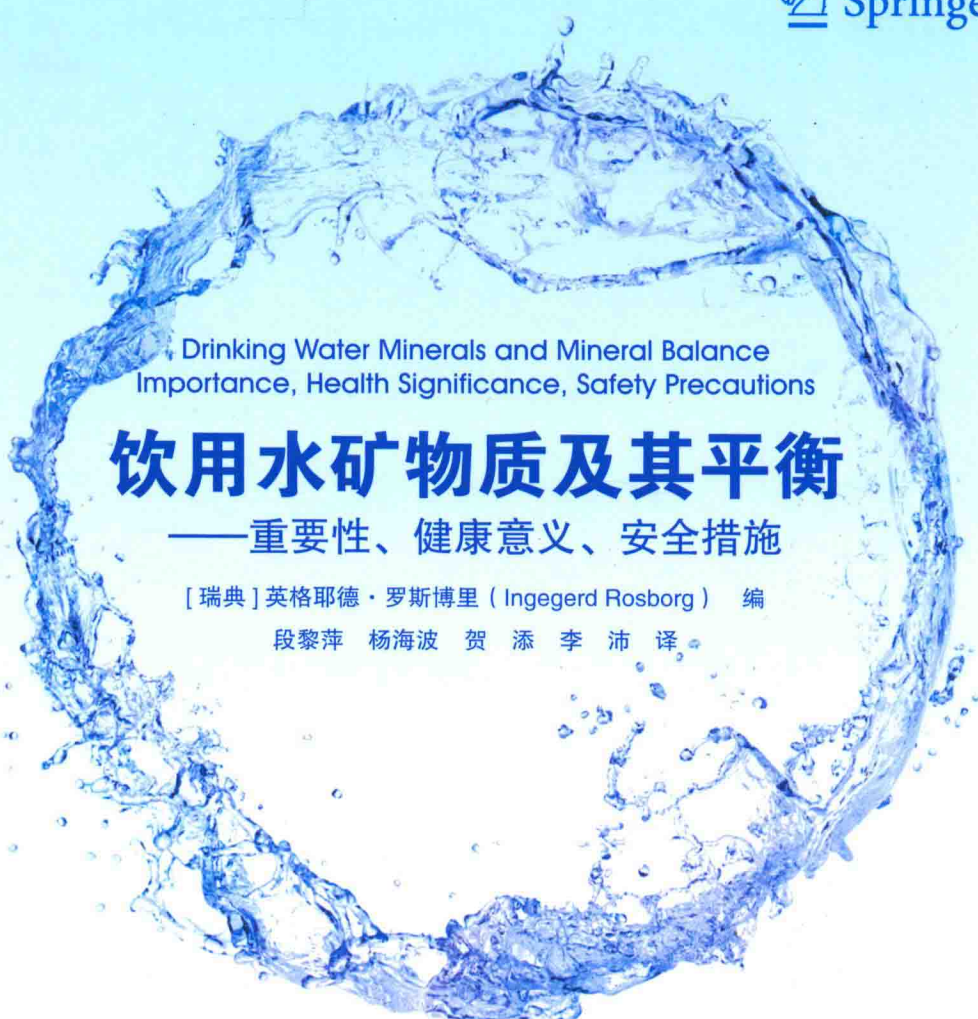




Drinking Water Minerals and Mineral Balance
Importance, Health Significance, Safety Precautions

饮用水矿物质及其平衡

——重要性、健康意义、安全措施

[瑞典] 英格耶德·罗斯博里 (Ingegerd Rosborg) 编

段黎萍 杨海波 贺添 李沛 译



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

饮用水矿物质及其平衡

——重要性、健康意义、安全措施

[瑞典] 英格耶德·罗斯博里 (Ingegerd Rosborg) 编

段黎萍 杨海波 贺 添 李 沛 译



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

饮用水矿物质及其平衡: 重要性、健康意义、安全措施 / (瑞典) 英格耶德·罗斯博里 (Ingegerd Rosborg) 编; 段黎萍等译. —北京: 科学技术文献出版社, 2017.5

书名原文: Drinking Water Minerals and Mineral Balance: Importance, Health Significance, Safety Precautions

ISBN 978-7-5189-2670-1

I. ①饮… II. ①英… ②段… III. ①饮用水—矿物质—研究 IV. ① R123.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 078229 号

著作权合同登记号 图字: 01-2017-2618

中文简体字版权专有权归科学技术文献出版社所有

Translation from the English language edition:

