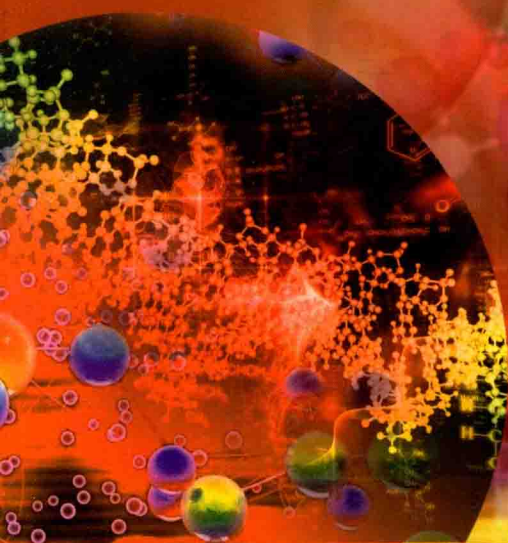




中国科学院教材建设专家委员会规划教材
全国高等医药院校规划教材

医用化学

苏 宇 主编



科学出版社

中国科学院教材建设专家委员会规划教材

全国高等医药院校规划教材

医用化学

主 编 苏 宇

副主编 李映苓

编 者 (按姓氏拼音排序)

胡庆红 遵义医学院

蒋心惠 重庆医科大学

孔令栋 济宁医学院

李映苓 昆明医科大学海源学院

刘乐乐 内蒙古医科大学

马汝海 中国医科大学

申明金 川北医学院

石秀梅 牡丹江医学院

苏 宇 川北医学院

苏奉发 川北医学院

涂 波 贵州医科大学

王 宁 济宁医学院

王美玲 内蒙古医科大学

夏 阳 中国医科大学

徐 红 贵州医科大学

燕小梅 大连医科大学

杨 婷 昆明医科大学海源学院

杨 旭 第三军医大学

袁泽利 遵义医学院

张定林 第三军医大学

赵华文 第三军医大学

赵先英 第三军医大学

科学出版社

北 京

内 容 简 介

为适应医学教学改革的需要,本教材将医用基础化学与医用有机化学合为一册,压缩重复内容、删除弱相关内容,全书共 22 章。第一章为绪论,第二章至第七章为基础化学,第八章至第十九章为有机化学,第二十章至第二十二章为分析化学内容。本教材采用国家法定的计量单位及国家科技名词审定委员会规范的化学名词术语,每章后配有一定量的习题和参考答案,同时附“视窗”等内容,便于开阔学生视野,了解学科间的联系。书中部分地方用楷体字排版,对相关内容稍作延伸,可供教学时选用。

本书可供高等医学院校的检验、影像、护理、视光、生物医学工程、康复及医学其他专业的本科生使用。也可作为相关专业的教学用书或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

医用化学 / 苏宇主编. —北京:科学出版社,2015. 5

中国科学院教材建设专家委员会规划教材·全国高等医药院校规划教材
ISBN 978-7-03-044314-4

I. ①医… II. ①苏… III. ①医用化学-医学院校-教材 IV. ①R313

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 101737 号

责任编辑:朱 华 / 责任校对:鲁 素

责任印制:肖 兴 / 封面设计:范璧合

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 5 月第一次印刷 印张:25 插页:1

字数:584 000

定价:62.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着我国高等医学教育的不断深入,我国高等医学院校在人才培养目标、培养模式、课程设置等方面发生了很多改变。为适应高等医学教育发展,为学生构建必要的化学基础,培养学生的科学素质,结合教学实际,我们按照教育部高等学校医药公共基础课教学指导委员会的要求,编写了这本教材。教材紧扣本科医学人才培养目标和要求,以“三基”“五性”“三特定”为原则,强调基础知识、基本理论,注重培养学生分析问题、解决问题的能力 and 创新精神。在编写上力求突出重点、条理清楚、内容适当、方便学生自我学习。同时注意联系医学,联系实际。

由于一些院校大幅度压缩医用化学课时,本教材将医用基础化学与医用有机化学合为一册,分为22章,第一章为绪论,第二章至第七章为基础化学,第八章至第十九章为有机化学,第二十章至第二十二章为分析化学内容。

教材每章配有一定量的习题和参考答案,同时附“视窗”等内容,便于学生开阔视野。为兼顾各院校不同专业、不同学时的要求,书中一些内容,用楷体字排版,供各院校选取。

本教材采用国家法定的计量单位及国家科技名词审定委员会规范的化学名词术语。

本书可供高等医学院校检验、影像、护理、视光、生物医学工程、康复及医学其他专业的本科生使用。也可作为相关专业的教学用书或教学参考书。

参加本书编写的学校有:川北医学院、中国医科大学、重庆医科大学、第三军医大学、大连医科大学、内蒙古医科大学、济宁医学院、贵州医科大学、遵义医学院、牡丹江医学院、昆明医科大学海源学院。编者均为教学一线经验丰富的资深教师。

本书编写过程中得到科学出版社和参编单位各级领导的关心和厚爱,尤其是川北医学院和内蒙古医科大学的热情支持,在此谨向他们表示深深地感谢!

