

医学化学

主 编 肖 竦 姚建华



第四军医大学出版社

医学化学

主 编 肖 竦 姚建华

副主编 江 波 徐 红 席晓岚

编 者 (按姓氏笔画排序)

王 丽(贵州医科大学)

冉 霞(贵州医科大学)

冯 建(贵州医科大学)

江 波(遵义医学院)

李 蓉(贵州医科大学)

李 燕(贵州医科大学)

肖 竦(贵州医科大学)

吴 庆(遵义医学院)

汪志勇(贵州医科大学)

张奇龙(贵州医科大学)

胡 鹏(贵州医科大学)

姚建华(贵州医科大学)

徐 红(贵州医科大学)

席晓岚(贵州医科大学)

图书在版编目(CIP)数据

医学化学/肖疎,姚建华主编.—西安:第四军医大学出版社,2015.8

ISBN 978-7-5662-0813-2

I. ①医… II. ①肖…②姚… III. ①医用化学-高等学校-教材 IV. ①R313

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 175389 号

yixuehuaxue

医学化学

出版人:富明 责任编辑:王雯 黄璐

出版发行:第四军医大学出版社

地址:西安市长乐西路 17 号 邮编:710032

电话:029-84776765 传真:029-84776764

网址:<http://press.fmmu.edu.cn>

制版:绝色设计

印刷:陕西奇彩印务有限责任公司

版次:2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:20 字数:460 千字

书号:ISBN 978-7-5662-0813-2/R·1612

定价:45.00 元

版权所有 侵权必究

购买本社图书,凡有缺、倒、脱页者,本社负责调换

前 言

化学是医学、药学的重要基础,近年来分子生物学、分子医学、遗传组学、蛋白组学、代谢组学等领域发展迅速,意味着生命科学已经进入分子水平,化学在分子水平上的研究成果无疑对生命科学、现代医学起到更加重要的作用。

医学化学作为医学生的一门非常重要的基础课,要求学生能够系统掌握化学学科的基础理论框架和知识结构,同时要求了解化学在医学、生命科学中的重要地位和作用。化学学习强调的是培养解决问题的能力以及实验操作、现象观察、数据收集能力等,这些能力对医学生未来的工作大有益处。

为适应医学院校课程改革的本科各专业对学生的具体要求,我们在总结多年教学经验的基础上,编写了这部更加适用、针对性更强的教材。教材遵循完善基础理论、基本知识、基本技能,保持科学性、先进性、启发性、实用性,针对特定对象、特定要求的基本原则,在编写中注重优化教学内容,突出重点,不仅强调基本的化学知识和理论,还补充一些与医学相关的素材,突出“医学化学”的特色,体现现代医学化学学科的渗透性、交叉性与连贯性。每章节教学内容中都插有“问题”,重在启迪学生思维,加强师生互动,激发学生的学习兴趣,以培养学生分析、解决问题的能力。中英文注释给出了重要英文名词,为学生阅读专业文献提供方便。本书采用以国际单位制(SI制)为基础的《中华人民共和国法定计量单位》和国家标准(GB3100-3102-93)中所规定的符号和单位。

本书可供高等医学院校本科各专业的学生使用,也可供医学专科、成人医学教育等其他专业使用。各院校不同专业使用时可根据教学时数需要灵活选择,对内容进行取舍。

全书共二十三章,分为无机化学(溶液、电解质溶液、缓冲溶液、胶体溶液、氧化还原与电极电位、配位化合物、原子结构)、分析化学(滴定分析法、可见分光光度法)和有机化学(有机化合物概述,烷烃和环烷烃,烯烃和炔烃,芳香烃,立体异构,醇、酚、醚,醛、酮,羧酸、羧酸衍生物和取代羧酸,胺和酰胺,杂环化合物和生物碱,糖类,脂类,氨基酸、蛋白质和核酸)三大部分。

本教材在贵州医科大学教务处的领导和支持下、在第四军医大学出版社的支持和帮助下、在遵义医学院领导和专家的协助和指导下,得以顺利完成,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平所限,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正,以便再版修正。

