

高等医学院校教材

医用化学

主 编 顾国耀 杨丽敏
副主编 张喜轩 邓克敏



YI YONG HUA XUE



世界图书出版公司

图书在版编目(CIP)数据

医用化学/顾国耀、杨丽敏主编. —上海:上海世界图书
出版公司, 2002. 8
ISBN 7-5062-4901-4

I. 医... II. ①顾... ②杨... III. 医用化学
IV. R313

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 055064 号

医用化学

顾国耀 杨丽敏 主编

上海 世界图书出版公司 出版发行
上海市尚文路 185 号 B 楼
邮政编码 200010
上海市印刷七厂一分厂印刷
各地新华书店经销

开本: 787×1092 1/16 印张: 18 字数: 460 000
2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷
印数: 1—6 000
ISBN: 7-5062-4901-4/O·08
定价: 28.00 元

编 委

(按 姓 氏 笔 画 为 序)

马小琴	上海第二医科大学卫生技术学院
邓克敏	上海第二医科大学
江汉坤	佛山职工医学院
李柏林	中国医科大学
林 江	上海第二医科大学卫生技术学院
陈 森	中国医科大学
陈建新	大同医学专科学校
郑 鸣	扬州大学医学院
张喜轩	中国医科大学
杨丽敏	上海第二医科大学
姚莉韵	上海第二医科大学
徐 靖	邵阳医学院
徐汝明	上海第二医科大学
顾国耀	上海第二医科大学
熊燕飞	武汉职工医学院

前 言

《医用化学》是一本适用于高等医学专科院校和职工医学院校的化学教材,也可供医学本科有关专业使用。

本书编写的指导思想是面向 21 世纪医学教育的发展,体现“思想性、科学性、先进性、启发性和适用性”的要求,内容取舍力求适当,语言简练,书中简明扼要地介绍了与医学有关的化学基础理论和基础知识,重点突出溶液的浓度、渗透压、缓冲溶液、糖类、脂类化合物、蛋白质和核酸等内容,为后续医学课程的学习打下良好的基础。书中编入 9 个实验,各校可根据具体情况予以选用。全书采用国家规定的计量单位、符号和化学名词。

本书共 18 章,理论课的参考学时为 70 学时,具体分配如下:溶液 4 学时、化学反应速率和化学平衡 4 学时、电解质溶液 4 学时、缓冲溶液 3 学时、滴定分析法概述和分光光度法 4 学时、氧化还原反应和电极电位 4 学时、原子结构和共价键 4 学时、配位化合物 3 学时、烃 7 学时、醇和酚 3 学时、醛和酮 4 学时、羧酸和取代羧酸 4 学时、顺反异构和对映异构 4 学时、含氮有机化合物 5 学时、脂类 3 学时、糖类 5 学时、氨基酸和蛋白质 3 学时和核酸 2 学时。

本书的编写和出版得到了参编院校领导的关心和支持,在此深表感谢。

限于编者水平有限,难免有错误和不妥之处,敬请不吝指正。

编 者
2002 年 3 月

目 录

第一章 溶 液	(1)	第二章 化学反应速率和化学平衡	(15)
第一节 分散系的分类	(1)	第一节 化学反应速率的概念	(15)
一、粗分散系	(1)	一、化学反应速率	(15)
二、胶体分散系	(1)	二、化学反应的平均速率	(16)
三、分子分散系	(1)	三、化学反应的瞬时速率	(16)
第二节 溶液的组成标度	(2)	四、元反应和反应分子数	(17)
一、质量分数	(2)	第二节 碰撞理论简介	(17)
二、体积分数	(2)	一、有效碰撞与弹性碰撞	(17)
三、质量浓度	(2)	二、活化分子与活化能	(17)
四、物质的量浓度	(3)	第三节 影响化学反应速率的因素	(18)
第三节 溶液的渗透压力	(4)	一、浓度对反应速率的影响	(18)
一、渗透现象与渗透压力	(4)	二、温度对反应速率的影响	(19)
二、渗透压力与浓度、温度的关系	(5)	三、催化剂对反应速率的影响	(20)
三、渗透浓度	(5)	第四节 化学平衡	(21)
四、渗透压力在医学上的意义	(6)	一、可逆反应与化学平衡	(21)
第四节 胶体溶液的性质	(7)	二、标准平衡常数	(21)
一、溶胶的性质	(7)	三、化学平衡的移动	(22)
二、胶团的结构	(8)	第五节 热化学方程式及 Hess 定律	(23)
三、溶胶的稳定性和聚沉	(9)	一、内能和焓	(23)
第五节 表面活性剂和乳状液	(10)	二、热化学方程式	(23)
一、表面张力和表面能	(10)	三、Hess 定律和反应热的计算	(24)
二、吸附现象	(10)	本章小结	(25)
三、表面活性物质	(11)	习题	(26)
第六节 高分子化合物溶液	(12)	第三章 电解质溶液	(28)
一、高分子化合物的概念	(12)	第一节 电解质溶液	(28)
二、高分子化合物溶液的特征	(12)	一、强电解质在溶液中的解离	(28)
三、高分子溶液对溶胶的保护作用	(13)	二、弱电解质在溶液中的解离	(28)
四、凝胶	(13)	第二节 酸碱质子理论	(30)
本章小结	(13)	一、酸碱的定义及其共轭关系	(30)
习题	(14)	二、酸碱反应的实质	(31)

