



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

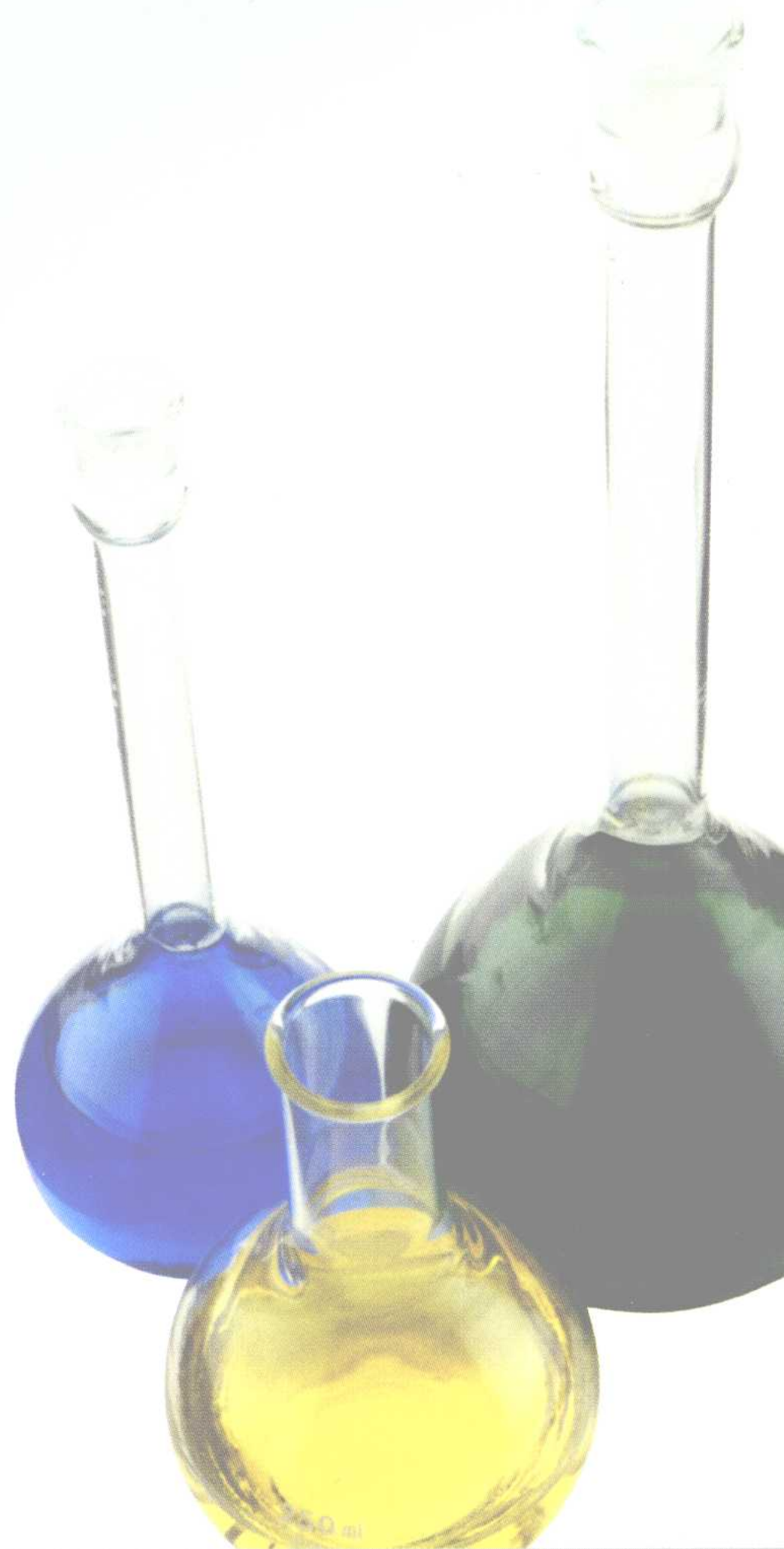
全国高等学校医学规划教材

专科教育

医用化学

第2版

主编 于敬海



高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

全国高等学校医学规划教材

(专科教育)

医用化学

第2版

主 编 于敬海

副主编 郭瑞华 李华侃 冯宁川

编 者 (以姓氏拼音为序)

陈建新	大同大学	刘延敏	华北煤炭医学院
刁海鹏	山西医科大学	钱 隽	复旦大学
冯宁川	宁夏医科大学	任群翔	沈阳医学院
郭瑞华	华北煤炭医学院	孙晓莉	第四军医大学
李华侃	辽宁医学院	乌 恩	内蒙古医学院
李平忠	曲靖医学高等专科学校	吴小琼	安顺职业技术学院
李伍林	黄河科技学院	吴延丽	哈尔滨医科大学
李玉贇	辽宁医学院	吴振刚	华北煤炭医学院
梁 迪	哈尔滨医科大学	于敬海	哈尔滨医科大学
林 锋	哈尔滨医科大学	张林娜	哈尔滨医科大学
刘 俊	曲靖医学高等专科学校	张晓枫	辽宁医学院
刘乐乐	内蒙古医学院	郑志祥	宁夏医科大学



高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材、全国高等学校医学规划教材。

本书是在总结参编院校多年的运用化学教学经验的基础上编写而成的,包括无机化学、分析化学和有机化学的基本内容,重点介绍化学的基本知识、基本理论和基本技能,以及化学在医学领域中的应用。全书共 23 章,1~9 章介绍无机化学和分析化学的内容,10~23 章介绍有机化学的内容。为了加强巩固所学知识,本书每章后都附有习题,可供课后练习使用。书后附有 11 个化学实验,可供实验教学选用。