Drinking Water Minerals and Mineral Balance. Importance, Health Significance, Safety Precautions

edited by Ingegerd Rosborg

Copyright © Springer International Publishing Switzerland 2015

Springer International Publishing is part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

饮用水矿物质及其平衡——重要性、健康意义、安全措施

策划编辑: 李蕊 责任编辑: 王瑞瑞 杨茜 责任校对: 张咧咧 责任出版: 张志平

出版者 科学技术文献出版社

地址 北京市复兴路15号 邮编 100038

编务部 (010) 58882938, 58882087 (传真)

发行部 (010) 58882868, 58882874 (传真)

邮购部 (010) 58882873

官方网址 www.stdp.com.cn

发行者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销

印刷者 北京时尚印佳彩色印刷有限公司

版次 2017年5月第1版 2017年5月第1次印刷

开本 710×1000 1/16

字数 156千

印张 11.75

书号 ISBN 978-7-5189-2670-1

定价 46.00元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

编 者

主编

Ingegerd Rosborg

哲学博士，瑞典皇家理工学院，建筑和建设环境学院，环境科学和技术系，瑞典斯德哥尔摩

参编

Asher Brenner

教授，内盖夫本·古里安大学，环境工程研究院，工程科学学院，以色列贝尔谢巴

Margherita Ferrante

副教授，卡塔尼亚大学，意大利卡塔尼亚

Dragana Jovanovic

博士研究生，塞尔维亚公共卫生研究所，塞尔维亚贝尔格莱德

Frantisek Kozisek

医学和哲学双学位博士，国家公共卫生研究所，水卫生系，捷克共和国布拉格

Bengt Nihlgård

荣誉教授，隆德大学，植物生态学和系统学，瑞典隆德

Kenneth M. Persson

教授，Sydvatten 公司，瑞典马尔默

Larry Russell

哲学博士，里德国际有限公司，美国加州伯克利

Olle Selinus

荣誉教授，林奈大学，瑞典卡马尔

Vasant Soni

理学硕士，独立水研究者，印度孟买

序 言

水矿物质——公众健康的双赢议题

21 世纪早期，饮用水安全受到全球普遍关注，因为全球有数以亿计人无法获得干净、安全的饮用水。气候变化的风险日益增长，这让我们意识到，全球很多地区水安全隐患日益严重，不容忽视。在越来越多的地区，人们喝着由低质量的水或海水经处理和再生后得到的水，另外，瓶装水的销量迅猛增长。

水是生命与健康之源，成年人平均每天至少需要 2 L 水以维持身体的最佳状态和机敏度。水安全通常指水中没有致病细菌和病原体。然而，决定人们身体健康与平衡的并不仅仅是水本身，水中的矿物质含量也非常重要。我们通常所说的“硬水”是指富含矿物质的水，“软水”是指酸性更强的水。然而，我们对水的矿物质组成又真正了解多少呢？我们是否需要公共卫生指导，告知我们需要关注水中的矿物质呢？水供应商是否给予了这些矿物质足够的关注，是否需要更好的管理呢？本书将对这些问题进行深入探讨。

早在几千年前的罗马时期，人们便发现了温泉中高矿水的保健功效。随着时间的推移，人们也已经清楚地意识到水中某些元素含量过高同样会带来危害，例如，孟加拉国的饮用水井中含有的砷导致了大范围的疾病和死亡。饮用水砷中毒已影响世界各地 1.3 亿余人，现已被世界卫生组织（WHO）认定为突发性公共卫生事件。目前，关于水中各种矿物质的推荐用量指南已经制定出来了，有害健康的矿物质含量水平已被广泛熟知，但

有益健康的饮用水矿物质水平却没有研究得如此透彻。一般来说，很多元素在量少时对人体有益，甚至是必需的，但含量过高时就会有害健康。

本书首先介绍了水中的矿物质及其对人和动物的影响，其中详细介绍了元素之间的相互作用，这对判定它们的利与弊非常重要。比如说，很多人知道钙是人体最丰富的元素，也是骨骼和牙齿强健生长的必需品，但是又有多少人知道钙与镁不相容，而后者竟是心脏健康的必需品呢？过量的钙会阻止镁元素的吸收，因此，饮用水中这两种元素的最佳平衡对健康至关重要。碳酸氢根离子是人体中最重要的酸度缓冲剂，水中的碳酸氢根离子能降低骨质疏松症的发病率，并且与硬水地区（重碳酸盐碱度较高）长寿率的日益增长联系紧密。另外，目前有大量的证据表明钠、钾、硫酸盐等这些常量元素都与人体健康有关。