三、水的质子自递作用	(32)	二、准确度和误差	(51)
四、共轭酸碱对 $K_a^\ominus$ 、 $K_b^\ominus$ 间的关系	(32)	三、精密度与偏差	(51)
第三节 溶液酸度的计算	(33)	四、提高分析结果准确度的方法	(52)
一、酸度与 pH	(33)	五、有效数字	(53)
二、溶液酸度的计算	(33)	第三节 酸碱滴定法	(53)
本章小结	(36)	一、酸碱指示剂	(54)
习题	(36)	二、滴定曲线和指示剂的选择	(55)
第四章 缓冲溶液	(37)	三、酸碱标准溶液的配制和标定	(57)
第一节 缓冲溶液和缓冲作用原理	(37)	四、酸碱滴定法的应用	(57)
一、缓冲作用和缓冲溶液	(37)	第四节 分光光度法	(58)
二、缓冲溶液的组成	(37)	一、物质对光的选择性吸收和吸收光谱	(58)
三、缓冲溶液的作用原理	(38)	二、光的吸收定律	(59)
第二节 缓冲溶液的 pH	(38)	三、分光光度计	(60)
一、缓冲溶液 pH 的计算	(38)	四、定量分析方法	(61)
二、影响缓冲溶液 pH 的因素	(40)	本章小结	(62)
第三节 缓冲容量	(41)	习题	(63)
一、缓冲容量	(41)	第六章 氧化还原反应和电极电位	(64)
二、影响缓冲容量的因素	(41)	第一节 氧化还原反应	(64)
三、缓冲范围	(42)	一、氧化值	(64)
第四节 缓冲溶液的配制	(43)	二、氧化剂和还原剂	(65)
一、缓冲溶液配制的原则和方法	(43)	三、半反应和氧化还原电对	(65)
二、常用的缓冲溶液	(44)	第二节 原电池和电极电位	(65)
第五节 缓冲溶液在医学上的意义	(45)	一、原电池的定义和组成	(65)
本章小结	(46)	二、电极电位和原电池的电动势	(67)
习题	(46)	三、电极电位的 Nernst 公式	(69)
第五章 滴定分析法概述和分光光度法	(48)	第三节 电极电位的应用	(71)
第一节 滴定分析法概述	(48)	一、判断氧化剂和还原剂的相对强弱	(71)
一、滴定分析的特点和分类	(48)	二、判断氧化还原反应自发进行的方向	(71)
二、滴定分析的操作过程	(48)	第四节 电位法测定溶液的 pH	(72)
三、滴定分析的计算	(49)	一、电位法测定溶液 pH 的基本原理	(73)
第二节 滴定分析结果的误差和有效数字	(50)		
一、误差产生的原因和分类	(50)		