编者
2015 年 4 月

（此处为大量模糊文字，疑似教材正文内容，因清晰度不足无法准确转录，仅保留可辨识的片段）

... 本书共分... 第一章... 第二章... 第三章... 第四章... 第五章... 第六章... 第七章... 第八章... 第九章... 第十章... 第十一章... 第十二章... 第十三章... 第十四章... 第十五章... 第十六章... 第十七章... 第十八章... 第十九章... 第二十章... 第二十一章... 第二十二章... 第二十三章... 第二十四章... 第二十五章... 第二十六章... 第二十七章... 第二十八章... 第二十九章... 第三十章... 第三十一章... 第三十二章... 第三十三章... 第三十四章... 第三十五章... 第三十六章... 第三十七章... 第三十八章... 第三十九章... 第四十章... 第四十一章... 第四十二章... 第四十三章... 第四十四章... 第四十五章... 第四十六章... 第四十七章... 第四十八章... 第四十九章... 第五十章... 第五十一章... 第五十二章... 第五十三章... 第五十四章... 第五十五章... 第五十六章... 第五十七章... 第五十八章... 第五十九章... 第六十章... 第六十一章... 第六十二章... 第六十三章... 第六十四章... 第六十五章... 第六十六章... 第六十七章... 第六十八章... 第六十九章... 第七十章... 第七十一章... 第七十二章... 第七十三章... 第七十四章... 第七十五章... 第七十六章... 第七十七章... 第七十八章... 第七十九章... 第八十章... 第八十一章... 第八十二章... 第八十三章... 第八十四章... 第八十五章... 第八十六章... 第八十七章... 第八十八章... 第八十九章... 第九十章... 第九十一章... 第九十二章... 第九十三章... 第九十四章... 第九十五章... 第九十六章... 第九十七章... 第九十八章... 第九十九章... 第一百章...

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 化学的研究对象	(1)
第二节 化学与医学的关系	(1)
第三节 医学化学的学习内容和方法	(2)
第二章 溶液	(4)
第一节 溶液组成标度的表示方法	(4)
第二节 溶液的渗透压力	(8)
第三章 电解质溶液	(15)
第一节 强电解质溶液	(15)
第二节 酸碱质子理论	(17)
第三节 水溶液中的质子转移平衡	(20)
第四节 酸碱溶液 pH 值的计算	(25)
第五节 难溶电解质的沉淀溶解平衡	(30)
第四章 缓冲溶液	(35)
第一节 缓冲溶液的基本概念	(35)
第二节 缓冲溶液 pH 值的计算	(36)
第三节 缓冲容量和缓冲溶液的配制	(38)
第四节 缓冲溶液在医学上的意义	(42)
第五章 胶体溶液	(46)
第一节 胶体分散系	(46)
第二节 溶胶	(47)
第三节 高分子溶液	(51)
第四节 凝胶	(52)
第六章 滴定分析法	(54)
第一节 滴定分析法概述	(54)
第二节 酸碱滴定法	(58)
第三节 氧化还原滴定法	(65)

第七章 可见分光光度法	(70)
第一节 分光光度法基本原理	(70)
第二节 分光光度计	(74)
第三节 分光光度法的测定方法	(76)
第四节 分光光度法的应用	(78)
第八章 氧化还原与电极电位	(80)
第一节 氧化还原反应	(80)
第二节 原电池与电极电位	(82)
第三节 电极电位的应用	(90)
第九章 配位化合物	(94)
第一节 配位化合物的基本概念	(94)
第二节 配位平衡	(97)
第三节 螯合物在医学中的应用	(101)
第十章 原子结构	(105)
第一节 核外电子的运动状态及特性	(105)
第二节 氢原子的结构	(108)
第三节 多电子原子的原子结构	(112)
第四节 元素周期表	(115)
第十一章 有机化合物概述	(119)
第一节 有机化合物的结构理论	(119)
第二节 有机化合物中的电子效应	(126)
第三节 有机反应的类型	(128)
第四节 有机化合物的表示方法和分类	(129)
第十二章 烷烃和环烷烃	(134)
第一节 烷烃	(134)
第二节 环烷烃	(140)
第十三章 烯烃和炔烃	(144)
第一节 烯烃	(144)
第二节 炔烃	(149)
第三节 与医药学有关的烯烃	(152)
第十四章 芳香烃	(154)
第一节 苯	(154)