本书可作为高等医学院校各专业(专科)和高等医学院校本科少学时各专业的教学用书,也可作为医学各专业各层次的教学用书和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

医用化学/于敬海主编.—2 版.—北京:高等教育出版社,2009.6

ISBN 978-7-04-026322-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 065203 号

策划编辑 崔 明 责任编辑 薛 玥 封面设计 张 楠 责任绘图 杜晓丹
版式设计 陆瑞红 责任校对 刘 莉 责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landracom.com
印 刷	北京宏伟双华印刷有限公司		http://www.landracom.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2005 年 6 月第 1 版
印 张	15.75		2009 年 6 月第 2 版
字 数	380 000	印 次	2009 年 6 月第 1 次印刷
插 页	1	定 价	24.80 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 26322-00

第 2 版前言

《医用化学》(第 1 版,于敬海主编)是全国高等学校医学规划教材,在高等教育出版社出版后,受到了医学院校的广泛好评,经过几年的教学使用,得到了各使用院校的认可,《医用化学》(第 2 版)已被教育部列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

此次修订,在保持第 1 版框架的基础上,结合医学教学实践,对具体内容进行了调整和修改,去粗取精,力求反映近年来教学改革和课程建设的新成果,成为一本质量一流的精品教材。

本书注重基本理论和基本知识的介绍,一般不做深入的理论阐述,各校在使用本教材时,可根据教学实际情况删减或补充。为了加强巩固所学知识,本书每章后都附有习题,可供课后练习使用。书后附有 11 个化学实验,可供实验教学选用。

本书还配有辅导书《医用化学学习指导》,内容包括:教学基本要求、章节要点、习题解析、单元测试题及自测题和参考答案。

本书是由全国 13 所高等医学院校常年从事教学的教师编写的。参加编写的有宁夏医科大学冯宁川(第一章)、郑志祥(第三章),复旦大学钱隽(第二章),大同大学陈建新(第四章),华北煤炭医学院郭瑞华(第五章)、刘延敏(第十一章)、吴振刚(第十四章),山西医科大学刁海鹏(第六章),辽宁医学院李华侃(第七章)、李玉贇(第九章)、张晓枫(第十三章、第二十二章),内蒙古医学院乌恩(第八章)、刘乐乐(第十二章、第二十三章),哈尔滨医科大学于敬海(第十章)、张林娜(第十八章)、吴延丽(第二十章),第四军医大学孙晓莉(第十五章),黄河科技学院李伍林(第十六章),沈阳医学院任群翔(第十七章),曲靖医学高等专科学校李平忠(第十九章),安顺职业技术学院吴小琼(第二十一章);实验分别由冯宁川、李伍林、林锋、梁迪、刘俊、乌恩、张晓枫编写。本书的部分插图由哈尔滨医科大学刘秉义绘制。

由于我们的学术水平和写作能力所限,难免有错误和不妥之处,恳请使用本书的教师和同学及读者批评指正。

编 者

2008 年 11 月

第 1 版前言

本书是全国高等学校医学规划教材(临床医学类专科)系列之一,是全国高等学校临床医学专科各专业必修课的教学用书。

本书是由全国 15 所高等医学院校长期从事教学的多位教师合作编写的。在编写过程中,始终贯彻教育部思想性、科学性、先进性、启发性和实用性原则,并注意该教材的完整性和系统性以及与后续课程的结合的编写原则和根据 2004 年 7 月呼和浩特全国高等学校临床医学专业(专科)教材编写会议精神编写的。本书是本着“少而精”和 21 世纪医学发展的需要,并结合医学实际编写而成的。

本书注重基本理论和基本知识的介绍,一般不做深入的理论阐述,各校在使用本教材时,可根据教学实际情况删减或补充。为了加强巩固所学知识,本书每章后都附有较大量的习题。书后附有 12 个化学实验,可供实验教学选用。

参加编写的有怀化医学高等专科学校吴英华(第一章),复旦大学钱隽(第二章),宁夏医学院冯宁川(第三章),大同大学陈建新(第四章),华北煤炭医学院郭瑞华(第五章、第九章)、刘延敏(第十一章、第十四章),菏泽医学专科学校邵军(第六章),锦州医学院李华侃(第七章)、张晓枫(第十三章、第二十二章),内蒙古医学院乌恩(第八章)、罗素琴(第十二章、第二十三章),哈尔滨医科大学于敬海(第十章)、吴延丽(第二十章),第四军医大学孙晓莉(第十五章),咸宁学院李伍林(第十六章),沈阳医学院任群翔(第十七章),安徽医学高等专科学校王润霞(第十八章),吉林大学丁长江(第十九章),河南科技大学顾少华(第二十一章);实验分别由郭瑞华、李华侃、钱隽、冯宁川、孙勤枢、乌恩、孙晓莉、刘延敏、李伍林、张晓枫、罗素琴和刘秉义编写。

