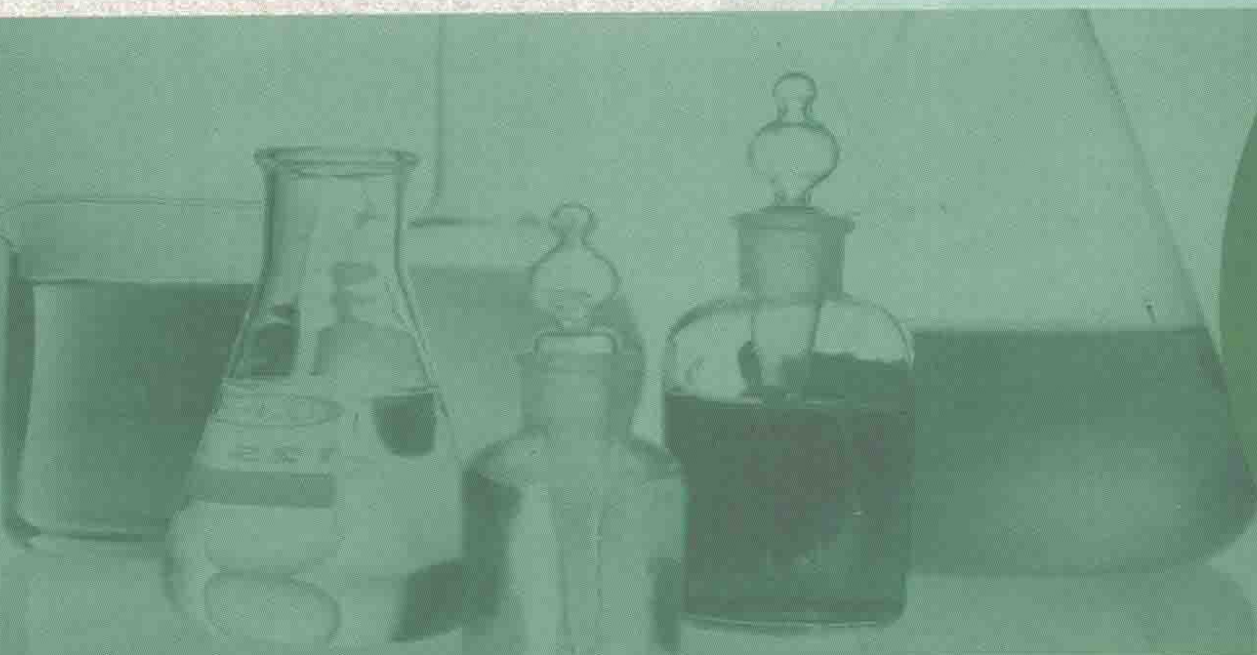


■ 高等学校教材



(供临床医学、护理学、医学影像技术、中医学、预防医学、医学检验技术等专业用)

医用化学

■ 主 编 杨 峰 孙体健

■ 副主编 杨 旭 王朝杰

高等教育出版社

高等学校教材

医 用 化 学

(供临床医学、护理学、医学影像技术、中医学、预防医学、医学检验技术等专业用)

主 编 杨 峰 孙体健

副主编 杨 旭 王朝杰

编 委 (按照姓氏字母顺序排列)

包慧敏(复旦大学)	陈晓明(温州医科大学)
韩玮娜(潍坊医学院)	季卫刚(第三军医大学)
贾彦兴(北京大学)	金永生(第二军医大学)
李武宏(第二军医大学)	卢 玲(南方医科大学)
吕俊杰(山西医科大学)	乔 华(山西医科大学)
盛继文(潍坊医学院)	宋丽英(白求恩军医学院)
孙体健(山西医科大学)	谭光国(第四军医大学)
王朝杰(温州医科大学)	王 宁(山西医科大学)
杨 峰(第二军医大学)	杨 旭(第三军医大学)
俞世冲(第二军医大学)	张定林(第三军医大学)
张丽平(潍坊医学院)	赵 燕(第四军医大学)
朱仙弟(台州学院)	

高等教育出版社·北京

内容提要

本书由第二军医大学、山西医科大学、第三军医大学、温州医科大学、北京大学、复旦大学、第四军医大学、白求恩军医学院、潍坊医学院、南方医科大学、台州学院共 11 所院校联合编写而成。根据课程的教学要求及教材的编写特点，共设 21 章。其中第一章至第八章为基础化学部分，主要介绍溶液、电解质溶液、胶体分散系、原子结构和分子结构、配位化合物、氧化还原与电极电势、滴定分析法和分光光度法等化学基础理论和基本概念。第九章至第二十章为有机化学部分，按官能团分类法划分章节，包括有机化合物概述、链烃、环烃、旋光异构、卤代烃、醇、酚、醚、醛、酮、醌、羧酸及其衍生物、取代羧酸、含氮有机化合物、脂类和甾族化合物、糖类、蛋白质和核酸，内容从各类有机化合物的分子结构入手，着重阐明化合物的结构和性质。本书还结合医学学科培养人才的需要，在第二十一章系统介绍了化学消毒剂的相关知识。