第二节 稠环芳香烃	(161)
第十五章 立体异构	(165)
第一节 构象异构	(165)
第二节 顺反异构现象	(168)
第三节 对映异构	(169)
第十六章 醇、酚、醚	(178)
第一节 醇	(178)
第二节 酚	(183)
第三节 醚	(186)
第十七章 醛、酮	(190)
第一节 醛、酮的分类和命名	(190)
第二节 醛、酮的结构和性质	(191)
第三节 与医药学有关的醛、酮	(197)
第十八章 羧酸、羧酸衍生物和取代羧酸	(200)
第一节 羧酸	(200)
第二节 羧酸衍生物	(207)
第三节 取代羧酸	(212)
第四节 与医药学有关的羧酸类化合物	(217)
第十九章 胺和酰胺	(221)
第一节 胺	(221)
第二节 酰胺	(228)
第三节 与医药学有关的胺和酰胺	(229)
第二十章 杂环化合物和生物碱	(234)
第一节 杂环化合物	(234)
第二节 生物碱	(242)
第二十一章 糖类	(248)
第一节 单糖	(248)
第二节 双糖	(255)
第三节 多糖	(257)
第二十二章 脂类	(263)
第一节 油脂	(263)
第二节 磷脂	(267)

第一章 绪 论

第一节 化学的研究对象

化学(chemistry)是在分子、原子、离子水平上研究物质的组成、结构、性质以及变化规律和变化过程中能量关系的自然科学。

化学、物理学、生物学都是以物质为研究对象的自然科学,它们有不同的分工。化学首先把物质的组成作为自己的研究对象,为此,引入了元素的概念。化学以目前发现的元素为基元,揭示了它们以不同的质(元素的品种)和量(元素质量之比)组成了已知的上千万种物质。化学科学深入研究物质的结构,按照一般的观点,物质的组成是宏观的,物质的结构则是微观的。从对物质的宏观认识过渡到对物质的微观认识,是化学科学的一个重要的进展,也是人的认识水平的一个飞跃。从某种意义上来说,从宏观到微观,是化学科学现代化的标志之一。

化学作为传统的理科学,研究内容非常丰富,随着人们对物质化学运动形式认识的逐步深入,化学形成了四大类别。无机化学:主要研究元素的单质及其化合物;有机化学:主要研究碳氢化合物及其衍生物;分析化学:主要研究物质成分的测定方法和原理;物理化学:运用物理学的原理和实验方法研究物质化学变化的基本规律。近年来,化学进入一个飞跃的发展阶段,主要表现在从描述性科学向推理性科学的过渡,从静态向动态、从定性到定量、从宏观到微观的深入。化学与生命科学、材料科学、物理科学、信息科学等多学科之间相互渗透、融合,传统类别的化学学科之间也相互交叉,广泛深入应用于医药、生物、环境、食品、农业、化工等不同的领域,形成了很多新兴边缘学科和应用学科,例如:生物化学、环境化学、药物化学、结构化学、量子化学、高分子化学等。

第二节 化学与医学的关系

医学的研究本体是人体,人体体内各种化学反应每时每刻都在发生。当人体体内的化学平衡被打破时,往往是由于身体本身某方面出现了不协调,也就是人体出现了某些疾病。医学的研究方向就是努力使人体化学平衡得以恢复,使人们回到健康的状态。

化学是一门在原子、分子层次上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的科学。经过几个世纪的发展与研究,化学已发展分成无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、生物化学等许多分支学科,已被公认为是一门中心学科。医学的主要任务是研究人体中的生理、心理和病理现象的规律,从而寻求预防、诊断和治疗疾病的有效方法,以保障人类健康。经过几个世纪的研究和发展,医学已达到相当高的水平,为人类的健康和生存