二、甘汞电极、玻璃电极和复合电极..... (73)	二、配离子的空间构型..... (99)
三、电位法测定溶液 pH 的方法..... (74)	第三节 配位平衡..... (100)
本章小结..... (75)	一、配离子的稳定常数..... (100)
习题..... (76)	二、配位平衡的移动..... (101)
第七章 原子结构和共价键 (78)	三、稳定常数的应用..... (103)
第一节 核外电子的运动状态..... (78)	第四节 螯合物..... (103)
一、量子数和原子轨道..... (78)	一、螯合物与螯合剂..... (103)
二、电子云的概念..... (80)	二、螯合物在医学上的意义..... (104)
第二节 原子的电子构型和元素周期律..... (81)	本章小结..... (105)
一、核外电子排布的规律..... (81)	习题..... (105)
二、原子的电子构型和元素周期律..... (82)	第九章 烃 (107)
第三节 元素和人体健康..... (84)	第一节 有机化合物概述..... (107)
一、必需元素和非必需元素..... (84)	一、有机化合物分子结构的表示方法..... (107)
二、污染元素..... (85)	二、有机化合物的分类..... (109)
第四节 共价键..... (86)	第二节 链 烃..... (110)
一、现代价键理论要点..... (86)	一、链烃的类别..... (111)
二、共价键的类型和参数..... (87)	二、链烃的结构..... (111)
三、轨道杂化理论..... (90)	三、链烃的同分异构现象..... (115)
第五节 氢 键..... (92)	四、链烃的命名..... (116)
一、氢键的形成和本质..... (93)	五、链烃的性质..... (119)
二、氢键的特点和类型..... (93)	六、共轭二烯烃..... (125)
三、氢键形成对化合物性质的影响..... (93)	第三节 脂环烃..... (126)
本章小结..... (94)	一、脂环烃的分类及命名..... (126)
习题..... (94)	二、脂环烃的性质..... (127)
第八章 配位化合物 (96)	三、环烷烃的结构与环的稳定性..... (128)
第一节 配位化合物的基本概念..... (96)	第四节 芳香烃..... (129)
一、配位化合物的定义..... (96)	一、苯的分子结构..... (129)
二、配位化合物的组成..... (96)	二、苯同系物的异构和命名..... (130)
三、配位化合物的命名..... (98)	三、苯及其同系物的性质..... (131)
第二节 配位化合物的价键理论..... (98)	四、苯环的亲电取代反应过程..... (132)
一、价键理论要点..... (98)	五、苯环取代的定位效应..... (133)
	六、稠环芳烃..... (135)
	本章小结..... (136)
	习题..... (137)
	第十章 醇和酚 (140)
	第一节 醇..... (140)

一、醇的分类和命名	(140)	第十三章 顺反异构和对映异构 ...	(174)
二、醇的性质	(141)	第一节 顺反异构	(174)
三、重要的醇	(143)	一、顺反异构及其产生的条件	(174)
四、硫醇	(144)	二、顺反异构的标记	(175)
第二节 酚	(145)	三、顺反异构体的性质	(176)
一、酚的结构、分类和命名	(145)	第二节 对映异构	(176)
二、酚的电子结构	(146)	一、偏振光和旋光性	(176)
三、酚的化学性质	(146)	二、产生对映异构的原因	(177)
四、重要的酚	(147)	三、对映异构的构型表示	(178)
本章小结	(148)	四、对映异构的构型标记	(178)
习题	(148)	五、手性中心数目与对映异构体数目的关系	(179)
第十一章 醛和酮	(150)	六、对映异构体在医学上的意义	(180)
第一节 醛、酮的结构和命名	(150)	本章小结	(180)
一、羰基的结构	(150)	习题	(181)
二、醛、酮的分类和命名	(151)	第十四章 含氮有机化合物	(183)
第二节 醛、酮的性质	(152)	第一节 胺	(183)
一、物理性质	(152)	一、胺的结构	(183)
二、化学性质	(152)	二、胺的分类和命名	(183)
第三节 重要的醛和酮	(157)	三、胺的性质	(184)
一、甲醛	(157)	四、重要的胺及其衍生物	(187)
二、乙醛	(157)	第二节 酰胺	(188)
三、丙酮	(157)	一、酰胺的命名	(188)
四、 α -萘醌	(157)	二、酰胺的性质	(188)
本章小结	(158)	三、尿素	(189)
习题	(158)	四、磺胺类药物	(190)
第十二章 羧酸和取代羧酸	(161)	第三节 含氮杂环化合物	(190)
第一节 羧 酸	(161)	一、杂环化合物的分类和命名	(191)
一、羧酸的结构、分类和命名 ...	(161)	二、重要的含氮杂环化合物及其衍生物	(191)
二、羧酸的物理性质	(162)	第四节 生物碱	(194)
三、羧酸的化学性质	(163)	一、概述	(194)
四、重要的羧酸	(166)	二、生物碱的性质	(194)
第二节 取代羧酸	(166)	本章小结	(195)
一、羟基酸	(166)	习题	(195)
二、酮酸	(169)		
三、酮式-烯醇式互变异构现象	(171)		
本章小结	(172)		
习题	(172)		