本书可作为临床医学、护理学、医学影像技术、中医学、预防医学、医学检验技术等专业短学制本科、专升本、专科层次的教学用书和自学用书。

图书在版编目(C I P)数据

医用化学 / 杨峰,孙体健主编. --北京:高等教育出版社,2017. 7

供临床医学、护理学、医学影像技术、中医学、预防医学、医学检验技术等专业用

ISBN 978 - 7 - 04 - 047810 - 5

I . ①医… II . ①杨… ②孙… 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(2017)第 121447 号

Yiyong Huaxue

策划编辑 郭新华 责任编辑 沈晚晴 封面设计 于文燕 版式设计 徐艳妮
插图绘制 杜晓丹 责任校对 刁丽丽 责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	高教社(天津)印务有限公司	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.com
印 张	19.5		http://www.hepmall.cn
字 数	470 千字	版 次	2017 年 7 月第 1 版
插 页	1	印 次	2017 年 7 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	36.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 47810-00

前 言

医用化学是医学相关专业学生必修的一门专业基础课,其内容涵盖了化学学科的无机化学、分析化学、有机化学及胶体化学等分支学科。本书编写时根据医学专业的教学需求和教材编写特点,选定了包括溶液、胶体化学、原子和分子结构、电化学、滴定分析、仪器分析、有机化学的概述、烃、醇、酚、醚、醛、酮、醌、有机酸、含氮化合物、糖类、蛋白质和核酸、化学消毒剂等在内的章节作为教材主体,内容贯穿了医学相关专业所必备的化学基础知识。本书共有 21 章,其中第一章至第八章介绍了基础化学的内容,第九章至第二十章介绍了有机化学的内容,第二十一章介绍了化学消毒剂的相关知识。

本书的编写考虑了各医学院校的教学特色及教材的实用性,以“内容适量、重点突出、简明扼要,强调化学与医学知识的融合”为编写理念,以基础理论、基础知识和医学应用的介绍为主要内容,适当引入现代理论和最新应用的进展,力求实现化学与医学(含军事医学)的紧密结合。在每章的内容中均编入相关知识点在医学中应用的案例和相关的科学家简介,希望通过这样的安排,起到促进化学知识和医学应用及社会实践相融合的目的。

本书的参考学时数为 60~90。由于参编院校较多,各校的教学要求和教材使用习惯均存在着较大的差异,因此在内容安排上更注重了教材的完整性、系统性和前后知识点的衔接。任课教师在使用本书时,可在满足教学要求的前提下,根据本校具体情况对内容进行适当的增删和调整。本书可供临床医学、护理学、医学影像技术、中医学、预防医学、医学检验技术等专业使用。

本书在编写和出版过程中,得到了高等教育出版社及编者所在院校的大力支持,在此一并致以衷心的感谢。

因编者水平有限,书中难免有不妥甚至错误之处,恳请专家、同行及使用本书的教师和同学们对书中存在的问题批评指正,编者将不胜感激。

编者

2017.1

目 录

第一章 溶液	1	第四节 缓冲溶液	19
第一节 溶液组成标度的表示方法	1	一、缓冲溶液的组成及作用	
一、物质的量和物质的量浓度	1	原理	20
二、质量摩尔浓度	2	二、缓冲溶液 pH 的计算	20
三、质量浓度	3	三、缓冲容量及其影响因素	21
四、质量浓度与物质的量浓度		四、缓冲溶液的选择与配制	22
之间的换算	3	五、缓冲溶液在医学上的意义	24
五、质量分数	3	第五节 难溶强电解质的沉淀—	
六、体积分数	4	溶解平衡	25
第二节 溶液的渗透压	4	一、溶度积	25
一、渗透现象和渗透压	4	二、溶度积规则	27
二、渗透压与溶液浓度及温度的		三、影响难溶强电解质溶解度的	
关系	5	因素	27
三、渗透浓度	6	科学家简介 阿仑尼乌斯	29
四、渗透压在医学上的意义	7	习题	29
科学家简介 范特霍夫	10	第三章 胶体分散系	31
习题	10	第一节 分散系	31
第二章 电解质溶液	12	一、分散系的基本概念	31
第一节 弱电解质溶液	12	二、分散系的分类	31
一、弱电解质的解离平衡和标准		第二节 表面现象	32
解离常数	12	一、表面张力与表面能	33
二、影响弱电解质解离平衡的		二、表面吸附	33
因素	13	三、表面活性剂	33
第二节 酸碱质子理论	15	四、乳化作用和乳状液	34
一、酸碱的概念	15	第三节 溶胶	35
二、酸碱反应的实质	16	一、溶胶的性质	35
第三节 水的离子积和溶液		二、溶胶的胶团结构	37
的 pH	17	三、溶胶的稳定性和聚沉	38
一、水的离子积	17	第四节 高分子化合物溶液	39
二、溶液的 pH 和 pOH	17	一、高分子化合物的概念	39
三、共轭酸碱对 $K_a^\ominus$ 和 $K_b^\ominus$ 的		二、高分子化合物溶液的特性	40
关系	18	三、高分子化合物对溶胶的保护	
四、弱酸弱碱溶液 pH 的计算	18	作用	40
		四、高分子化合物的电泳和	

