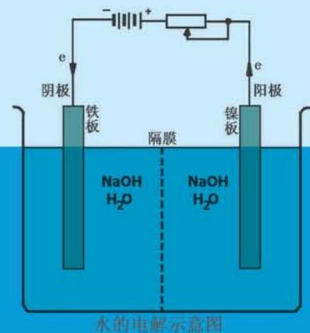


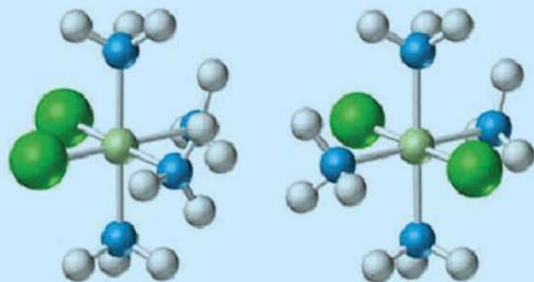
- 教育部国家示范性高等职业院校指定教材
- 高等学校应用型人才培养规划教材



无机化学 与化学分析

WUJI HUAXUE YU HUAXUE FENXI

主 编 沈 萍
副主编 黄 红 覃 宇
主 审 郭 群



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

教育部国家示范性高等职业院校指定教材
高等学校应用型人才规划教材

无机化学与化学分析

	沈	萍	主	编
黄	红	覃	宇	副主编
	郭	群	主	审



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

图书在版编目(CIP)数据

无机化学与化学分析/沈萍主编;黄红,覃宇副主编. —武汉:中国地质大学出版社有限责任公司,2011.8

ISBN 978-7-5625-2598-1

(高等学校应用型人才规划教材)

I. 无…

II. ①沈…②黄…③覃…

III. ①无机化学-职业教育-教材②化学分析-职业教育-教材

IV. ①O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 165899 号

无机化学与化学分析

沈萍 主编
黄红 覃宇 副主编

责任编辑:王文生

策划组稿:方菊 张晓红

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社有限责任公司(武汉市洪山区鲁磨路 388 号) 邮政编码:430074

电话:(027)67883511

传真:(027)67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:400 千字 印张:14.75

版次:2011 年 8 月第 1 版

印次:2011 年 12 月第 1 次印刷

印刷:湖北睿智印务有限公司

印数:1—2 000 册

ISBN 978-7-5625-2598-1

定价:33.80 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

“十五”期间我国高职高专教育经历了跨越式发展，专业建设、改革和发展的思路日益清晰，但是课程改革与教材建设相对滞后，导致高职高专教育人才培养效果与市场需求之间存在一定偏差，现行同类教材过分强调知识的系统性，仅仅注重内容上的增减变化，没有真正反映高职高专教育的特征与要求。“十一五”期间教育部首次成立了专门针对高职高专教学改革与教材建设的指导委员会，并且组织编写了一批国家规划教材，但其中并没针对生物、医学、制药、食品类专业基础课程的无机化学及化学分析的教材，此次该教材编委以2009年武汉职业技术学院国家高职高专示范专业——生物制药技术的建设为平台（国家高职高专示范专业建设成果2010年已经验收合格），融合了国家高职高专示范建设的最新的教學理念，采用具有职业培养特点的项目引领式教学法，针对生物、医学、制药、食品类专业的学生就业岗位的需求和职业特点，兼顾了岗位需求与继续学习的需要编写该教材。本书的主要特色如下。

1. 融合了国家高职高专示范建设的最新的教學理念

以应用型职业岗位需求为中心，以素质教育、创新教育为基础，以学生能力培养为本位，以“实用、够用”为原则，有效减少了高职人才培养效果与市场需求之间存在的偏差。

2. 采用项目引领式教学法

本教材打破了传统教材内容系统化的原则，精选了专业应用领域的实际项目，采用项目引领式教学法，以项目——知识链接——应用实例的模式，让学生在学中做、做中学，实现了学做一体化。

3. 突出实用性和专业性

本教材针对生物、医学、制药、食品类专业的学生就业岗位的需求和职业特点，突出对学生职业技能的培养。例如：通用技能通过设置单独章节进行单项训练，如电子天平的使用、溶液的配制等；关键技能通过在具体任务中进行专项训练，如高锰酸钾标准溶液的配制和标定等。