由于编者学识、水平有限,本书仍难免有错误和不当之处,恳切希望同行和读者批评指正,以利再版修改。

苏 宇

2015年2月

目 录

前言	.....	(65)
第一章 绪论	.....	(1)
第一节 化学的发展、化学对社会进步的作用	.....	(1)
第二节 化学与医学的关系	.....	(2)
习题	.....	(3)
第二章 溶液与胶体分散系	.....	(4)
第一节 溶液组成量度的表示方法	.....	(4)
第二节 稀溶液的渗透压	.....	(6)
第三节 溶胶	.....	(10)
第四节 高分子溶液与凝胶	.....	(14)
第五节 乳状液与微乳	.....	(17)
习题	.....	(18)
第三章 化学反应速率与化学平衡	.....	(20)
第一节 化学反应速率及其表示方法	.....	(20)
第二节 化学反应速率理论	.....	(22)
第三节 影响化学反应速率的因素	.....	(24)
第四节 化学平衡	.....	(30)
习题	.....	(34)
第四章 电解质溶液	.....	(36)
第一节 强电解质的解离	.....	(36)
第二节 酸碱质子理论	.....	(37)
第三节 水溶液中的酸碱平衡	.....	(39)
第四节 溶液 pH 的计算	.....	(44)
第五节 缓冲溶液	.....	(47)
第六节 难溶强电解质的沉淀溶解平衡	.....	(53)
习题	.....	(58)
第五章 氧化还原和电极电势	.....	(60)
第一节 氧化还原反应的基本概念	.....	(60)
第二节 原电池与电池反应	.....	(63)
第三节 电极电势与电池电动势	.....	(65)
第四节 电极电势与电池电动势的计算及应用	.....	(68)
习题	.....	(76)
第六章 原子结构和共价键理论	.....	(77)
第一节 原子结构	.....	(77)
第二节 共价键理论	.....	(85)
第三节 分子间作用力	.....	(92)
习题	.....	(95)
第七章 配位化合物	.....	(97)
第一节 配位化合物的基本概念	.....	(97)
第二节 配位化合物的价键理论简介	.....	(101)
第三节 配位平衡	.....	(105)
第四节 螯合物	.....	(109)
第五节 生物配合物和药物配合物	.....	(110)
习题	.....	(113)
第八章 有机化合物概述	.....	(115)
第一节 有机化合物与有机化学	.....	(115)
第二节 有机化合物的结构及表示方法	.....	(115)
第三节 有机化合物中的共价键及有机化学反应类型	.....	(117)
第四节 有机化合物的来源及分类	.....	(118)
第五节 有机酸碱概念	.....	(120)
习题	.....	(121)
第九章 链烃	.....	(123)
第一节 烷烃	.....	(123)
第二节 烯烃	.....	(130)
第三节 炔烃	.....	(136)
第四节 二烯烃	.....	(140)
习题	.....	(146)
第十章 环烃	.....	(149)

第一节 脂环烃	(149)	第三节 甾族化合物	(259)
第二节 芳香烃	(152)	习题	(263)
习题	(161)	第十八章 糖类	(265)
第十一章 立体异构	(163)	第一节 单糖	(265)
第一节 构象异构	(163)	第二节 二糖	(273)
第二节 顺反异构	(168)	第三节 多糖	(274)
第三节 对映异构	(170)	习题	(277)
习题	(178)	第十九章 氨基酸、蛋白质和 核酸	(279)
第十二章 卤代烃	(180)	第一节 氨基酸	(279)
第一节 卤代烃的分类和命名 ..	(180)	第二节 多肽与蛋白质	(284)
第二节 卤代烷的性质	(181)	第三节 核酸	(288)
第三节 不饱和卤代烃的结构和 性质	(185)	习题	(294)
习题	(187)	第二十章 滴定分析法	(296)
第十三章 醇酚醚	(189)	第一节 滴定分析概述	(296)
第一节 醇	(189)	第二节 分析结果的误差和有效 数字	(298)
第二节 酚	(196)	第三节 酸碱滴定法	(300)
第三节 醚	(200)	第四节 其他滴定分析法	(308)
习题	(204)	习题	(311)
第十四章 醛和酮	(206)	第二十一章 紫外-可见分光光度法	(313)
第一节 醛、酮的分类和命名	(206)	第一节 概述	(313)
第二节 醛、酮的结构	(208)	第二节 基本原理	(313)
第三节 醛、酮的物理性质	(208)	第三节 紫外-可见分光光度计	(316)
第四节 醛、酮的化学性质	(209)	第四节 分析条件的选择	(320)
习题	(218)	第五节 分析方法	(321)
第十五章 羧酸、取代羧酸及羧酸衍 生物	(220)	第六节 在医药卫生领域的应用	(323)
第一节 羧酸	(220)	习题	(324)
第二节 取代羧酸	(227)	第二十二章 色谱分析法简介	(325)
第三节 羧酸衍生物	(231)	第一节 色谱分析法概述	(325)
习题	(235)	第二节 普通液相色谱	(326)
第十六章 含氮有机化合物	(238)	第三节 气相色谱	(329)
第一节 胺	(238)	第四节 高效液相色谱	(334)
第二节 重氮盐的性质	(243)	习题	(338)
第三节 酰胺的特性	(244)	附录一 题解	(340)
第四节 杂环化合物	(245)	附录二 常用数据表	(381)
第五节 生物碱	(249)	索引	(389)
习题	(252)	元素周期表	
第十七章 脂类	(254)		
第一节 油脂	(254)		
第二节 磷脂	(257)		