人们对硒、锂、锌、氟、铬、硅、铜、硼等微量元素的作用的认知还很模糊，至今为止能反映它们的作用的证据也很少。某些疾病包括某些癌症与缺硒有关。锌对身体的健康生长和免疫系统的正常运作至关重要。锂能预防某些精神健康紊乱症状。硼对关节功能非常重要，因此维持其在体内的最佳水平能有效地预防关节炎。另外，众所周知，氟元素能很好地保护牙齿。但是关于其他的微量元素，我们还需要大量的研究和后续结论。

随着淡水资源的减少，越来越多的人依赖于净化水和再生水，水的矿物质含量问题变得日益重要。利用反渗透和蒸馏技术处理的水是“软化水”或称“脱矿水”，长期饮用此类水会严重影响健康，约旦就是一个典型的例子，但这样的水也很容易再矿化，这一举措有利于公共健康。

目前的饮用水规程重点关注细菌和毒素的最大允许含量，但矿物质平衡也一样重要，应该合理地规定矿物质含量的最大值与最小值，以及各种成分所占的比例。安全的再矿化水为公共卫生（健康）提供了双赢的解决方案：人们既能避免水中有害物质的危害，又能获得重要元素的平衡，这会大大有助于健康和长寿。

全球都应提高对这个问题的政策意识，制定并实施相关的规程，从而确保喝上干净、安全的再矿化水。

Ania Grobicki 博士

全球水资源管理合作组织（GWP）执行秘书长
瑞典斯德哥尔摩皇后大街 33 号，邮编：SE-11151

前 言

1960—1990 年，北欧地区，尤其是挪威西南部和瑞典，遭受了酸雨的袭击。欧洲大陆和不列颠群岛燃煤燃油释放的二氧化硫溶解在云气中形成硫酸，导致了酸雨的形成。这场酸雨同时还袭击了北欧国家，其基岩和土壤都被酸化。结果是毁灭性的：在贫瘠地区，湖里的小龙虾濒临灭绝，森林里的树木被毁坏，井水被酸化；土壤 pH 陡然下降，碱性降低，钙和镁等营养元素被冲走，而铝和其他有毒元素的浓度升高；酸性井水溶解了管道上的铜，很多小孩吃了这样的水调配的食品后发生腹泻，肠道中的益生菌群落被破坏。随着营养元素的减少和有毒物质的增加，该环境已经失去了矿物质平衡。

2010 年，世界各地的饮用水科学家和从业者齐聚瑞典克里斯蒂安斯塔德参加会议，约有 20 个与会者决定撰写专著论述饮用水中的矿物质及其平衡的重要性，其中的 10 个人参与并完成此项目。

很多大学学科都计划用本书作为讲义，如环境科学、保健、医学教育、水文学、水文地质学、医疗地质学、饮用水工程与生产等。另外，在怎样保护并提高特定矿物质的含量并维持其平衡方面，本书为私营和公营的水供应商提供了很好的指导。同时，本书中说明了促进健康的元素的含量范围和比值，对指导公众理解和评估自来水与瓶装水的健康意义重大。

本书第一章介绍了饮用水矿物质的历史。第二章对比了饮用水中的矿物质和日常饮食中吸收的矿物质。接下来的第三、第四、第五章总结了水中的 42 种营养元素和有毒物质，并论述了它们对人体及健康的影响。第六章介绍了无腐蚀性水中的矿物质含量及矿物质平衡，以及不同的水处理

方法对矿物质含量和平衡的影响。第七、第八章反映了软化水（脱矿质水）的潜在影响及饮用水矿物质平衡的重要性，并列出了各元素的最佳含量范围和比例。第九章给出了未来饮用水管理规定的相关建议。离子被提及时通常不带化合价，很多在水中也可能以络合离子的形式出现。

Ingegerd Rosborg

瑞典斯德哥尔摩

摘 要

饮用水是生命的必需品，是人类最重要的供给，水中的微生物必须对人体无害，不存在污染物和有毒物质，才能被饮用。另外，饮用水能提供矿物质，不同的水源其矿物质含量也不一样。WHO（世界卫生组织）、EU（欧盟）、UAEPA（美国环保局）等机构的饮用水质量指南都列举了饮用水中的不健康成分，另外，还说明了那些会增强腐蚀性，导致水管长垢、衣服掉色的成分。饮用水中的矿物质对人类和动物健康十分重要，因为它们以离子的形式存在于水中，与存在于食物中的矿物质比起来更容易被肠道吸收。水中的常量元素（如钙、镁、碳酸氢盐、硫酸盐等）和微量元素（如锂、钼、硼等）对人体日常需要贡献巨大。通常，水中的常量元素以 mg/L 来度量，微量元素以 $\mu\text{g/L}$ 来度量。比起矿物质补充剂，矿泉水是更好的矿物质来源，因为后者不需要按时按量地服用药片。如果日常饮食不能提供足够的矿物质，喝水就变得尤其重要。