由于我们的学术水平和写作能力所限,书中难免错误和不妥之处,恳请广大教师、同学及读者批评指正。

编 者

2005 年 3 月

目 录

第一章 溶液	1	第三章 滴定分析法	22
第一节 溶液组成标度的表示方法	1	第一节 滴定分析概述	22
一、物质的量浓度	1	一、滴定分析的基本概念和方法	22
二、质量摩尔浓度	1	二、滴定分析的操作程序	22
三、质量浓度	2	三、滴定分析中的有关计算	23
四、质量分数	2	四、分析结果的准确度和精密度	24
五、体积分数	2	五、有效数字及其运算规则	25
六、有关溶液组成标度的表示方法的 相互换算	3	第二节 酸碱滴定法	26
七、溶液的稀释	4	一、酸碱指示剂	26
第二节 溶液的渗透压	4	二、滴定曲线和指示剂的选择	27
一、渗透现象和渗透压	4	三、酸碱标准溶液的配制和标定	29
二、渗透压与浓度、温度的关系	5	四、酸碱滴定法的应用——食醋中 总酸度的测定	30
三、渗透压在医学上的意义	6	习题	30
习题	8	第四章 化学反应速率	32
第二章 电解质溶液和缓冲 溶液	9	第一节 化学反应速率及表示方法	32
第一节 电解质溶液	9	第二节 化学反应速率理论简介	33
一、电解质	9	第三节 影响化学反应速率的因素	34
二、酸碱质子理论	9	一、浓度对化学反应速率的影响	34
三、水溶液中的质子传递平衡	11	二、温度对化学反应速率的影响	36
四、酸碱溶液 pH 的计算	12	三、催化剂对化学反应速率的影响	38
五、同离子效应和盐效应	13	习题	39
第二节 缓冲溶液	14	第五章 氧化还原反应与电极 电位	40
一、缓冲溶液的组成	14	第一节 氧化还原的基本概念	40
二、缓冲作用的机理	15	一、氧化值	40
三、缓冲溶液 pH 的计算	15	二、氧化剂和还原剂	41
四、缓冲容量	17	第二节 原电池与电极电位	41
五、缓冲溶液的配制	18	一、原电池	41
六、缓冲溶液在医学中的意义	19	二、电极电位	43
习题	20		

三、影响电极电位的因素	45
第三节 电极电位的应用	47
一、比较氧化剂和还原剂的相对 强弱	47
二、判断氧化还原反应进行的方向	47
三、判断氧化还原反应进行的程度	48
第四节 电位法测定溶液的 pH	49
习题	49
 第六章 原子结构	51
第一节 核外电子的运动状态	51
一、微观粒子运动的特殊性	51
二、核外电子运动状态的描述	52
第二节 核外电子排布规律	55
一、近似能级图	55
二、原子核外电子的排布	55
第三节 元素性质的周期性变化	57
一、原子半径	57
二、元素的电负性	58
习题	59
 第七章 共价键和分子间作用力	61
第一节 共价键	61
一、现代价键理论	61
二、杂化轨道理论	62
第二节 分子间作用力和氢键	66
一、极性分子和非极性分子	66
二、分子间作用力	67
三、氢键	68
习题	70
 第八章 配位化合物	71
第一节 配位化合物的基本概念	71
一、配位化合物的定义	71
二、配位化合物的组成	72
三、配位化合物的命名	73
第二节 配位化合物的价键理论	73
第三节 配位平衡	75

一、配位平衡常数	75
二、配位平衡的移动	76
三、稳定常数的应用	77
第四节 螯合物	78
一、螯合物与螯合剂	78
二、螯合物的应用	79
习题	81

第九章 胶体溶液

第一节 胶体的基本概念	82
第二节 表面现象	83
一、表面张力与表面能	83
二、表面活性剂	83
三、乳状液和乳化作用	84
第三节 溶胶	85
一、溶胶的光学性质	85
二、溶胶的动力学性质	85
三、溶胶的电学性质	86
四、溶胶的稳定性和聚沉	88
第四节 高分子溶液	88
一、高分子化合物的概念	88
二、高分子溶液的特性	89
三、高分子溶液对溶胶的保护作用	90
习题	90

第十章 有机化学基本知识

一、有机化学及其与医学的关系	91
二、有机化合物的结构和共价键	91
三、共价键的断裂方式	93
四、有机化合物的特点	94
五、有机化合物结构式的表示法	94
六、有机化合物的分类	95
习题	95

第十一章 烷烃

一、烷烃的结构	97
二、烷烃的命名法	99
三、烷烃的物理性质	101

四、烷烃的化学性质	101	三、苯的结构	117
五、常用的几种烷烃	102	四、芳香烃的物理性质	117
习题	103	五、芳香烃的化学性质	117
六、重要的芳香烃	119	习题	120
第十二章 烯烃和炔烃	104	第十四章 卤代烃	122
第一节 烯烃	104	一、卤代烃的分类	122
一、乙烯的结构	104	二、卤代烃的命名	122
二、烯烃的异构现象	104	三、卤代烃的物理性质	123
三、烯烃的命名法	105	四、卤代烃的化学性质	123
四、烯烃的物理性质	105	五、与医学有关的卤代烃	124
五、烯烃的化学性质	106	习题	125
六、诱导效应	107	第十五章 旋光异构	126
七、重要的烯烃	108	一、平面偏振光和旋光性	126
第二节 二烯烃	108	二、手性分子的旋光性与其结构的 关系	127
一、二烯烃的分类	108	三、旋光异构体的构型	128
二、二烯烃的命名	108	四、含一个手性碳原子的分子 R/S 构型	130
三、共轭二烯烃的结构	109	五、含两个手性碳原子的分子 R/S 构型	131
四、共轭二烯烃的化学性质	109	六、旋光异构体与生物活性	132
五、重要的二烯烃	110	习题	133
第三节 炔烃	110	第十六章 醇、酚和醚	135
一、炔烃的结构	110	第一节 醇	135
二、炔烃的命名	111	一、醇的分类	135
三、炔烃的物理性质	111	二、醇的结构	136
四、炔烃的化学性质	111	三、醇的命名	136
五、重要的炔烃	111	四、醇的物理性质	136
习题	112	五、醇的化学性质	137
第十三章 环烃	113	六、与医学相关的醇	138
第一节 环烷烃	113	第二节 酚	138
一、环烷烃的分类	113	一、酚的分类	138
二、环烷烃的结构	113	二、苯酚的结构	139
三、环烷烃的命名	114	三、酚的命名	139
四、环烷烃的异构现象	114		
五、环烷烃的物理性质	115		
六、环烷烃的化学性质	115		
第二节 芳香烃	115		
一、芳香烃的分类	115		
二、芳香烃的命名	116		

