

生物类

21 世纪高职高专系列教材

无机及分析化学

■ 主 编 谢明芳

■ 副主编 何幼鸾



全国优秀出版社
武汉大学出版社

生物类



世纪高职高专系列教材

无机及分析化学

■ 主 编 谢明芳

■ 副主编 何幼鸾

■ 参 编 谢明芳 段怡萍 沈 萍
何幼鸾 黄方一 徐国丽



全国优秀出版社
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

无机及分析化学:生物类/谢明芳主编;何幼鸾副主编. —武汉:武汉大学出版社,2004.8

21 世纪高职高专系列教材

ISBN 7-307-04284-3

I. 无… II. ①谢… ②何… III. ①无机化学—高等学校—教材 ②分析化学—高等学校—教材 IV. O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 070759 号

责任编辑:黄汉平 责任校对:黄添生 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:武汉大学出版社印刷总厂

开本:880×1230 1/32 印张:9.375 字数:266千字

版次:2004年8月第1版 2004年8月第1次印刷

ISBN 7-307-04284-3/O·302 定价:13.50元

版权所有,不得翻印;所购教材,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 提 要

本书根据药学和生物工程专业实际应用的需要,介绍了化学中的基本计算和分析数据的处理,以化学分析法中的四大滴定为主线,介绍了相关的理论知识。全书共分十一章,内容包括溶液的有关计算和渗透压的知识;误差的知识;化学平衡原理;酸碱平衡与酸碱滴定法;沉淀反应与沉淀滴定法;配位反应与配位滴定法;氧化还原反应与氧化还原滴定法以及仪器分析法介绍。本书适合高职高专药学和生物工程专业学生使用,也可供食品、轻工、农学等专业的学生参考。

前 言

化学是药学和生命科学有关专业的必修基础课,为适用于培养应用型、技术型、职业型人才的需要,化学课程不能沿用传统的教学方法,必须进行改革。在高职高专开设化学课,必须从生源对象出发,以“够用、必需”为宗旨,真正起到专业基础课的作用。鉴于此,我们组织了在制药专业担任基础课、有多年化学教学经验的同志,编写了这本基础化学,以供高职高专有关专业的学生使用。

本教材的编写工作做到了以下几点:以化学分析方法中的四大滴定为主线,所学的无机理论知识以适用为原则;对元素部分的知识,以元素周期表为灵魂,重点关注生物体中的生命元素;紧密结合专业特点,选取与专业有关的例子;对热力学知识和有“※”的内容的处理,教师可视需要取舍或学生自学;为增加趣味性和可读性,扩大学生的知识面,有的章节还配备了一些有趣的资料供学生阅读。

参加本书的编写人员有:谢明芳(绪论,第七章),黄方一(第一、三章),何幼鸾(第二、四章),沈萍(第五、六章),徐国丽(第八、九章),段怡萍(第十、十一章),由谢明芳统稿。

化学具有广大的适用范围,编写适用的化学教材,面临着专业设置特殊要求,因此,需要重复实践和应用。由于编者水平和实践有限,不足之处在所难免,敬请各位读者指导批评,以便加以改正。

谢明芳

2004年3月

目 录

绪论	1
0.1 化学在生物与制药中的应用	1
0.2 无机及分析化学的任务、作用和学习方法	4
0.3 化学的发展趋势	6
第1章 溶液与胶体	7
1.1 分散体系	7
1.2 溶液组成的表示方法及溶液的配制	8
1.3 稀溶液的依数性	13
1.4 胶体	21
第2章 化学热力学基础*	32
2.1 几个基本概念和热力学第一定律	32
2.2 焓和热化学方程式	37
2.3 标准反应热	39
2.4 吉布斯自由能	43
第3章 化学反应速率及化学平衡	52
3.1 化学反应速率	52
3.2 化学反应速率简介*	56
3.3 影响化学反应速率的因素	59
3.4 可逆反应与化学平衡	67
3.5 化学平衡的移动	72