4. 兼顾了岗位需求与继续学习的需要

本教材由武汉职业技术学院沈萍副教授担任主编，黄红、覃宇担任副主编，其他参编人员有：段怡萍、吴蔚、周如意。由武汉职业技术学院郭群教授担任主审。

因为时间仓促，水平有限，书中定有疏漏和不当之处，敬请广大读者予以批评指正。

编 者
2011. 12

目 录

第一章 元素与人体	(1)
第一节 项目:生命元素的检验	(1)
一、项目目的	(1)
二、仪器与试剂	(1)
三、项目内容	(1)
第二节 知识链接:生命元素	(2)
一、生命元素的分类	(2)
二、生命元素的分布	(4)
三、元素在生物体中的存在形态	(5)
四、部分生命元素的各论	(5)
五、元素与人体	(11)
第三节 阅读材料:生物无机化学在医疗上的应用	(13)
一、生命必需元素的补充	(13)
二、有毒金属元素的促排	(13)
三、防癌元素与金属抗癌药物	(13)
第二章 溶 液	(15)
第一节 项目:缓冲溶液的配制及 pH 值的测量	(15)
一、项目目的	(15)
二、仪器与试剂	(15)
三、项目内容	(15)
四、思考题	(17)
第二节 知识链接:分散体系	(17)
一、分散相与分散介质	(17)
二、分散体系的分类	(18)
三、胶体	(18)
四、大分子化合物溶液	(22)
第三节 稀溶液的依数性	(23)
一、溶液浓度的两种表示方法	(23)
二、溶液的蒸气压	(24)
三、难挥发非电解质稀溶液的沸点升高	(25)
四、难挥发非电解质稀溶液的凝固点下降	(25)
五、难挥发非电解质稀溶液的渗透压	(27)
第四节 酸碱质子理论与缓冲溶液	(29)
一、酸碱质子理论	(29)

二、缓冲溶液的意义及缓冲原理·····	(31)
三、缓冲溶液 pH 值的计算·····	(33)
四、缓冲溶液的缓冲容量与缓冲范围·····	(34)
五、缓冲溶液的选择和配制·····	(34)
第五节 阅读材料:人体的 pH 值——血液中的缓冲系·····	(41)
第三章 化学分析实验室的必备知识 ·····	(45)
第一节 化学分析中的试剂·····	(45)
一、化学试剂的必备知识·····	(45)
二、常用化学试剂的一般性质·····	(47)
三、化学试剂的纯化·····	(47)
四、化学分析实验室常用的干燥剂·····	(54)
五、化学分析实验室常用的气体吸收剂·····	(54)
六、化学分析实验室常用的制冷剂·····	(56)
第二节 化学分析实验室的安全与管理·····	(56)
一、防火、防爆与灭火常识·····	(56)
二、中毒及其救治方法·····	(58)
三、预防烧伤与割伤·····	(60)
四、有害化学物质的处理·····	(61)
五、高压气瓶的安全·····	(61)
六、安全用电·····	(62)
七、实验室管理·····	(63)
第四章 滴定分析法 ·····	(66)
第一节 分析化学概述·····	(66)
一、分析化学的任务与作用·····	(66)
二、分析方法的分类·····	(66)
第二节 定量分析·····	(67)
一、定量分析中误差产生的原因及规律·····	(67)
二、定量分析中误差的表征与表示·····	(70)
三、提高定量分析结果准确度的方法·····	(72)
第三节 定量分析中数据的记录与处理·····	(72)
一、有效数字的位数·····	(73)
二、有效数字的修约·····	(73)
三、有效数字的运算·····	(73)
第四节 滴定分析法概述·····	(74)
一、滴定分析法的分类·····	(75)
二、标准溶液·····	(76)
第五节 阅读材料:非水溶液滴定法·····	(78)
一、非水溶剂的种类·····	(78)
二、非水滴定法的注意事项·····	(78)