第十五章 脂 类	(197)	一、蛋白质的分类	(225)
第一节 油 脂	(197)	二、蛋白质的结构	(226)
一、油脂的组成	(197)	三、蛋白质的性质	(228)
二、油脂的性质	(198)	本章小结	(231)
第二节 磷脂和糖脂	(200)	习题	(231)
一、磷脂酰胆碱	(200)		
二、磷脂酰乙醇胺	(200)	第十八章 核 酸	(232)
三、神经磷脂	(201)	第一节 核酸的分类和化学组成	(232)
四、糖脂	(201)	一、核酸的分类	(232)
第三节 甾族化合物	(202)	二、核酸的化学组成	(232)
一、甾族化合物的基本结构	(202)	第二节 核苷和核苷酸	(233)
二、胆甾醇	(203)	一、核苷	(233)
三、胆甾酸	(203)	二、核苷酸	(234)
四、甾体激素	(204)	第三节 核酸的结构	(235)
本章小结	(205)	一、核酸的一级结构	(235)
习题	(206)	二、核酸的空间结构	(236)
		本章小结	(238)
第十六章 糖 类	(207)	习题	(238)
第一节 单 糖	(207)	实验部分	(239)
一、单糖的结构	(207)	化学实验注意事项	(239)
二、单糖的性质	(210)	实验一 溶液的配制	(240)
三、重要的单糖	(212)	实验二 小苏打片中碳酸氢钠的	
第二节 寡 糖	(213)	含量测定	(243)
一、麦芽糖	(213)	实验三 缓冲溶液及其 pH 的测定	
二、乳糖	(214)		(247)
三、蔗糖	(214)	实验四 分光光度法测定 Fe^{3+} 的	
第三节 多 糖	(214)	含量	(250)
一、淀粉	(215)	实验五 有机化合物熔点和沸点的	
二、糖原	(216)	测定	(254)
三、纤维素	(217)	实验六 醇、酚、醛、酮、羧酸、胺的	
四、糖胺聚糖	(217)	化学性质	(258)
本章小结	(218)	实验七 乙酰水杨酸的制备	(263)
习题	(218)	实验八 糖类和蛋白质的化学性质	
			(265)
第十七章 氨基酸和蛋白质	(220)	实验九 氨基酸的纸上层析	(268)
第一节 氨基酸	(220)		
一、氨基酸的结构和构型	(220)	附录	(270)
二、氨基酸的分类和命名	(221)	附录一 国际单位制	(270)
三、氨基酸的性质	(223)	附录二 弱电解质在水中的标准	
第二节 蛋白质	(225)		

附录三	离解常数 (271)	附录四	国际相对原子质量表(1995)
	部分电极的标准电极		 (274)
	电位(25 ℃) (273)	附录五	元素周期表

第一章 溶 液

溶液不仅在工农业生产、科学研究和日常生活中具有重要的作用,而且与医学有着密切的关系。人体内的血液、尿液、细胞内液等,均是水溶液;体内的许多化学反应是在溶液中进行的;所有的食物和药物必须先成为溶液才易被消化吸收;营养物的输送及废物的排出也无不与溶液有关。为此,本章介绍分散系的一些基本概念、溶液的常用组成标度、稀溶液的渗透压力和胶体分散系等内容。

第一节 分散系的分类

一种或几种物质分散在另一种物质中所形成的体系称为分散体系,简称分散系。分散系中被分散的物质称为分散相,容纳分散相的另一种物质称为分散介质。例如,水滴分散在空气中形成的云、雾,碘溶解在乙醇中形成的碘酒,它们都是分散系,其中水、碘是分散相,而空气、乙醇为分散介质。常见的水溶液,如 $9\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液(即生理盐水), $50\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的葡萄糖溶液是以 NaCl 或葡萄糖为分散相,水为分散介质。

体系中物理性质和化学性质完全相同的部分称为相。每一相内部是均匀的,相与相之间存在着界面。例如一杯水,各部分具有相同的物理性质和化学性质,所以是一个相,若加入一块冰,虽然它们的化学组成相同,由于物理性质不同,所以是两个相。只有一个相的分散系称为均相分散系,含有两个或两个以上相的分散系为非均相分散系。按照分散相粒子直径的大小分类,分散系可分为粗分散系、胶体分散系和分子分散系。

一、粗 分 散 系

分散相粒子直径大于 100 nm ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$)。悬浊液和乳状液就属于这类分散相,它们分别由固体小颗粒或液体小液滴分散在液体介质中形成。粗分散系由于分散相粒子大,能阻止光线通过,所以浑浊、不透明,体系不稳定,易自动沉降或分层,为非均相分散系。

二、胶 体 分 散 系

分散相粒子在 $1 \sim 100\text{ nm}$ 之间。按分散相粒子组成的不同,胶体分散系又可分为溶胶和高分子溶液。溶胶的分散相粒子是由许多难溶于水的分子或离子聚集而成,属于非均相分散系;高分子溶液的分散相粒子是单个的高分子,属于均相分散系。