盐析	41	科学家简介 维尔纳	72
第五节 凝胶	41	习题	73
一、凝胶的分类	41		
二、凝胶的性质	42	第六章 氧化还原与电极电势	74
科学家简介 丁达尔	42	第一节 氧化还原的基本概念	74
习题	42	一、氧化数	74
第四章 原子结构和分子结构	44	二、氧化剂和还原剂	75
第一节 原子结构	44	三、氧化还原电对	75
一、原子核外电子的运动状态	44	第二节 原电池	76
二、原子核外电子的排布规律	48	一、原电池的组成和工作原理	76
三、元素基本性质的周期性变化		二、原电池的表示方法	77
规律	49	第三节 电极电势	77
第二节 分子结构	50	一、电极电势的产生	77
一、化学键的概念	50	二、标准电极电势	78
二、现代价键理论	50	三、影响电极电势的因素	80
三、杂化轨道理论	53	第四节 电极电势的应用	82
第三节 分子间作用力	55	一、判断氧化剂和还原剂的强弱及	
一、分子的极性和偶极矩	55	氧化还原反应进行的方向	82
二、van der Waals 力	56	二、判断氧化还原反应进行的	
三、氢键	57	程度	84
科学家简介 鲍林	60	三、电势法测定溶液的 pH	84
习题	60	科学家简介 陶布	87
第五章 配位化合物	61	习题	87
第一节 配合物的基本概念	61	第七章 滴定分析法	89
一、配合物的定义	61	第一节 滴定分析概述	89
二、配合物的组成	62	一、滴定分析中的常用术语	89
三、配合物的命名	63	二、滴定分析的适用条件	89
第二节 配位平衡	64	三、标准溶液的配制与标定	89
一、配位平衡常数	64	四、滴定分析的计算	90
二、配位平衡的移动	66	五、滴定分析的误差	90
第三节 螯合物和生物配体	68	六、有效数字及其运算规则	91
一、螯合物和螯合效应	68	第二节 酸碱滴定法	92
二、生物配体	70	一、酸碱指示剂	92
第四节 配合物在医学上的应用	71	二、滴定曲线与指示剂的选择	94
一、配合物的解毒作用	71	三、酸碱滴定法的应用实例	97
二、生命必需金属元素的补充	71	第三节 配位滴定法	98
三、配合物的抗癌作用	72	一、配位滴定的基本原理	98
		二、EDTA 配位滴定的应用	

实例	99	第四节 有机化学反应的基本	
第四节 氧化还原滴定法	100	类型	120
一、氧化还原滴定法概述	100	一、共价键的断裂方式	120
二、高锰酸钾法	100	二、有机化学反应的基本类型 ...	120
三、碘量法	100	科学家简介 维勒	122
科学家简介 盖-吕萨克	101	习题	122
习题	102	第十章 链烃	124
第八章 分光光度法	103	第一节 链烃的结构与异构现象 ...	124
第一节 分光光度法的基本原理 ...	103	一、链烃的结构	124
一、溶液对光的吸收与溶液的		二、链烃的异构现象	126
颜色	103	第二节 链烃的命名	129
二、Lambert-Beer 定律	104	一、烷烃的命名	129
第二节 分光光度计	106	二、烯烃的命名	132
一、分光光度计的基本结构	106	三、二烯烃的命名	133
二、常见分光光度计的类型	107	四、炔烃的命名	133
第三节 分光光度法的应用	108	第三节 链烃的物理性质	133
一、显色反应和分析条件	108	第四节 链烃的化学性质	134
二、标准曲线的绘制及样品的		一、烷烃的化学性质	134
测定	109	二、烯烃的化学性质	135
三、分光光度法应用实例	110	三、炔烃的化学性质	137
科学家简介 钱永健	111	四、共轭二烯烃的特殊化学	
习题	112	性质	138
第九章 有机化合物概述	113	第五节 诱导效应和共轭效应	138
第一节 有机化合物与有机化学 ...	113	一、诱导效应	138
一、有机化合物与有机化学基本		二、共轭体系和共轭效应	139
概念	113	第六节 重要的链烃化合物	140
二、有机化合物的特征	114	科学家简介 刘有成	140
三、有机化学与生命科学及医学		习题	141
的关系	114	第十一章 环烃	143
第二节 有机化合物的结构	115	第一节 脂环烃	143
一、组成有机化合物的化学键——		一、脂环烃的分类和命名	143
共价键	115	二、环烷烃的结构	144
二、有机化合物分子结构表示		三、环烷烃的物理性质	144
方法	116	四、环烷烃的化学性质	145
第三节 有机化合物的分类	118	五、萜类化合物	145
一、按碳架分类	118	第二节 芳香烃	147
二、按官能团分类	119	一、苯的结构	148