第五章 化学分析的基本操作技能	(83)
第一节 项目一:洗液的配制与仪器的清洗	(83)
一、项目目的	(83)
二、仪器与试剂	(83)
三、项目内容	(83)
四、知识链接	(83)
第二节 项目二:固体的称量	(86)
一、项目目的	(86)
二、仪器与试剂	(87)
三、项目内容	(87)
四、知识链接	(89)
第三节 项目三:固体溶解配制溶液	(89)
一、项目目的	(89)
二、仪器与试剂	(89)
三、项目内容	(89)
四、知识链接	(90)
第四节 项目四:浓溶液的稀释与定容	(92)
一、项目目的	(92)
二、仪器与试剂	(92)
三、项目内容	(92)
四、知识链接	(92)
第五节 项目五:酸式滴定管的使用	(95)
一、项目目的	(95)
二、仪器与试剂	(95)
三、项目内容	(95)
四、知识链接	(97)
第六节 项目六:碱式滴定管的使用	(100)
一、项目目的	(100)
二、仪器与试剂	(100)
三、项目内容	(100)
四、知识链接	(102)
第七节 阅读材料:溶液的配制和储存	(104)
一、溶液配制的基本方法	(104)
二、化学试剂和溶液变质因素与储存方法	(105)
第六章 酸碱滴定法	(108)
第一节 项目一:食用醋中酸总量的测定	(108)
一、项目目的	(108)
二、项目原理	(108)
三、仪器与试剂	(108)

四、项目内容	(108)
五、数据记录与处理	(109)
六、注意事项	(109)
七、思考题	(109)
第二节 知识链接	(109)
一、酸碱指示剂	(110)
二、酸碱的标准溶液的配制	(113)
三、酸碱滴定曲线与适用范围	(114)
四、酸碱滴定法的方法误差	(118)
五、滴定误差的计算	(119)
第三节 项目二:铵盐中氮的测定(甲醛法)	(119)
一、项目目的	(119)
二、项目原理	(119)
三、仪器与试剂	(120)
四、项目内容	(120)
五、思考题	(120)
第四节 项目三:阿司匹林的含量测定	(120)
一、项目目的	(120)
二、项目原理	(121)
三、仪器与试剂	(121)
四、项目内容	(121)
五、注意事项	(121)
六、思考题	(121)
第五节 项目四:药物碱的检验——双指示剂法	(121)
一、项目目的	(121)
二、项目原理	(121)
三、仪器与试剂	(122)
四、实验内容	(122)
五、注意事项	(123)
六、思考题	(123)
第六节 阅读材料:酸碱指示剂的发展史	(123)
第七章 沉淀滴定法	(127)
第一节 项目一:测定自来水中氯离子含量	(127)
一、项目目的	(127)
二、仪器与试剂	(127)
三、项目内容	(127)
四、注意事项	(128)
五、思考题	(128)
第二节 知识链接:沉淀的生成和滴定	(128)

一、沉淀的生成	(128)
二、沉淀滴定法	(133)
第三节 项目二:佛尔哈德法测定氯化物的氯含量	(138)
一、项目目的	(138)
二、项目原理	(138)
三、仪器与试剂	(138)
四、项目内容	(139)
第四节 阅读材料:重量分析法	(139)
第八章 氧化还原滴定法与电位分析法	(143)
第一节 项目:过氧化氢含量的测定	(143)
一、项目目的	(143)
二、仪器及试剂	(143)
三、项目内容	(143)
四、数据处理	(144)
五、注意事项	(144)
六、思考题	(145)
第二节 知识链接:氧化还原反应与电极电势	(145)
一、氧化还原反应	(145)
二、电极电势	(146)
第三节 氧化还原滴定法基础知识	(153)
一、条件电极电势	(153)
二、氧化还原滴定曲线	(154)
三、氧化还原指示剂	(156)
四、氧化还原滴定的预处理	(157)
第四节 氧化还原滴定法的种类	(158)
一、高锰酸钾法	(158)
二、碘量法	(160)
三、重铬酸钾法	(163)
第五节 实例1 重铬酸钾法测定亚铁盐中的铁含量	(164)
一、项目目的	(164)
二、项目原理	(164)
三、仪器与试剂	(164)
四、项目内容	(164)
五、注意事项	(165)
六、思考题	(165)
第六节 实例2 维生素C含量的测定	(165)
一、项目目的	(165)
二、项目原理	(165)
三、仪器与试剂	(166)