三、分 子 分 散 系

分散相粒子直径小于 1 nm , 又称溶液或真溶液。由于分散相粒子是单个小分子和离子,不能阻止光线通过,所以透明,性质稳定,属于均相分散系。习惯上将溶液中的分散相称为溶质,分散介质称为溶剂,水是一种最常用的溶剂,未指明溶剂的溶液就是水溶液。现将分散系

的分类归纳如表 1-1 所示。

表 1-1 分散系的分类

分散相粒子大小	分散系分类	分散相粒子组成	一般性质	实 例
<1 nm	分子分散系	低分子、离子	均相,热力学稳定系统	NaCl、NaOH 等水溶液
1~100 nm	胶体分散系 { 溶胶	胶粒(分子、离子、原子的聚集体)	非均相,热力学不稳定系统	氢氧化铁溶胶、硫化砷溶胶等
	高分子溶液	高分子	均相,热力学稳定系统	蛋白质溶液、淀粉溶液
>100 nm	粗分散系	粗粒子	非均相,热力学不稳定系统	乳汁、泥浆等

第二节 溶液的组成标度

溶液是由溶质和溶剂组成的。溶液的某些性质决定于溶质的本性(如溶液的颜色、导电性等),另外一些性质则决定于溶液的组成标度,而与溶质本性无关(如溶液的渗透压等)。因此,溶液的组成标度是溶液的一个重要特征。溶液组成标度的表示方法很多,目前医学上常用以下几种表示方法。

一、质量分数

物质 B 的质量分数用 w_B 表示,定义为物质 B 的质量 m_B 除以溶液的总质量 m :

$$w_B = \frac{m_B}{m} \quad (1-1)$$

w_B 用小数表示,也可以用百分数表示,SI(国际单位制)单位为 1。例如,市售的浓盐酸中氯化氢的质量分数为 0.37 或 37%。

二、体积分数

物质 B 的体积分数用 φ_B 表示,定义为物质 B 的体积 V_B 除以溶液的体积 V :

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V} \quad (1-2)$$

体积分数 φ_B 的 SI 单位为 1,同样用小数或百分数表示。

【例 1-1】消毒乙醇的体积分数 $\varphi'_{\text{乙醇}} = 0.75$,现在要配制 500 ml 消毒乙醇,需要 $\varphi_{\text{乙醇}} = 0.95$ 的乙醇溶液多少毫升?

解:需 $\varphi = 0.95$ 的乙醇的体积为:

$$V = \frac{\varphi'_{\text{乙醇}} V'}{\varphi_{\text{乙醇}}} = \frac{0.75 \times 500 \text{ ml}}{0.95} = 395 \text{ ml}$$

三、质量浓度

物质 B 的质量浓度用符号 ρ_B 表示,定义为物质 B 的质量 m_B 除以溶液的体积 V :

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (1-3)$$

质量浓度的 SI 单位是 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 医学上常用的单位是 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。世界卫生组织建议, 对于体液中少数相对分子质量尚未准确测定的物质可以暂时使用质量浓度。例如, 免疫球蛋白 G(IgG) 的质量浓度的正常范围为 $7.60 \sim 16.60 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

【例 1-2】 100 ml $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$ (乳酸钠)注射液中含 11.2 g $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$, 计算该注射液的质量浓度。

解: 根据式(1-3), 注射液的质量浓度为:

$$\rho(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na})}{V} = \frac{11.2 \text{ g}}{0.100 \text{ L}} = 112 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

四、物质的量浓度

(一) 物质的量

物质的量是国际单位制中 7 个物理量之一。B 的物质的量用 n_B 表示, 它是指给定的某一系统中, 所包含某种特定粒子(基本单元)的数量, 其单位为摩尔, 符号为 mol。若一系统中所包含的某基本单元数与 $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目相等, 则称该系统的物质的量为 1 mol。 $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目等于阿伏加德罗常数(约为 6.02×10^{23})。上述的基本单元可以是分子、原子、离子及其他粒子或这些粒子的特定组合, 所以在使用单位摩尔时, 必须注明基本单元。摩尔是描述基本单元的数量单位, 而不是质量单位。

1 mol 物质的质量称为物质的摩尔质量, 单位为 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。物质的量(n_B)、物质的质量(m_B)和摩尔质量(M_B)之间的关系可用下式表示:

$$n_B = \frac{m_B}{M_B} \quad (1-4)$$

【例 1-3】 326 mg Na^+ 的物质的量是多少?