第一章 绪 论

第一节 化学的发展、化学对社会进步的作用

世界是由物质组成的,世间万物都处于永不停息的运动之中。化学是一门在原子、分子及大分子、分子团层次上研究物质的组成、结构、性质、及其制备应用的科学。

一、化学的发展

人类自诞生之日起就与化学结下不解之缘。火的利用,可以说就是人类最早的化学活动。古代烧制陶器,从矿物中提炼铜、铁,制造合金,酿造等都是人类早期的化学活动。在漫长的人类发展进程中,人们逐渐认识了物质的化学运动,积累了经验。1661年,波义耳(Boyle)在其著名论文《怀疑派的化学家》中提出“元素”的概念,从而把化学确立为一门科学。从17世纪后半叶至19世纪末,这一时期,燃烧氧化说建立,质量守恒定律被证实,原子-分子论相继提出,元素周期律被发现等,为化学科学奠定了理论基础。使化学实现了从经验到理论的飞跃,真正被确立为一门科学。随着社会的发展,化学根据研究对象和目的不同,逐渐形成了分析化学、无机化学、有机化学、物理化学等四个重要分支。

进入20世纪,量子论、相对论、量子力学的诞生,紧邻学科如数学、物理的迅速发展,各种新的实验技术和精密仪器的不断发明,计算机的出现,使得化学无论是理论研究、实验方法手段还是实践应用都发生了深刻变化,得到了突飞猛进的发展。量子化学的建立与发展,化学键理论不断完善,使人们对原子、分子结构,化学键、化学反应本质的认识由宏观深入到微观,从定性走向定量。各种观察原子、分子及晶体结构的实验手段的出现,如X线衍射、电子衍射、扫描电子显微镜、扫描隧道电子显微镜的应用,使人们观察了解微观粒子的运动能成为可能。

现代化学反应理论的提出,使人们可以从动态的角度来判断和预言化学反应的方向、程度和产物的立体构型。同时由于各种测量快速反应动力学方法的建立,特别是近年来交叉分子束技术和现代激光技术的出现,人们已可以追踪飞秒(10^{-15}s)时间内物质的变化,可以在微观层次观察研究动态下的化学反应。

化学家合成了数以千万种的化合物,这既包括满足人类需求的各种材料、物质,又包括从不稳定的自由基到具有生物活性的蛋白质、核酸等生命物质,既有天然的又有自然界原本不存在的物质。在合成过程中许多新反应、新试剂、新方法和新理论被发现,新的技术手段建立,这又促进了大量新物质的合成。立足于实验化学、理论化学、计算化学,计算机模拟化学家已经能够预示、设计或剪裁分子的结构,指导新物质反应条件的设计,从而实现优化分子性能-结构或调控分子功能目的。

进入21世纪以来,化学在寻找结构多样性及与功能的关系;复杂体系中的多层次结构、尺度效应、多尺度问题、过程问题;化学信息学;新实验方法建立、方法学;化学过程跟踪、分析、模拟等方向上发展尤为突出。化学更加注重由宏观向微观、由定性向定量、由静态向动态发展。化学研究与应用中多学科交叉、多体系整合、多方法综合更加广泛深入。21世纪

的化学发展将更加灿烂辉煌。

二、化学是一门中心学科

化学的原理和方法是诸多学科如农业、生物、冶金、能源、药学、环境、材料、地质、信息的基础。化学的每一次重大突破都会引领相关科学的进步。化学与生命、材料、能源、环境、信息、海洋、空间等学科的交叉融合,不仅推动了自身的发展,也催生了众多新兴交叉学科,如生物化学、环境化学、材料化学、计算化学、医学化学、药物化学等,在这些学科中,化学作为基础支撑着其发展。化学已名副其实地成为自然学科的一门中心学科。21 世纪的化学继续与这些学科交叉渗透,在相互促进中共同发展。

三、化学是一门实用的学科

化学也是一门实用的学科。人们的衣食住行生产生活都与化学息息相关。化学为人类提供了数以千万计的物质,满足人们的需要。各种各样的合成纤维为人类提供丰富多彩的衣料;化肥、农药、薄膜保证粮食和其他农作物的生产;水泥、油漆、玻璃等是现代建筑的材料;现代交通工具的动力物资汽油、柴油、煤油,食品添加剂、化妆品……这些无一不是化工产品。化学在为人类的生存和生活条件的改善提供物质基础的同时已渗透到社会的方方面面,涉及各行各业,如煤、石油、天然气开采使用离不开化学,治理环境污染要依靠化学,药物的提取、制备需要化学……如今,化学工业已成为世界很多国家的支柱产业。21 世纪与人类发展进步密切相关的重大高新科技领域如能源、生命、材料、信息、海洋、航天、自动化无一不需要化学的参与或支持。

第二节 化学与医学的关系

化学与医药的关系十分紧密。许多治疗、预防疾病的药物或药物的有效成分就是化学物质。寻找和制备疗效更好、毒副作用更小、价廉物美的药物一直以来就是医学、药学和化学共同努力的方向,有些医药学家本身就是化学家。如今人们通过合成、半合成或从动植物、微生物中提取药物等方法已获得的各种药物数以万种。抗菌药、抗生素、抗病毒药及抗肿瘤药等的使用,使许多长期危害人类健康和生命的疾病得到有效控制。