四、酚的物理性质	140
五、酚的化学性质	140
六、与医学相关的酚	141
第三节 醚	141
一、醚的分类	141
二、醚的结构	141
三、醚的命名	141
四、醚的物理性质	142
五、醚的化学性质	142
六、与医学相关的醚	142
习题	142
 第十七章 醛、酮和醌	144
第一节 醛和酮	144
一、醛和酮的分类	144
二、醛和酮的结构	144
三、醛和酮的命名	144
四、醛和酮的物理性质	145
五、醛和酮的化学性质	145
六、与医学相关的醛和酮	149
第二节 醌	150
一、醌的结构和分类	150
二、醌的命名	150
三、维生素 K	150
习题	151
 第十八章 羧酸和取代羧酸	153
第一节 羧酸	153
一、羧酸的分类	153
二、羧酸的结构	153
三、羧酸的命名	154
四、羧酸的物理性质	154
五、羧酸的化学性质	154
六、重要的羧酸	156
第二节 取代羧酸	157
一、羟基酸	157
二、酮酸	160
习题	162

第十九章 含氮有机化合物	164
第一节 胺	164
一、胺的分类	164
二、胺的结构	164
三、胺的命名	165
四、胺的物理性质	166
五、胺的化学性质	166
第二节 酰胺	169
一、酰胺的结构和命名	169
二、酰胺的化学性质	170
三、重要的酰胺类化合物	170
习题	171
 第二十章 杂环化合物和生物碱	173
第一节 杂环化合物	173
一、杂环化合物的分类	173
二、杂环化合物的命名	174
三、杂环化合物的结构	175
四、重要的杂环化合物及衍生物	176
第二节 生物碱	178
一、生物碱概念	178
二、生物碱的分类和命名	178
三、生物碱的一般性质	179
四、重要的生物碱	179
习题	181
 第二十一章 脂类	182
第一节 油脂	182
一、油脂的组成和命名	182
二、油脂的物理性质	183
三、油脂的化学性质	183
第二节 磷脂	184
一、磷脂酰胆碱	184
二、磷脂酰乙醇胺	185
第三节 甾族化合物	185
一、甾族化合物的基本结构	185
二、重要的甾族化合物	186
习题	188

第二十二章 糖类	189
第一节 单糖	189
一、葡萄糖的结构	189
二、果糖的结构	191
三、单糖的物理性质	191
四、单糖的化学性质	191
五、重要的单糖	193
第二节 二糖	193
一、麦芽糖	193
二、纤维二糖	194
三、乳糖	194
四、蔗糖	194
第三节 多糖	195
一、淀粉	195
二、纤维素	196
三、右旋糖酐	197
习题	197
 第二十三章 氨基酸	198
一、氨基酸的分类	198
二、氨基酸的结构	198
三、氨基酸的命名	198
四、氨基酸的物理性质	200
五、氨基酸的化学性质	200
六、营养必需氨基酸	201
习题	202

医用化学实验	203
实验一(I) 硫酸铜的精制	203
(II) 从海带中提取碘	204
实验二 缓冲溶液及其 pH 的测定	205
实验三 酸碱标准溶液的配制与标定(酸碱 滴定法)	206
实验四 化学反应速率与活化能	208
实验五 配位滴定法测定自来水的总 硬度	211
实验六 常压蒸馏及沸点测定	212
实验七 熔点与混合熔点的测定	215
实验八 旋光度的测定	220
实验九 醇、酚、醛和酮的化学性质实验	223
实验十 茶叶中咖啡碱的提取与纯化	225
实验十一 阿司匹林的制备	227

附录	230
附录一 中华人民共和国法定计量 单位	230
附录二 国际原子量表(1997 年)	232
附录三 希腊字母表	236
附录四 弱电解质在水中的解离常数	237

参考文献	238
-------------	-----

元素周期表

第一章 溶 液

溶液是物质以分子、离子状态分散在另一种物质中所形成的均匀而稳定的体系。溶液与工农业生产、科学实验和医学关系极为密切。许多化学反应只有在溶液中才能进行得比较迅速、完全。人的体液是溶液,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。本章主要介绍溶液组成标度的表示方法和溶液渗透压。

第一节 溶液组成标度的表示方法

溶液的组成标度是指一定量的溶剂或溶液所含溶质的量。溶液组成标度的表示方法有多种,医学上常用的有以下几种。

一、物质的量浓度

物质 B 的物质的量浓度简称为 B 的浓度,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 。

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

c_B 的 SI 单位是 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 。医学中常用的单位是 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。

在使用物质的量浓度时,必须指明物质的基本单元,一般宜将具体物质的符号及其状态置于与主符号并列的括号中,如 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。B 的物质的量 n_B , B 的质量 m_B 和摩尔质量 M_B 之间有以下关系:

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

例 1-1 100 mL 正常人的血清中含 10.0 mg Ca^{2+} , 计算正常人血清中 Ca^{2+} 的物质的量浓度。

解:根据式(1-1)和式(1-2),可得

$$\begin{aligned} c(\text{Ca}^{2+}) &= \frac{n(\text{Ca}^{2+})}{V} = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{M(\text{Ca}^{2+}) \times V} \\ &= \frac{0.010 \text{ g}}{40.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.1 \text{ L}} = 2.50 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

二、质量摩尔浓度

质量摩尔浓度用符号 b_B 表示,其定义为溶质 B 的物质的量 n_B 除以溶剂 A 的质量 m_A 。

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

b_B 的 SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

例 1-2 14.2 g 硫酸钠溶于 100 g 水中,求溶液的质量摩尔浓度。

解:根据式(1-3)和式(1-2),可得

质量摩尔浓度:

$$b(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{14.2 \text{ g} \times 1000 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}}{142 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 100 \text{ g}} = 1.0 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

三、质量浓度

质量浓度用符号 ρ_B 或 $\rho(B)$ 表示,其定义为溶质 B 的质量 m_B 除以溶液的体积 V ,即

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

ρ_B 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 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

例 1-3 在 100 mL 生理盐水中含有 0.90 g NaCl,计算生理盐水的质量浓度。

解:

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

四、质量分数

物质 B 的质量分数是指 B 的质量 m_B 与混合物总质量 m 之比,用符号 w_B 表示。

$$w_B = \frac{m_B}{m} \quad (1-5)$$

质量分数单位为 1,其值可以用小数或百分数表示。

例 1-4 将 10 g NaCl 溶于 100 g 水中配成溶液,计算此溶液中 NaCl 的质量分数。

解:

$$w(\text{NaCl}) = \frac{10 \text{ g}}{110 \text{ g}} = 0.091 \quad (\text{或 } 9.1\%)$$

五、体积分数

物质 B 的体积分数是指在相同的温度和压力下,B 的体积 V_B 与混合物的体积 V 之比,用符号 φ_B 表示。

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V} \quad (1-6)$$

体积分数单位也为 1,其值也可以用小数或百分数表示。

例 1-5 消毒用乙醇溶液中乙醇体积分数为 0.75, 现配制 500 mL 这种乙醇溶液, 需纯乙醇多少毫升?

解: 由式(1-6), 可得

$$V_B = V\varphi_B = 500 \text{ mL} \times 0.75 = 375 \text{ mL}$$

量取 375 mL 纯乙醇, 用水稀释至 500 mL, 即得消毒用的乙醇溶液。

应该指出, 平常我们所说的浓度一般就是指物质的量浓度。世界卫生组织建议, 在医学上表示体液的浓度时, 凡是已知相对分子质量的物质, 均用其物质的量浓度; 对于未知其相对分子质量的物质, 则可用质量浓度。

六、有关溶液组成标度的表示方法的相互换算

上述各种溶液组成标度的表示方法都有各自的特点, 根据具体情况的需要, 可以采用不同的表示方法, 并可以将各种不同表示方法的溶液组成标度进行相互换算。

(一) 质量浓度与物质的量浓度间的换算

质量浓度和物质的量浓度是两种常用的组成标度表示方法, 根据它们的基本定义, 可以求出它们之间的关系。

因为

$$\rho_B = \frac{m_B}{V}, c_B = \frac{n_B}{V} = \frac{m_B}{M_B V}$$

所以

$$\rho_B = c_B \cdot M_B, c_B = \frac{\rho_B}{M_B} \quad (1-7)$$

例 1-6 1 L NaHCO_3 注射液中含 50 g NaHCO_3 , 计算该注射液的质量浓度和物质的量浓度。

解:

$$\rho(\text{NaHCO}_3) = \frac{50 \text{ g}}{1 \text{ L}} = 50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\begin{aligned} c(\text{NaHCO}_3) &= \frac{\rho(\text{NaHCO}_3)}{M(\text{NaHCO}_3)} \\ &= \frac{50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{84 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.60 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

(二) 质量分数与物质的量浓度间的换算

质量分数是以质量表征溶液的物理量, 而物质的量浓度是以体积表征溶液的物理量。在进行这种换算时, 需要知道溶液的密度, 因为密度可以给出溶液的质量和体积的关系。溶液的密度可以直接测定, 也可以查阅有关手册。

例 1-7 1 L 98% H_2SO_4 溶液 ($\rho = 1.84 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$) 换算成物质的量浓度。

解: 根据式(1-1)和式(1-2), 可得

$$\begin{aligned} c_B &= \frac{w_B \times \rho \times 1000}{M_B} \quad (1-8) \\ c(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{98\% \times 1.84 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} \times 1000 \text{ mL}}{98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \\ &= 18.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

七、溶液的稀释

在实验室中,常把一定浓度(c_1)的溶液稀释至所需的浓度(c_2)。在稀释时,溶液的体积由 V_1 变至 V_2 ,但溶质的物质的量($n=cV$)并没有改变,它们的关系则是

$$c_1 V_1 = c_2 V_2 \quad (1-9)$$

应注意用上式进行有关计算时,等式两边的浓度及体积的单位要一致。

例 1-8 配制 1 000 mL $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 溶液,需要质量分数为 37% 的浓盐酸(密度为 $1.19 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$)多少毫升?

