



普通高等教育“十二五”规划教材

医学系列

医学化学

Y I X U E H U A X U E

主编 马俊凯 周明华



教育部直属师范大学
华中师范大学出版社



普通高等教育“十二五”规划教材
医 学 系 列

医学化学

Y I X U E H U A X U E

主 编：马俊凯 周明华

副主编：胡扬根 徐 靖 王红梅 冯 春

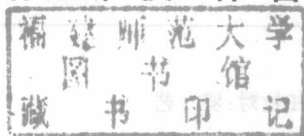
编委会：(以姓氏笔画为序)

马俊凯 王红梅 冯 春 朱 敬

陈小保 陈 瑞 张爱女 张琼瑶

郑爱华 周明华 胡扬根 徐 靖

徐胜臻 校 伟 曹敏慧 曾小华



1047791



T1047791

教育部直属师范大学
华中师范大学出版社

新出图证(鄂)字 10 号

图书在版编目(CIP)数据

医学化学/马俊凯,周明华主编. —武汉:华中师范大学出版社,2012.8

ISBN 978-7-5622-5703-5

I. ①医… II. ①马… ②周… 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(2012)第 208951 号

主编:马俊凯 周明华 ©

责任编辑:王文琴

编辑室:第二编辑室

出版发行:华中师范大学出版社

社址:湖北省武汉市珞喻路 152 号

电话:027-67863426/3280(发行部) 027-67861321(邮购)

传真:027-67863291

网址:<http://www.ccupress.com>

印刷:海军工程学院印刷厂

字数:350 千字

开本:787mm×1092mm 1/16

版次:2012 年 12 月第 1 版

印数:1-3000

责任校对:罗 艺

电话:027-67867362

邮编:430079

电子信箱:hscbs@public.wh.hb.cn

督印:章光琼

印张:14.75

印次:2012 年 12 月第 1 次印刷

定价:28.00 元

封面设计:罗明波

前 言

为适应我国高等医学教育改革和发展的需要,及时反映新世纪教学内容和课程改革的成果,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件,我们根据全国高校素质教育教材研究编审委员会规划,编写了《医学化学》案例版教材。

本教材在汲取国内外优秀教材经验的基础上,在坚持“三基”、“五性”、“三特定”的同时,特别注重素质教育和创新能力的培养,加强了与医学的联系。每章选编适量相关知识的案例和阅读材料,紧跟生命科学和现代医学科学最新发展前沿,既凸显了化学知识在医学中的应用,激发学生的学习兴趣,又拓展了学生的思维空间,有利于创新素质的培养。这种以案例为先导的编写思路,是我们的一种新尝试,在国内医学化学类教材中尚不多见。本教材在内容安排上注意与后继相关课程的衔接,适合高等医学院校护理、临床、口腔和麻醉等本科专业使用。

《医学化学》案例版教材采用法定计量单位,规范名词术语及英文表达。力求内容适当、条理清楚、语言简洁、循序渐进。本教材共十四章,理论课参考学时为46~70学时,其中,绪论1~2学时,溶液浓度和渗透压4~6学时,溶液浓度和渗透压4~6学时,氧化还原反应与原电池4~6学时,物质结构基础4~6学时,有机化合物概述4~6学时,醇、酚、醚4~6学时,醛和酮4~6学时,羧酸及其衍生物4~6学时,脂类2~4学时,糖类3~4学时,氨和生物碱4~6学时,杂环化合物2~3学时,氨基酸和蛋白质2~3学时。

本教材由湖北医药学院马俊凯、周明华主编,参加编写的有周明华(第1、4章,湖北医药学院)、张爱女(第2、3章,湖北医药学院)、徐靖(第2章,湖北医药学院)、郑爱华(第3章,湖北医药学院)、校伟(第4章,湖北医药学院)、张琼瑶(第5章,湖北医药学院)、胡扬根(第5、6、9、14章,湖北医药学院)、陈小保(第7章,湖北医药学院)、王红梅(第8、10、14章,湖北医药学院)、曾小华(第8、10章,湖北医药学院)、冯春(第9、11章,湖北医药学院)、曹敏慧(第12章,华中农业大学)、徐胜臻(第12章,华中农业大学)、马俊凯(第13章,湖北医药学院)、朱敬(湖北医药学院)、陈瑞(皖西学院)参与了书稿的整理工作。

由于编者水平有限,难免疏漏,敬请各位同行专家、教师和学生对书中的不妥之处给予批评指正。

编 者

2012年6月

第 1 章

绪 论

1.1 中心学科化学的地位与作用

1.1.1 化学在人类社会发展中的重要作用

自从有了人类,化学便与人类结下了不解之缘。钻木取火、用火烧煮食物、烧制陶器、冶炼青铜器和铁器……都是化学技术的应用。正是这些应用,极大地促进了当时社会生产力的发展,成为人类进步的标志。自进入 21 世纪以来,人类面临着一系列的重大难题,如人口增加、粮食匮乏、环境污染、能源不足、疾病困扰等,而这些问题的解决都离不开化学知识的运用。

