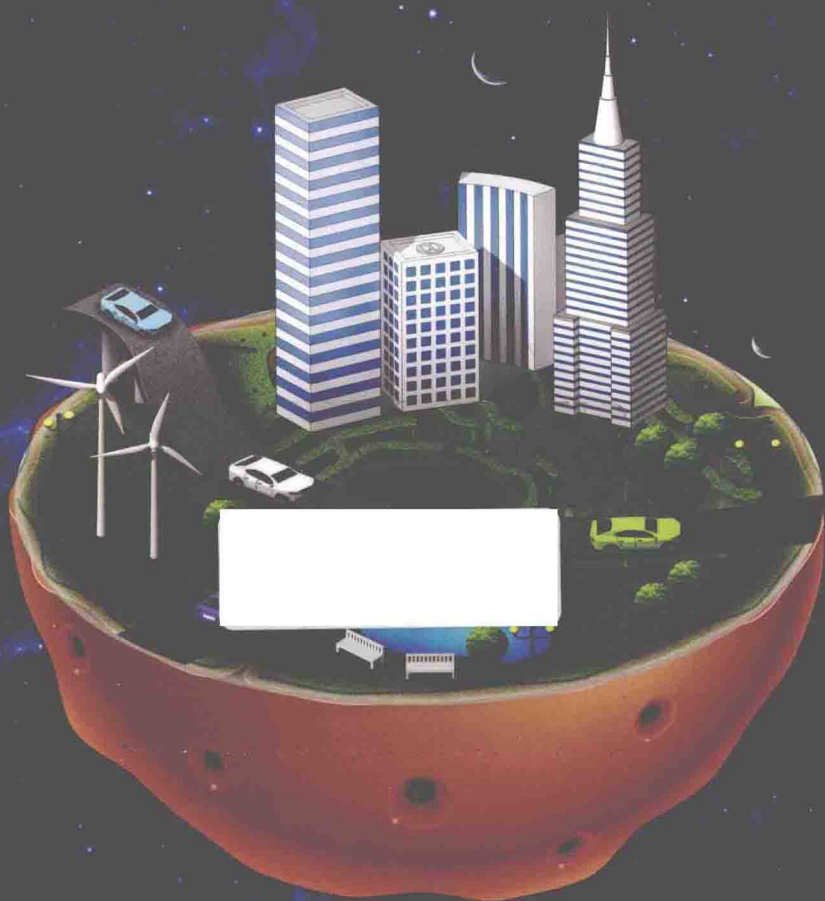


细胞：一个和谐的

社 会

时永香◎编著



科学出版社

细胞：一个和谐的社会

时永香 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是为大学本科生编写的通识教育核心课程“细胞：一个和谐的社会”的配套教材，内容分为10章，分别是和谐社会话细胞、细胞遗传生殖中心——细胞核与遗传信息传递的中心法则、细胞内膜系统与蛋白质的分选和定位、细胞能量代谢与能量供应站——线粒体和叶绿体、细胞的“骨骼”和高速公路——细胞骨架、细胞膜及其对外交流与沟通、细胞之间的互动、细胞生命活动与个体发育、细胞癌变与癌症、免疫系统与健康养生。全书以细胞生物学基本内容为主线路，并与一些社会现象和中华优秀传统文化相联系。引领读者在走进细胞世界的过程中感受细胞生命机制与社会规律其本质的一致性，科学地认识健康养生。当然书中大量留白，任由读者感悟和领会。每章后面附有思考题，帮助读者梳理内容，启发读者开启智慧。

本书适合高校所有学科专业通识教育教学使用，也可供对生命科学、生命健康感兴趣的社会各界人士参考。

图书在版编目(CIP)数据

细胞：一个和谐的社会/时永香编著. —北京：科学出版社，2015

ISBN 978-7-03-043218-6

I. ①细… II. ①时… III. ①人体细胞学-普及读物 IV. ①R329.2-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第022253号

责任编辑：刘 丹 闫小敏 / 责任校对：郑金红

责任印制：赵 博 / 封面设计：铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年3月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2015年3月第一次印刷 印张：13

字数：280 000

定价：35.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

序

——感悟细胞中的科学与哲学

时永香博士在多年的细胞生物学教学过程中感悟到“小细胞、大社会”的道理，并结合人类社会的运作与管理，通过多年通识课的教学实践，撰写了具有鲜明特色的《细胞：一个和谐的社会》一书，与教育部批准立项的两门有关细胞的通识视频公开课一同展示了细胞科学的魅力。

细胞是生命活动的基本单位，“其大无外，其小无内”。小细胞，大世界。细胞生命活动规律中处处闪耀着“智慧”的光芒，细胞是一个和谐社会。

细胞的配合是默契的。真核细胞中有很多细胞器和生命的分子，这些细胞器和分子各司其职，并精诚合作，永葆生命活力的青春。

细胞是一个信息社会。细胞之间的交流和信息传递有直接接触的，如通信连接；也有间接接触的，如突触结构；也有远距离通过信号分子的信息传递和信号转换。细胞之间能长期处于一种协调配合的状态与它们之间的沟通类型是密切联系的，或近或远，都是有一定规律的。

细胞生命的繁衍是继承、传承与发展。细胞在分裂过程中通过特定的遗传方式将母体细胞的特性继承下来，并且传递下去，一代又一代，在遗传的过程中也会重组和变异，不仅保证了世代的稳定性和连续性，同时产生生命多样性，也才有这井井有条和丰富多彩的世界。

细胞的高度体现在境界。在机体内不同组织间，细胞只有分工的不同，没有高低贵贱之分，不仅各自坚守岗位踏实工作，而且配合默契，成就了细胞的和谐和自在。细胞是“无我”的，因为无我，所以才成就了“大我”。

《细胞：一个和谐的社会》一书以细胞生物学基本内容为主干，并与中华优秀传统文化相融合，融人文与科学于一体，是一部越品越甘甜的佳作。

中山大学 王金发

2014年9月于康乐园

前 言

生命是细胞的属性，细胞是生命活动的最基本单位。一切生物体包括动物和植物都是由细胞构成的，万物之灵——人的生命是从一个细胞开始的。生命科学的各个领域无不与细胞建立了密切关系，细胞生物学在生命科学中处于核心地位，是许多院校生命科学学院的专业基础课，与农学、医学相互渗透，直接关系到人类的切身利益。