第 4 章 物质的结构基础	79
4.1 核外电子的运动状态	79
4.2 原子核外电子排布的基本原理	82
4.3 原子的电子层结构与周期表	86
4.4 化学键和分子结构	91
第 5 章 生命元素	107
5.1 概述	107
5.2 非金属生命元素的生物效应	111
5.3 金属生命元素	115
5.4 有毒元素与环境污染	123
第 6 章 滴定分析法概述	125
6.1 定量分析中的误差	125
6.2 定量分析中的有效数据的统计处理	132
6.3 滴定分析法	135
第 7 章 酸碱平衡与酸碱滴定法	143
7.1 酸碱质子理论	143
7.2 溶液的酸碱平衡及 pH 计算	146
7.3 缓冲溶液	159
7.4 酸碱滴定法	167
第 8 章 沉淀溶解平衡及沉淀滴定法	189
8.1 难溶电解质的溶度积	189
8.2 溶度积规则及其应用	191
8.3 沉淀滴定法	195
第 9 章 配位化合物	205
9.1 配合物的基本概念	205
9.2 配位平衡(配离子的解离平衡)	209

9.3 配位滴定法概述	215
第 10 章 氧化还原反应与氧化还原滴定法	232
10.1 氧化还原反应基本概念.....	232
10.2 电极电势.....	237
10.3 氧化还原滴定法.....	245
第 11 章 常见仪器分析方法介绍	257
11.1 电位分析法.....	257
11.2 分光光度法.....	273

绪 论

化学是一门研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的自然科学。化学学科的发展在国民经济各部门及各行业的生产中,在人们日常生活的各个方面都发挥着重要的作用。化肥为农业增产起着不可替代的作用;各种农药和植物生长调节剂、土壤改良剂、动物饲料添加剂、食品保鲜剂等化学制剂的使用,为解决“民以食为天”的问题做出了贡献;化验手段为治疗和确诊疾病提供了依据。当今世界,随着科学技术的迅猛进步,化学不断冲破传统的局限,向着自然科学其他的分支渗透,形成新的具有交叉性的边缘科学,如生物化学、农业化学、土壤化学等。实践证明,在能源、信息、环境、资源、生命、医药等各个重要领域中化学也起着不可替代的作用。

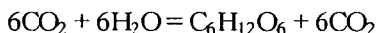
0.1 化学在生物与制药中的应用

0.1.1 生物中的化学

化学与生物知识有许多交汇点,如:溶液的 pH 值变化与植物根毛区的离子交换、化学变化与光合作用、呼吸作用及沼气池发酵、化学元素与细胞的化学成分、糖类、蛋白质与细胞、有机物与生物遗传、化合物与生物的新陈代谢、污水处理与自然环境等,其中尤以 α -氨基酸成肽变化最为重要。氨基酸以一定的化学反应形成多肽,在生物体中,多肽最重要的存在形式是作为蛋白质的亚单位,而蛋白质是最重要的一类生物大分子,它存在于所有的生物细胞中,是构成生物体最基本的结构物质和功能物质。

从植物方面来看,植物是生物界的重要组成部分之一,而绿色植

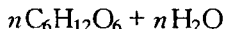
物,维系着生态平衡,使万物充满生机。从化学角度看,它还微妙而准确地反映着我们周围环境的特征和变化,供给人类许多有用的信息和物质。绿色植物是庞大的“吸碳制氧厂”,在这个“工厂”的整个生产过程中,化学和生物变化的有机结合得到了充分体现。植物的绿叶吸取空气中的二氧化碳,在日光和叶绿素的作用下,与由植物吸收的水分发生反应,形成葡萄糖,同时放出氧气:



再由葡萄糖分子形成淀粉:



当淀粉在叶子里受酶的作用时又分解为葡萄糖:



葡萄糖随着植物液汁散布到整个植物体内,成为用以合成各种植物生长所必需的物质原料。一部分植物被动物摄取后,在体内水解并进一步氧化,又将有机物中的碳转化为 CO_2 , 排入大气(或海洋)中。

从化学与生命现象结合十分紧密的学科——生物化学来看。生物体是由各种不同的化学物质组成的。这些物质极其复杂的化学组成、结构及化学变化,就构成了千姿百态的生命现象,生物化学是把化学的知识、理论以及近代的物理测试手段用于研究生物体系的一门新兴的生命科学。生物化学要在分子水平上研究生物体内与无机元素有关的各种相互作用,了解和认识更为复杂的生命现象的化学本质,更深层次探索生命的奥秘,借助化学的手段创造出各种程度上再现生命的纯化学体系,以达到更好地为人类健康服务的目的。到目前为止,生物化学的许多研究成果已经广泛地用于医疗实践。例如在补充生命必需元素,促排体内有毒金属元素,癌症病人的“化疗”等方面的应用。所以说,化学是人类继续生存的关键科学,的确一点都不过分。