1.1.1.1 化学仍是解决食物短缺问题的主要学科之一

据预测,我国人口在 21 世纪中期将达到 16 亿。今后任务的严重性是既要增加农作物产量保证人民的生存需要,又要保护耕地草原,改善农牧业生态环境,以保持农牧业的可持续发展。这一切必须依靠化学在研究开发高效安全肥料、饲料、饲料添加剂、农药、可降解的农用材料等方面发挥作用。

1.1.1.2 化学在能源和资源的合理开发和安全利用中起关键作用

在资源勘探,油田、煤矿、钢铁基地选定中的矿物分析,以及原子能材料、半导体材料、超纯物质中微量杂质的分析等都与化学密切相关,化学就像工业的眼睛一样时刻关注着世界的发展,为资源的合理开发和利用提供保障。因此,开发高效、洁净、经济、安全的新能源是化学工作者面临的重大课题。

1.1.1.3 化学继续推动材料科学的发展

材料是人类赖以生存和发展的物质基础,化学是新材料的“源泉”。在满足人类衣、食、住、行等基本需求之后,为提高生存质量和安全,实现可持续发展,新材料将是物质科学未来研究的重点。例如,具有特殊生理功能的新型陶瓷材料即生物人工骨为临床外科手术带来技术性的革命。生物人工骨与人体骨骼具有良好的生物相容性,不产生过敏和排异反应,能与周围骨组织形成骨性结合,一般半年后就能与自体骨形成化学键结合。

1.1.1.4 化学是提高人类生存质量和生存安全的有效保证

化学与人类生活息息相关,它为人类提供衣、食、住、行所必需的物质。在满足人类生存需要之后,不断提高生存质量和生存安全是人类进步的标志。生存质量和安全程度的高低,取决于人与自然环境相互作用中外来物质和能量是否满足人体需要,并维持最佳状态。在可持续发展思想的指导下,化学学科正在向环境友好方向努力,力求从原料、生产过程、中间产品及最终产品等各个环节都不对人类赖以生存的环境造成污染和危害。

另外,生命过程中充满着各种生物化学反应,通过化学家和生物学家的大力合作,已经从原子、分子水平上对生命过程做出化学的说明,揭示了生命现象的奥秘。现在,为了进一步提高人类生存质量和生存安全,化学和相关学科间仍有很长的路要走。

总之,化学与国民经济各个部门,与尖端科学技术各个领域以及人民生活各个方面都有着密切联系。它是一门重要的基础科学,它在整个自然科学中的关系和地位,正如美国科学家 Pimentel G C 在《化学中的机会——今天和明天》一书中指出的“化学是一门中心科学,它与社会发展各方面的需要都有密切关系”。它不仅是化学工作者的专业知识,也是广大人民科学知识的组成部分,化学教育的普及是社会发展的需要,也是提高医学学生文化素质和培养高级医学人才的需要。

1.1.2 化学与医学和药学的重要关系

人体的新陈代谢过程是一个复杂的生物化学过程,因而化学构成了医学的基础。早在十五六世纪就出现了医学和化学的交汇之势。继 1800 年英国化学家 Davy H 发现了 N_2O 的麻醉作用后,乙醚的更加有效的麻醉作用也被发现,这使得无痛外科手术成为可能;1932 年,德国科学家 Domagk G 找到一种偶氮磺胺染料,使一位患细菌性败血症的孩子得以康复;再比如阿司匹林的合成及其在临床医学上的应用;又如青霉素的发现,它是科学家在一次偶然的机会中发现的,直到现在,以青霉素结构为骨架的各种抗生素的相继问世,为人们的健康作出了巨大的贡献。

化学对于医学和药学的作用好像是水对于人体的作用一样,一刻也离不开。首先,药物的成分绝大部分是化合物,特别是西药,大多是通过化学方法人工合成的。另外,不管是从无机化学和有机化学的角度,还是从生物化学的角度而言,药物就是化学的产物。例如,治疗癌症和艾滋病的药物的研发、预防 SARS 病毒以及禽流感等的药物都与现代化学息息相关。从药物对人体的作用来讲也离不开化学,服药、用药的过程中一定不能出错,一旦有误,可能会催人致死。如药品说明书上常说,与某些药物不能混用,其原理也是根据化学而来的,可能两种药物中的某些成分能发生反应而使药物失效,也有可能反应后会起副作用,所以医学院校的都会开化学课,这是很有道理的。

中国化学家在中草药有效成分的研究方面也取得令世人瞩目的成就。如麻黄素类抗生素、雌性甾族激素、萝芙木碱和喜树碱等具有抗癌功能的药物,都是化学家对一些中药偏方进行了系统分离鉴定,筛选出其中的有效成分,然后在进行化学分析与合成、药理研究、临床实验等一系列复杂的工作后才得到的。中国是中草药的故乡,中草药对于人类疾病的预防和诊治起着不可磨灭的贡献。然而,中药材要想占领国际市场还有很长的路要走。现在严重制约中药材出口的一个重要问题就是重金属和砷盐的超标,因为国外药物制剂已将重金属、砷盐的检测列为必检项目。要想解决上面的问题,这就需要化学与药学工作者通力合作