现代医学与化学的关系更是密不可分。医学研究的对象是人体,研究人体正常的生理现象、生理过程、生理机制和疾病发生的原因、表现特征、变化规律,寻找治疗和预防疾病的方法、措施,从而保障人类健康。人体是一个组成非常复杂而又高度有序的有机体,组成人体的物质除水(占体重约 70%)以外,还有糖、脂、蛋白质、核酸等生物大分子以及血红素、维生素、 CO_2 、无机盐等等上千种化合物(新的物质还在不断发现中)。尽管不同物质在体内的形态各不相同,生物作用也千差万别,如糖可以氧化供能,血红素可以运送氧气、糖脂可以参与构成细胞膜,但有一点是相同的,那就是它们在生物体内的作用一定是基于自己在体内的物理、化学运动而产生的。任何一个生命现象如消化、呼吸、水肿、发炎都包含着复杂的化学变化。化学运动是生命的基础。美国医学家、Nobel 奖获得者科恩伯格(A. Kornberg)认为“人类的形态和行为……都是由一系列各负其责的化学反应来决定的”。虽然我们不能将复杂的生命现象简单还原为一个个的化学反应,但理解生命现象,认识生

命过程,必须运用化学的知识、思想和方法。在疾病的检验、治疗中同样离不开化学,比如血液标本中某些成分含量的测定、治疗过程中药物的配伍、合理用药等,都需要化学知识。

值得一提的是,近几十年来,化学与生命科学越来越广泛深入地交叉融合,对生命科学发展作出了巨大贡献。对生物大分子核酸和蛋白质研究取得的一系列重大突破,奠定了人类在分子和分子集合水平上认识生命现象揭示生命本质的基础。化学家证明了作为生物遗传因子的基因(gene)就是脱氧核糖核酸(DNA),人们用新的化学方法来测定基因的结构,通过改变结构获得不同的基因。2000年6月26日,国际人类基因组宣布,第一幅人类基因组工作草图绘制完成,2003年4月14日美国人类基因组首席科学家科林斯(Collins)宣布人类基因组序列图绘制成功,具有划时代意义的人类基因组计划完成,这标志着后基因时代的来临。后基因时代,科学家将研究重心从揭示DNA的序列转移到整体水平上研究基因功能、功能-结构之间的关系上来,这对了解生命体生长发育的规律,认识疾病产生的机制等都具有重大意义,对于人类攻克癌症、艾滋病以及其他基因疾病将产生深刻影响。

由于化学与医学关系密切,国内外高等医学教育中都把化学作为重要基础课程。医用化学作为非临床类医学专业不可缺少的课程,主要分为无机化学、有机化学和分析化学三大部分内容,无机化学主要介绍溶液和其他分散系,无机化学反应中的四大平衡(酸碱平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原平衡、配位平衡)原理和近似计算,化学反应速率及其影响因素,物质结构基础,有机化学主要介绍各类有机化合物的结构、性质及相关理论。分析化学部分则主要介绍滴定分析法、分光光度法和色谱法的基本原理和方法。其目的在于通过本课程学习让学生获得有关的化学基本概念、基础理论、基础知识,了解现代化学语言,了解化学与医学的关系,学到正确认识物质世界的一些化学观点和方法,为专业学习以及今后工作打下必要的化学基础,并为今后的创新发展开拓思路。

习 题

- 1-1. 化学研究的对象、任务是什么?
- 1-2. 化学在科学进步和社会发展中有什么作用?
- 1-3. 医学生为什么要学习化学?
- 1-4. 医学化学有哪些基本内容?

(川北医学院 苏 宇)

第二章 溶液与胶体分散系

一种或数种物质分散在另一种物质中所形成的系统称为**分散系**(dispersed system)。其中,被分散的物质称为**分散相**(dispersed phase),容纳分散相的物质称为分散介质(dispersed medium)。例如青霉素的葡萄糖点滴液中,青霉素和葡萄糖作为分散相,分散介质是水。消毒用的碘酒就是碘被分散在酒精中形成的分散系,其中碘是分散相,而酒精是分散介质。

在一个体系中,物理和化学性质相同的组成部分称为“相”,相与相之间由界面分开。按照分散系中相数的不同,分散系可分为均相分散系和非均相分散系,其中均相分散系只有一相,非均相分散系含有两个及两个以上的相。

根据分散相粒子大小,可将分散系分为真溶液、胶体分散系和粗分散系。分散相粒子直径大于 100 nm 的称为粗分散系;胶体分散系的分散相粒子直径在 1~100 nm 之间;真溶液的分散相粒子是分子或离子,其颗粒直径小于 1nm;见表 2-1。

表 2-1 分散系的特征与分类

分散相 粒子直径	分散系类型	分散相粒子的组成	一般性质	实例
<1 nm	真溶液	小分子或小离子	均相,热力学稳定;能透过滤纸和半透膜	生理盐水、葡萄糖溶液
1~100 nm	胶体分散系	胶粒(分子、离子、原子的聚集体)	非均相,热力学不稳定;能透过滤纸,不能透过半透膜	碘化银溶胶、硫化砷溶胶
	高分子溶液	大分子、大离子	均相,热力学稳定;能透过滤纸,不能透过半透膜	蛋白质溶液、核酸溶液
>100 nm	粗分散系(悬浊液、乳浊液)	粗粒子(固体小颗粒、小液滴)	非均相,热力学不稳定;不能透过滤纸和半透膜	泥浆、牛奶

第一节 溶液组成量度的表示方法

一、物质的量浓度

物质的量浓度(amount of substance concentration)定义为:溶质 B 的物质的量 n_B 除以溶液的体积 V ,用符号 c_B 表示。

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

c_B 的单位为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$,也常用 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。 m_B 、 M_B 分别为物质 B 的质量、摩尔质量,其常用单位是 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。世界卫生组织提议,在医学上凡是已知相对分子质量的物质,都要用物质的量浓度来表示。例如人体血糖的正常值为 $3.3 \sim 5.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