山东大学生物系（生命科学学院前身）是国内设立细胞生物学课程较早的单位，由韩贻仁教授编著的《分子细胞生物学》教材于1989年正式出版，被国内高校广泛采用，该教材于1992年被国家教育委员会评选为全国优秀教材一等奖。2012年，本教材第四版由科学出版社出版。山东大学细胞生物学课程的教师们始终本着“教书育人”的精神，恪守教师职责，重视教学，以学生为本，全心全意投身于教育事业，为培养国家栋梁尽心尽力。

编者自1992年于山东大学发育生物学专业毕业留校，在当时的生物系细胞生物学教研室主讲细胞生物学专业基础课。教学多年中，逐步领悟到细胞中蕴含的哲理。细胞是如此的智慧和自在！为人处世的道理在细胞中体现得淋漓尽致。团队意识、管理艺术、沟通技巧……在细胞生命活动中体现得恰到好处。著名的细胞学大师 Wilson 说过：“一切生物学问题的答案都要到细胞中去寻找”。编者的感受是：一切社会学问题的解决都可以从细胞中得到借鉴，细胞是构建和谐社会的活教材！因此，编者尝试以细胞为工具，将人格培养融入细胞生物学教学活动中。

2005年10月，编者在山东大学申请开设了全校素质教育通选课“细胞生命科学与人类社会”，2010年以该课程为基础，融入相关课程内容，申报山东大学通识教育核心课程——“细胞：一个和谐的社会”，首批获立项建设，旨在将细胞社会运行机制与中华优秀传统文化融合，引领学生认识细胞生命与人类社会和谐之道，以细胞为工具激发学生的成长动力，唤起“天下兴亡，我的责任”的使命感；在探索细胞和谐社会奥秘的过程中弘扬中华优秀传统文化，引导学生树立正确的人生观和价值观，塑造健全人格，有效规划人生，用有限的时间和精力使人生价值最大化。开课4年来，教学相长，逐步形成了完整的课程体系。

本书与山东大学通识教育核心课程——“细胞：一个和谐的社会”同名，介绍细胞基本结构与功能，突出细胞生命的整体性和细胞之间的关系及其在生物有机体生命活动中的重要作用，阐释细胞运行机制与社会行为规律其本质的一致性，从细胞生命的角度对国家政策和中华优秀传统文化及教育理论进行解读，并用科学的视野关注健康养生。

编者虽然参加过韩贻仁教授主编的第二版、第三版和第四版《分子细胞生物学》教材及吴梧桐教授主编的《生物技术药物学》的编写，但自己独立编书还是第一次。由于编者水平有限，本书中缺点和错误在所难免，衷心希望广大读者多多提出批评和建议。

时永香

2014年9月于山东大学

目 录

序——感悟细胞中的科学与哲学

前言

第一章 和谐社会话细胞.....	1
第一节 细胞的分子基础.....	1
第二节 水是生命之源.....	3
第三节 细胞的有机分子.....	6
第四节 细胞的基本特征	12
第五节 真核细胞	14
思考题	17
第二章 细胞遗传生殖中心——细胞核与遗传信息传递的中心法则	18
第一节 细胞核的基本结构	18
第二节 细胞核的全能性	24
第三节 细胞遗传信息传递的中心法则	25
思考题	30
第三章 细胞内膜系统与蛋白质的分选和定位	31
第一节 蛋白质的合成	31
第二节 物质供应站——内质网与蛋白质合成	36
第三节 交通枢纽——高尔基复合体与细胞分泌活动	38
第四节 真核细胞内的蛋白质转运和定位	41
第五节 蛋白质降解的蛋白酶体途径	44
第六节 细胞内任劳任怨的清道夫——溶酶体	45
思考题	52
第四章 细胞能量代谢与能量供应站——线粒体和叶绿体	53
第一节 细胞能量代谢的特点	53
第二节 叶绿体与光合作用	58
第三节 线粒体与氧化磷酸化	63
第四节 线粒体和叶绿体是半自主性细胞器	71
思考题	73
第五章 细胞的“骨骼”和高速公路——细胞骨架	74
第一节 细胞骨架的主要成分	74
第二节 细胞骨架的支架作用	82
第三节 细胞内的高速公路	83
第四节 运动着的细胞骨架	86
思考题	91

第六章 细胞膜及其对外交流与沟通	92
第一节 质膜的基本结构特征	92
第二节 质膜与物质运输	95
第三节 细胞通信	103
思考题	119
第七章 细胞之间的互作	121
第一节 细胞外基质与青春永驻	121
第二节 细胞连接	124
第三节 动物四大基本组织	127
第四节 人体器官和系统	130
思考题	135
第八章 细胞生命活动与个体发育	136
第一节 人的生命是从一个细胞开始的	136
第二节 胚胎早期发育命运图	144
第三节 胚胎发育过程中新模式的形成	145
第四节 细胞增殖与细胞周期	148
第五节 细胞分化	158
第六节 程序性细胞死亡（细胞凋亡）	162
第七节 人类胚胎基本发育过程	168
思考题	170
第九章 细胞癌变与癌症	171
第一节 癌细胞的特性	171
第二节 “油门”和“刹车”系统失灵	177
第三节 癌变的内因与外因	183
第四节 免疫监视与抗癌战争	186
思考题	188
第十章 免疫系统与健康养生	190
第一节 人体阵容强大的“军队”	190
第二节 人体忠实的“细胞卫队”	193
第三节 感冒背后的“战争”	195
第四节 健康养生	197
思考题	199
主要参考资料	200
致谢	201