二、芳香烃的分类和命名	148	习题	175
三、芳香烃的物理性质	150	第十四章 醇、酚、醚	176
四、芳香烃的化学性质	150	第一节 醇	176
五、苯环上亲电取代反应的定位 规律	153	一、醇的分类和命名	176
六、稠环芳烃	154	二、醇的物理性质	178
科学家简介 凯库勒	156	三、醇的化学性质	179
习题	156	四、重要的醇	181
第十二章 旋光异构	158	五、硫醇	182
第一节 平面偏振光和物质的 旋光性	158	第二节 酚	183
一、平面偏振光	158	一、酚的分类和命名	183
二、物质的旋光性	158	二、酚的物理性质	183
第二节 化合物的旋光性与其结构 的关系	159	三、酚的化学性质	184
一、镜像、手性及对映体	159	四、重要的酚	186
二、分子的对称性和旋光性	160	第三节 醚	186
三、外消旋体	161	一、醚的分类和命名	186
第三节 旋光异构体的构型	162	二、醚的物理性质	187
一、Fischer 投影式	162	三、醚的化学性质	187
二、D/L 构型	162	四、重要的醚	188
三、含一个手性碳原子的分子 R/S 构型	163	五、硫醚	189
四、含两个手性碳原子的分子 R/S 构型	164	科学家简介 伍德沃德	189
第四节 旋光异构在医学上的 意义	166	习题	190
科学家简介 艾米尔·费歇尔	167	第十五章 醛、酮、醌	192
习题	167	第一节 醛和酮	192
第十三章 卤代烃	168	一、醛和酮的结构、分类与 命名	192
第一节 卤代烃的分类和命名	168	二、醛和酮的物理性质	194
一、卤代烃的分类	168	三、醛和酮的化学性质	194
二、卤代烃的命名	168	四、重要的醛和酮	198
第二节 卤代烃的性质	169	第二节 醌	199
一、卤代烃的物理性质	169	一、醌的结构和分类	199
二、卤代烃的化学性质	170	二、醌的命名	199
第三节 重要的卤代烃	173	三、重要的醌	200
科学家简介 格林尼亚	175	科学家简介 科里	200
		习题	201
		第十六章 羧酸及其衍生物、取代 羧酸	202
		第一节 羧酸	202

一、羧酸的结构和分类	202	第四节 生物碱	234
二、羧酸的命名	203	一、生物碱的分类和命名	234
三、羧酸的物理性质	204	二、生物碱的一般性质	234
四、羧酸的化学性质	204	三、重要的生物碱	234
五、重要的羧酸	208	科学家简介 汉斯·费歇尔	236
第二节 羧酸衍生物	209	习题	236
一、羧酸衍生物的结构和命名	209	第十八章 脂类和甾族化合物	238
二、羧酸衍生物的物理性质	210	第一节 油脂	238
三、羧酸衍生物的化学性质	210	一、油脂的组成、结构和命名	238
四、重要的羧酸衍生物	212	二、油脂的性质	240
第三节 取代羧酸	213	第二节 磷脂	242
一、羟基酸的结构、分类和命名	213	一、磷脂酰胆碱	242
二、羟基酸的物理性质	213	二、磷脂酰乙醇胺	243
三、羟基酸的化学性质	213	三、鞘磷脂	243
四、重要的羟基酸	215	第三节 甾族化合物	244
五、酮酸的结构及命名	216	一、甾族化合物的基本结构	244
六、酮酸的化学性质	216	二、重要的甾族化合物	245
七、互变异构现象	217	科学家简介 巴顿	248
八、重要的酮酸	217	习题	248
科学家简介 穆利斯	218	第十九章 糖类	250
习题	218	第一节 单糖	250
第十七章 含氮有机化合物	220	一、单糖的结构	250
第一节 胺	220	二、单糖的物理化学性质	253
一、胺的分类和命名	220	三、重要的单糖及其衍生物	256
二、胺的结构	221	第二节 二糖	257
三、胺的性质	222	一、二糖的结构和分类	258
四、重要的胺及其衍生物	225	二、重要的二糖	258
第二节 酰胺	226	第三节 多糖	259
一、酰胺的命名	226	一、淀粉	259
二、酰胺的结构	226	二、糖原	260
三、酰胺的性质	227	三、纤维素	260
四、重要的酰胺类化合物	228	四、右旋糖酐	261
第三节 含氮杂环化合物	229	科学家简介 莱洛伊尔	261
一、杂环化合物的分类和命名	229	习题	261
二、杂环化合物的结构	230	第二十章 蛋白质和核酸	263
三、重要的含氮杂环化合物	231	第一节 氨基酸	263

一、氨基酸的结构、分类和命名	263
二、氨基酸的物理性质	265
三、氨基酸的化学性质	265
第二节 蛋白质	267
一、蛋白质的结构与分类	267
二、蛋白质的性质	269
第三节 核酸	270
一、核酸的组成	270
二、核酸的结构	272
三、核酸的性质	273
科学家简介 桑格	274
习题	274
第二十一章 化学消毒剂	276
第一节 概述	276
一、基本概念	276
二、化学消毒剂的分类	276
三、化学消毒剂的使用原则	277
四、化学消毒剂的使用方法	277
五、化学消毒剂的配制方法	278