质量的改善做出了巨大的贡献。从中医至西医,医学的发展离不开化学的发展。1800年英国化学家汉弗莱·戴维(H. Davy)发现一氧化氮具有麻醉作用,后来从化学家那里得到启示,开始使用乙醚作为麻醉剂。直到今天,乙醚和氯仿仍是全身麻醉最常用的麻醉剂,麻醉剂的使用让无痛外科手术和牙科手术成为可能,是实现现代外科手术的必要条件。1932年德国科学家多马克(G. Domagk)发现一种偶氮磺胺染料可以让细菌性败血症的孩子得以康复。此后合成的各类磺胺类药物作为广谱抗菌类药物在临床上使用了近50年,一直作为重要的化学治疗药物。

生物化学就是从无机化学、有机化学和生理学共同来研究生命活动的过程中发展起来的。近年来,现代医学的研究已经逐步进入分子层次。例如:近年来临床使用的光动力疗法,光动力作用是指在光敏剂参与下,在光的作用下,使有机体细胞或生物分子发生功能或形态变化,严重时导致细胞损伤和坏死作用,而这种作用必须有氧的参与,所以又称光敏化-氧化作用,在化学上称这种作用为光敏化作用,在生物学及医学上称之为光动力作用,利用光动力作用诊治疾病的方法,称为光动力疗法。现在已应用于眼疾、皮肤病变、癌症的诊疗。再比如纳米技术应用于生物领域产生了纳米生物技术,纳米生物技术的发展已经对医学产生了很大的影响。过去的几十年中,市场上已经出现基于纳米技术的一些药物,许多具有药物诊断和药物传输功能的纳米材料都可以应用到生物医学中。纳米技术打开了微米尺度以外的世界,而细胞水平上的生理和病理过程都发生在纳米尺度,因此纳米技术对生物医学将产生深远影响。

化学在分子领域的研究成果对于现代医学起到了重要推动作用。目前,从分子水平上研究疾病的致病原因,为早期诊断疾病提供科学依据,这些发展方向都充分证实现代医学的发展需要更深入和专业的化学知识。对于医学专业的学生而言化学是一门非常重要的基础课程。

第三节 医学化学的学习内容和方法

医学化学是临床医学和护理各专业学生必修的一门专业基础课程,通过学习,使学生能够掌握必要的无机、有机化学基本理论和基本知识,掌握相关的实践技能,为后续课程打下牢固的基础。培养学生分析和解决化学问题的能力,树立科学的观点和正确的思维方式。

医学化学涵盖了无机化学和有机化学两个大部分内容,无机化学部分主要介绍溶液、胶体、元素性质,以及分析化学基础知识等和医学领域密切相关的基本理论和基本知识。而有机部分与生命现象密切相连,是医学及相关专业化学教育的重点内容,主要介绍有机化合物的性质和功能,以及它们和医学的关系。

大学的教学和学习方式与中学阶段截然不同,课程内容丰富,信息容量大。教师的授课进度快,课堂讲授中重点分明,主线明确。学生在进入大学以后,要尽快适应这样的教学方式,不仅要注重培养主动学习的积极性,还要培养自学的能力,才能快速掌握课堂讲授的重点、难点。课后能快速对课程内容消化吸收,使其转变成分析问题和解决

问题的能力。

根据医学化学的课程特点,建议学习中注意以下几个环节:①课前预习。在课前浏览授课内容,对将要学习的知识建立初步认识,带着问题进入课堂学习,在有限的课堂教学时间内能够高效接受新的知识。②有效利用课堂教学时间。课堂上能与教师授课的思维脉络同步,产生共鸣。做好课堂笔记,针对疑问加深理解,提高听课质量。③课后知识巩固。课后注意总结归纳学习内容,通过必要的习题演练,提高理解和运用知识解决问题的能力。④实践能力培养。化学是一门实验科学,化学知识的学习和化学素质的培养,都离不开化学实验的辅助作用。在化学的产生、建立和发展的过程中,化学实验是归纳化学基本规律,验证理论预言和假说的主要依据。做好预习实验报告、完成实验操作,认真记录数据、处理数据的完整实验过程,养成严谨的科学态度和思维方法,培养独立的工作能力。⑤课外资料的阅读。学会浏览和精读文献或参考资料,拓展视野,了解知识的应用和发展前沿,为今后进一步学习和研究打下坚实的基础。