四、项目内容	(166)
五、实验数据记录与处理	(166)
六、注意事项	(167)
七、思考题	(167)
第七节 阅读材料:生物体内氧化还原体系及其应用	(167)
第九章 配位滴定法	(170)
第一节 项目:自来水中总硬度和钙镁含量的测定	(170)
一、项目目的	(170)
二、仪器与试剂	(170)
三、项目内容	(170)
四、数据记录与处理	(171)
五、注意事项	(171)
六、思考题	(172)
第二节 知识链接:配合物基础知识	(172)
一、配合物与螯合物	(172)
二、配位平衡	(175)
第三节 配位滴定法	(179)
一、概述	(179)
二、配位滴定的原理	(183)
三、金属指示剂	(186)
四、提高配位滴定选择性的方法	(188)
五、配位滴定的方式及应用	(189)
六、EDTA 标准溶液的配制和标定	(191)
第四节 实例:明矾中铝含量的测定(配位滴定法)	(192)
一、项目目的	(192)
二、实验原理	(192)
三、仪器与试剂	(193)
四、项目内容	(193)
五、数据记录与处理	(193)
第五节 阅读材料:配位化合物在医学药学中的应用	(194)
一、配位化合物在生物体中的重要意义	(194)
二、配位化合物在药学方面的应用	(195)
第十章 无机物的定量分析	(198)
第一节 多成分样品一般的定量分析步骤	(198)
一、试样的采取与制备	(198)
二、试样的分解	(199)
三、干扰物质的分离和测定方法的选择	(200)
第二节 常见阳离子的定量分析	(201)
一、 Mn^{2+} 的测定	(201)

二、Cr ³⁺ 的测定	(202)
三、Cu ²⁺ 的测定	(203)
四、Al ³⁺ 的测定	(204)
五、Mg ²⁺ 的测定	(205)
六、Ca ²⁺ 的测定	(205)
七、Fe ³⁺ 的测定	(206)
八、Zn ²⁺ 的测定	(207)
九、Pb ²⁺ 的测定	(207)
十、Ag ⁺ 的测定	(208)
第三节 常见阴离子的定量分析	(208)
一、SO ₄ ²⁻ 的测量	(208)
二、CO ₃ ²⁻ 的测量	(209)
三、卤素离子(Cl ⁻ 、Br ⁻ 、I ⁻)和SCN ⁻ 含量的测定	(209)
四、S ₂ O ₃ ²⁻ 的测定	(210)
五、NO ₂ ⁻ 离子的测定	(210)
六、NO ₃ ⁻ 的测定	(211)
七、Ac ⁻ (CH ₃ COO ⁻)的测定	(211)
八、SO ₃ ²⁻ 的测定	(212)
第四节 实训项目	(212)
一、复方铝酸铋片中铋、铝及氧化镁的含量测定	(212)
二、食品中亚硫酸盐的检验	(213)
第五节 阅读材料:水样分析	(215)
一、水样的预处理	(215)
二、水中常见的金属元素性质及分析方法	(215)
参考文献	(224)

第一章 元素与人体

第一节 项目：生命元素的检验^①

一、项目目的

1. 了解动植物体内常见的生命元素
2. 了解植物或动物体内某些重要元素的定性检测方法
3. 进一步练习溶液的配制操作

二、仪器与试剂

仪器：试管、漏斗、石棉网、坩埚、泥三角、燃烧勺。

材料和试剂：红磷、石灰石、树叶、 FeCl_3 试液、骨头（小块）、鸡蛋黄、 HNO_3 （0.1 mol/L, 6 mol/L, 浓）、 $(\text{NH}_4)_2\text{MnO}_4$ 溶液、 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液、KSCN 溶液、 $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液、浓氨水。

三、项目内容

1. 配液

按以下方法配制钼酸铵、亚铁氰化钾、硫氰化钾、草酸铵溶液各 50 mL。

钼酸铵溶液：1 g 钼酸铵固体加 10 mL 水

亚铁氰化钾溶液：1 g 亚铁氰化钾固体加 1 mL 水

硫氰化钾溶液：1 g 硫氰化钾固体加 10 mL 水

草酸铵溶液：0.4 g 草酸铵固体加 10 mL 水

2. 原材料的灰化

准备几枚树叶（枯叶、青叶都可），春夏取青叶 1.2 g，秋冬取枯叶 0.5 g。用镊子夹取树叶直接在酒精灯上加热，待炭化后，将已炭化的叶子放在石棉网上或坩埚中，继续加热至完全灰化。