第二节 常用化学消毒剂	278
一、卤素类消毒剂	278
二、过氧化物类消毒剂	282
三、醛类消毒剂	285
四、杂环类化合物消毒剂	287
五、醇类消毒剂	288
六、酚类消毒剂	289
七、胍类化合物	290
八、季铵盐类化合物	291
九、高锰酸钾	292
第三节 复方化学消毒剂	292
一、复方化学消毒剂的配伍与禁忌	293
二、常用的复方化学消毒剂	293
科学家简介 巴斯德	294
习题	295

汉英索引	296
------------	-----

参考文献	301
------------	-----

元素周期表

第一章 溶 液

溶液(solution)与人们的日常生活、工作、生产息息相关,与生命现象也有着密切的联系。人体内的体液,包括血液、消化液、细胞内液等都是溶液,体内食物的消化和吸收、氧的输送、代谢产物的生成和排泄、疾病的诊断和治疗等都离不开溶液。因此,掌握溶液有关的物理化学性质对于医学研究和后续课程的学习十分必要。本章重点介绍溶液组成标度的表示方法和溶液的渗透压,为了解体液的渗透平衡、输液和血液透析的原理等奠定基础。

第一节 溶液组成标度的表示方法

溶液是物质以分子、离子状态分散在另一种物质中形成的均匀而稳定的体系,简单说就是由溶质和溶剂两部分组成的分散系统。在一定量溶剂中所含有溶质的量称为溶液的组成标度。本节主要介绍溶液的物质的量浓度、质量摩尔浓度、质量浓度、质量分数和体积分数等常用溶液组成标度的表示方法。

一、物质的量和物质的量浓度

(一) 物质的量

在法定计量单位中,物质的量(amount of substance)是表示物质数量的基本物理量。物质B的物质的量常用符号 n_B 表示,基本单位是摩尔(mole),单位符号是mol。

摩尔的定义为:“摩尔是一系统的物质的量,该系统所包含的基本单元数与 $0.012\text{ kg}^{12}\text{C}$ 中所含的碳原子数目相等”。该定义表明,只要系统的基本单元数目与 $0.012\text{ kg}^{12}\text{C}$ 的原子数目(6.022×10^{23} ,即Avogadro常数)相等,物质B的物质的量 n_B 就是1mol。

在使用物质的量和单位摩尔时,还应注明基本单元(elementary entity)。B表示体系的基本单元,它可以是原子、分子、离子、电子或这些粒子的特定组合,如 H 、 H_2 、 H_2O 、 $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 、 $\frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-}$ 、 $(2\text{H}_2+\text{O}_2)$ 等。当系统使用化学式或其特定组合式表示时,为了避免含义不清一般不用文字描述。例如,只说“氢氧化钙的物质的量为1mol”,则含义不清,因为基本单元可能是“ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ”,也可能是“ $\frac{1}{2}\text{Ca}(\text{OH})_2$ ”。

物质B的物质的量 n_B 可以通过B的质量和摩尔质量求算。B的摩尔质量 M_B 定义为B的质量除以B的物质的量,即

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

摩尔质量的单位是 $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。当以 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 为单位时,某原子的摩尔质量的数值等于其相对原子质量,某分子的摩尔质量的数值等于其相对分子质量 M_r 。

(二) 物质的量浓度

物质 B 的物质的量浓度(molarity)也称 B 的浓度,常用符号 c_B 表示。其定义为物质 B 的物质的量 n_B 除以溶液的体积 V ,即

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

物质的量浓度的法定计量单位是 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$,由于立方米的单位太大,应用起来不方便,习惯用升代替立方米,表示为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,临床上也常常采用 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等作为物质的量浓度的单位。

值得注意的是,使用物质的量浓度时也应指明基本单元,如 $c(\text{HCl}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。根据世界卫生组织的建议,凡是已知相对分子质量的物质在人体内的含量,均应用物质的量浓度表示。例如,人体血液葡萄糖含量的正常值 $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 3.9 \sim 5.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

例 1-1 临床上治疗碱中毒时常用 NH_4Cl 针剂,其规格为每支 20.0 mL,含氯化铵(NH_4Cl)0.16 g,试计算每支针剂中含 NH_4Cl 的物质的量和该针剂的浓度(单位 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)。

解: NH_4Cl 摩尔质量为 $53.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,可得

$$\begin{aligned} n(\text{NH}_4\text{Cl}) &= \frac{m(\text{NH}_4\text{Cl})}{M(\text{NH}_4\text{Cl})} = \frac{0.16 \text{ g}}{53.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 3.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \\ c(\text{NH}_4\text{Cl}) &= \frac{n(\text{NH}_4\text{Cl})}{V} = \frac{3.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 1000}{20.0 \text{ mL} \times 10^{-3}} = 150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

二、质量摩尔浓度

溶质 B 的质量摩尔浓度(molality)定义为溶质 B 的物质的量 n_B 除以溶剂的质量 m_A ,用符号 b_B 表示,单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$,即