解: 由于电子的质量远小于原子的质量, 失去的电子的质量可略去不计, 所以 Na^+ 的质量可看成 Na 原子的质量, 其摩尔质量为 $23 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 根据式(1-4), Na^+ 的物质的量为:

$$n_{\text{Na}^+} = \frac{m_{\text{Na}^+}}{M_{\text{Na}^+}} = \frac{0.326 \text{ g}}{23 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.014 \text{ mol}$$

(二) 物质的量浓度

物质 B 的物质的量浓度用符号 c_B 表示, 定义为物质 B 的物质的量 n_B 除以溶液体积 V 。

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (1-5)$$

浓度即物质的量浓度的简称。物质的量浓度的 SI 单位是 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 。医学上物质的量浓度常用单位是 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。世界卫生组织建议: 医学上表示体液的组成时, 凡是相对分子质量 M_r 已知的物质, 均应使用物质的量浓度。

【例 1-4】 100 ml 正常人血清中含 10 mg Ca^{2+} , 计算血清中 Ca^{2+} 的物质的量浓度。

解: 根据式(1-4)和(1-5):

$$c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{n}{V} = \frac{m/M}{V} = \frac{0.01 \text{ g}}{40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.10 \text{ L}} = 0.025 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

物质 B 的质量浓度 ρ_B 与物质 B 的物质的量浓度 c_B 之间的关系为:

$$\rho_B = c_B M_B \quad (1-6)$$

【例 1-5】 100 ml 碳酸氢钠溶液中含 1.25 g 碳酸氢钠, 计算该溶液的质量浓度和物质的量浓度。

解: 根据式(1-3), 质量浓度为:

$$\rho(\text{NaHCO}_3) = \frac{m(\text{NaHCO}_3)}{V} = \frac{1.25 \text{ g}}{0.100 \text{ L}} = 12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

根据式(1-6), 物质的量浓度为:

$$c(\text{NaHCO}_3) = \frac{\rho(\text{NaHCO}_3)}{M(\text{NaHCO}_3)} = \frac{12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{84 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

第三节 溶液的渗透压力

一、渗透现象与渗透压力

半透膜是一种只允许某些物质透过, 而不允许另外一些物质透过的薄膜。许多天然或人造的薄膜对于物质的透过有选择性, 如细胞膜、毛细血管壁、火棉胶膜等都是半透膜。

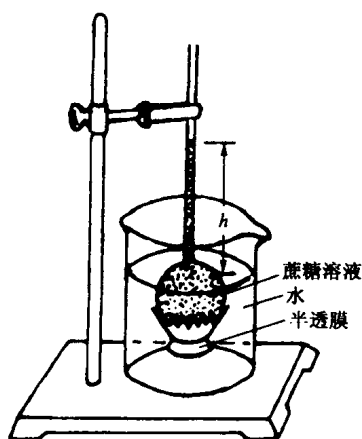


图 1-1 渗透装置

例如, 亚铁氰化铜薄膜允许糖溶液中的水透过而不允许糖透过。用这种半透膜将装有蔗糖溶液的长颈漏斗上口扎紧, 把漏斗倒置于盛有蒸馏水的烧杯中, 并使膜内外液面相齐平。不久, 膜内液面上升了(图 1-1)。溶液液面上升, 意味着半透膜外的水分子透过半透膜进入蔗糖溶液, 这种溶剂分子透过半透膜进入溶液的现象叫渗透现象。如果用半透膜将两种不同浓度的蔗糖溶液隔开, 也会产生类似的现象, 稀溶液中的水分子会透过半透膜进入到浓溶液而使浓溶液液面升高。由此可见, 产生渗透现象应具备两个条件: 一是有半透膜存在, 二是膜两侧的溶液浓度不相等。渗透时, 水或是从溶剂向溶液渗透, 或是从稀溶液向浓溶液渗透, 亦即渗透的方向总是趋向于减少膜两侧溶液的浓度差。

渗透现象产生的原因是由于蔗糖分子不能透过半透膜, 而水分子可以从膜内、膜外两个方向透过半透膜。由于膜内、外两侧单位体积溶液中水分子数目不同, 因此单位时间内, 从膜外进入膜内的水分子数必然多于从膜内透出的水分子数, 结果膜内溶液的体积逐渐增大, 随着溶液液面的上升, 溶液静水压逐渐增加, 水分子向膜外透出的速度必然不断加快, 当液柱上升到一定高度时, 水分子向两个方向渗透的速度相等, 此时达到渗透平衡, 液面不再上升。

用半透膜将溶液与纯溶剂隔开, 必然会发生渗透现象。为防止渗透现象的产生, 必须在溶液的液面上施加一超额压力, 这种恰好能阻止渗透进行, 而施加于溶液液面上的超额压力称为溶液的渗透压力。渗透压力用符号 Π 表示, 其 SI 单位为 Pa。