排除这些金属离子的干扰。

再来回顾我国医学的历史,我国古代医药学的著作,多半称为“本草”,而本草学的发展与化学更是分不开的,其中蕴藏着丰富的化学知识。在历代的本草著作中记载了大量的中草药,这些中草药的有效成分大部分就是无机盐,其中的人工炼制,包含着不少无机化学知识和化学实验技术。比如,李时珍在《本草纲目》中记述了铅粉(碱式碳酸铅)的制法。其原理是利用醋酸蒸汽和空气使单质铅转化为碱式醋酸铅,再与来自炭炉的二氧化碳反应生成白色的铅粉。同时他的医学著作中详细地记载了许多复杂的化学反应和一些无机化合物的制取方法。

让我们再来看看历史上一些有成就的医务工作者,他们中的很多人都具备了相当丰富的化学知识。法国的 Pasteur L(1822—1895),这位 20 世纪医学领域的巨匠和微生物学的前驱是学化学出身的,巴斯德被认为是医学史上最最重要的杰出人物,他的贡献涉及多个学科,但他的声誉则集中在首先提出和支持病菌论及发展疫苗接种来预防疾病等方面。德国的 Stahl G E(1660—1734)既是一位医学教授又是一位化学教授。

现代化学在医学中的重要地位就更不能忽视。首先,在化学的基础上发展起来的多种边缘学科,诸如生物化学、生理学、分子生物学等。生物化学是研究生命现象的化学本质的科学,它主要研究生命物质的化学组成、结构、性质和功能等静态问题,还研究生物体内各种化学物质在体内怎样相互转化、怎样相互制约及在变化过程中能量转换等动态问题。生物化学的研究成果为临床医学工作提供了有力的证据,为进一步研究生命的本质创造了条件。生理学是把诸多生理问题与化学结合起来,很多生理功能是通过化学作用来实现的,如胃液的酸性性质对于食物消化至关重要,又如酶催化人体内的化学反应。分子生物学是近几十年发展起来的一门新兴学科。它的发展使人们对生命的认识深入到分子水平,对医学和其他相关的生物学科产生了很大的影响。例如,化学家们在 20 世纪 50 年代证明了一切基因都由 DNA 组成,并阐明了 DNA 分子的双螺旋结构,人们通过改变 DNA 的分子结构可以得到不同的基因。这一成果推动了遗传学在分子水平上的研究,应用于医学后,对于人类遗传性疾病的研究具有指导性的意义。另外,医学上很多诊断依据是来源化学方法的,比如最常见的化验:通过酸碱滴定法可测定血浆中 HCO_3^- 的浓度,还可以测定蛋白质中的含氮量。当然化学领域内的各种仪器分析用途就更广泛了,例如核磁共振、各种色谱分离技术等。最后,当然治疗疾病的药品大都是化学制剂,化疗和透析也是化学技术等。

综上所述,化学在医学和药学方面具有举足轻重的地位。美国化学家 Breslow R 指出:“考虑到化学在了解生命中的重要性和药物化学对健康的重要性,在医务人员的正规教育中包括不少化学课程就不足为奇了。今天的医生需要为化学在人类健康中起着更大作用的明天做好准备。”所以在高等医学教育体系中,不论是我国还是国外,都将化学作为重要的基础课之一。因此,医学类学生应当充分认识到化学的重要性,把学好化学作为一种基本功。一方面是知识的积累,提高独立思索和动手的能力,另一方面为后续课程打下坚实的基础。

1.2 《医学化学》课程的内容与任务

《医学化学》是刚进入医科院校的大一学生首先接触到的一门极为重要的基础课。它综合了现代无机化学、有机化学和分析化学的基础知识、基本理论和基本技能,是在分子、原子

或离子水平上研究物质的组成、结构、性质、变化规律及其应用的自然科学。该课程适应 21 世纪化学和医学渗透融合的趋势,以培养有创新能力的高素质医学人才为目的,将医学学生带入千姿百态、引人入胜的化学世界,为他们破解医学之谜打下坚实的化学基础。

1.2.1 《医学化学》课程的内容与任务

《医学化学》课程的内容是根据医学专业学生的后继专业课程的特点选定的,它主要由医学专业学生必须掌握的无机化学、有机化学和分析化学中的基本内容组成,包括水溶液的性质(稀溶液的依数性、电解质溶液、缓冲溶液)、物质的结构(原子、分子、配位化合物)、生命元素知识等。这几部分内容基本上都是按基本原理、基本内容与医学的联系这样一条思路来展开的。每一部分的知识点中的章节相对集中、自成系统,相关理论与医学知识点联系紧密。这样在教学的过程中既让学生学习到化学原理,又培养了学生对所学知识的理解和应用。

《医学化学》课程的任务是为刚刚迈入大学校门的学生提供与其未来职业相关的现代化学基本概念、基本原理及其应用的知识,为进一步学习专业知识打下较广泛和较深入的化学基础。同时,通过实验课的训练使学生掌握有关操作技能,培养学生的思维能力和创新能力,为学习后续医学课程、研究生课程,打下广泛和扎实的化学基础。