综上所述,生物与化学的关系十分密切,有时它们之间并无明显的界限,因此相关的问题很多。

0.1.2 药物中的化学

化学与药物有着密切关系,天然和合成药物的性质、制备方法和

质量检测等内容均是以化学为指导,并随着科技发展,相继建立了天然药物化学、合成药物化学和药物分析等学科。化学的研究成果和化学知识的应用,创造了无数新产品进入每个普通家庭,使我们衣食住行各方面都受益匪浅,更不用说化学药物对人们的防病祛疾、延年益寿、享受生活等方面起到的作用,人类需要药物来调整由于疾病引起的体内失衡与各种变异。大量的古书对人类通过观察自然,进行实验,在化学基础上建立新的医学和自然哲学进行了详细的记载。尽管他们的化学和现代化学概念迥然不同,但他们把问题聚焦在了医药和化学的关系上。我们现在知道,所有的药物都是化学物质。而且,我们仍旧使用铝盐作为收敛剂,碘化钠治疗甲亢,锂盐治疗痛风。

打开现代的药典,会有众多的化学药物展现在面前。我国明朝时期李时珍在他的不朽巨著《本草纲目》中就记载了 1800 多种药物,其中无机药物达到 266 种之多,并且详细地说明了一些无机药物的制备过程。碳酸氢钠的片剂和注射可作为抗酸药,用于糖尿病昏迷及急性肾炎等引起的代谢性酸中毒;碳酸钙片可作为补钙药物之一,用于治疗老人或儿童钙缺乏症;氯化钠用于配制生理盐水,大量用于出血过多,严重腹泻等所引起的缺水病症,也可用于洗涤伤口;氯化铵可用做祛痰剂和用于治疗重度代谢性碱血病;剧毒药砒霜(As_2O_3),适当浓度可外用治疗慢性皮炎、牛皮癣等;硫酸钡难溶于水,在胃肠道内无吸收,能阻止 X 射线通过,其制剂常用于消化道造影等。事实充分证明:化学广泛地渗透在药物中,药物中包含着丰富的化学知识。

可见,药物科学不仅是药物学家的任务,还需要多学科人才的配合,当然,特别要求药学工作者具有丰富的化学知识,以及尽可能多地掌握现代化的技术。

0.1.3 化学分析手段在药学中的应用

在当今以生物科学技术和生物工程为基础的“绿色革命”中,化学分析手段在细胞工程、基因工程、发酵工程、纳米技术的研究应用方面发挥着重要的作用。在医药卫生事业中,化学分析手段也同样

起着非常重要的作用。如药品检验、新药研究、病因调查、临床检验、环境分析及三废处理等,都需要应用化学的理论知识和分析技术。随着药学科学事业的进一步发展,我国的药品质量和药品标准工作也在不断的提高,化学分析手段对提高药品质量,保证人们用药安全起着十分重要的作用。

药学是生命科学的一部分。化学是药学研究的重要工具,可以表现在以下方面:

1. 用化学的理论指导合成有特定功能的药物,探明构效关系。
2. 用化学的方法从天然界植物和动物中提取生物活性成分。
3. 用化学分析法和仪器分析法测定药物和生物活性成分的结构、组成和含量。
4. 用物理化学的方法研究药物代谢、转化、生物利用度、稳定性以及研究药物的药理作用。

在药学教育中,化学是重要的专业基础课。许多专业课都要应用化学的理论、方法及技术来解决各门学科中的某些问题。例如,药物分析中的原料、中间体及成本分析,以及药物的理化性质和结构关系的探索等;药物分析中的方法选择、药品标准制定、药物主成分的含量分析及杂质监测等;药剂学中制剂稳定性、生物有效性的测定等;天然药物化学中天然药物有效成分的分离、定性鉴定和化学结构测定等;药理学中药物分子的理化性质和药理作用的关系及药物代谢动力学等,都与化学有着密切的关系。