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} \quad (1-3)$$

对于极稀的溶液,物质的量浓度与质量摩尔浓度可近似相等。

例 1-2 将 7.00 g 结晶草酸($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)溶于 93.0 g 水中,求草酸的质量摩尔浓度 $b(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ 。

解: 结晶草酸的摩尔质量 $M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 126 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,而 $M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 90.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,故 7.00 g 结晶草酸中草酸的质量为

$$m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{7.00 \text{ g} \times 90.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{126 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 5.00 \text{ g}$$

溶液中水的质量为

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 93.0 \text{ g} + (7.00 - 5.00) \text{ g} = 95.0 \text{ g}$$

则
$$b(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{5.00 \text{ g}}{90.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 95.0 \text{ g} \times 10^{-3}} = 0.585 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

三、质量浓度

质量浓度(mass concentration)定义为物质 B 的质量 m_B 除以溶液的体积 V , 用符号 ρ_B 表示, 即

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (1-4)$$

质量浓度的基本单位是 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。医学上常用 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 等表示, 如生理盐水的质量浓度为 $9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在临床上习惯以 $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 为质量浓度的单位, 用百分数表示, 如将生理盐水的质量浓度表示成 0.9% ($\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$)。当被测物质为未知确切化学结构的化合物或混合物时, 一般用质量浓度表示。

例 1-3 1 000 mL NaCl 注射液中含 9.0 g NaCl, 计算该溶液的质量浓度(单位 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)。

解: 该溶液的质量浓度为

$$\rho(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{V} = \frac{9.0 \text{ g}}{1\,000 \text{ mL} \times 10^{-3}} = 9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

四、质量浓度与物质的量浓度之间的换算

由式(1-2)和式(1-4)可以得出, 物质 B 的质量浓度 ρ_B 与物质的量浓度 c_B 之间的关系为

$$\rho_B = c_B M_B \quad \text{或} \quad c_B = \rho_B / M_B \quad (1-5)$$

例 1-4 市售 96% 的浓硫酸密度为 $1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$, 计算物质的量浓度 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 和 $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 。

解: H_2SO_4 的摩尔质量为 $98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 的摩尔质量为 $49 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

由 $c_B = \rho_B / M_B$ 得

$$\begin{aligned} c(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{0.96 \times 1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1} \times 1\,000}{98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 18 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \\ c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) &= \frac{0.96 \times 1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1} \times 1\,000}{49 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 36 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

五、质量分数

物质 B 的质量分数(mass fraction)定义为物质 B 的质量 m_B 与溶液的总质量 m 之比, 用符号 w_B 表示, 即

$$w_B = \frac{m_B}{m} \quad (1-6)$$

通常以一个量纲为 1 的小数或分数表示, 它代表相同质量单位的相对含量。

例 1-5 将 500 g 蔗糖($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)和 300 g 水加热配制成糖浆, 计算该糖浆中蔗糖的质量分数。

解: 根据式(1-6)得

$$w(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = \frac{m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})}{m} = \frac{500 \text{ g}}{500 \text{ g} + 300 \text{ g}} = 0.625 = 62.5\%$$

六、体积分数

物质 B 的体积分数(volume fraction) 定义为物质 B 的体积 V_B 与溶液的总体积 V 之比, 用符号 φ_B 表示, 即

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V} \tag{1-7}$$

通常以一个量纲为 1 的小数或分数表示, 它代表相同体积单位的相对含量。

例 1-6 医用消毒酒精溶液中酒精的体积分数为 0.75, 现配制 475 mL 这种酒精溶液, 需 95% 酒精多少毫升?

解: 由式(1-7)得

$$V_B = V \cdot \varphi_B = \frac{475 \text{ mL} \times 0.75}{0.95} = 375 \text{ mL}$$

即量取 375 mL 95% 酒精, 用水稀释至 475 mL 即得医用消毒酒精溶液。

第二节 溶液的渗透压

一、渗透现象和渗透压

若在一杯水中滴入一滴蓝墨水, 很快整杯水都会变成蓝色; 若在容器中加入一定量的蔗糖溶液, 再在蔗糖溶液的液面上小心地加一层水, 静置一段时间后, 整杯水都会变甜。这些现象是由于溶质分子和溶剂分子的扩散而产生的, 即当两种浓度不同的溶液相互接触时, 由于分子热运动, 发生扩散现象, 使整个溶液最终均匀混合, 浓度达到均一。

如果用一种只允许溶剂分子通过, 而溶质分子不能通过的半透膜(semipermeable membrane)将蔗糖溶液和纯水隔开, 如图 1-1(a)所示。一段时间后, 可以看到蔗糖一侧的液面不断上升, 这说明水分子不断地通过半透膜进入蔗糖溶液中。这种溶剂分子自动通过半透膜进入溶液中的现象, 称为渗透现象。