第一章

和谐社会话细胞

我们的家园——地球，是我们生活的摇篮。我们赖以生存的生物圈生活着各种各样的生物，这些生物千姿百态，各具特色。如果我们把视界缩小，会发现：所有生物，无论大象还是蚂蚁，不管巨杉还是小草，它们都是由细胞构成的。细胞是生命有机体最基本的结构和功能单位，一切生命现象都是细胞活动的表现。生命并不神秘，实际上生命是细胞特有的属性，没有细胞就没有生命，也就不会有苍松翠柏、繁花似锦、鹰击长空、鱼翔水底、鸟语花香、莺歌燕舞……万物生机勃勃的景象！正是由于细胞具有这一独特的属性，从而使细胞在生命起源和个体发生过程中占有独特的地位。在生命起源过程中，细胞的诞生即伴随着生命的出现；在个体发生中，生物通过细胞进行繁衍和延续。

“其大无外，其小无内”。细胞是一个系统，细胞器在机能上相当于人体内的组织和器官，细胞的细胞器系统所运用的生化机制本质上与人类器官系统所运用的机制是完全一样的。虽然人体由数以万亿计的细胞组成，但我们体内没有哪一个机能是单细胞不曾表现过的“新”机能。每一个真核细胞都拥有在机能上相当于人类各器官系统的组成部分，如神经系统、呼吸系统、排泄系统、内分泌系统、肌肉和骨骼系统、循环系统、皮肤系统、生殖系统乃至原始免疫系统。对于人类社会这个大系统，如果把它当作一个有机体，家庭和企业就是构成社会的细胞。人类社会也可看作一个细胞，各级部门就是细胞器，个人是其中的一份子（相当于分子），人类社会这个大系统的运营机制必然可以从细胞中得到借鉴。

细胞是探索生命奥秘最方便的入口，细胞是微观与宏观最恰当的接点。早在 1925 年著名的细胞生物学家 Wilson 就指出“一切生物学问题的答案都要到细胞中去寻找”，笔者的感受是：一切社会学问题的解决都可以在细胞中找到答案。

第一节 细胞的分子基础

我们生存的环境是物质的世界。我们吃的、穿的、用的，肉眼所见的还有看不见的，统统都是物质。当然，构成生物体的细胞也不例外。

一、分子的量子基础

老子在《道德经》第一章中即言道“无名，天地之始；有名，万物之母。”笔者认为：文中所提及的“无名”指的是“无形无色，无知无碍”，实际上指的就是能源；“有名”实际上指的就是现象界的“物质”。而近代科学研究也充分印证了能量和物质间的关系，最有名的就是知名科学家——爱因斯坦提出的能量公式： $E=mc^2$ （ E 是能量， m 是质量， c 是光速）。

从与我们日常生活关系密切的量子物理角度来看，我们所接触到的物质，归根结底，可以说都是由原子组成的，原子是由原子核及其外带负电的电子构成，而原子核则由带正电的质子与中性的中子组成，电子在外，围绕着原子核旋转。而原子的质子数不同，组成不同原子序的元素，也就是我们在中学时所学的周期表中的一百多种元素。由于不同元素的电子波函数各有不同的波长和频率，形成不同的电子能态 (energy state)，而造就了不同的化学性质，所以我们也可以说各个元素皆以其特定的振动频率保持活动，从而产生不同的能量。将原子、原子核及电子三者的大小进行比较发现，原子核的体积很小，直径约为 1 飞米 (fm)，是原子直径的十万分之一，而电子更小。构成原子核的质子和中子是由夸克组成的，进一步研究发现夸克实际上是能源产生的。

20 世纪后期以来，物理学研究前沿领域——弦理论的发展，使我们对物质的看法更进一步。弦理论一个基本观点是：自然界的基本单元，如电子、光子、中微子和夸克等，看起来像粒子，实际上都是很小的弦的不同振动模式，正如小提琴上的弦。所有基本粒子，如电子、光子、中微子和夸克等，都是宇宙弦不同振动模式或振动激发态。简言之，若把宇宙看作是由宇宙弦组成的大海，那么基本粒子就像水中的泡沫，它们不断产生，也不断湮灭。在弦理论之中，过去认为是组成客观世界的基本粒子，现在都是宇宙弦上的各种“音符”。我们现实的物质世界，其实是宇宙弦演奏的一曲壮丽交响乐。

二、什么是分子

(一) 分子简介

从专业的角度——化学上看，分子是组成物质的一种基本单位，分子是能单独存在并保持物质的化学性质的最小粒子。分子是一个电中性、由多个原子组成的粒子，而原子之间因共价键而连接。

分子的概念最早是由意大利的阿莫迪欧·阿伏伽德罗提出的，他于 1811 年发表了分子学说，认为：“原子是参加化学反应的最小质点，分子则是在游离状态下单质或化合物能够独立存在的最小质点。分子是由原子构成的，单质分子由相同元素的原子构成，化合物分子由不同元素的原子构成。化学变化的实质就是不同物质的分子中各种原子进行重新结合。”

一个分子是由多个原子在共价键中通过共用电子连接在一起而形成的。它可以由相同化学元素的原子构成，如氧气 (O_2)；也可以由不同的元素构成，如水分子 (H_2O)。抽象地讲，一个单一原子也可当作是一分子 (单原子分子)，但在实际使用时，“分子”通常指的是多个原子的化学化合物。由分子组成的物质称分子化合物。

在热力学中，构成物质的分子 (如水)、原子 (如金)、离子 (如氯化钠) 在热力学上的表现性质都是一样的，因此，统称为分子。

分子是构成物质的微小单元，它是能够独立存在并保持物质原有的一切化学性质的较小微粒。分子一般由更小的微粒——原子构成。按照组成分子的原子个数可分为单原子分子，双原子分子及多原子分子；按照电性结构可分为有极分子和无极分子。不同物质的分子其微观结构形状不同，分子的理想模型是把它看作球型，其直径大小为 10^{-10} m 数量级。分子质量的数量级约为 10^{-26} kg。

(二) 分子的结构特征

分子结构或称分子立体结构、分子形状、分子几何，建立在光谱学数据之上，用以描述

分子中原子的三维排列方式。分子结构在很大程度上影响了化学物质的反应性、极性、相态、颜色、磁性和生物活性。分子结构涉及原子在空间中的位置,与键结的化学键种类有关,包括键长、键角及相邻3个键之间的二面角。