物质的量浓度简称为浓度,在使用时必须指明物质的基本单元。基本单元可以是原子、分子、离子或其它粒子中的任何一种,也可以是这些粒子的特定组合。使用不同基本单元时,溶液浓度表示不同。例如对同一蔗糖溶液浓度。

$$c(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, c\left(\frac{1}{2}\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}\right) = 0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

二、质量浓度

溶质 B 的质量浓度定义为溶质 B 的质量 m_B 除以溶液的体积 V ,用符号 ρ_B 表示。

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (2-2)$$

ρ_B 的单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,实际中多用 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 甚至更低的 $\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 来表示。在这里要注意质量浓度与密度的区别。密度是指溶液的质量与溶液的体积之比,其符号 d ,单位一般使用 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

对于相对分子质量未知或尚未准确测得的物质可用质量浓度表示。例如人体血清中免疫球蛋白 G(IgG)含量的正常范围为 $7.60 \sim 16.60 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,免疫球蛋白 D(IgD)含量的正常范围为 $30 \sim 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。对于注射液,世界卫生组织认为,在绝大多数情况下,标签上应同时写明质量浓度和物质的量浓度。

通过计算可以得出质量浓度和物质的量浓度之间的关系为:

$$\rho_B = c_B M_B \quad (2-3)$$

三、质量摩尔浓度

溶液的质量摩尔浓度定义为:溶液中某溶质 B 的物质的量除以溶剂的质量,单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$,符号为 b_B 。

$$b_B = n_B / m_A \quad (2-4)$$

式中, m_A 为溶剂 A 的质量, n_B 是溶质 B 的物质的量。 b_B 的单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

例 2-1 果糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)是最甜的糖,试计算应该加多少水到 1.75 g 的果糖中才能得到 $0.125 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的浓度?

解: $M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,所需加水的质量为

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{b(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)} = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) \times b(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)} \\ &= \frac{1.75 \text{ g} \times 1000 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}}{180.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.125 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}} = 77.8 \text{ g} \end{aligned}$$

四、物质的量分数

物质的量分数又称为物质的量比或摩尔分数。物质 B 的物质的量分数定义为 B 的物质的量与混合物的总的物质的量之比。对于溶液,物质的量分数定义为溶质的物质的量除以溶液的总的物质的量。单位为 1。

若溶液为二元组分,由溶质 B 和溶剂 A 组成,则溶质 B 的物质的量分数为:

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad (2-5)$$

式中, n_B 为溶质 B 的物质的量, n_A 为溶剂 A 的物质的量。同理, 溶剂 A 的物质的量分数为: $x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$, 显然 $x_A + x_B = 1$ 。

五、质量分数

质量分数的定义为溶质 B 的质量 m_B 除以溶液的质量 m , 用符号 ω_B 表示。其表达式为:

$$\omega_B = \frac{m_B}{m} \quad (2-6)$$

单位为 1。推导可知, 质量分数与物质的量浓度及溶液的密度 d 之间有如下关系:

$$\omega_B = \frac{c_B \cdot M_B}{d} \quad (2-7)$$

例 2-2 市售浓硫酸的质量浓度为 $1.77 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$, 密度为 $1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$, 计算其物质的量浓度与质量分数。

$$\begin{aligned} \text{解: } c(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{\rho(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{1.77 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{98.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 18.06 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \\ \omega(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4)}{d} = \frac{18.06 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 98.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{1.84 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}} = 0.96 \end{aligned}$$

六、体积分数

溶质 B 的体积分数, 定义为溶质 B 的体积 V_B 除以溶液的体积 V , 用符号 φ_B 表示。

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V} \quad (2-8)$$

体积分数单位为 1。

例如, 消毒用酒精的体积分数为 0.75 (或 75%); 正常人红细胞的体积分数为 0.37~0.50。

第二节 稀溶液的渗透压

一、渗透现象与渗透压

日常生活中的许多现象, 如在鲜肉表面涂上一层盐, 放上一段时间后会有水分从肉表面流出; 淡水鱼类不能生活在海水里; 用蒸馏水冲洗伤口会引起疼痛; 临床上为病人大量补液时, 只用 $9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的生理盐水或 $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的葡萄糖溶液等。这些现象都与渗透现象有关。

在一杯清水中滴加少量浓的蔗糖溶液, 不久之后整杯水都有甜味, 最后得到浓度均匀的蔗糖溶液, 这种现象称为**扩散**(diffusion)。扩散是溶质分子和溶剂分子的相互运动和迁

移,具有自发性和无方向性两大特征,其结果总是使混合物达到均匀或是减少其浓度差。只要两种不同浓度的溶液相互接触,都会发生扩散现象。

如图 2-1A 所示,在容器两侧分别放入纯溶剂(水)和蔗糖溶液,中间用只允许水分子通过,而不允许蔗糖分子通过的半透膜(semipermeable membrane)隔开,并使两侧液面的高度相等。经过一段时间以后会看到玻璃管内蔗糖溶液的液面升高,而纯溶剂一方液面下降。这实际上是溶剂分子通过半透膜由纯溶剂一方进入溶液一方,或由稀溶液一方扩散进入到浓溶液一方,这种现象称为**渗透现象**,简称**渗透**(osmosis)。渗透是特殊条件下的扩散现象,即具有方向性的扩散现象。产生渗透现象必须具备两个必要条件:一是有半透膜的存在;二是膜两侧单位体积内溶剂分子数目不相等(即存在浓度差)。