(肖 琳)

第二章 溶 液

溶液与人的生命过程有着密切的关系。人的体液,如血液、淋巴液以及各种腺体的分泌液都属于溶液,食物的消化和吸收、营养物质的运输和转化、代谢废物的排泄等都离不开溶液,临床上许多药物要配制成溶液使用。因此,掌握溶液的基本知识是学习医学学科所必需的。由于溶液的性质与溶液的组成有关,所以本章先介绍溶液组成标度的表示方法,再讨论溶液的渗透压力。

第一节 溶液组成标度的表示方法

溶液的组成标度是指溶液中各成分的相对含量。根据不同的需要,溶液的组成标度有不同的表示方法,其中较常用的表示方法有:物质的量浓度、质量摩尔浓度、质量浓度、质量分数等。

一、物质的量和物质的量浓度

(一)物质的量

物质的量(amount of substance)是表示物质数量的基本物理量。物质 B 的物质的量用符号 n_B 表示,SI 单位是摩尔(mole),单位符号为 mol。此外,还可使用倍数单位,如千摩尔(kmol)、毫摩尔(mmol)和微摩尔(μmol)等。

摩尔的定义是:摩尔是一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元(elementary entity)数目与 $0.012\text{kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目相等。

在使用物质的量及其单位摩尔时,应注意:摩尔是物质的量的单位,不是质量(mass)的单位。 $0.012\text{kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目是 6.022×10^{23} ,这个数称为阿伏伽德罗常数(Avogadro constant)。所以,1mol 是 6.022×10^{23} 个微粒的集合,若系统所含基本单元的数目与阿伏伽德罗常数相等,则系统的物质的量就是 1mol。

在使用物质的量时,基本单元必须同时指明。基本单元可以是分子、原子、离子、电子及其他粒子或这些粒子的特定组合,应该用粒子符号、物质的化学式或它们的特定组合来表示。例如,我们可以说 H_2SO_4 的物质的量,但是,如果说“硫酸的物质的量”,含义就不清了,因为没有指明基本单元的化学式,它可能是 H_2SO_4 、也可能是 $\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4$ 的物质的量。

物质 B 的物质的量 n_B 可以通过 B 的质量和摩尔质量(molar mass)求算。物质 B 的摩尔质量 M_B 定义为 B 的质量 m_B 除以 B 的物质的量 n_B ,即

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

摩尔质量的 SI 单位为千克每摩 ($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)。当以克每摩 ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) 为单位时,某原子的摩尔质量的数值等于其相对原子质量 A_r , 某分子的摩尔质量的数值等于其相对分子质量 M_r 。相对原子质量和相对分子质量的量纲是一。

在使用摩尔质量时,必须指明基本单元,如 $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4) = 49 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

式 2-1 可改写为

$$n_B = \frac{m_B}{M_B} \quad (2-2)$$

例 2-1 计算 5.3g 无水碳酸钠的物质的量。

(1) 以 Na_2CO_3 为基本单元;

(2) 以 $\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{CO}_3$ 为基本单元。

解 (1) $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 5.3 \text{g}$, $M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{5.3 \text{g}}{106 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.050 \text{mol}$$

(2) $m(\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{CO}_3) = 5.3 \text{g}$, $M(\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{1}{2} M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 53 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n(\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{5.3 \text{g}}{53 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.10 \text{mol}$$

从上述计算结果可知,同一系统的物质,基本单元不同时,物质的量也不同

$$n(\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{CO}_3) = 2n(\text{Na}_2\text{CO}_3)$$

基本单元减小一半,则物质的量增大一倍。同理,还可推导出

$$n(\frac{1}{x} B) = xn(B) \quad (2-3)$$

(二) 物质的量浓度

物质的量浓度 (amount of substance concentration) 用符号 c_B 表示,定义为物质 B 的物质的量除以混合物的体积。对溶液而言,物质的量浓度定义为溶质的物质的量除以溶液的体积,即