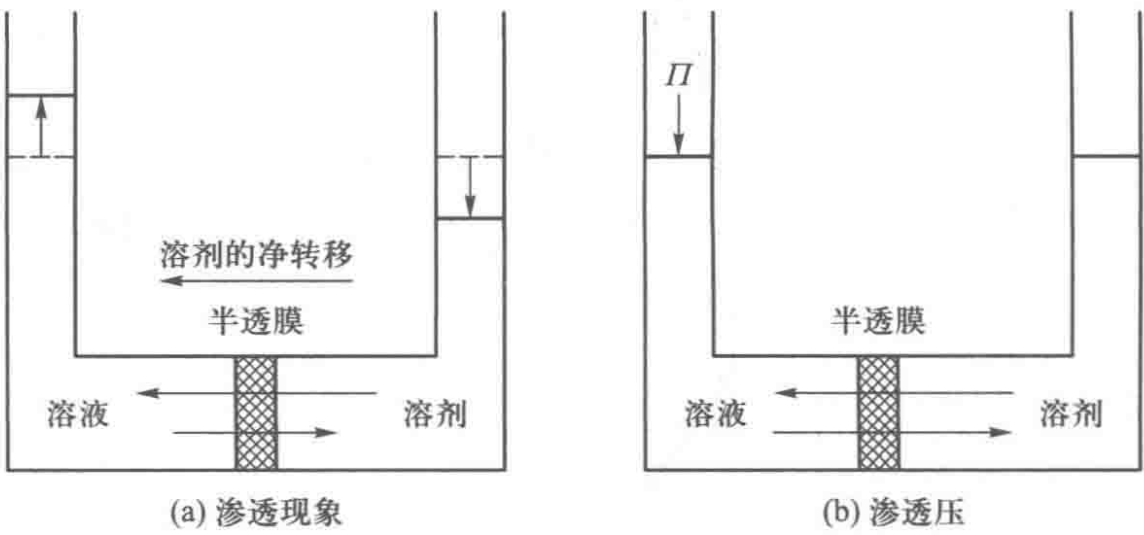


图 1-1 渗透现象与渗透压

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, 它的种类很多, 通透性也各不相同。常用的半透膜有火棉胶、羊皮纸、硫酸纸等。此外, 动物的肠衣、动植物

的细胞膜、毛细血管壁等都是生物半透膜。

渗透现象的产生是由于蔗糖分子不能透过半透膜,而溶剂水分子却可以自由通过半透膜的缘故。由于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的溶剂分子数要比由溶液进入纯溶剂的溶剂分子数多,膜两侧渗透速度不同,因而产生了渗透现象。

渗透现象的产生必须具备两个条件:一是有半透膜的存在;二是半透膜两侧单位体积内溶剂分子数不相等。渗透现象自发进行的方向总是溶剂分子从纯溶剂一方向溶液一方或从稀溶液一方向浓溶液一方进行。

由于渗透作用,蔗糖溶液的液面逐渐上升,升高的那段液柱所产生的静水压也会随之增加,使水分子从蔗糖溶液进入纯水的速度加快。当半透膜内、外的液面高度差达到一定值时,水分子向两边的渗透速度相等,此时达到渗透平衡。

要想阻止渗透现象的发生,必须在溶液上方施加一份额外的压力,这一额外的压力在数值上等于该溶液的渗透压(osmotic pressure),如图 1-1(b)所示。渗透压的符号为 Π ,单位为 Pa 或 kPa。如果被半透膜隔开的是两种不同浓度的溶液,为了阻止渗透现象的产生,必须在较浓的溶液一方施加一份额外的压力,但此压力不代表任何一种溶液的渗透压,它只是两种溶液的渗透压之差。

渗透压是溶液的一个重要性质,凡是溶液都具有渗透压。渗透压的大小与溶液的浓度和温度有密切的关系。

案例 1-1

细胞膜是一种生物半透膜,物质通过细胞膜的方式除了简单扩散,另一种主要形式为膜上离子通道蛋白协助的转运。细胞膜厚度为 6~8 nm,是蛋白质和磷脂的嵌合体,细胞膜的表面是磷脂双分子层,在双分子层中有蛋白质镶嵌,这些蛋白质中有些就是离子通道。离子通道负责细胞内外物质的通透,能够选择性地让细胞内外的物质进行交换,调节细胞内外的渗透压。一种离子通道往往只允许一种或少数几种离子通过,离子通道也根据其主要选择通过的离子而命名,如钙通道、钾通道等。

硫芥(SM,芥子气)是糜烂性化学战剂的代表,其性质稳定,穿透力强,被多次用于战争。人体产生硫芥损伤后,细胞内钙离子会增多,同时产生脂质过氧化作用,从而对细胞造成损害。已有研究发现在小鼠暴露于芥子气前给钙离子通道阻滞剂尼莫地平后,可防止细胞内半胱氨酸水平的过度下降,减轻细胞的脂质过氧化,延长小鼠的平均生存期。