0.2 无机及分析化学的任务、作用和学习方法

无机化学是化学的一个重要分支,其研究对象主要是无机物质。掌握好无机化学的一些基本知识、基本理论和基本技能,将为分析化学、有机化学及药学专业课程的学习奠定良好的基础。分析化学是研究物质化学组成的分析方法及有关理论的一门科学。它是化学领域的一个重要分支,其内容包括三个方面:定性分析、定量分析及结构分析。

制药专业的无机化学和分析化学是关系非常密切的两门基础

课,在面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的进程中,开设的无机及分析化学课程取代了原有的两门课,使基础理论和实践应用有机结合,减少了教学中的重复和脱节现象,有利于教,也有利于学。

0.2.1 无机及分析化学课程的内容

无机及分析化学课程主要包括:物质的量及溶液的基本计算;误差及有效数字的知识;渗透作用、胶体的基础知识;稀溶液的依数性;化学反应速率和化学平衡的理论;生命元素以及他们在生物体中的作用;滴定分析法的有关原理和操作方法,包括滴定分析法的总论;酸碱滴定法中所要求的电解质溶液及电离平衡、共轭酸碱的概念,能计算和分析溶液的 pH 值,酸碱滴定法的原理及应用;沉淀反应与沉淀滴定法;配位化合物的概念、配位反应及配位滴定法;氧化还原反应、电极电位的基本知识及氧化还原滴定法,培养学生对实验数据和工艺步骤分析的能力;了解电位法、比色法及分光光度法。

学生应通过这门课程的学习,掌握化学科学的基本内容,为进一步学习各门有关的专业课程打下基础。

0.2.2 无机及分析化学课程的学习方法

学习无机及分析化学课程必须采用科学的方法和科学思维。科学的方法建立在仔细观察试验现象、收集事实、获得感性知识的基础上,经过分析、比较、判断后加以由此及彼、由表及里的推理、归纳而得到概念、定律、原理和学说等不同层次的理性知识,再将这些理性知识应用到实际生产上。实践也是进一步丰富理性知识的过程。因此学习无机及分析化学课程与学习其他自然科学一样,必须是从事见到理论再到实践的过程,整个过程中人脑所起的作用就是科学思维。

感性知识有的是直接的,是通过自身的实践获得的,但大多数的感性知识是间接获得的,是前人实践的总结。因此在学习一个新的概念或理论时,首先要注意问题是如何提出的;实验或理论根据是什么。本身的含义和条件是什么,有什么实际意义,还存在什么问题,然后再去研究推导过程等具体的细致内容。

学习中必须注意掌握重点,突破难点。凡属重点一定要学懂,融会贯通,对难点要作具体分析,有的难点亦是重点,有的难点并非重点。由于无机及分析化学课程内容多、课时紧,因此一定要在预习的基础上听好每一节课;根据各章的教学要求,抓住重点和主线进行学习,并学会运用这些理论去分析解决实际问题。

0.3 化学的发展趋势

无机及分析化学的发展同其他学科发展一样,取决于实践的需要。它随着生产、科学技术的进步而不断发展。随着生命科学、环境科学、新材料科学、宇宙科学的发展,以及生物学、信息科学、计算机技术的引入,基础化学进入了一个崭新的境界。在综合光、电、热、声和磁等现象的基础上,进一步采用计算机科学和生物学等学科的新成就,对物质进行纵深分析;现代化学已发展成为不仅限于研究、测定物质的组成及含量,还要对物质的形态、结构和生物活性等作出瞬时追踪分析。例如,在药物分析中,人们不仅要分析药物的结构和含量,还要分析药物的晶形,因为同一药物可能有不同的晶形,可能在体内有不同的溶解度,而产生不同的疗效。现代药物分析不再仅仅是对药物静态的常规检验,而要深入到生物体内,在作用的过程中进行动态的监控。总之,现代化学已经突破了纯化学领域,它将与数学、物理学、计算机及生物学紧密结合起来,吸取当代科学技术的最新成就,利用物质一切可利用的性质,建立现代化学的新方法与新技术。

综上所述,基础化学正在飞速发展,将成为一门多学科性综合科学。

习 题

1. 化学分析手段在生物学与制药中有何应用?
2. 化学的发展趋势如何?