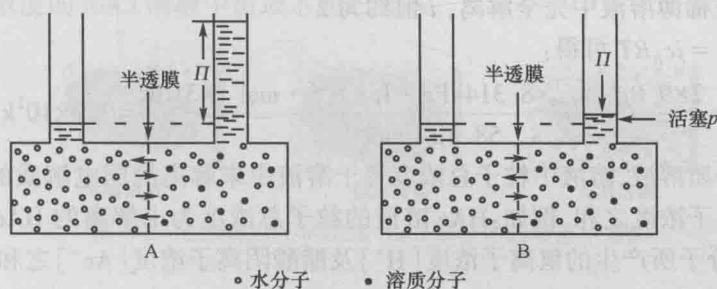


图 2-1 渗透现象和渗透压示意图

半透膜是一种只允许某些物质透过,而不允许另一些物质透过的薄膜。动物的细胞膜、膀胱膜、毛细血管壁等生物膜、人工制造的火棉胶膜、玻璃纸都是性质不同的半透膜。在生物化学实验中应用的透析袋和超滤膜也是用半透膜制成的。

产生渗透现象的原因,是由于半透膜两侧单位体积内溶剂分子数不相等,单位时间内由纯溶剂进入溶液中的溶剂分子数要比由溶液进入纯溶剂的多,结果是溶液一侧液面上升。随着溶液液面的上升,高出的这段液体产生的静水压逐渐增大,使溶液中的溶剂分子加速通过半透膜到达纯溶剂一侧。当液面到达一定高度时,单位时间内从膜两侧透过的溶剂分子数相等,这时液面停止上升,即达到动态**渗透平衡**。

由此可见,若要阻止渗透现象的发生或维系渗透平衡,就须在溶液的液面上施加一额外压力如图 2-1B 所示。这种为维持半透膜两侧溶液与纯溶剂之间的渗透平衡而额外增加于溶液的压力称为该溶液的**渗透压**(osmotic pressure)。用符号 Π 表示,单位 Pa 或 kPa。

二、渗透压与温度、浓度的关系

1886 年,荷兰化学家范特霍夫(Van't Hoff)通过实验得出了稀溶液的渗透压(Π)与溶液浓度、绝对温度的关系:

$$\Pi V = n_B RT \text{ 或 } \Pi = c_B RT \quad (2-9)$$

式中, Π 为稀溶液的渗透压(单位 kPa), n_B 为溶质 B 的物质的量(单位 mol), T 为热力学温度(单位 K, $T = t + 273$, t 为摄氏温度), c_B 为溶液溶质 B 的物质的量浓度(单位 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), R 为气体常数, $8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

Van't Hoff 公式表明了在一定温度下,稀溶液的渗透压大小与单位体积溶液中溶质的粒子数成正比,与溶质的本性(如种类、大小、分子或离子)无关。

因此,如要比较两种溶液的渗透压大小,只要比较两种溶液的粒子的总浓度大小即可。对于任何非电解质溶液,在相同温度下,只要它们的物质的量浓度相同,单位体积溶液中溶质的粒子数也相同,因此它们的渗透压相等。

电解质溶液由于溶质的解离,使溶液中粒子数成倍增加,在计算渗透压时应考虑电解质的解离。为此,在渗透压公式中引进一个校正系数 i 。

$$\Pi = ic_B RT \quad (2-10)$$

对于强电解质稀溶液, i 值可近似看做 1mol 电解质解离出离子的摩尔数。例如在稀溶液中, KCl 的 i 值约为 2, K_2SO_4 的 i 值约为 3。

例 2-3 临床上用的生理盐水为 $9g \cdot L^{-1}$ 的 NaCl 溶液,计算溶液在 $37^\circ C$ 时的渗透压。

解: NaCl 在稀薄溶液中完全解离, i 值约为 2

根据 $\Pi = ic_B RT$ 可得:

$$\Pi = \frac{2 \times 9.0g \cdot L^{-1} \times 8.314kPa \cdot L \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1} \times 310K}{58.5g \cdot mol^{-1}} = 7.9 \times 10^2 kPa$$

对于弱电解质溶液,溶液中粒子总浓度等于溶液中未解离的弱电解质的浓度与弱电解质解离产生的离子浓度之和,例如: HAc 溶液的粒子总浓度为未解离的 HAc 浓度 $[HAc]$ 与已解离的 HAc 分子所产生的氢离子浓度 $[H^+]$ 及醋酸阴离子浓度 $[Ac^-]$ 之和。

三、渗透压在医学上的应用

(一) 渗透浓度

渗透压仅与单位体积溶液中溶质的粒子数量有关,与粒子的本性无关。溶液中能产生渗透效应的溶质粒子(分子、离子)统称为**渗透活性物质**。根据范特霍夫方程,在一定温度下,稀溶液的渗透压与渗透活性物质的物质的量浓度成正比。因此,溶液渗透压的大小可以用渗透活性物质的**渗透浓度**(osmolarity)来衡量。渗透浓度为渗透活性物质的量除以溶液的体积,符号为 $c_{os,B}$,常用单位为 $mol \cdot L^{-1}$ 或 $mmol \cdot L^{-1}$ 。

$$c_{os,B} = \frac{n_{os,B}}{V} \quad (2-11)$$

例 2-4 临床上用来治疗碱中毒的 NH_4Cl 针剂的规格为每支 20mL,每支含 0.16g NH_4Cl 。临床补液用的葡萄糖溶液的质量浓度为 $50.0g \cdot L^{-1}$ 。试计算这两种溶液的渗透浓度。