解:首先,根据式(1-8)求出浓 HCl 溶液的物质的量浓度为

$$\begin{aligned} c(\text{HCl}) &= \frac{37\% \times 1.19 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} \times 1\,000 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}}{36.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \\ &= 12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

再根据式(1-9),可得

$$V(\text{HCl}) = \frac{1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 1\,000 \text{ mL}}{12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 83.3 \text{ mL}$$

即需取 37% 浓盐酸 83.3 mL 加水稀释至 1 000 mL 就可配得所需浓度的 HCl 溶液。

第二节 溶液的渗透压

一、渗透现象和渗透压

在很浓的蔗糖溶液的液面上小心加一层清水,在避免任何机械振动的情况下静置一段时间,整个体系就会变成均匀的蔗糖溶液。这是由于分子热运动的结果,蔗糖分子从下层进入清水,同时水分子从上层进入蔗糖溶液,直到均匀混合、浓度一致为止。这个过程称为扩散。

若用一种只允许溶剂(如水)分子透过而溶质(如蔗糖)分子不能透过的半透膜把溶液和纯溶剂隔开,如图 1-1 所示。

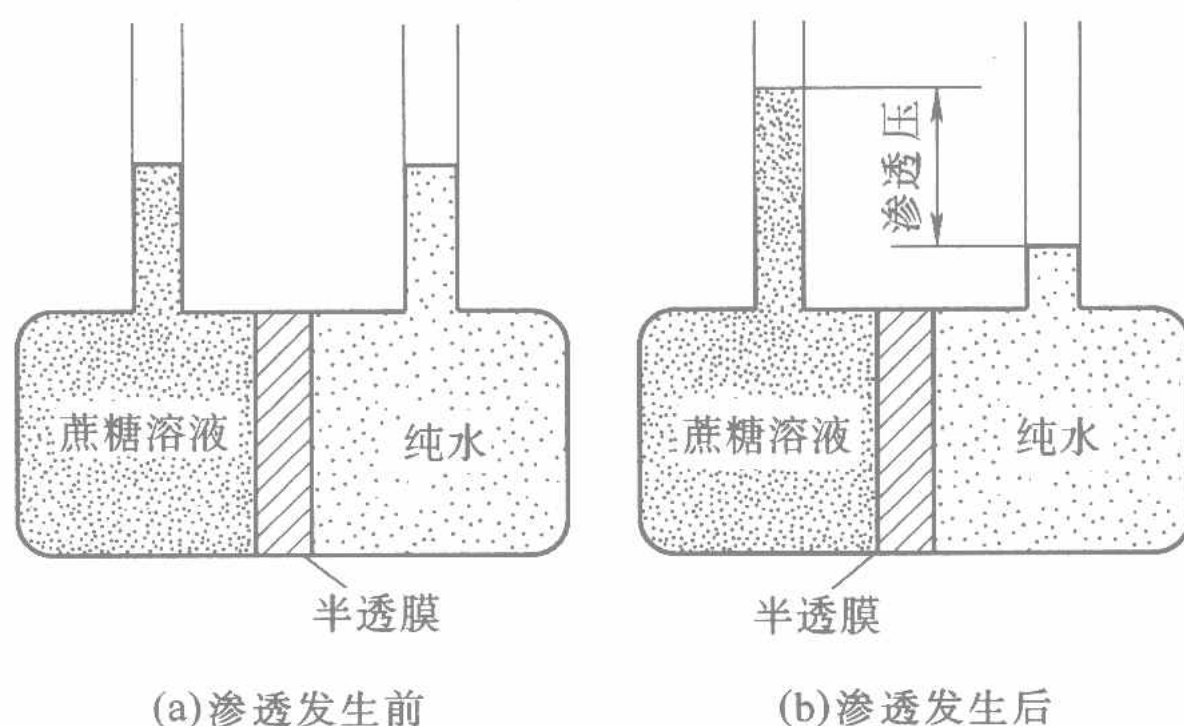


图 1-1 渗透现象和渗透压

在膜两边分别放入等体积的水和蔗糖溶液,经过一段时间后,发现蔗糖溶液的液面比纯水的液面高。由于蔗糖溶液中水的浓度低于纯水的浓度,所以单位时间内纯水穿过半透膜进入蔗糖溶液的水分子数要比蔗糖溶液中的水分子穿过半透膜进入纯水的多些,结果使蔗糖溶液液面升高。这种溶剂(水)分子透过半透膜进入溶液的扩散现象称为渗透。两种不同浓度的溶液用半透膜隔开,亦会产生渗透现象。但渗透不是无止境的,随着液面的升高,由液柱产生的静液压也随之增加。这样,单位时间内,水分子从溶液进入纯溶剂的数目也相应增多。当液面差达到一定高度时,水分子向两个方面渗透的速度趋于相等,渗透作用达到动态平衡,液面停止上升。渗透压的定义是:将纯溶剂与溶液以半透膜隔开时,为维持渗透平衡所需要加给溶液的额外压力。渗透压的符号为 Π ,单位为 Pa 或 kPa。

显然半透膜的存在和膜两侧单位体积内溶剂分子数不相等是产生渗透现象的两个必要条件。渗透结果总是溶剂分子从纯溶剂向溶液,或是从稀溶液向浓溶液的迁移。

半透膜的种类是多种多样的,通透性也不同。人工制备的火棉胶膜、玻璃纸及羊皮纸等,不仅溶剂(水)分子可以通过,溶质小分子、离子也可以缓慢透过,但高分子化合物不能透过。在生化实验中应用的透析袋和超滤膜也是用半透膜制成的,它们有不同规格(如微孔大小不同),可以阻止大于某些相对分子质量的溶质分子透过。而生物膜(如萝卜皮、肠衣、细胞膜和毛细血管壁等)的透过性能就更为特殊和复杂。