《医学化学》结合教学内容将介绍著名的化学家,他们缜密的逻辑思维、求实创新的精神和在化学实验中解决难题的百折不挠的意志,是我们最好的榜样。《医学化学》课程的学习能教会我们用热力学的观点来分析事物的可能性,用动力学的观点来分析事物的可行性,用物质的内部结构来分析其外在的性质。这种综合能力的培养会使学生在今后的医学生涯中终身受益。

1.2.2 《医学化学》课程的学习方法

要学好《医学化学》课程,首先要尽快适应大学的教学规律。与中学课程相比,大学医学化学内容多,进度快;其次要做好预习,争取主动;另外要及时复习和总结。针对医学化学的特点,学习时要注意以下问题:

1.2.2.1 以我为主,掌握学习的主动权

学生是学习的主体。中学化学教学中,教师讲得很多,一个概念反复讲、反复练习,每章结束时还会归纳重点,讲要点,然后通过习题反复巩固要掌握的知识点。大学学生的学习不应该只依赖教师,应自己归纳重点、难点,培养自学能力,提高发现问题、分析问题和解决问题的能力。

1.2.2.2 善于思考,强化记忆

《医学化学》课程的一个特点是理论性强,有的概念抽象难懂。学习中要反复思考,才能加深理解。要善于运用归纳的方法,把同一原理、概念的方方面面列在一起,从各个侧面加深理解;也要善于运用对比的方法弄懂形似概念的本质差别。大学化学学习仍然需要记忆,要在理解的基础上,熟悉一些基本概念、基本原理和重要公式,做到熟练掌握、灵活运用。

1.2.2.3 多做习题,及时巩固

在理解例题、及时复习的前提下做题有利于深入理解、熟练掌握课程内容。这样对于分析问题、解决问题能力的提高极其有益。课后要及时复习,适当阅读课外参考书,补充相关

内容,加深课程内容的理解,培养自学能力。

1.2.2.4 认真预习,做好实验

将理论课的内容尽可能与实验的具体操作和现象联系起来,在仔细观察实验现象,搜集事实,获得感性知识的基础上,将不同层次的理性知识应用到实践中,并在实践的基础上进一步丰富理性知识。

参考文献

- [1] 魏祖期. 医学基础化学[M]. 北京:人民卫生出版社,2010.
- [2] 傅献彩. 大学化学[M]. 北京:高等教育出版社,1999.
- [3] 祁嘉义. 基础化学[M]. 北京:高等教育出版社,2003.

第2章

溶液浓度和渗透压

本章要求

1. 掌握溶液组成常见的4种量度方法及其相互间的转换。
2. 掌握溶液渗透压的定义和计算方法。
3. 掌握等渗溶液、渗透活性物质的概念,了解晶体渗透压和胶体渗透压及其在生理上的作用。

案例

脑血管病

脑血管病是当今人类三大死亡原因之一,我国每年新发生脑卒中病例约为130万,死亡人数约为100万。在该病的存活者中,约有3/4的人不同程度地丧失劳动力,给其家庭和社会带来巨大的负担。

血浆渗透压增高是脑卒中后的常见并发症。尤其并发高渗性昏迷是危及患者生命的神经内科急重症,在治疗原发病的过程中极易因被漏诊而延误治疗,使卒中后的治愈率降低,病死率增加。

脑卒中时应激反应导致脑下部的促肾上腺皮质激素释放激素(corticotropin releasing hormone, CRH)分泌增加,肾调节能力下降,造成人体对钠离子、氯离子、氢离子的排泄及重吸收障碍,尤其脑梗塞时缺血区脑组织葡萄糖高代谢状态导致血糖升高引起高渗。高血糖引起 CO_2 结合力升高或增加,高碳酸血症致颅内压增高,引起高渗性昏迷。同时脑卒中时脑细胞受损,垂体受累,调节水盐代谢的中枢受影响,加上大量失水,受损区的脑组织在不平衡的内环境及不合理的血循环状态下,脑细胞及脑功能受到损害和影响,从而发生意识改变如昏迷、嗜睡、吐词不清、呃逆、呕吐、感觉障碍、偏瘫或四肢瘫痪、脱水、癫痫等一系列症状。

临床上脑卒中后血浆渗透压的治疗,尤其是高渗性昏迷患者,可使用甘露醇(高渗溶液)减轻脑水肿,同时应尽量减少生理盐水的用量,以免体内钠离子、氯离子的浓度继续升高。

混合物是指含有一种以上物质的气体、溶液或固体。溶液是指含有一种以上物质的均

一、稳定的混合物,其中水溶液与人类的关系最为密切。在生命的长期演化过程中,机体的新陈代谢、食物的消化和吸收、营养物质的输送及转化都是在水溶液中进行的。人体内的体液是由血液、尿液、细胞内液、胃液等组成的。