大量的科学研究表明，含有高浓度钙、镁、碳酸盐和硫酸盐的硬水有助于预防心血管疾病。硬水也含有许多其他的常量元素和微量元素，这些元素能够预防骨质疏松症、老年认知功能下降、出生体重下降、癌症及糖尿病等，其中，镁元素尤为重要，最理想的钙镁比是 $(2 \sim 3) : 1$ 。

其他研究表明，在饮用水中锂含量高的地区，精神疾病患者自杀率更低，重大犯罪事件也更少。在含硒量高的地区，癌症患病率更低，骨骼和关节畸形、心脏疾病等发病率也更低。饮用水中氟含量最佳时能坚固牙齿，但浓度过高就可能导致牙齿变色甚至骨骼变形。研究还表明，饮用水中硼的浓度低于 1 mg/L 时对人体有益，铬也是如此。碘浓度大于 $50 \mu\text{g/L}$

的地区，甲状腺肿大的发病率很低。

另外，饮用水中的有毒物质危害健康的例子也多有报道：饮用水中的铝元素被证明与老年痴呆症有关；砷摄入过量与皮肤疾病及癌症有关，特别是皮肤癌和肺癌；饮用水中的铅元素会严重影响儿童的智力，导致多动症、抑郁症，并阻碍血液再生；铁和铜是重要的营养元素，但过量的铁和铜会导致肠道疾病；铀和镭能破坏肾脏功能，但如果同时存在大量的拮抗元素，这种毒害作用就能减少。因此，如果水中含有较高的铅、镭或铀，那么钙、镁等元素的含量也应该高，而且不能被软化或者用反渗透等方法去除，因为这些元素能抵消 Pb、Cd 和 U 的负面影响，一旦去除，就会使得铅、镭或铀的毒害作用变强。这些都是“矿物质平衡”的理论。

反渗透处理使水中的矿物质被完全消除，得到的水具有腐蚀性，不宜当作饮用水。这样的水必须经过再矿化处理，使得钙、镁、碳酸氢盐和硫酸盐等元素的含量至少达到本书所推荐的最低水平。不含有毒元素的方解石和白云石的混合岩石为再矿化的首选材料。

硬水软化剂也能将矿物质含量减少到几乎为零。净水时如果加入氯化钠 (NaCl) 用于离子交换，就会使钠含量增高，从而导致高血压。不应使硬度低于 $8 \sim 10 \text{ }^{\circ}\text{dH}$ 、 $\text{Ca} \approx 50 \text{ mg/L}$ 、 $\text{Mg} \approx 10 \text{ mg/L}$ 、绝对极小值为 $5 \text{ }^{\circ}\text{dH}$ 的水进行软化。

由于公众对水的关注范围已经从水中不良物质的含量标准扩展到水的基本矿物质的组成，本书对饮用水进行了完整的分析。除了规定摄入的各物质的上限外，也给出了推荐的营养元素和离子的最小含量，见摘表 1.1、表 9.2（常量元素）、表 9.3（微量元素）、表 9.4（有毒元素）和表 9.5（元素比例），一些元素的理想比例也已给出。即使饮食情况和生活习惯存在问题，推荐的矿物质浓度范围和比例也不会对健康造成任何影响。这些内容都是饮用水“矿物质平衡”的观点。

遵守标准是首要原则，但在当今，公众越来越清楚矿物质及其相互关系的重要性，这就要求进行更多的水质分析，水的矿物质含量也应告知消费者并注明在瓶装水上。水供应商在选择水源之前应全面分析，选择具有最佳矿物质含量和矿物质平衡的水源。水处理过程应能保护或提高矿物质含量和平衡，并避免过滤掉有毒物质的拮抗元素。碱性过滤器用来提高饮用水 pH，如果使用氢氧化钠 (NaOH)，则只能提高钠元素含量和碱度，而高质量的方解石和白云石的混合岩石（最小毒性含量）是更好的选择。