$$\begin{aligned} \text{解: } c_{os}(NH_4Cl) &= c(NH_4^+) + c(Cl^-) = 2c(NH_4Cl) = \frac{2m(NH_4Cl)}{M(NH_4Cl) \times V} \\ &= \frac{2 \times 0.160g}{53.48g \cdot mol^{-1} \times 0.020L} = 0.2992mol \cdot L^{-1} = 299.2mmol \cdot L^{-1} \end{aligned}$$

$$c_{os}(C_6H_{12}O_6) = \frac{\rho(C_6H_{12}O_6)}{M(C_6H_{12}O_6)} = \frac{50.0g \cdot L^{-1}}{180.0g \cdot mol^{-1}} = 0.278mol \cdot L^{-1} = 278mmol \cdot L^{-1}$$

(二) 等渗溶液、低渗溶液和高渗溶液

所有溶液都有渗透压。渗透压力相等的两种溶液互称为**等渗溶液**(isotonic solution); 渗透压力不等的两种溶液,渗透压力相对高的称为**高渗溶液**(hypertonic solution); 渗透压力

相对低的溶液称为**低渗溶液**(hypotonic solution)。在医学上等渗、低渗和高渗溶液是以正常人体血浆的总渗透压(或渗透浓度)为标准来衡量的。正常人血浆渗透压为 $720 \sim 800 \text{ kPa}$, 相当于 $280 \sim 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 渗透浓度, 所以渗透浓度在 $280 \sim 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液为等渗溶液, 高于 $320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液称为高渗溶液, 低于 $280 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液称为低渗溶液。在实际应用中, 略低于或略高于此范围的溶液, 在临床上也被看作等渗溶液, 如 $50.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液。临床上常用的等渗溶液有 $9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaCl}$ 、 $50.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖、 $19.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 乳酸钠、 $12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 等溶液。

临床上给病人进行大剂量补液时应用等渗溶液是一个基本原则, 不能因输液而影响血浆的渗透压, 否则会使体液内水分的调节发生紊乱, 引起细胞变形和破裂。如图 2-2 所示, 红细胞在不同浓度的 NaCl 溶液中出现不同的形态。



图 2-2 红细胞在不同浓度 NaCl 溶液中的形态示意图

红细胞在等渗溶液中保持正常形态, 如将红细胞放入渗透浓度低于 $280 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的低渗溶液中, 在显微镜下可以观察到红细胞逐渐膨胀, 最后破裂, 释出的血红蛋白将溶液染成红色, 医学上将这一过程称为“**溶血**”(hemolysis)。产生这种现象的原因红细胞内溶液的渗透压力高于细胞外液, 细胞外液中的水分子向细胞内渗透所致。

若将红细胞放入渗透浓度高于 $320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的高渗溶液中一段时间后, 在显微镜下可见红细胞逐渐皱缩, 医学上把这种现象称为**胞浆分离**(plasmolysis)。皱缩的红细胞相互聚结成团。若此种现象发生于血管内, 将产生“栓塞”而阻断血流。产生该现象的原因是红细胞内液的渗透压低于细胞外液, 细胞内的水分子向外渗透而引起的。

由于低渗溶液可引起红细胞或组织细胞破裂, 造成不能恢复的损害, 因而在临床上绝对不允许使用低渗溶液直接输入体内。在一些特殊情况下也可以使用少量高渗溶液, 如亟需提高血糖用的 $500 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖和治疗脑水肿用的高渗山梨醇与 20% 的甘露醇溶液等。但在使用高渗溶液时, 输入量不能太大且输入速度要慢, 否则易造成局部高渗而导致机体水分调节失常及细胞的变形和破坏。

问题与思考 2-1 将临床上使用的两种或两种以上的等渗溶液以任意体积混合, 若组分之间不发生化学反应, 混合引起的体积变化也可以忽略不计, 所得混合溶液还是等渗溶液吗?

(三) 晶体渗透压和胶体渗透压

如表 2-2 所示, 血浆等生物体液是电解质(如 NaCl 、 KCl 等)、小分子物质(如葡萄糖、尿素等)和大分子物质(如蛋白质、核酸等)溶解于水而形成的复杂的混合物。在医学上, 习惯上把电解质和小分子物质所产生的渗透压称为**晶体渗透压**(crystalloid osmotic pressure), 把大分子物质所产生的渗透压称为**胶体渗透压**(colloidal osmotic pressure)。血浆渗透压为这

两类渗透压的总和,其中晶体渗透压占总渗透压的约 95%,胶体渗透压只占极少一部分。

表 2-2 正常人血浆、组织间液和细胞内液中各种渗透活性物质的渗透浓度

渗透活性物质	血浆中浓度($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	组织间液中浓度($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	细胞内液中浓度($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)
Na^+	144	137	10
K^+	5	4.7	141
Ca^{2+}	2.5	2.4	
Mg^{2+}	1.5	1.4	31
Cl^-	107	112.7	4
HCO_3^-	27	28.3	10
H_2PO_4^- 、 HPO_4^{2-}	2	2	11
SO_4^{2-}	0.5	0.5	1
磷酸肌酸			45
肌肽			14
氨基酸	2	2	8
肌酸	0.2	0.2	9
乳酸盐	1.2	1.2	1.5
三磷酸腺苷			5
一磷酸己糖			3.7
葡萄糖	5.6	5.6	
蛋白质	1.2	0.2	4
尿素	4	4	4
总计	303.7	302.2	302.2