最简单的分子是氢分子,1g氢气包含 10^{23} 个以上的氢分子。一个水分子中2个氢原子都连接到一个中心氧原子上,所成键角是 104.5° 。分子中原子的空间关系不是固定的,除了分子本身在气体和液体中的平动外,分子结构中的各部分也都处于连续运动中。因此分子结构与温度有关。分子所处状态(固态、液态、气态、溶解在溶液中或吸附在表面上)不同,分子的精确尺寸也不同。

如果把分子看成一个静电平衡体系:电子和原子核的引力倾向于最大,电子间的斥力倾向于最小,各原子核和相邻原子中电子的引力也是很重要的。为了使负电中心的斥力减至最小,体系尽可能对称的排列,所以当体系有2个电子对时,它们呈线性排列(键角 180°);有3个电子对时呈三角平面排列,键角 120° 。

(三) 分子的基本特性

分子基本特性如下:

(1) 分子之间有空隙,有间隔。最好的证明就是:取50mL乙醇和50mL水,混合之后,体积却小于100mL。

(2) 一切构成物质的分子都在不停地做无规则运动。温度越高,分子扩散越快,固体、液体、气体中,气体扩散最快。由于分子的运动与温度有关,因此这种运动称为分子的热运动。同种分子化学性质相同,不同种分子化学性质不同。

(3) 分子很小,但有一定的体积和质量。

(4) 同种物质的分子性质相同,不同种物质的分子性质不同。

三、构成细胞的主要分子

正像细胞是构成生物的基本元件一样,化学分子是细胞的基本成分。

细胞中含有无机物和有机物。无机物中有大量的水,还有少量无机离子,包括 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 和 Cl^- 等。细胞中有机物达几千种之多,约占细胞干重的90%以上,它们主要由碳、氢、氧、氮等元素组成。

有机物有小分子、中等分子和大分子。小分子,包括大分子的单体,如核苷酸、氨基酸及葡萄糖、果糖、蔗糖等;中等分子,有脂类(lipid)、糖酵解等中间代谢产物;生物大分子,由几种称为单体(monomer)的若干小分子聚合而成,包括大量的蛋白质、糖类和少量的核酸(如DNA、mRNA、tRNA)等。

活细胞的生命活动表现为遗传、代谢和生理等活动,这些活动都与物质分子的有关化学反应有关,细胞每时每刻都在进行着成千上万的化学反应。细胞内的代谢和各种复杂的生理活动都遵守化学和物理规律,细胞的化学反应也涉及能量的转化。细胞是高度有序的复杂结构,要维持这样的有序结构也要消耗能量。细胞以化学反应为基础,进行“自我复制,自我装配,自我调节”。

第二节 水是生命之源

“水是生命之源”,这句话大家一定不陌生。在我们的家园——地球上,海洋、河流、湖泊占地球面积71%,地球上水的体积大约有 $1\,360\,000\,000\text{km}^3$;生命起源于水,水是人体

含量最多的一种营养素，占到人体重的 60%~80%。青壮年体内含水 70%（最接近地球含水之比例，与自然相仿，也是创造力最强的年华），婴儿体内含水达 80%，老年人体内也有 60% 的水。人体血液中所含水分占 83%；水在肌肉中占 76%；在心脏、肺脏中占 80%；在肾脏中占 83%；肝脏中占 68%；脑中占 75%；即使看起来很健壮、坚硬的骨也有 20% 以上的水。构成人体的基本成分是细胞，水在细胞中的重要地位显而易见。

一、水的性质

水分子 (H_2O) 是由两种不同的元素构成的小分子，由两个氢原子和一个氧原子构成。水分子是保持水的特性的最小单元，水是无色无味的液体。一个水分子可用电解法或其他方法分解成两个氢原子和一个氧原子，但这时它的特性已和水完全不同了。

水在细胞生命中以两种方式存在：一种是游离水，约占细胞总水量的 95%；另一种是结合水，通过氢键或其他键同构成生命的主要大分子物质——蛋白质结合，此种水占 4%~5%。

（一）水分子是偶极子

水分子中的 2 条共价键高度极化，电荷分布是不对称的，一侧显正电性，另一侧显负电性，从而表现出电极性，是一个典型的偶极子(图 1-1)。由于水分子具有这一特性，它既可以同蛋白质中的正电荷结合，也可以同负电荷结合。蛋白质中每一个氨基酸（构成蛋白质的结构单元）平均可结合 2.6 个水分子。

（二）水分子间可形成氢键

由于水分子是偶极子，因而在水分子之间和水分子与其他极性分子间可建立弱作用力的氢键。在水中每一氧原子可与另两个水分子的氢原子形成两个氢键（图 1-2）。氢键作用力很弱，因此分子间的氢键经常处于断开和重建的过程中。

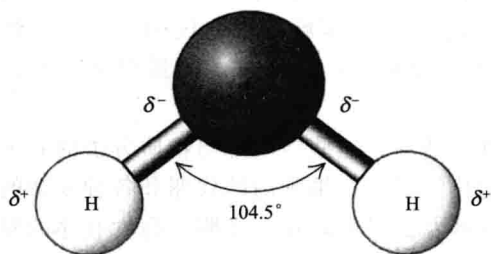


图 1-1 水分子偶极子示意图

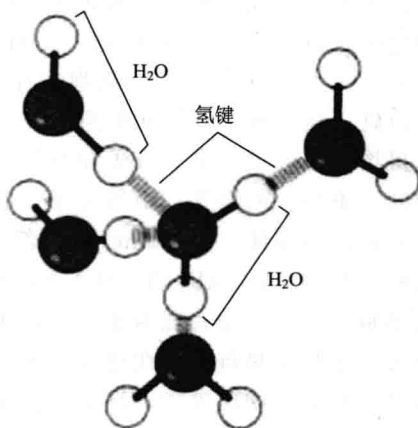


图 1-2 水分子间形成氢键示意图

由于水分子具有极性，产生静电作用，因而它是一些离子物质（如无机盐）的良好溶剂。例如，氯化钠 (NaCl) 溶于水中后， Na^+ 可吸引水分子中显负电性的 O^{2-} ，而 Cl^- 则可吸引显正电性的 H^+ ，因而在 Na^+ 和 Cl^- 周围分别形成了一层水（图 1-3）。