二、渗透压与溶液浓度及温度的关系

实验证明,在一定温度下,溶液的渗透压与它的浓度成正比;在一定浓度下,溶液的渗透压与热力学温度成正比。1886 年,荷兰物理化学家 van't Hoff 根据大量实验数据总结得出:理想稀溶液的渗透压与溶液的浓度和温度的关系同理想气体方程式一致,即

$$\Pi V = n_B RT \quad (1-8)$$

$$\text{或 } \Pi = c_B RT \quad (1-9)$$

式中, Π 为溶液的渗透压(kPa), n_B 为溶质的物质的量(mol), V 为溶液的体积(L), c_B 为溶液的物质的量浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), T 为热力学温度(K), R 为摩尔气体常数($\text{kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

van't Hoff 方程式的意义为:在一定温度下,稀溶液渗透压的大小仅与单位体积溶液中溶质粒子数的多少有关,而与溶质的本性无关。

需要说明的是,式(1-9)只适用于非电解质稀溶液。对于电解质稀溶液来说,由于电解质在水中的解离, van't Hoff 方程式应表达为

$$\Pi \approx i c_B RT \quad (1-10)$$

式中, i 为校正因子,指溶质的一个分子在溶液中产生的粒子数。对强电解质,在近似处理情况下,可认为 NaCl 的校正因子 $i=2$, CaCl_2 的校正因子 $i=3$ 。

例 1-7 将 3.60 g 葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)溶于水,配制成 50.0 mL 溶液,求溶液在 37°C 时的渗透压。

解: $M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)V} = \frac{3.60 \text{ g}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 50.0 \text{ mL} \times 10^{-3}} = 0.40 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\Pi = c_B RT = 0.40 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 310.15 \text{ K} = 1031.4 \text{ kPa}$$

利用 van't Hoff 方程式可以测定高分子物质如生命大分子蛋白质、血红素等的摩尔质量。

$$\Pi V = n_B RT = \frac{m_B}{M_B} RT$$

$$\text{所以} \quad M_B = \frac{m_B RT}{\Pi V} \quad (1-11)$$

式中, m_B 为溶质的质量(g), M_B 为溶质的摩尔质量($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

例 1-8 将 35.0 g 血红蛋白溶于适量水中,配制成 1.00 L 溶液,在 298.15 K 时,测得溶液的渗透压为 1.33 kPa,试求血红蛋白的相对分子质量。

解:根据式(1-11),有

$$M_B = \frac{35.0 \text{ g} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 298.15 \text{ K}}{1.33 \text{ kPa} \times 1.00 \text{ L}} = 6.52 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

所以血红蛋白的相对分子质量为 6.52×10^4 。

三、渗透浓度

由于渗透压仅与溶液中溶质粒子数的多少有关,而与溶质的本性无关,把溶液中能产生渗透效应的溶质粒子(分子、离子等)统称为渗透活性物质。渗透活性物质的物质的量除以溶液的体积称为溶液的渗透浓度(osmolarity),用符号 c_{os} 表示,常用单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。临床上常采用渗透浓度来衡量溶液渗透压的大小。

例 1-9 计算 $50.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液、 $9.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液和 $12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 溶液的渗透浓度(用 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 表示)。

解:葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)的摩尔质量为 $180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $50.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液的渗透浓度为

$$c_{os} = \frac{50.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 1000}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 278 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

NaCl 的摩尔质量为 $58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $9.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液的渗透浓度为

$$c_{os} = 2 \times \frac{9.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 1000}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 308 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

NaHCO₃的摩尔质量为 84 g · mol⁻¹,12.5 g · L⁻¹ NaHCO₃溶液的渗透浓度为

$$c_{os}=2\times\frac{12.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}\times1\,000}{84\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}=298\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$$

表 1-1 列出了正常人体血浆、组织间液和细胞内液中各种渗透活性物质的渗透浓度。

表 1-1 正常人体血浆、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	组织间液中浓度	细胞内液中浓度
	mmol · L ⁻¹	mmol · L ⁻¹	mmol · L ⁻¹
Na ⁺	144	137	10
K ⁺	5.0	4.7	141
Ca ²⁺	2.5	2.4	
Mg ²⁺	1.5	1.4	31
Cl ⁻	107	112.7	4.0
HCO ₃ ⁻	27	28.3	10
HPO ₄ ²⁻ 、H ₂ PO ₄ ⁻	2.0	2.0	11
SO ₄ ²⁻	0.5	0.5	1.0
磷酸肌酸			45
肌肽			14
氨基酸	2.0	2.0	8.0
肌酸	0.2	0.2	9.0
乳酸盐	1.2	1.2	1.5
三磷酸腺苷			5.0
一磷酸己糖			3.7
葡萄糖	5.6	5.6	
蛋白质	1.2	0.2	4.0
尿素	4.0	4.0	4.0
c _{os}	303.7	302.2	302.2

四、渗透压在医学上的意义

(一) 等渗、低渗和高渗溶液

在同一温度下,渗透压相等的溶液互称为等渗溶液(isotonic solution)。对于渗透压不相等的两种溶液,通常将渗透压相对较高的溶液称为高渗溶液(hypertonic solution),把渗透压相对较低的溶液称为低渗溶液(hypotonic solution)。

在临床医学上,溶液的等渗、低渗和高渗是以血浆渗透压为标准来衡量的。由表 1-1 可知,正常人体血浆的渗透浓度约为 303.7 mmol · L⁻¹,所以临床上规定,凡渗透浓度在