3. 硝化和分解

将灰分移入试管中，加入浓硝酸 0.2 mL。灰分中磷变成磷酸根，铁变成三价铁离子，钙变成二价钙离子。再加入 5 mL 水，过滤，用 1 mL 水洗涤滤纸。

4. 测定

将滤液分成四等分，分别加入钼酸铵（A 管）、亚铁氰化钾（B 管）、硫氰化钾（C 管）、

^① 该实验方法还可用来检测以下原材料：

肉类（磷、钙），筋头（磷、铁），贝壳（磷、钙），鸟类（磷、钙、铁），DNA（脱氧核糖核酸），RNA（核糖核酸，含有磷），植物种子（钙、铁、磷），红萝卜（钙、铁、磷），牛奶（钙、磷），藻类（钙、铁、磷）。

草酸铵(D管)试剂。观察现象。判断四个试管中各检出何物,写出反应方程式。

5. 对照实验

用燃烧勺取少量红磷,加热使其燃烧,单质磷变成五氧化二磷。加2mL水,再加入几滴6mol/L硝酸和钼酸铵试剂观察颜色。并与A管颜色比较。

取两份 FeCl_3 试液,一份中加入亚铁氰化钾,另一份中加入硫氰化钾,分别与B管、C管颜色比较。

取一小块石灰石,加0.1mol/L硝酸溶解,加入2mL水,再加氨水呈碱性后,加入草酸铵与D管比较。

另取一小块动物骨头,一个鸡蛋黄(放在坩埚中)灰化,硝酸处理,然后按上述方法分别进行钙、铁、磷元素的鉴定。

练习题

原材料在灰化时若燃烧不完全,对实验结果有何影响?

第二节 知识链接:生命元素

生命元素(life element)是指构成生物的组成部分,维持生物正常功能(生长、发育、繁殖)所必需的化学元素。地壳表层存在的九十多种元素几乎全部能在人体内找到。科学工作者通过研究环境元素和生命元素的关系,了解到生物体在适应生存和进化中,逐渐形成一套摄入、排泄和适应这些元素的保护机制。

一、生命元素的分类

1. 按其含量的不同分

(1) 宏量元素。占人体总重量万分之一以上的,称为宏量元素,共11种,即C、H、N、O、P、S、Na、K、Mg、Ca、Cl。其中C、H、N、O、P、S六种称为大量元素,在生物体中起着非常关键的作用。它们是糖类、脂类、蛋白质和核酸的组成成分,是生命的基础。而Na、K、Mg、Ca、Cl是有机体进行生命活动、维持生理功能的基础。

(2) 微量元素。占人体总重量万分之一以下的元素称为微量元素。微量元素的主要生理功能是:①协助宏量及大量元素的输送,如含氧血红蛋白(Fe有输送氧的功能);②作体内各种酶的组成部分和激活剂。已知人体内有1000多种酶,每种酶大都含有1个或多个金属原子,如钼、铁均存在于黄质脱氢酸中,锌能激活肠磷酸酶等;③可参与激素作用,调节重要生理功能,如甲状腺激素中碘抑制了甲状腺亢进;④可影响核酸代谢,核酸含有多种微量元素(如Cr、Co、Cu等),它们对核酸的结构、功能均有重大作用。

目前,人体内检出的微量元素达七十多种,几乎包括元素周期表中自然存在的除宏量元素以外的大部分元素。这些微量元素总重量还占不到人体重量的千分之二,有的在体内含量甚至少于百万分之一克。

2. 按其生物效应的不同分

(1) 必需元素。它们是正常生命活动所不可缺少的,具有如下特征:①存在于一切生物

体的健康组织之中；②在各种生物体中的浓度相当恒定；③缺乏时在不同种属实验动物中均可产生同样生理功能和结构的异常现象；补充该元素，可以恢复或预防这些异常；④缺乏症的异常变化常伴有特异生化改变；当缺乏症得到预防或治疗时，这些生物学变化也可以得到防治。

(2) 不确定微量元素。有 20~30 种普遍存在于各组织中的元素，它们的浓度是变化的，而它们的生物效应还没有被完全确定，它们也可能来自环境的沾污，因此又称沾污元素。当觉察出有害的生理或行为症状时，沾污元素就成为污染元素了。例如，血液中的铅、镉和汞虽然浓度极低，但是起着有害作用，它们是污染元素。

(3) 有害元素。它们对生命体有害而无益。

(4) 有益元素。假若生命体中缺少这些元素，虽然可以维持生命，但不能认为是健康的。如：Li、Ce、Al、As、Rb、Ti、Sr、B 和稀土元素。

特别值得一提的是，即使是必需微量元素，也存在一个摄入量的最佳范围，超过此范围，不但无益反而有害，严重的还会导致中毒。微量元素生物效应与浓度的关系如图 1-1 所示。