溶胶在自然界尤其是生物界中普遍存在,它与人类的生活及环境有着非常密切的关系,工农业生产以及生物、医学等其他学科都与溶胶有关。因此,对溶胶性质的研究具有重要意义。

2.1 分散系统

在进行科学研究时,常把一部分物质从其余物质中划分出来作为研究对象,这部分被划分出来作为研究对象的物质称为系统。

一种或一种以上物质分散在另一种物质中形成的系统称为分散系统。分散系统中被分散的物质称为分散相,起分散作用的物质称为分散介质。例如,医学临床上使用的生理氯化钠溶液和葡萄糖注射液都是分散系统,其中的氯化钠、葡萄糖是分散相,而水是分散介质。

按分散系统中分散相粒子直径的大小分类,可把分散系统分为粗分散系统、胶体分散系统和分子分散系统,如表 2-1 所示。

表 2-1 分散系统按分散相粒子的大小分类

分散相粒子直径/nm	分散系统类型		分散相粒子的组成	实例
<1	分子分散系统		小分子或小离子	生理盐水、葡萄糖溶液
1~100	胶体分散系统	溶胶	胶粒(分子、离子、原子的聚集体)	氢氧化铁溶胶 硫化砷溶胶
		高分子溶液	高分子	蛋白质溶液 核酸溶液
>100	粗分散系统		粗粒子	泥浆、牛奶

粗分散系统主要包括悬浊液和乳状液。悬浊液是分散相以固体小颗粒分散在液体中形成的多相分散系统,如浑浊的河水、泥浆等。乳状液是分散相以小液滴分散在另一种液体中形成的多相分散系统,如牛奶、某些杀虫剂的乳化液等。

胶体分散系统包括溶胶和高分子溶液。溶胶的分散相粒子是由许多个小分子或小离子组成的聚集体,分散相与分散介质之间存在着界面。高分子溶液的分散粒子是单个的大分子或大离子,分散相能自动均匀地分散到分散介质中,分散相与分散介质之间没有界面。

分子分散系又称真溶液,简称溶液。溶液是分散相以单个小分子或小离子的形式均匀地分散在分散介质中形成的分散系。习惯上将溶液中的分散相称为溶质,将分散介质称为溶剂。水是一种常用的溶剂,本教材中未指明溶剂的溶液就是水溶液。

2.2 混合物和溶液的常用组成标度

溶液的组成有多种表示方法,不同的表示方法有不同的适用范围,下面简单介绍几种常用的表示方法。

2.2.1 物质的量浓度

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

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

物质的量浓度的 SI 单位为摩尔每立方米($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$),但立方米这个单位对医学来说太大,故医学中常用的单位是摩尔每升($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)、毫摩尔每升($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)或微摩尔每升($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)。这几个单位间的换算关系为:

$$1 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} = 1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} = 1 \times 10^3 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

物质的量浓度简称为浓度,常用 c_B 表示物质 B 的总浓度, $[B]$ 表示物质 B 的平衡浓度。在使用物质的量浓度时,必须指明物质 B 的基本单元。基本单元可以是原子、分子、离子以及其他粒子或这些粒子的特定组合,这些基本单元可以是实际存在的,也可以是根据需要指定的。如:

$$c_{\text{HCl}} = 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, \text{表示每升溶液含 HCl } 0.2 \text{ mol}$$

$$c_{\frac{1}{3}\text{Fe}_3\text{O}_4} = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, \text{表示每升溶液含 } \left(\frac{1}{3}\text{Fe}_3\text{O}_4\right) 0.1 \text{ mol}$$

$$c_{2\text{NaHCO}_3} = 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, \text{表示每升溶液含 } (2\text{NaHCO}_3) 0.2 \text{ mol}$$

由于浓度二字只是物质的量浓度的简称,因此在用其他方法表示浓度时,应在浓度前使用特定的定语,如质量浓度、质量摩尔浓度等。

2.2.2 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 m_B 除以溶液的体积 V ,即:

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

质量浓度的 SI 单位为千克每立方米($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),千克、立方米这两个单位对医学来说也太大,医学常用的单位是克每升($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)、毫克每升($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)或微克每升($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)。这几个单位间的换算关系为:

$$1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} = 1 \times 10^3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} = 1 \times 10^6 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

世界卫生组织提议,凡是摩尔质量已知的物质,在人体内的含量统一用物质的量浓度表示。例如,过去对人体血液葡萄糖含量的正常值,常表示为 $(70 \sim 100) \text{ mg} \%$,按法定计量单位则应表示为 $c_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = (3.9 \sim 5.6) \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。对于摩尔质量未知的物质,在人体内的含量则可以用质量浓度表示。

2.2.3 摩尔分数和质量摩尔浓度

2.2.3.1 摩尔分数

摩尔分数(mole fraction)又称物质的量分数,用符号 x_B 表示,定义为物质 B 的物质的量 n_B 除以混合物总的物质的量,即:

$$x_B = \frac{n_B}{\sum_i n_i} \quad (2-3)$$

若溶液由溶质 B 和溶剂 A 组成,则两者的摩尔分数分别为:

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B}, x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad (2-4)$$