本书旨在为国家和国际饮用水法律规章的修订提供基本知识，这些法律规章包括欧共体饮用水指令、美国环保局 (EPA) 饮用水规程（条例）及世界卫生组织 (WHO) 饮用水水质准则。

摘表 1.1 饮用水中一些常量营养元素的推荐范围

参数	范围	单位
钙	20 ~ 80	mg/L
镁	10 ~ 50	mg/L
碳酸氢盐	100 ~ 300	mg/L
硫酸盐	20 ~ 250	mg/L
氟化物	0.8 ~ 1.2	mg/L
溶解性固体总量 (TDS)	10 ~ 500	mg/L

致 谢

撰写本书非常有趣且鼓舞人心，但需要花费很多时间，因此一个优秀的合作团队十分重要，作为编者，特别感谢所有参编者。

Ingegerd Rosborg

目 录

第一章 背景.....	1
1.1 充足 / 适量地饮水对健康的重要性	2
1.2 关于农作物和饮用水中的矿物质对当地人群影响的新旧发现.....	4
1.3 疗养胜地简史（不同的水井中含有不同的矿物质和气体， 各具健康功效）	6
1.4 基岩中的元素及其对水的影响.....	8
1.4.1 基岩.....	8
1.4.2 风化作用	9
1.4.3 基岩中的一些元素对地下水的重要性.....	11
1.4.4 去哪里寻找更多的数据？	13
1.5 人体中的矿物质及矿物质比例.....	14
1.6 人体内的渗透压和 pH 平衡.....	19
第二章 饮用水的矿物质组成和日常吸收.....	28
2.1 电导率反映水中的离子含量、矿物质和有毒离子.....	28
2.2 饮用水作为矿物质来源.....	30
2.3 饮用水中的矿物质对日常摄入的贡献.....	31
第三章 常量元素的最佳浓度——预防疾病.....	36
3.1 碱性硬水及其最佳浓度的预防功效.....	36
3.2 硬（碱性）水中的一些常量元素.....	43
3.2.1 常量元素简介	43

3.2.2 钙 (Ca)	46
3.2.3 镁 (Mg)	47
3.2.4 碳酸氢根 (HCO_3)	49
3.2.5 钾 (K)	51
3.2.6 钠 (Na)	52
3.2.7 硫酸盐 (SO_4)	53
 第四章 微量元素的最佳浓度——预防疾病.....	63
4.1 硼 (B)	65
4.2 氯 (Cl)	65
4.3 铬 (Cr^{3+})	66
4.4 钴 (Co)	66
4.5 铜 (Cu)	67
4.6 氟 (F)	68
4.7 碘 (I)	70
4.8 铁 (Fe)	70
4.9 锂 (Li)	72
4.10 锰 (Mn^{2+})	72
4.11 钼 (Mo)	73
4.12 磷酸盐 (PO_4)	74
4.13 铷 (Rb)	75
4.14 硒 (Se)	75
4.15 硅 (Si)	76
4.16 钒 (V^{4+} 、 V^{5+})	77
4.17 锌 (Zn)	78
 第五章 饮用水中潜在的有毒元素.....	98
5.1 铝 (Al)	99
5.2 铵 (NH_4)	99

5.3 锑 (Sb)	100
5.4 砷 (As)	100
5.5 钡 (Ba)	101
5.6 铍 (Be)	102
5.7 溴酸盐 (BrO_3)	102
5.8 镉 (Cd)	102
5.9 氰 (CN)	103
5.10 铅 (Pb)	103
5.11 汞 (Hg)	104
5.12 镍 (Ni)	104
5.13 硝酸盐 (NO_3)	105
5.14 亚硝酸盐 (NO_2)	106
5.15 放射性物质.....	106
5.16 银 (Ag)	107
5.17 锶 (Sr)	108
5.18 锡 (Sn)	108
5.19 钛 (Ti)	108
5.20 铀 (U)	109

第六章 水处理技术及其对矿物质水平的影响.....	126
6.1 无腐蚀性水的化学条件, 如何产生这种条件.....	127
6.2 除盐 / 淡化	131
6.3 软化.....	133
6.4 以色列经验.....	136
6.5 选择维持或提高矿物质含量 / 矿物质平衡的处理方法的 一般建议.....	140

第七章 软化饮用水对健康的影响.....	143
第八章 不同元素之间的相互作用——矿物质平衡的需求.....	150
第九章 饮用水现有规定及其前瞻.....	155
9.1 现有规定及其不足.....	155
9.2 未来饮用水规定建议，需要声明矿物质含量或矿物质平衡.....	158
索引.....	167