二、渗透压与浓度、温度的关系

实验证明,在一定温度下,溶液的渗透压与溶液中不挥发溶质的浓度成正比;在一定浓度下,溶液的渗透压与热力学温度成正比。1886年,荷兰化学家范特霍夫(van't Hoff)综合上述实验结果,进一步指出了稀溶液的渗透压与温度、浓度的关系:

$$\Pi = cRT \quad (1-10)$$

式中, Π 为溶液的渗透压,单位为 kPa; 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,单位为 K [$T = (273.15 + t) \text{K}$]; R 为摩尔气体常数,取值为 $8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

式(1-10)称为范特霍夫公式(或称为渗透压定律)。可以看出,在一定温度下,溶液的渗透压与溶液的浓度成正比,也就是说,与溶液中溶质的数目成正比,而与溶质的本性无关。溶液的这种性质称为溶液的依数性。

例 1-9 将 2.0 g 蔗糖($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)溶于水,配成 50.0 mL 溶液,求溶液在 37 °C 时的渗透压。

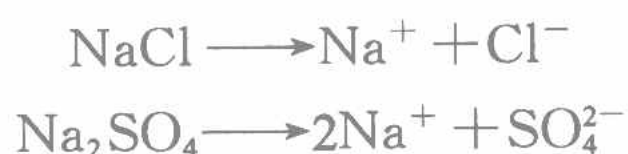
解: 已知 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 的摩尔质量 $M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\begin{aligned} \text{则} \quad c(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) &= \frac{n_B}{V} = \frac{2.0 \text{ g}}{342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.05 \text{ L}} \\ &= 0.117 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{所以} \quad \Pi = c_B RT = 0.117 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 310 \text{ K} = 302 \text{ kPa}$$

从这个例子可以看出,0.117 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的蔗糖($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)溶液在 37 °C 可产生 302 kPa 的渗透压,相当于 30.8 m 的水柱高的压力。这一点表明渗透压是一种强大的推动力,要用普通半透膜精确测定渗透压是较困难的,除非这种膜有很高的机械强度,否则,难以胜任。

需特别指出的是,式(1-10)只适用于非电解质稀溶液。由于电解质会在水溶液中解离,如:



溶液中溶质的质点数目多于未解离前的分子数目,直接用式(1-10)计算电解质溶液的渗透压将会产生较大的误差。因此,在计算电解质稀溶液的渗透压时,范特霍夫公式要改写为

$$\Pi = icRT \quad (1-11)$$

式中的 i 称为校正因子。对于 A-B 型强电解质(如 KCl 和 CaSO_4 等)及 A-B₂ 或 A₂-B 型强电解质(如 MgCl_2 或 Na_2SO_4 等),在近似处理情况下,校正因子 i 分别为 2 和 3。

例 1-10 临床上常用的生理盐水是 $9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液,求此溶液在 37°C 时的渗透压。

解: NaCl 在稀溶液中完全解离, i 近似等于 2,根据式(1-11)可得

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

三、渗透压在医学上的意义

(一) 医学中的渗透浓度

生物体液(如血浆和细胞内液等)的渗透压是由溶于体液中的电解质组分、非电解质组分及大分子组分等各种溶质粒子决定的。这些具有渗透效应的溶质粒子(分子、离子)统称为渗透活性物质。根据范特霍夫定律,在一定温度下,对于任一稀溶液,其渗透压应与渗透活性物质的物质的量浓度成正比。因此,也可以用渗透活性物质的物质的量浓度来衡量溶液渗透压的大小。

为了表明血浆等体液的渗透压大小,医学上常用渗透浓度,它是指溶液中渗透活性物质的质点总浓度。定义为渗透活性物质的物质的量除以溶液的体积,符号为 c_{os} ,单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

在计算溶液的渗透浓度时,应注意,对于强电解质溶液,其渗透浓度等于溶液中溶质的离子总浓度;对于弱电解质,其渗透浓度等于溶液中未解离的非电解质分子的浓度和解离出的离子浓度的总和;而对于非电解质,其渗透浓度等于其溶液浓度。

例 1-11 分别计算 $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液和 $9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液的渗透浓度。

解: (1) 葡萄糖是一种非电解质:

$$\begin{aligned} c_{os}(\text{葡萄糖}) &= \frac{50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.278 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \\ &= 278 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

(2) 氯化钠是一种强电解质:

$$\begin{aligned} c_{os}(\text{葡萄糖}) &= \frac{9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 2 = 0.308 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \\ &= 308 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

(二) 等渗、低渗和高渗溶液

在相同温度下具有相同渗透压的溶液称等渗溶液。渗透压不等的两种溶液,相对地说,渗透

压高的称高渗透液,渗透压低的称低渗透液。

医学上的等渗、高渗及低渗溶液是以血浆的渗透压(或渗透浓度)为标准确定的。正常人血浆的渗透浓度为 $303.7 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,实验求得血浆的渗透浓度为 $297 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。所以临床上规定渗透浓度在 $280 \sim 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液为等渗溶液;渗透浓度低于 $280 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液为低渗溶液;渗透浓度高于 $320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液为高渗溶液。在实际应用时,略低于(或略超过)此范围的溶液,在临床上也看作等渗溶液,如 $50.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的葡萄糖溶液。