上面提到的 NaCl 就是我们日常生活一日三餐少不了的食盐的主要成分。用氯化钠和水配成 0.9% 的溶液就是被称为哺乳类的生理盐水。说明这一浓度很重要，动物体内的氯化钠

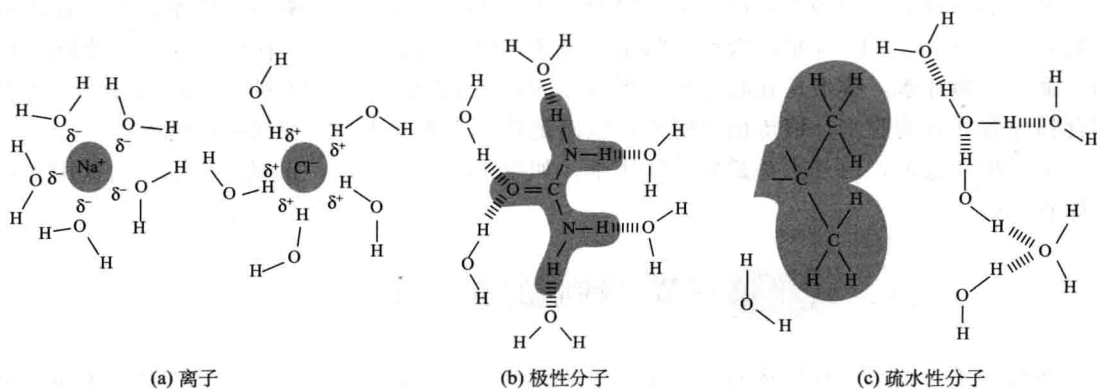


图 1-3 水分子与亲水性和疏水性分子相互作用关系

(a) 水分子可在离子周围形成水层；(b) 水分子可与亲水性分子形成氢键；

(c) 非极性分子为疏水性分子，不能与水分子形成氢键

有一定浓度，如哺乳动物体内的氯化钠浓度是 0.9%，只有在这一浓度下，我们体内的细胞才能保持等渗状态，也就是说我们体内的细胞只有在这一浓度下才不至于失水而收缩或吸水而膨胀，能够正常地存活。您是否留意到医院里护士在给患者输液时，是将所用的药品打到盛“生理盐水”的容器里再输到静脉血管里的。现在流行的干细胞疗法，干细胞培养达一定数量时，就是用生理盐水洗过后再保存在生理盐水中送达目的地，给患者注射。当然这一切要在无菌条件下进行。

谈到食盐，我们每天都要摄取，盐是体内不可缺少的物质。不过，每天摄入的食盐不宜过多。“中国居民健康膳食指南”中提到“建议每人每天食盐摄入量不超过 6g，包括酱油、酱菜、酱中的食盐量”。当然，好像没有多少家庭精确称量而使用食盐，仅仅是本着清淡的原则而已。否则，许多疾病会上身，部分高血压患者就是由口味重造成的。食用过量的盐，血管要增压压力来适应。只要适当减少日摄入食盐量，血压就有可能慢慢恢复正常。

(三) 水分子可解离为离子

水分子还有一个重要特性，可解离为氢氧根离子 (OH^-) 和氢离子 (H^+)。水分子电解不稳定，总处于分子与离子相互转化的动态平衡之中。水在标准温度和压力下自然电离出的 OH^- 和 H^+ 浓度的乘积 (水的离子积常数) 始终是 1×10^{-14} 。 H^+ 物质的量浓度变化直接对细胞生命的 pH 产生影响，因为 $\text{pH} = \lg (1/[\text{H}^+])$ 。通常 pH 是一个介于 0 和 14 之间的数。当 $\text{pH} < 7$ 时，溶液呈酸性，pH 越小，溶液酸性越强；当 $\text{pH} > 7$ 时，溶液呈碱性，pH 越大，溶液碱性也就越强；当 $\text{pH} = 7$ 时，溶液呈中性。但在非水溶液或非标准温度和压力条件下， $\text{pH} = 7$ 可能并不代表溶液呈中性，这需要通过计算该溶剂在此条件下的电离常数来确定其 pH 为中性的值。如，373K (100℃) 温度下， $\text{pH} = 6$ 为中性溶液。

二、水的功效和利用

生命源于水，没有水，任何生命都不可能存在。构成人体的细胞其组成成分 70% 以上是水。细胞每时每刻都在进行化学反应，水是化学反应的溶剂。没有水，生命的化学反应不可能发生，必然影响有机体的生命活动。人类许多亚健康状态和疾病都与体内缺水有关。由此可见，水对身体很重要，那么如何补充水分呢？喝什么水好呢？

早晨第一件事应当喝水，以纠正长时间睡眠产生的脱水，早晨喝两三杯水是最有效的倾泻剂；每天应喝 8~10 杯水；饭前应喝水，最佳时间是饭前 30min；任何时候，只要感觉口渴，都应立即补水，哪怕是在吃饭前；饭后 2.5h 应当喝水，以便顺利完成消化过程，纠正因食物分解导致的脱水；锻炼前应喝水，以满足排汗需要的水分；便秘时应喝水。

至于喝什么水，白开水是最好的饮用水。如果担心水源问题，正规厂家生产的饮用水对身体有好处。

第三节 细胞的有机分子

如前所述，细胞中有机物有小分子、中等分子和大分子。小分子，包括大分子单体，如核苷酸、氨基酸及葡萄糖、果糖、蔗糖等；中等分子，包括脂类、糖酵解等中间代谢产物；生物大分子，由几种称为单体的若干小分子聚合而成，包括大量蛋白质、糖类和少量核酸等。在细胞结构组成和生命活动过程中，糖类、脂类、蛋白质和核酸起重要作用。

一、糖类

细胞中的糖类既有单糖，也有多糖。细胞中的单糖是作为能源和糖类及与糖类有关的化合物的原料存在。重要的单糖为五碳糖（戊糖）和六碳糖（己糖），其中最主要的五碳糖为核糖，最重要的六碳糖为葡萄糖。葡萄糖不仅是能量代谢的关键单糖，而且是构成多糖的主要单体。