式中, n_A, n_B 分别为 A, B 两物质的物质的量。显然, $x_A + x_B = 1$ 。

2.2.3.2 质量摩尔浓度

物质 B 的质量摩尔浓度(mole concentration)用 b_B 表示,定义为溶质 B 的物质的量 n_B 除以溶剂 A 的质量 m_A ,即:

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} \quad (2-5)$$

质量摩尔浓度的 SI 单位是 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$,使用时应注明基本单元。例如:

$$b_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1.00 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}, \text{表示每千克溶剂中含 } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 1.00 \text{ mol}$$

$$b_{\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4} = 2.00 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}, \text{表示每千克溶剂中含 } \left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) 2.00 \text{ mol}$$

2.2.4 其他浓度表示法

2.2.4.1 质量分数

物质 B 的质量分数(mass fraction)用符号 w_B 表示,定义为物质 B 的质量 m_B 除以混合物的总质量,即:

$$w_B = \frac{m_B}{\sum_i m_i} \quad (2-6)$$

对于溶液而言,溶质 B 和溶剂 A 的质量分数分别为

$$w_B = \frac{m_B}{m_A + m_B}, w_A = \frac{m_A}{m_A + m_B} \quad (2-7)$$

式中, m_A, m_B 分别为 A, B 的质量。显然, $w_A + w_B = 1$ 。

2.2.4.2 体积分数

物质 B 的体积分数(volume fraction)用符号 φ_B 表示,定义为物质 B 的体积 V_B 除以混合物的总体积 V_B ,即:

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V_{\text{总}}} \quad (2-8)$$

医学上常用体积分数来表示溶质为液体的溶液组成,如消毒酒精中酒精的体积分数为 0.75(或 75%)。

【例 2-1】 已知浓盐酸的密度为 $1.19 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$,其中 HCl 含量为 37%(质量分数),求每升浓盐酸中所含 HCl 的物质的量、HCl 溶液的浓度和 HCl 溶质的质量。

$$\text{【解】 } n_{\text{HCl}} = \frac{m_{\text{HCl}}}{M_{\text{HCl}}} = \frac{1.19 \times 1\,000 \times 37\%}{36.46} = 12.07(\text{mol})$$

$$c_{\text{HCl}} = \frac{n_{\text{HCl}}}{V_{\text{HCl}}} = \frac{12.07}{1.0} = 12.07(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$$

$$m_{\text{HCl}} = cV_{\text{HCl}}M_{\text{HCl}} = 12.07 \times 1.00 \times 36.46 = 440.07(\text{g})$$

【例 2-2】 在 25 ℃ 时, 质量分数为 0.094 9 的稀硫酸溶液的密度为 $1.06 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 在该温度下纯水的密度为 $997 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。计算硫酸的物质的量分数、物质的量浓度和质量摩尔浓度。

【解】 在 1 L 该硫酸溶液中,

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1.06 \times 10^3 \times 0.094 7 \div 98.0 = 1.02 (\text{mol})$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 1.06 \times 10^3 \times (1 - 0.094 7) \div 18.0 = 53.3 (\text{mol})$$

根据物质的量分数的定义 $x_B = \frac{n_B}{\sum_i n_i}$

$$\text{得: } x_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{n_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{H}_2\text{SO}_4}} = \frac{1.02}{1.02 + 53.3} = 0.018 8$$

根据物质的量浓度的定义 $c_B = \frac{n_B}{V}$

$$\text{得: } c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{n_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{V} = \frac{1.02}{1.00} = 1.02 (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$$

根据质量摩尔浓度的定义 $b_B = \frac{n_B}{m_A}$

$$\text{得: } b_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{n_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{m_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1.02}{1.06 \times 10^3 \times (1 - 0.094 7) \times 10^{-3}} = 1.06 (\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$$

2.3 溶液的渗透压

2.3.1 渗透现象和渗透压力

2.3.1.1 渗透现象

我们设想一个如图 2-1 所示的容器, 在容器的右侧盛放较浓的蔗糖溶液, 左侧盛放纯水, 两边液面相平, 中间用一层半透膜隔开, 见图 2-1(a)。半透膜是一种只允许某些分子或离子通过, 而不允许另外一些分子或离子通过的多孔性薄膜, 有天然存在的, 如细胞膜、鸡蛋膜、毛细血管壁、肠衣、膀胱膜等; 也有人工合成的, 如羊皮纸、火棉胶、玻璃纸等。

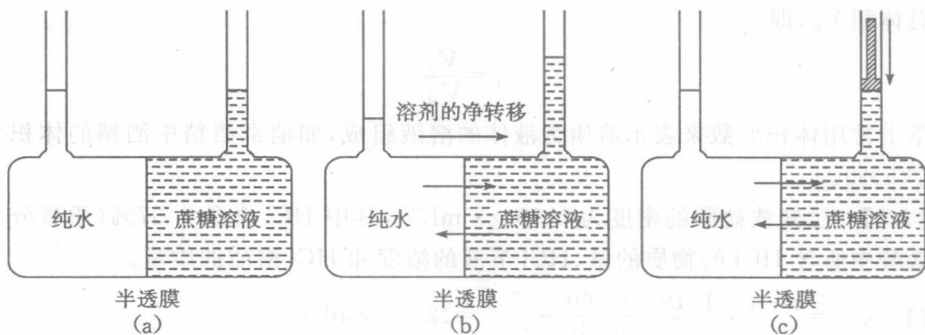


图 2-1 渗透现象的产生

由于两边的浓度不等, 体系有一种自发的通过热运动混合成两边浓度相等的趋势。而想使浓度均等, 必须让蔗糖分子向左运动、水分子向右运动见图 2-1(b)。但是由于半透膜