溶液是否等渗在医、药学上有重要意义。临床治疗为患者大量补液时,若忽视补液的浓度,将会使体液内水分的调节发生紊乱及细胞的变形和破坏。因为红细胞膜具有半透膜性质,正常情况下,膜内细胞液与膜外血浆是等渗的。若大量滴注高渗液,使血浆中可溶物浓度增大,膜内细胞液的渗透压必然低于膜外血浆的渗透压,红细胞内的细胞液将向血浆渗透,结果使红细胞萎缩,萎缩的红细胞聚集成团。这种现象叫做胞质分离。若此现象发生于血管内,将产生“栓塞”。若大量滴注低渗液,结果使血浆稀释,血浆中的水分将向红细胞内渗透,使红细胞膨胀,严重时可使红细胞破裂,释放出红细胞内的血红蛋白使溶液染成红色,这种现象叫做溶血。在补液过程中,只有等渗液才能使红细胞保持正常的生理功能。图 1-2 是红细胞在不同浓度的 NaCl 溶液中的形态示意图。

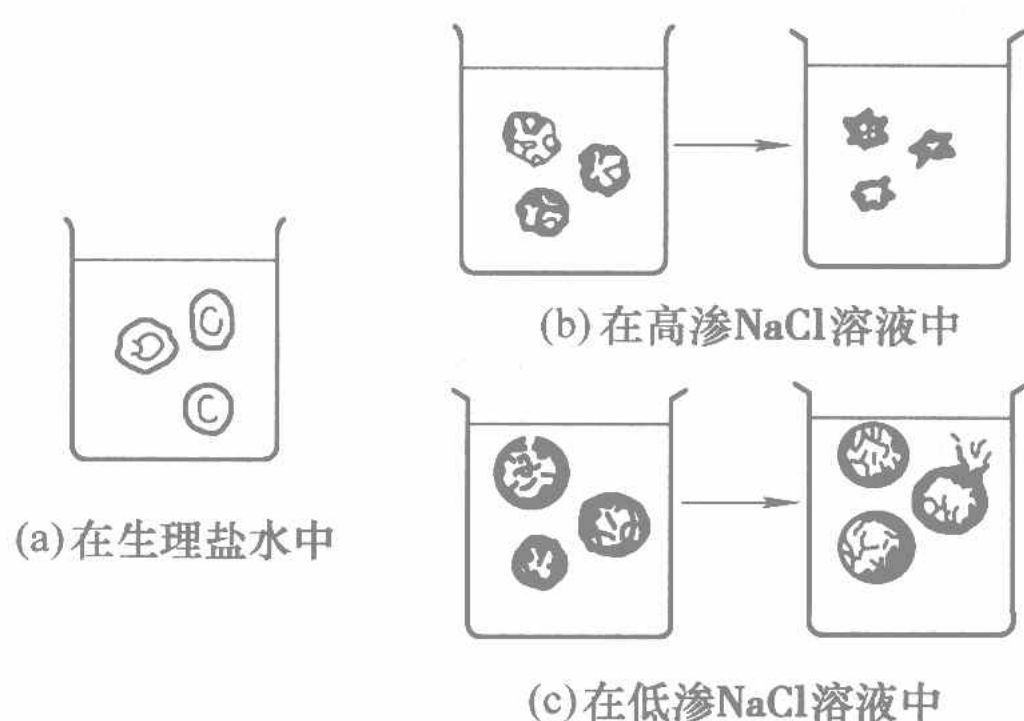


图 1-2 红细胞在不同浓度 NaCl 溶液中的形态

临床上,除了大型补液需要等渗外,配制眼用制剂也要考虑等渗。眼组织对渗透压变化比较敏感,为防止刺激或损伤眼组织,眼用制剂必须进行等渗压调节。关于药液等渗压调节,药剂上有许多方法,这里就不作具体介绍了。

(三) 晶体渗透压和胶体渗透压

血浆等生物体液是电解质(如 NaCl 、 KCl 和 NaHCO_3 等)、小分子物质(如葡萄糖、尿素和氨基酸等)和高分子物质(蛋白质、糖类和脂质等)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、小分子物质统称为晶体物质,由它们产生的渗透压称晶体渗透压;而把高分子物质称为胶体物质,由它们产生的渗透压称胶体渗透压。血浆中高分子胶体物质的质量浓度约为 $70 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,小分子晶体物质约为 $7.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。虽然高分子胶体物质含量高,但由于它们的相对分子质量大,单位体积血浆中的质点数少,产生的渗透压小, 37°C 仅为 $2.9 \sim 4.0 \text{ kPa}$;小分子晶体物质含量虽少,但由于它们的相对分子质量小,有的又可解离成离子,单位体积血浆中的质点数多,产生的渗透压大, 37°C 时约为 766 kPa 。因此,人体血浆的渗透压主要来源于晶体渗透压(约占 99.5%),胶体渗透压只占极少一部分。

由于生物半透膜(如细胞膜和毛细血管壁)对各种溶质的通透性不同,晶体渗透压和胶体渗透压具有不同的生理功能。

细胞膜是一种间隔细胞内、外液的半透膜,它只允许水分子自由通透。由于晶体渗透压远大于胶体渗透压,因此细胞内、外液中水分子的渗透方向主要取决于晶体渗透压。当人体由于某种原因而缺水时,细胞外液浓度升高,晶体渗透压增大,于是细胞内液的水分子将向细胞外液渗透,