多糖在细胞结构成分中占有主要的地位。细胞中的多糖基本上可分为两类：一类是营养储备多糖；另一类是结构多糖。

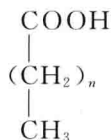
营养储备多糖是作为食物储备的多糖，主要有两种，在植物细胞中为淀粉（starch），在动物细胞中为糖原（glycogen）。淀粉在绿色细胞中是沉积在叶绿体内，在根、茎的无色细胞中则沉积在无色的白色体（leucoplast）内，白色体是质体的一种，沉积有淀粉的白色体称为造粉体（amyloplast）。淀粉粒呈颗粒状，在光学显微镜下即可见到。淀粉粒中有两类分子，都是由葡萄糖经 α -1,4-糖苷键连接而成的多糖。根据糖链是否分支，淀粉分为直链淀粉（amylose）（每一直链分子含有 250~300 个葡萄糖单元）和支链淀粉（amylopectin）（每一支链是由 24~30 个葡萄糖单元以 1,4-糖苷键连接成的多糖链，各支链间又以 1,6-糖苷键相连）两类。动物细胞中的储存多糖是糖原，又称动物淀粉。糖原存在于细胞质中，肝细胞中特别丰富。糖原分子结构与支链淀粉类似，也是由 1,4-糖苷键连成的多糖支链，再以 1,6-糖苷键相结合。此外，在某些植物中，由果糖单元构成的菌粉，也是一种营养性多糖。

构成结构多糖的糖单元，有的是葡萄糖，有的是含氨基的葡萄糖。在真核细胞中的结构多糖主要有纤维素（cellulose）和几丁质（chitin）。纤维素是生物合成最丰富的大分子，是构成细胞壁的主要成分，是由约 8000 个葡萄糖单元经 β -1,4-糖苷键连成的不分支的多糖链。多糖链折叠成原纤维，再组成束。几丁质是昆虫和甲壳类等无脊椎动物外骨骼的主要成分，也是构成许多真菌细胞壁的成分。

二、脂类

细胞内脂类化合物不构成大分子，种类很多，包括脂肪酸、中性脂肪、类固醇、蜡、磷酸甘油酯、鞘脂、糖脂、类胡萝卜素等。脂类化合物的一个重要属性是难溶于水，而易溶于非极性的有机溶剂中。

脂肪酸在细胞和组织中含量非常少，它的重要性在于它是组成若干种脂类物质的基本成分。脂肪酸分子是不分支的烃链，有一端为羧基。分子的通式是：



分子的羧基端具有高度极性，是水溶性的，烃链部分高度非极性，为水不溶性。因此，脂肪酸分子与水发生作用时，以亲水性的羧基伸入水中，而分子的烃链则伸在水表面的外面。脂肪酸分子中碳氢链的结构形式具有很重要的生物学作用。有的脂肪酸碳氢链的碳原子之间全部为单键，此类脂肪酸是饱和脂肪酸 (saturated fatty acid)；而另一些脂肪酸的碳氢链中含有一个或几个双键，是不饱和脂肪酸 (unsaturated fatty acid)。两类脂肪酸的化学性质有明显的不同。例如，不饱和脂肪酸的熔点要比饱和脂肪酸的低，所有的不饱和脂肪酸在室温下都处于液态，流动性比饱和脂肪酸的大。不饱和脂肪酸的构型就像一个站立的人处于稍息状态 [图 1-4(a)，图 1-4(b) 右侧那条链]，饱和脂肪酸的构型就像一个站立的人处于立正状态 [图 1-4(a)，图 1-4(b) 左侧那条链]，显然人在稍息时比处在立正的状况下更容易活动而执行接下来的动作。此外，脂肪酸碳氢链的长度和双键的位置对脂肪酸的性质也有很大的影响。脂类物质是构成生物膜的基本物质 [图 1-4(d)]。

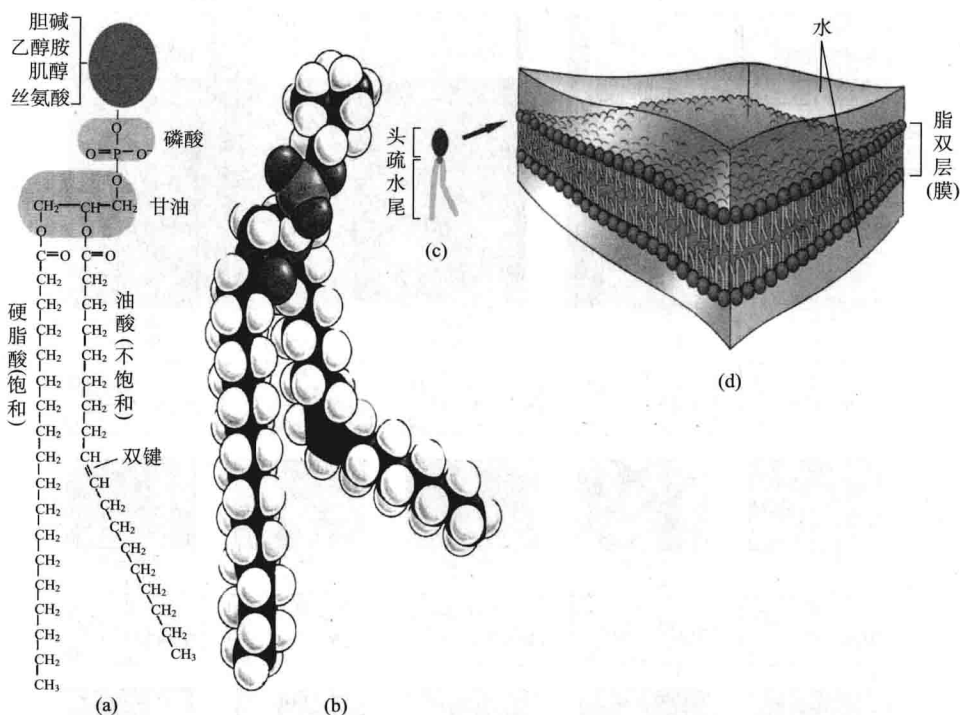
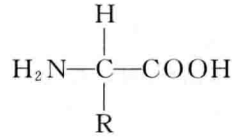