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (2-4)$$

式中 c_B 为物质 B 的物质的量浓度, n_B 为溶质 B 的物质的量, V 是溶液的体积。

物质的量浓度的 SI 单位是摩尔每立方米 ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$), 但常用单位为摩尔每升 ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)、毫摩尔每升 ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 和微摩尔每升 ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 等。

物质的量浓度可简称为浓度 (concentration), 常用 c_B 表示物质 B 的总浓度, $[B]$ 表示物质 B 的平衡浓度。

在使用浓度时,必须指明物质 B 的基本单元。例如 $c(\text{HCl}) = 0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}) = 1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4) = 0.20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。同一系统,基本单元不同时,以下列关系换算

$$c\left(\frac{1}{x}\text{B}\right) = xc(\text{B}) \quad (2-5)$$

例 2-2 正常人血浆中每 100ml 含葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 100mg、 HCO_3^- 164.7mg、 Ca^{2+} 10mg, 它们的物质的量浓度(单位 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)分别为多少?

解 已知 $M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{HCO}_3^-) = 61 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{Ca}^{2+}) = 40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{100 \text{ mg}}{180 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1}} \times \frac{1000 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}}{100 \text{ ml}} = 5.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\text{HCO}_3^-) = \frac{164.7 \text{ mg}}{61 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1}} \times \frac{1000 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}}{100 \text{ ml}} = 27 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{10 \text{ mg}}{40 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1}} \times \frac{1000 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}}{100 \text{ ml}} = 2.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

二、质量浓度

质量浓度(mass concentration)用符号 ρ_B 表示。定义为溶质 B 的质量除以溶液的体积,即

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (2-6)$$

式中 m_B 为溶质 B 的质量, V 是溶液的体积。质量浓度常用的单位为克每升 ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) 或毫克每升 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。

在临床医学检验中,世界卫生组织提议,凡是相对分子质量 M_r 已知的物质,在人体内的含量统一用物质的量浓度表示。例如人体血液葡萄糖含量的正常值,过去常表示为 70mg% ~ 100mg%, 按法定计量单位则应表示为 $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 3.9 \sim 5.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。对于相对分子质量 M_r 未知的物质,在人体内的含量则可用质量浓度 ρ_B 表示。

物质 B 的质量浓度 ρ_B 与浓度 c_B 之间的关系为

$$\rho_B = c_B M_B \quad (2-7)$$

式中 M_B 是溶质 B 的摩尔质量。

例 2-3 临床使用的乳酸钠 ($\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3$) 溶液的质量浓度为 $18.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 试求该溶液的浓度 $c(\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3)$, 以 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 为单位。

解 已知 $M(\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3) = 112 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则该乳酸钠溶液的浓度为

$$c(\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3) = \frac{\rho(\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3)}{M(\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3)} = \frac{18.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{112 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 1000 \text{ mmol} \cdot \text{mol}^{-1} = 167 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

例 2-4 100ml 生理盐水中含 0.90g NaCl, 试计算生理盐水的质量浓度和浓度。

解 生理盐水的质量浓度为

$$\rho(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{V} = \frac{0.90\text{g}}{0.10\text{L}} = 9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

NaCl 的摩尔质量为 $58.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则生理盐水的浓度为

$$c(\text{NaCl}) = \frac{\rho(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}}{58.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.15\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

三、质量摩尔浓度

质量摩尔浓度 (molality) 用符号 b_{B} 表示, 定义为溶质 B 的物质的量除以溶剂的质量, 即

$$b_{\text{B}} = \frac{n_{\text{B}}}{m_{\text{A}}} \quad (2-8)$$

式中 n_{B} 为溶质 B 的物质的量, m_{A} 为溶剂 A 的质量。质量摩尔浓度的 SI 单位为摩尔每千克 ($\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$), 此外也常用倍数单位毫摩尔每千克 ($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和微摩尔每千克 ($\mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

例 2-5 将 7.0g 结晶草酸 ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 溶于 93.0g 水中, 试求草酸的质量摩尔浓度 $b(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ 。