例如锰元素，每天摄入 5~10mg 为适宜范围，超过此范围，则可能会出现锰中毒，导致震颤麻痹症；低于此范围，时间一长就会出现锰缺乏症，如体重下降、皮炎、须发变白、性功能低下等。又如：碘以“mg/d”计，人体的最小需要量为 0.1mg/d，耐受量为 1 000mg/d，大于 1 000 即为中毒量。

在实际研究中，确定某元素是否为生物体所必需，或者截然划分必需与毒害的界限，常属不易之事。除与元素在体内的含量有关之外，还与元素的存在状态、生物活性密切相关，漫长的生物演化历程则使元素具有某种程度的变异性。标准人体的化学组成见表 1-1。

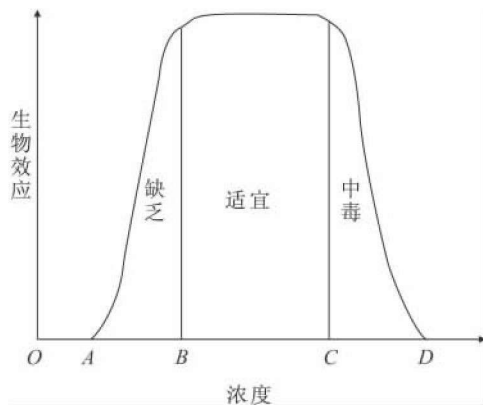


图 1-1 微量元素生物效应与浓度的关系示意图

表 1-1 标准人体的化学组成

元素	质量分数 (%)	人体内的含量 (g)	元素	质量分数 (%)	人体内的含量 (g)
氧	65.0	45 000	砷	$<1.4 \times 10^{-4}$	<0.1
碳	18.0	12 600	铍	$<1.3 \times 10^{-4}$	<0.09
氢	10.0	7 000	镉	$<7 \times 10^{-5}$	<0.05
氮	3.0	2 100	铈	$<7 \times 10^{-5}$	<0.05
钙	1.5	1 050	钛	$<2.1 \times 10^{-5}$	<0.015
磷	1.0	700	镍	$<1.4 \times 10^{-5}$	<0.01
硫	0.25	175	硼	$<1.4 \times 10^{-5}$	<0.01
钾	0.2	140	铬	$<8.6 \times 10^{-6}$	<0.006
钠	0.15	105	钒	$<8.6 \times 10^{-6}$	<0.006

续表 1-1

元素	质量分数 (%)	人体内的含量 (g)	元素	质量分数 (%)	人体内的含量 (g)
氯	0.15	105	铊	$<8.6 \times 10^{-6}$	<0.006
镁	0.05	35	锆	$<8.6 \times 10^{-6}$	<0.006
铁	0.0057	4	钼	$<7 \times 10^{-6}$	<0.005
锌	0.0033	2.3	钴	$<4.3 \times 10^{-6}$	<0.003
钾	0.0017	1.2	铍	$<3 \times 10^{-6}$	<0.002
碘	2×10^{-4}	0.14	金	$<1.4 \times 10^{-6}$	<0.001
铜	1.4×10^{-4}	0.1	银	$<1.4 \times 10^{-6}$	<0.001
铝	1.4×10^{-4}	0.1	锂	$<1.3 \times 10^{-6}$	$<9 \times 10^{-4}$
铅	1.1×10^{-4}	0.08	铋	$<4.3 \times 10^{-7}$	$<3 \times 10^{-4}$
锡	4.3×10^{-5}	0.03	钒	$<1.4 \times 10^{-7}$	$<10^{-4}$
碘	4.3×10^{-5}	0.03	铀	3×10^{-8}	2×10^{-5}
镉	4.3×10^{-5}	0.03	铯	$<1.4 \times 10^{-8}$	$<10^{-5}$
锰	3×10^{-5}	0.02	镓	$<3 \times 10^{-9}$	$<2 \times 10^{-6}$
钡	2.3×10^{-5}	0.016	镭	1.4×10^{-13}	10^{-10}