图 1-4 脂分子的属性与生物膜的构成

三、蛋白质

在生命活动中，蛋白质是一类非常重要的大分子，最大吸收波长 280nm，几乎各种生命活动皆与蛋白质的存在有关。在人类社会，每个人的角色就相当于细胞中一个蛋白质分子

的作用。蛋白质不仅是细胞的主要结构成分，而且更重要的是，调节细胞代谢活动的生物催化剂很大一部分是蛋白质性质的酶。一个细胞中约含有 1 万种蛋白质，分子的数量达 10^{11} 个。蛋白质是由氨基酸组成的，氨基酸皆含有一 COOH 基，本质上是一类有机酸。在邻接 COOH 基的 α 碳原子上还结合有氨基 (NH_2) 和一条 R 侧链。氨基酸的通式为：



生物体内构成蛋白质的基本氨基酸有 20 种，根据 R 侧链性质不同，把这 20 种氨基酸分 4 类：非极性 R 基、不带电荷极性 R 基、带正电荷极性 R 基、带负电荷极性 R 基 (图 1-5)。

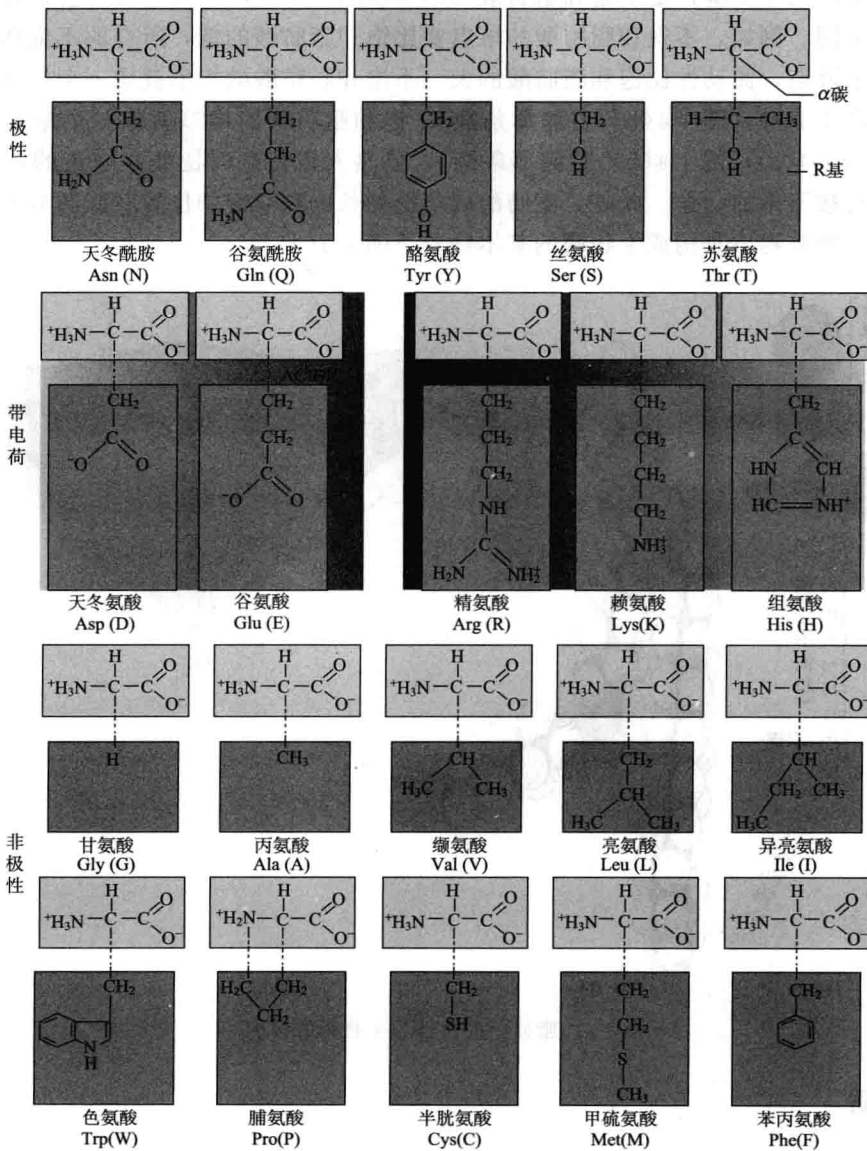


图 1-5 20 种氨基酸的基本性质

肽链中的碳原子连有一个氧原子，而氮原子共价结合有氢原子，氧原子略显负电性，而氢原子略显正电性，故肽链可通过链内建立氢键而形成 α 螺旋和 β 折叠。链内形成的这种立体结构称为二级结构（secondary structure）。 α 螺旋对蛋白质行使功能至关重要。

成熟蛋白质具有一定的三级甚至四级结构，在结构中形成了结构域（motif）和功能域（domain）并发挥作用。然而，结构域与功能域发挥的作用有所不同。结构域一词来自英文名词 motif，是指在蛋白质中可以辨认的三维结构成分，可作为蛋白质分类的依据。如一些 DNA 结合蛋白存在锌指结构域（zinc finger motif），12 个氨基酸形成 β ， β 中含 4 个氨基酸（2 个半胱氨酸-2 个组氨酸或 4 个半胱氨酸），直接与一锌原子配位。锌指直接插入 DNA 起作用。功能域是蛋白质结构中具有独特三级结构的折叠致密区。往往根据其功能和活性命名，如 DNA 结合域、ATP 结合域等。例如，Src 蛋白就含有 4 个功能域，其中有两个具有蛋白质激酶的作用，另外两个为具有调节功能的 SH2 和 SH3 功能域（图 1-6）。有的蛋白质是由几条肽链构成，形成了四级结构（quaternary structure），如抗体分子就是由 4 条折叠肽链通过几种作用力（包括二硫键）结合而成的。