二、渗透压力与浓度、温度的关系

荷兰物理化学家 Van't Hoff 根据实验结果得出如下规律:稀溶液的渗透压力与溶液的浓度和热力学温度的乘积成正比。这个规律称为 Van't Hoff 定律,用方程式表示为:

$$\Pi = cRT \quad (1-7)$$

式中 Π 为溶液的渗透压力,其单位为 Pa; c 为溶液的物质的量浓度,单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; T 为热力学温度 ($T = 273 + t \text{ } ^\circ\text{C}$), 单位为 K; 常数 R 的数值与气体常数一样,即 $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。上式仅适用于非电解质溶液。由于非电解质在溶液中不发生解离,产生渗透效应的颗粒就是非电解质分子。因此,由 Van't Hoff 定律可以推导出一个重要的结论:一定温度下,稀溶液的渗透压力只与单位体积溶液内的溶质颗粒数目成正比,而与溶质的本性无关。

对于任何非电解质溶液,在相同温度下,只要物质的量浓度相等,它们的渗透压力也相等。例如,在相同温度下, $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的葡萄糖溶液与 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的蔗糖溶液的渗透压力是相等的。

电解质溶液中,由于溶质解离,单位体积溶液中溶质的颗粒数目要比相同浓度的非电解质溶液多,所以渗透压力也大,因此计算电解质溶液的渗透压力应按下式进行:

$$\Pi = c_{\text{os}}RT \quad (1-8)$$

c_{os} 表示溶液的渗透浓度。

三、渗透浓度

渗透压力的大小既然与单位体积溶液内溶质的颗粒数目成正比,而与溶质本性无关,那么当温度一定时,就可以用溶质的颗粒浓度(即渗透浓度)来间接表示溶液渗透压力的大小。渗透浓度是指溶液中能产生渗透效应的各种溶质的颗粒的总浓度,用符号 c_{os} 表示,其常用单位是 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ * 或 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。对于非电解质溶液,其渗透浓度等于物质的量浓度;对于强电解质溶液,其渗透浓度等于溶液中的离子总浓度。

【例 1-6】 生理盐水的质量浓度为 $9.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 计算生理盐水的渗透浓度。

解: 氯化钠是强电解质,在溶液中全部解离,所以渗透浓度为:

$$\begin{aligned} c_{\text{os}} &= c(\text{Na}^+) + c(\text{Cl}^-) = 2c(\text{NaCl}) \\ &= 2 \frac{\rho(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} \\ &= 2 \times \frac{9.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \\ &= 0.308 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \\ &= 308 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

正常人血浆的渗透浓度约为 $300 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。表 1-2 列出了血浆中产生渗透作用的各种物质的平均浓度。

* 临床上也用 $\text{Osmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{mOsmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 来表示渗透浓度。

表 1-2 正常血浆中产生渗透作用的各种物质的平均浓度

物 质	$c/\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	物 质	$c/\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$
Na^+	144	SO_4^{2-}	0.5
K^+	5	氨基酸	2
Ca^{2+}	2.5	肌 酸	0.2
Mg^{2+}	1.5	乳酸盐	1.2
Cl^-	107	葡萄糖	5.6
HPO_4^{2-}	1	蛋白质	1.2
HCO_3^-	27	尿 素	4

四、渗透压力在医学上的意义

(一) 等渗、低渗和高渗溶液

在同一温度下,渗透压力相等的两种溶液称为等渗液。渗透压力不等的两种溶液中,渗透压力相对较高的为高渗液;渗透压力相对较低的为低渗液。医学上,溶液的等渗、低渗和高渗是以血浆的渗透浓度为标准。正常血浆的渗透浓度约为 $300 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 凡在 $280 \sim 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内的溶液称为等渗液;渗透浓度低于 $280 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液称低渗液;渗透浓度高于 $320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液称高渗液。

临床治疗中为病人大量输液时,应特别注意输液的渗透浓度。正常情况下,血浆内的渗透压力与红细胞内液的渗透压力相等,从而使红细胞维持正常的容积和形态。若大量输入低渗液,血浆浓度降低,血浆渗透压力也随着降低,血浆中的水分子将透过细胞膜而进入细胞内,使红细胞膨胀和破裂,发生溶血现象。若大量输入高渗液,血浆渗透压力将高于红细胞内液的渗透压力,红细胞内的水分子将透过细胞膜进入血浆,使红细胞皱缩,有可能黏成团块在小血管中形成血栓。有时根据需要,临床上也用高渗液进行静脉注射,此时必须注意注射量不宜太多,注射速度也不能太快。