由于人体内的半透膜如膀胱膜、细胞膜、毛细血管壁膜等的通透性不同,晶体渗透压和胶体渗透压在维持体内水盐平衡功能上也不相同。晶体渗透压的功能是调节细胞内外水和盐的相对平衡。如果人体内缺水时,细胞外液盐的浓度升高,晶体渗透压力增大,细胞内水分子向细胞外渗透,造成细胞内失水。大量饮水或输入过多的葡萄糖溶液,会使细胞外液晶体渗透压降低,从而引起细胞外液的水分子向细胞内渗透,严重时产生水中毒。胶体渗透压的功能是调节毛细血管内外水和盐的相对平衡及维持血容量。如果血浆中蛋白质含量显著减少,会使胶体渗透压降低,水分子从毛细血管向组织间液中渗透从而引起水肿。临床上对大面积烧伤或由于失血造成血容量降低的患者进行补液时,除补生理盐水外,同时还要输入血浆或右旋糖酐等代血浆,以恢复血浆胶体渗透压和增加血容量。

第三节 溶 胶

生命体中许多无机组分以及蛋白质、淀粉、糖原等有机物质以胶体的形式存在,象血液、细胞液、淋巴液等各类体液都具有胶体的性质,生物体许多生理现象和病理变化都与胶体性质密切相关。在药物生产和使用上,可以利用胶体药物载体实现药物的控制释放。一些环境污染和疾病传播也与胶体有关。因此胶体知识在医学上具有特殊的意义。

溶胶(sol)是由数目巨大的小分子、离子或原子组成的聚集体(直径约 $1 \sim 100 \text{ nm}$)所形成的胶体分散系,分散相和分散介质之间具有明显的界面。多相性、高度分散性和聚集不

稳定性等是其基本特性,这些基本性质决定了溶胶在光学、动力学和电学等方面具有独特的性质。

一、溶胶的基本性质

(一) 溶胶的光学性质

将溶胶置于暗室中,用一束聚焦的可见光光源照射溶胶,在与光束垂直的方向上可见一束光锥通过,这种现象就称为**丁达尔现象**(Tyndall phenomenon)(图 2-3)。

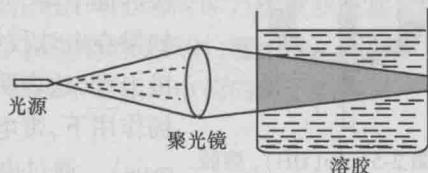


图 2-3 丁达尔现象

丁达尔现象的本质是光的散射。分散系统对光的照射可发生吸收、反射、散射等作用。当分散相粒子即溶胶粒子的直径大小略小于入射光的波长时,则光波就会环绕溶胶粒子向各个方向散射,散射出来的光称为散射光或乳光。溶胶粒子的直径($1 \sim 100\text{nm}$)略小于可见光的波长($400 \sim 760\text{nm}$),因此,当可见光照射溶胶时,发生明显散射作用而产生丁达尔现象。真溶液和高分子溶液因对光散射极弱而无丁达尔现象,粗分散系只有反射光而无乳光。因此,丁达尔现象是溶胶区别于真溶液、悬浊液和高分子溶液的一个基本特征。临床上可用灯检方法对注射用真溶液进行检查,即注射液在强光照射下应无乳光现象,若出现乳光则不合格。

(二) 溶胶的动力学性质

溶胶的动力学性质主要是指热运动所引起的扩散、渗透、沉降等与溶胶粒子大小及形状等属性相关的运动特性。

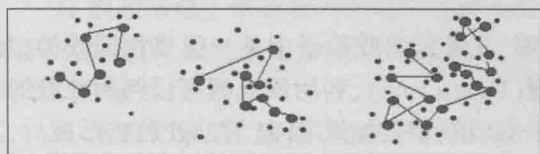


图 2-4 布朗运动示意图

1. 布朗运动 将一束强光透过溶胶,并在光的垂直方向用超显微镜观察,可以看到溶胶中的胶粒在介质中不停地做无规则的运动,这种无规则的运动称为**布朗运动**(Brown motion),如图 2-4 所示。布朗运动的本质是粒子的热运动。分散介质分子

不停地热运动对溶胶粒子从不同方向撞击,由于受力不平衡,且在不同时间力的指向不同因而溶胶粒子产生了不规则的运动。温度越高,介质黏度越低,胶粒越小,布朗运动越激烈。布朗运动使胶粒不易下沉。

2. 扩散 溶胶中的胶粒由于布朗运动而自动地从浓度较高处向浓度较低处迁移的现象称为**扩散**(diffusion)。浓度差是扩散的动力。温度愈高,溶胶的黏度愈小,胶粒愈小,愈容易扩散。扩散是生物体内物质输送或物质分子通过细胞膜的推动力之一。

3. 沉降 胶粒因受重力作用而逐渐下沉的现象称为**沉降**(sedimentation)。溶胶的胶粒较小,质量较轻,沉降和扩散两种作用同时存在。一方面受到重力作用而使胶粒向下沉降,另一方面扩散作用又使胶粒向上。当扩散速率与沉降速率相等时,粒子分布达到平衡状态,形成一个胶粒密度从上到下逐渐增加的稳定的分散密度梯度,这种平衡状态称为**沉降平衡**(sedimentation equilibrium)。如果溶胶粒子大小不等,则因沉降速率不一,平衡时,大小粒子随高度不同而分布不同,利用这一原理,可以对胶粒按大小进行分级筛选。