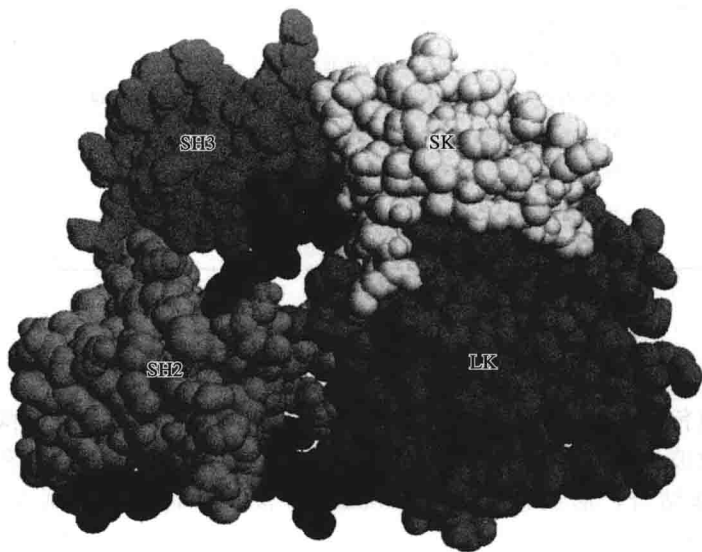


图 1-6 Src 蛋白的功能域结构模式图

SH2 和 SH3 为 Src 同源性功能域；SK 为小蛋白质激酶域；LK 为大蛋白质激酶域

生物体和无生命存在物的区别在于：生物体能活动，它们是活生生的。驱使它们活动的能量被用于标志着生命系统的“工作”，如呼吸、消化和肌肉收缩等。为了了解细胞和生命的本质，我们必须首先了解蛋白质“机器”为何能活动和如何活动。

蛋白质的最终形状，或说构象，反映了蛋白质分子中电磁电荷的一种平衡状态。然而，若蛋白质中的正电荷和负电荷被改变，则蛋白质主链会积极地扭曲、调整自己，以容纳电荷的新分布。蛋白质里的电磁电荷分布能够被一些过程有选择性地改变，包括其他分子的结合或像激素这样物质的结合；酶去除或者带电离子的增加；或电磁场干预，如手机辐射。

构象变形的蛋白质是令人叹为观止的奇迹，因为它们精确、三维的形状会令其能和其他蛋白质连接。当一个蛋白质遇到一个身为物理和能量补充物的分子时，两者结合在一起，就像有连锁装置的人造产品，如老式手表。我们可以在视觉上把蛋白质想象成手表配件，在这

个金属——蛋白质的“机器”中，我们可以想象蛋白质 A 的转动引起蛋白质 B 的转动，因此又引起蛋白质 C 的活动。我们想象的这一蛋白质“机器”是共同组成细胞的成千上万个相似的蛋白质装配中的一个！

协作创造特定生理功能的细胞内蛋白质聚集到我们称为“通路”的特定装置中，细胞利用这些蛋白质装配机器的活动来发动特定的新陈代谢和行为功能。蛋白质的构象改变活动永不停止，每一秒内可发生几千次，这些活动便是生命的推动力。

人也一样，生命呈现的状态不同，所起的作用肯定不同。坐着和站着，干的活会有区别；不同的知识结构和人生阅历，能胜任的工作也不一样。调整到最佳状态，才能最好地发挥作用。人与人之间要相互合作组成团队才能更好地实现自我价值。

像我们人类一样，诸多蛋白质在各自的岗位上各尽其职，保证细胞生命活动的正常运行。细胞中蛋白质的种类在 1 万种以上。根据蛋白质功能的不同，可分为 7 类（表 1-1）。

表 1-1 细胞中蛋白质的基本类别

蛋白质类型	功能
酶	分别催化特定的化学反应
结构蛋白	强化和保护细胞和组织，如细胞外基质的各种蛋白质
储藏蛋白	储存的营养蛋白，如植物种子的醇溶蛋白（zein），动物卵中的卵清蛋白
运输蛋白	穿膜运输专一性物质的跨膜蛋白
调节蛋白	调控专一基因表达的蛋白质；某些蛋白质激素
运动蛋白	参与细胞运动的蛋白质，如肌动蛋白、肌球蛋白
保护蛋白	抵御异物入侵的蛋白质，如免疫球蛋白

四、核酸

核酸是生物遗传信息的载体分子，所有生物都含核酸。核酸是由核苷酸单体聚合而成的大分子，最大吸收波长 260nm。核苷酸皆由一个核糖（戊糖）、一个碱基和磷酸基（ PO_4^{3-} ）组成。核糖和碱基结合，形成核苷（nucleoside）。核苷结合上磷酸成为核苷酸（nucleotide）。

碱基共有 5 种：胞嘧啶（cytosine, C）、鸟嘌呤（guanine, G）、腺嘌呤（adenine, A）、胸腺嘧啶（thymine, T, DNA 专有）和尿嘧啶（uracil, U, RNA 专有）。

根据碱基（嘧啶或嘌呤）的性质不同，核苷可分为两类：嘧啶核苷（pyrimidine nucleoside）和嘌呤核苷（purine nucleoside）。由于戊糖 2 位碳原子上连接的基团不同（—OH 或 —H），核苷酸又分为核糖核苷酸（—OH）（ribonucleotide）和脱氧核糖核苷酸（—H）（deoxyribonucleotide）两大类，并分别构成核糖核酸（ribonucleic acid, RNA）和脱氧核糖核酸（deoxyribonucleic acid, DNA）两种核酸。

DNA 与 RNA 的主要差别是 DNA 在戊糖的 2 位碳上连接的是氢原子，而不是羟基。虽然 RNA 和 DNA 在糖链分子结构上只有一个原子之差，但是它们在化学性质和生理功能上却有很大的差异，如在分子合成途径、基因表达方式等方面皆有所不同。

核酸中皆含有磷酸基，故显酸性。核酸分子链是通过由核苷酸中 5' 磷酸根同相邻核苷酸的 3' 核糖间形成磷酸二酯键相连而成的，从而使核酸分子链具有 5' 端和 3' 端的方向性，核酸分子链这一结构特点对核酸分子链的聚合反应和编码序列至关重要。