(二) 晶体渗透压力和胶体渗透压力

血浆中既有小分子和小离子(如 Na^+ , K^+ , 葡萄糖, 尿素等), 也有高分子物质(如蛋白质等)。血浆总渗透压力为两者产生的渗透压力的总和。由小分子、小离子所产生的渗透压力称为晶体渗透压力, 由高分子物质产生的渗透压力称为胶体渗透压力。正常血浆总渗透压力约为 770 kPa , 其中晶体渗透压力约为 766 kPa , 胶体渗透压力仅约为 4 kPa 。这是因为高分子物质的相对分子质量大, 颗粒数目少, 小分子物质的相对分子质量小, 有的又可解离成离子, 颗粒数目多, 所以血浆渗透压力主要来源于晶体渗透压力。

人体内各种半透膜的通透性不同, 所以晶体渗透压力和胶体渗透压力的生理功能也不一样。细胞膜只允许水分子透过而不允许其他分子、离子自由透过, 而晶体渗透压力远大于胶体渗透压力, 所以在正常状态下, 血浆晶体渗透压力在调节细胞膜内外的水平衡、维持细胞的正常形态和功能方面起着重要作用(图 1-2)。

毛细血管壁的通透性与细胞膜不同之处在于除了蛋白质不能透过外, 所有的小分子、小离子均能透过, 因此, 胶体渗透压力虽小, 但在调节毛细血管内外水分的正常分布、维持血容量方面起着重要作用。

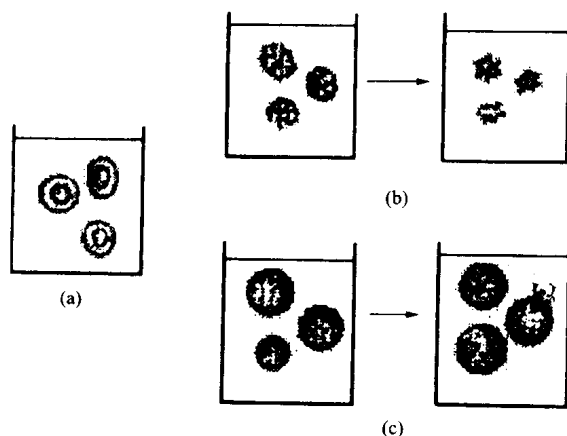


图 1-2 晶体渗透压力对红细胞的作用
(a) 在生理盐水中;(b) 在较浓的 NaCl 溶液中;(c) 在较稀的 NaCl 溶液中

第四节 胶体溶液的性质

胶体分散系是物质存在的一种状态。一种物质,当它以 $1\sim 100\text{ nm}$ 大小分散于另一种物质中时就成为胶体分散系。固体质点分散于液体介质中的胶体分散系称为溶胶,如:氯化钠在苯中,以 $1\sim 100\text{ nm}$ 大小的聚集体粒子存在,形成溶胶。所以胶体是物质以一定分散程度存在的一种状态。

生物体内的蛋白质、原生质、淋巴液、血液以至病毒等都接近于胶体分散系。胶体分散系包括溶胶和高分子溶液,高分子溶液的分散相粒子是单个高分子化合物,属于均相体系,由于分子大小也在 $1\sim 100\text{ nm}$ 范围内,故归入胶体分散系,本节主要讨论溶胶的性质。

一、溶胶的性质

(一) 光学性质

当一束聚集的光线通过放在暗处的溶胶,在与光束垂直的方向可以看到一条明亮的光柱,这一现象称为 Tyndall 效应。这种光学现象的产生与入射光的波长、分散相粒子的大小有关。溶胶粒子的直径小于入射光的波长,光波可以绕过胶粒向各个方向传播,即发生光的散射,千千万万个胶粒的散射光组成了一条明亮的光柱。粗分散系中,由于分散相粒子直径大于入射光的波长,所以发生光的反射或折射,悬浊液、乳状液因此而显得混浊;真溶液的分散相粒子非常小,大部分光线可以直接透过去;高分子化合物对光的散射也很弱,因此,它们都没有明显的 Tyndall 效应。

(二) 动力学性质

用超显微镜观察溶胶,可以看到胶粒不停地做一种无秩序的运动,人们称之为布朗运动。分散介质分子由于热运动,不断地从各个方向不均匀地撞击胶粒,其运动必然毫无规律。布朗运动是胶粒扩散的基础,所谓扩散是指粒子自发地从浓度大的区域移向浓度小的区域,最后达到浓度均匀的过程,这是溶胶能保持相对稳定的原因之一。另一方面,在重力作用下,溶胶在放置过程中会发生沉降。当扩散和沉降这两个相反的作用速率相等时,即达到平衡状态,称为沉降平衡。平衡时,底层的粒子浓度最大,随着高度的增加,粒子的浓度逐渐降低,形成一定的浓度梯度。