二、生命元素的分布

生命元素在元素周期表中的分布位置如图 1-2 所示。

I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	VIII B	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0	
(H)																He	
[Li]	Be										[B]	(C)	(N)	(O)	[F]	Ne	
(Na)	(Mg)										Al	[Si]	(P)	(S)	(Cl)	Ar	
(K)	(Ca)	Sc	Ti	[V]	[Cr]	[Mn]	[Fe]	[Co]	Ni	[Cu]	[Zn]	Ga	Ge	[As]	[Se]	Br	Kr
Rb	[Sr]	Y	Zr	Nb	[Mo]	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	(Cd)	In	[Sn]	Sb	Te	[I]	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	(Hg)	(Ti)	(Pb)	Bi	Po	At	Rn

○ 常量元素 □ 必需微量元素 [] 必需性不明元素 () 有害元素

图 1-2 生命元素在周期表上的位置

由图 1-2 可见, 人体必需的宏量元素全部集中在周期表中开头的 20 种元素之内, 而人体所必需的微量元素多为过渡金属元素。而公认的有害元素在周期表中也有一个相对固定的区域。

目前公认的人体必需微量元素有铁 (Fe)、锰 (Mn)、钴 (Co)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、

硒 (Se)、钼 (Mo)、铬 (Cr)、碘 (I), 还有氟 (F) 也可算作一个必需微量元素; 公认的有害微量元素是铅 (Pb)、镉 (Cd)、汞 (Hg) 等; 而对锶 (Sr)、硼 (B)、锂 (Li)、锡 (Sn) 等尚有不同看法, 尚需人体资料的进一步证实。

三、元素在生物体中的存在形态

元素在生物体中以不同形态存在, 大致可分为四种情况。

1. 无机物结构物质

Ca、F、P、Si 和少量的 Mg, 以难溶无机化合物形态存在于硬组织中, 如 SiO_2 、 CaCO_3 、 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ 等。

2. 具有电化学功能和信息传递功能的离子

Na、Mg、K、Ca、Cl 等, 分别以游离水合阳离子或阴离子形式存在于细胞内、外液中, 两者之间维持一定浓度梯度。

3. 生物大分子

这里系指蛋白质、肽、核酸及类似物等, 需要金属元素(例如, Mo、Mn、Fe、Cu、Co、Ni、Zn 等) 结合的大分子, 包括具有催化性能和贮存、转换功能的各种酶。

4. 小分子

属于这一类的元素, 一般有 F、Cl、Br、I、Cu 和 Fe, 存在于抗生素中; Co、Cu、Fe、Mg、V 和 Ni 等存在于卟啉配合物中; As、Ca、Se、Si 和 V 等存在于其他小分子中。

总之, 生命必需元素在生物体内的化学形态十分复杂, 还有待进一步研究。

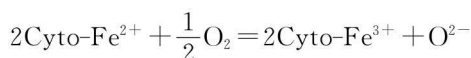
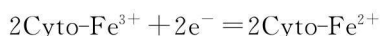
四、部分生命元素的各论

1. 必需微量元素各论

(1) 铁 (Fe)。铁是人体中含量最丰富的微量元素之一。一个正常成年男子体内铁总量不过 3~4g。铁在人体内可分为功能铁和贮存铁两类。功能铁占总铁总量的 80% 以上, 而贮存铁不足 20%。

功能铁指具有重要生理功能的铁。其中血红蛋白和肌红蛋白铁的血色素铁占绝大部分。它们分别承担着载氧功能和贮氧功能。

铁蛋白中的细胞色素铁和铁硫蛋白血红素铁是一类具有电子传递功能的铁。这类蛋白参与体内复杂的氧化还原反应。



式中: Cyto-Fe^{3+} 表示细胞色素铁。

此外体内有几十种酶和依赖铁的酶都含有铁。这些酶参与体内许多重要的代谢过程。

生物体内的铁不能以游离态的铁离子 (不论 Fe^{3+} 或 Fe^{2+}) 存在。无论是铁的运输还是贮存都必须和蛋白质结合。因为离子状态的铁会产生对细胞有害的自由基, 所以体内还含有运铁蛋白和贮铁蛋白。故人体的营养状况完全可以用铁蛋白的含量反映。

尽管铁在自然界的分布很广, 食物中也普遍存在, 但缺铁性贫血患者仍然较普遍, 尤其是婴幼儿和孕妇。在我国一些地区婴幼儿的缺铁性贫血发病率达 40%~50%, 个别地区达