解 $M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 126\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 90\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

在 7.0g $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 中 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 的质量为

$$m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 7.0\text{g} \times \frac{90\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}}{126\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 5.0\text{g}$$

溶液中溶剂水的质量为

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 93.0\text{g} + (7.0\text{g} - 5.0\text{g}) = 95.0\text{g}$$

则 $b(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{5.0\text{g}/90.0\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}}{95.0\text{g}/1000\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}} = 0.585\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$

四、质量分数

质量分数 (mass fraction) 用符号 ω_{B} 表示, 定义为物质 B 的质量除以混合物的质量, 即

$$\omega_{\text{B}} = \frac{m_{\text{B}}}{\sum_i m_i} \quad (2-9)$$

式中 m_{B} 为物质 B 的质量, $\sum_i m_i$ 为混合物的质量。

ω_{B} 为量纲一的量, 其 SI 单位为 1。

对于溶液而言, 溶质 B 和溶剂 A 的质量分数分别为

$$\omega_{\text{B}} = \frac{m_{\text{B}}}{m_{\text{A}} + m_{\text{B}}} \quad \omega_{\text{A}} = \frac{m_{\text{A}}}{m_{\text{A}} + m_{\text{B}}}$$

式中 m_{A} 为溶剂 A 的质量, m_{B} 为溶质 B 的质量。

显然 $\omega_A + \omega_B = 1$

例 2-6 将 100g 蔗糖溶于水配制成 500g 溶液, 计算该溶液中蔗糖的质量分数。

解 该溶液中蔗糖的质量分数为

$$\omega(\text{蔗糖}) = \frac{m(\text{蔗糖})}{m(\text{溶液})} = \frac{100\text{g}}{500\text{g}} = 0.2$$

例 2-7 市售浓硫酸的密度为 $1.84\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$, 质量分数为 96%, 试求该溶液的 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 和 $b(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。

解 $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{(1.84 \times 1000)\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.96}{98\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 18\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$b(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{96\text{g}/98\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}}{4\text{g}/1000\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}} = 245\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

第二节 溶液的渗透压力

溶质溶解在溶剂中形成溶液, 溶解作用使得溶液的性质既不同于纯溶质, 也不同于纯溶剂。溶液的性质可分为两类: 一类决定于溶质的本性, 如溶液的颜色、体积、导电性和表面张力等; 另一类与溶质的本性几乎无关, 主要取决于溶液中所含溶质微粒数的多少, 如溶液的蒸气压下降、沸点升高、凝固点降低以及渗透压力等, 这类性质具有一定的规律性, 但其变化规律只适用于稀溶液, 所以统称为稀溶液的依数性 (colligative properties of dilute solution)。

稀溶液的依数性, 对细胞内外物质的交换和运输、临床输液、水及电解质代谢等问题, 具有一定的理论指导意义。本节主要介绍难挥发性非电解质稀溶液的渗透压力。

一、渗透现象和渗透压力

若在浓的蔗糖溶液的液面上小心地加一层清水, 在避免任何机械振动的情况下静置一段时间, 由于分子本身的热运动, 蔗糖分子将由溶液层向水层迁移, 同时, 水分子也将水层向溶液层迁移, 直至浓度均匀为止。这种物质从高浓度区域自发向低浓度区域进行迁移的现象称为扩散 (diffusion)。

若用一种半透膜 (semipermeable membrane) 把蔗糖溶液和纯水隔开, 如图 2-1(a) 所示。半透膜只允许某些物质透过, 而不允许另一些物质透过, 动物的肠衣、动植物的细胞膜、毛细血管壁、人工制备的羊皮纸、火棉胶等等, 都具有半透膜的性质。用一种只允许水分子自由透过而蔗糖分子不能透过的半透膜将蔗糖溶液与纯水隔开, 并使其液面在同一水平上。一段时间后, 可以看到蔗糖溶液一侧液面上升, 说明水分子不断地通过半透膜从纯水转移到蔗糖溶液中。这种溶剂分子透过半透膜进入溶液的自发过程称为渗透作用, 简称渗透 (osmosis)。