只允许水分子自由通过而蔗糖分子不能通过,因此,一段时间以后我们会发现右端的液面上升了。我们将这种由溶剂分子透过半透膜自动扩散的过程叫做渗透(osmosis)。

那么液面会不会无限上升呢?答案是否定的。开始时,由于混合平均趋势的驱动,使得左边的水分子向右运动的速度比右边的水分子向左运动的速度要快些,这样右边的液面就会逐渐上升。而液面上升将导致两侧的压力不等,右边的压力增大,右边的溶剂向左边迁移的速度增加,当压力增大到一定时,左右两边的水分子运动速度相等,达到动态平衡,液面就不会再上升了。

由此可见,渗透现象的产生必须具备两个条件:一是有半透膜存在;二是半透膜两侧溶液存在浓度(应为渗透浓度)差。渗透现象不仅在溶液和纯溶剂间发生,在浓度不同的两溶液间也可发生。渗透总是由纯溶剂向溶液,或稀溶液向浓溶液方向进行。

2.3.1.2 渗透和扩散的比较

当溶液的浓度不均,如向浓溶液的上层加清水或加固体于稀溶液中时,扩散现象就会自发发生,所以一段时间后,我们发现溶液重新恢复成均一体系。这种运动的推动力是熵增加原理,即自发运动是向着混乱度增加的方向进行的。换句话说,自发运动有着趋向平均的趋势。渗透是一种特殊的扩散,它和扩散一样也由浓度不均引起,只是由于半透膜这样一种特殊物质的存在阻止了分子之间的互动,所以为了达到或尽可能趋向平均,只能是稀溶液或纯溶剂中的溶剂向浓溶液渗透,因此渗透的方向与扩散相反,但其实质是一样的。

2.3.1.3 渗透压和反渗透

为了阻止渗透的进行,必须在溶液液面上施加额外的压力。这种施加于液面上的恰能阻止渗透现象发生的额外压力称为该溶液的渗透压(osmotic pressure),如图 2-1(c)所示。渗透压用符号 Π 表示,单位是 Pa 或 kPa。溶液的渗透压只有在溶液和纯溶剂被半透膜隔开的时候才能显示出来,凡是溶液均能产生渗透压。如果是浓度不同的两种溶液被半透膜隔开,则此时在浓溶液上方施加的额外压力就是两种溶液的渗透压之差。

如果在溶液液面上方施加的外压大于溶液的渗透压,则会发生反渗透(anti-osmotic)现象,即溶剂分子透过半透膜进入纯溶剂一侧。这种反渗透的技术是 20 世纪 60 年代迅速发展起来的一项技术,主要用于海水的淡化、工业废水的处理、重金属盐的回收和溶液的浓缩。



阅读材料

反渗透法

海水淡化技术种类很多,有蒸馏法(多级闪蒸、多效蒸馏、压汽蒸馏等)、膜法(反渗透、电渗析、膜蒸发等)、离子交换法、冷冻法等,但适用于大规模淡化海水的方法只有多级闪蒸(MSF)、多效蒸馏(MED)和反渗透法(RO)。

反渗透法于 20 世纪 70 年代起用于海水淡化,现已发展成为投资最省、成本最低、应用范围广泛的海水淡化技术。

反渗透法是一种膜分离淡化法,该法是利用只允许溶剂透过、不允许溶质透过的半透膜将海水与淡水分隔开,若对海水一侧施加一大于海水渗透压的外压,那么海水中的纯水将通过半透膜进入到淡水中。目前的反渗透膜,水通量是 1978 年的 2 倍,盐的透过率大约为 1978 年的四分之一。

反渗透法的适应性强,应用范围广,规模可大可小,建设周期短,不但可在陆地上建设,还适于在车辆、舰船、海上石油钻台、岛屿、野外等处使用。美国海水淡化的研究重点是反渗透技术,西欧尤里卡计划中的首批尖端项目就包括“海水淡化渗透膜”,日本的“90年代产业基础研究开发制度”中列入了高效分离膜,由此可见反渗透膜法水处理技术在当代高科技中的竞争地位。1989年前,采用反渗透技术进行海水淡化的淡化水产量占世界海水淡化市场的6%,到1997年底已升至14%,近年来的市场占有率更是呈直线上升趋势。反渗透法在21世纪将与蒸馏法一起成为海水淡化的主导技术。

2.3.2 溶液的渗透压与温度和浓度的关系

1886年,荷兰化学家 van't Hoff 根据实验结果提出,难挥发非电解质稀溶液的渗透压力与溶液浓度和温度的关系为:

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

式中, Π 为稀溶液的渗透压,单位 kPa; V 为溶液的体积,单位 L; n_B 为溶质 B 的物质的量,单位 mol; c_B 为溶质 B 的物质的量浓度,单位 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; R 为摩尔气体常数,SI 单位及数值为 $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; T 为热力学温度。

式(2-9)称为 van't Hoff 定律。它表明在一定的温度下,稀溶液的渗透压力的大小仅与单位体积溶液中溶质微粒数的多少有关,而与溶质的本性无关。因此,渗透压力是稀溶液的一种依数性。

对于稀溶液来说,其物质的量浓度与质量摩尔浓度近似相等,即 $c_B \approx b_B$,因此上式可改写为:

$$\Pi \approx b_B RT \quad (2-10)$$

$$\text{式(2-9)还可变形为:} \quad \Pi V = n_B RT = \frac{m_B}{M_B} RT \quad (2-11)$$

$$M_B = \frac{m_B RT}{\Pi V} \quad (2-12)$$

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

式(2-12)可用于测定高分子物质的相对分子质量。

【例 2-3】 将 0.5 g 鸡蛋清配成 1.0 L 水溶液,在 25 °C 时测得该溶液的渗透压力为 0.306 kPa,计算鸡蛋清的相对分子质量。

$$\text{【解】} \quad \rho = \frac{m_B}{V} = \frac{0.5}{1.0} = 0.5 (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$$

由 $\Pi = c_B RT$ 知,

$$c_B = \frac{\Pi}{RT} = \frac{0.306}{8.314 \times 398} = 9.25 \times 10^{-5} (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$$

又由 $c_B = \frac{\rho_B}{M_B}$ 知,

$$M_B = \frac{\rho_B}{c_B} = \frac{0.5}{9.25 \times 10^{-5}} = 5.4 \times 10^3 (\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$$

即,鸡蛋清的相对分子质量是 $5.4 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

2.3.3 渗透压在医学上的意义

2.3.3.1 渗透浓度

我们把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(osmotic active substance)。通常把稀溶液中能产生渗透作用的各种溶质分子和离子的总浓度称为渗透浓度(osmotic concentration),用符号 c_{os} 表示,单位 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$$c_{os} = \sum_i c_i \quad (2-13)$$

由于渗透压具有依数性,即压力的大小只与一定体积内溶质的质点数有关,而与溶质的本性无关,故医学上常用渗透浓度来衡量渗透压的大小。

【例 2-3】药典规定生理氯化钠溶液的质量浓度应为 $8.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \sim 9.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,计算生理氯化钠溶液的渗透浓度的范围。

【解】氯化钠为强电解质,在溶液中完全解离:



生理盐水氯化钠溶液的渗透浓度与质量浓度之间的关系为:

$$c_{os}(\text{NaCl}) = c_{\text{Na}^+} + c_{\text{Cl}^-} = 2c_{\text{NaCl}} = \frac{2\rho_{\text{NaCl}}}{M_{\text{NaCl}}}$$

当生理氯化钠溶液的质量浓度为 $8.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,渗透浓度为:

$$c_{os}(\text{NaCl}) = \frac{2 \times 8.5}{58.5} = 0.291 (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) = 291 (\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$$

当生理氯化钠溶液的质量浓度为 $9.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,渗透浓度为:

$$c_{os}(\text{NaCl}) = \frac{2 \times 9.5}{58.5} = 0.325 (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) = 325 (\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$$

生理氯化钠溶液的渗透浓度应为 $291 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \sim 325 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2.3.3.2 等渗、低渗和高渗溶液

化学意义上的等渗溶液是指渗透浓度相等的两个或若干个溶液,例如, $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 溶液和 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ H_2SO_4 溶液是等渗溶液。低渗溶液和高渗溶液则存在于两个溶液相比较的时候,如 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Na_2HPO_4 溶液是 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液的高渗溶液, $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液是 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Na_2HPO_4 溶液的低渗溶液。在说等渗、低渗和高渗溶液的时候需指明是哪种溶液针对哪种溶液而言。

医学上这三种溶液的划分是以血浆的渗透浓度为衡量标准的。正常人血浆的总渗透浓度约为 $303.7 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,临床上规定,渗透浓度在 $280 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \sim 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内的溶液称为等渗溶液,渗透浓度小于 $280 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的称为低渗溶液,渗透浓度大于 $320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液称为高渗溶液[但在实际应用中,略低于(或略高于)此范围的溶液也可看做等渗溶液,如渗透浓度为 $278 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的葡萄糖溶液也可看做等渗溶液]。医学上可直接称某溶液是等渗、低渗或高渗溶液。

掌握等渗、低渗和高渗溶液的概念在临床上是很重要的。通常在给病人大量补液的时候,要使用等渗溶液,否则会造成严重的后果。这是因为血红细胞的细胞膜是一层半透膜,若将细胞置于等渗溶液中,由于细胞内外溶液的浓度基本相等,水分子进出细胞的速度和数量基本相同,细胞的形态基本不变。但若将该细胞置于低渗溶液中,由于细胞外溶液浓度