第 1 章 溶液与胶体

溶液与人类的生产活动、科学实验以及生命过程关系十分密切。很多化学反应在溶液中进行；临床上许多药物配制成溶液使用；人体内的体液大多属于溶液的范畴等。

溶液是自然界中常见的一类分散体系，本章在了解各种分散体系性质的基础上，重点讨论溶液的有关知识。

1. 1 分散体系

在进行科学研究时，常把一部分物质与其余的物质分开来作为研究对象，这种被划分出来的研究对象称为体系。体系中物理性质与化学性质完全相同而与其他部分有明显界面的均匀部分称为相。只含一个相的体系称为单相体系或均相体系。含有两个或两个以上相的体系称为多相体系或非均相体系。

由一种或几种物质分散到另一种物质中所形成的体系，称为分散体系，简称分散系。其中被分散的物质称为分散质或分散相，分散系中容纳分散质，起分散作用的物质称为分散剂或分散介质。例如，在碘酒、泥浆水、油水分散系中，碘、泥沙、油为分散质，酒精、水为分散剂。牛奶也是一种分散系，其中奶油、蛋白质和乳糖是分散质，水是分散剂。

按照分散质粒子的大小，常把分散系分为三类，见表 1-1。

表 1-1 分散系按分散质粒子的大小分类

分散系名称	分散质粒子大小		分散质组成	主要性质	实例		
					分散系	分散质	分散剂
粗分散系	悬浊液	> 100nm	固体小颗粒	多相, 不透明, 不均匀, 不稳定, 扩散很慢, 不能透过滤纸和半透膜	泥浆	泥沙	水
	乳浊液		液体小珠滴		油水	油	水
胶体分散系	溶胶	1~ 100nm	分子、原子、离子的聚集体	多相, 不均匀, 有相对稳定性, 扩散慢, 能透过滤纸, 不能透过半透膜	AgI 溶胶	AgI	H ₂ O
	高分子溶液		大分子	均相, 透明, 均匀, 稳定, 扩散慢, 能透过滤纸, 不能透过半透膜	血液	蛋白质	H ₂ O
低分子或离子分散系	<1nm		小分子、离子或原子	均相, 透明, 均匀, 稳定, 扩散慢, 能透过滤纸和半透膜	食盐水	Na ⁺ 、Cl ⁻	H ₂ O

这三种分散系之间虽有明显的区别,但没有截然的界限,三者之间的过渡是渐变的。实际上发现的颗粒直径为 500 nm 的分散系,也表现出胶体的性质。

综上所述,分散系既包括均匀的单相体系,如糖水,也包括多相体系,如牛奶,其颗粒高度分散,并具有很大的表面能。

1.2 溶液组成的表示方法及溶液的配制

由两种或两种以上不同物质所组成的均匀、稳定的液相体系,称为溶液。溶液组成有多种表示方法,常见的有以下几种:

1.2.1 物质的量及物质的量浓度

1. 物质的量及其单位

物质的量是表示组成物质的基本单元数目多少的物理量,符号为 n ,单位为 mol。使用物质的量及其单位时,必须同时指明基本单元。基本单元是系统中组成物质的基本组分,用符号 B 表示,B 既可以是分子、原子、离子、电子及其他粒子,也可以是这些粒子的特定组合。如 H、H₂、NaOH、 $\frac{1}{2}$ H₂SO₄、 $\frac{1}{5}$ KMnO₄、SO₄²⁻ 和 $(\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2)$ 等。

1 mol 物质的质量,称为摩尔质量,用符号“ M_B ”表示,单位为 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ (或 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)。摩尔质量也必须指明基本单元。

任何基本单元的摩尔质量,当单位为 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 时,其数值等于相对原子质量或相对分子质量。

若用 m_B 表示物系的质量,则该物系物质 B 的摩尔质量

$$M_B = \frac{m_B}{n_B} \quad (1-1)$$

2. 物质的量浓度

溶液中所含物质 B 的物质的量除以溶液体积表示的浓度,称为溶质 B 的物质的量浓度,简称浓度,用符号“ c_B ”表示。

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (1-2)$$

物质的量浓度的 SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$,常用单位为 $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 或 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

若溶质 B 的质量为 m_B ,摩尔质量为 M_B ,则

$$c_B = \frac{m_B / M_B}{V}$$
$$m_B = c_B \cdot V \cdot M_B \quad (1-3)$$

1.2.2 质量摩尔浓度

用 1 000 g 溶剂中所含溶质的物质的量表示的浓度,称为质量摩尔浓度,用 b_B 表示。