70%以上，所以，对缺铁性贫血的预防和治疗具有实际意义。

其方法有：①增加铁强化食物的摄入。其中铁强化酱油，食用安全，效果也好。同时改善营养状况，在选择食物配膳时，多选用一些富铁食物，提高膳食中铁的摄入量；②还要利用促进食物中铁吸收的因素（如增加维生素 C 的摄入）和避免不利于铁吸收的因素（如饮茶）；动物肝脏和血制食品是补充铁的很好食物来源；③儿童忌偏食；④临床铁剂治疗，可以收到好的效果。

(2) 锌 (Zn)。锌是人和动物正常生长和发育十分必需的微量元素。它在人体内的含量为 1.4~2.3g。锌在人体内遍布于多种组织，其含量以牙齿为最高，其次为视网膜、脉络膜和前列腺。锌在人体内主要以金属酶的形式存在。它参与多种酶的组成，或作为酶的激活剂。目前已经知道有上百种酶的活性与锌有关。人体中主要含锌酶有碳酸酐酶、碱性磷酸酶、RNA 和 DNA 聚合酶、醇脱氢酶等。它们都是以锌为配位中心和酶蛋白氨基酸残基上的 N 原子或 S 原子为配位原子配位结合而成，作为酶的活性中心或起稳定酶结构的作用等。锌同时也是胰岛素的组成部分。胰岛素能促进肝糖元合成和葡萄糖分解，以及由糖转变成脂肪，因而使血糖降低。锌与铬是合成胰岛素不可缺少的微量元素，锌的作用是提高该蛋白的稳定性，除锌后胰岛素蛋白稳定性下降，易变性。此外，锌在组织呼吸、机体代谢、蛋白质合成以及 DNA 的复制和转录中起着重要作用。

人和动物的唾液中含有具有 Zn^{2+} 离子的唾液蛋白——味觉素。它直接影响人的味觉和食欲。锌不足时导致食欲减退或厌食。由于锌通过 RNA 和 DNA 聚合酶直接影响核酸和蛋白质的合成，进而影响细胞分裂和生长繁殖，故锌缺乏时，食物蛋白质利用率低，创伤愈合不良，味觉减退，性功能降低等。儿童缺锌可致生长迟缓、侏儒症、异食癖、性腺发育不良等。

成人锌需要量为每天 2.2mg。因混合食物中锌平均吸收率为 20%，国家营养学会推荐的成人日摄入量为每天 15mg。在机体生长期，如胚胎期、青春期，外伤后及感染恢复期锌摄入量应增高。

饮食为人体锌的主要来源。含锌高的食品，有鲜肉、海洋生物以及通常的高蛋白食物。谷类、蔬菜和水果则贫锌。婴儿对人奶中锌的吸收率 (41%) 高于牛奶 (28%)，婴幼儿应坚持母乳喂养。影响食物中锌的吸收的因素主要是钙、植酸和纤维素的含量。补锌可以采用摄入高锌食物的措施。目前锌强化食品多种多样，可根据不同情况选用。临床锌制剂也有多种，实际上在蜂蜜中加入适量硫酸锌作为补锌剂，效果颇佳。

(3) 铜 (Cu)。生物体内铜的含量仅次于铁和锌。正常成年人体内含铜 0.1g 左右。体内的铜除了少量以 Cu^{2+} 离子和 Cu^+ 离子游离态在胃中存在外，大部分是以结合状态的金属蛋白质和金属酶的形式存在于肌肉、骨髓、肝脏和血液中。血液中的铜大部分与 α -球蛋白结合在一起，以铜蓝蛋白形式存在。血浆铜蓝蛋白是一种多功能氧化酶，参与氧的运输，动员体内贮存铁，促进血红蛋白合成，故缺铜也可导致缺铁性贫血。

含铜的单氨氧化酶与血管弹性组织、结缔组织和骨骼胶原蛋白合成有关。缺铜会降低酶活性，使胶原和弹性蛋白的成熟受阻，组织中弹性蛋白含量减少，血管、骨骼及各种组织的脆性增加，易于断裂。据调查，食物中锌铜比值超过 40 的地区，冠心病发病率高。另外，高胆固醇血症者肝脏中锌铜比值高。

酪氨酸酶是一种与黑色素有关的含铜酶。如体内缺铜会造成酪氨酸酶合成困难，无法转