

医学生物学

高等医药院校选用教材
(供中医、针灸、推拿专业用)

上海中医学院
江西中医学院
南京中医学院
浙江中医学院
编 著

上海中医学院出版社

医 学 生 物 学

编写单位：上海中医学院 江西中医学院
南京中医学院 浙江中医学院

上海中医学院出版社出版发行
(上海零陵路 530 号)

新华书店上海发行所经销
常熟周行联营印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 12.5 字数 320,000
1988 年 8 月第 1 版 1988 年 8 月第 1 次印刷
印数 1—12,000

ISBN 7-81010-054-8/R·53 定价：2.10元

前 言

1986年4月在福州市召开有18所院校参加的全国中医学院生物学科协作会议提出,为适应当前教学改革的要求,应该有一本较能体现中医学院特点,为多数单位所采用的生物学教材。会议讨论并确定了教材编写要点,推荐上海、江西、南京、浙江等四所中医学院为编写单位,聘请上海医科大学许由恩教授、上海中医学院副教授严世芸为主审。会后四校制定了教材的编写大纲。

国家教委规定本课程为54学时,本教材内容略为放宽,各校可根据不同情况自行取舍。因有关章节有相对独立性,既可连贯讲授,也可作选择安排。

全书共四章,其中绪论(2学时)、医学细胞学基础(10~12学时)由上海中医学院丁镛发、王维俭编写,医学遗传学基础(12~14学时)由江西中医学院陶学训编写,生物学与中药资源(8~10学时)由浙江中医学院金貽郎编写,时间生物学与全息生物学(8~10学时)由南京中医学院宋为民编写。教材中的小字印刷部分,为学有余力的学生作自学参考,不作教学要求。实验指导部分(14学时)由上海中医学院、江西中医学院整理,各校可根据条件选择其中几个。

限于编者水平,所编内容难免有错误与不妥之处,务请读者提出意见。

编 者

1987.12

目 录

绪 论

第一章 医学细胞学基础

第一节 细胞的化学组成..... 1

一、蛋白质..... 1

(一) 蛋白质的分子组成 1

(二) 蛋白质的立体结构 2

二、核酸..... 4

(一) 核酸的组成 5

(二) 核酸的种类 5

(三) DNA的结构与功能..... 6

(四) RNA的结构、种类与功能 7

(五) 某些特定作用的核苷酸 7

第二节 细胞的结构及其功能..... 9

一、细胞形态结构概况.....10

(一) 细胞形态、大小的多样性.....10

(二) 细胞内部构造的分部10

二、细胞膜.....13

(一) 细胞膜的结构13

(二) 细胞膜的功能15

1. 细胞膜与细胞内外物质的运输15

2. 细胞膜与受体18

3. 细胞膜抗原19

三、细胞质.....19

(一) 细胞质基质20

(二) 线粒体20

(三) 内质网22

(四) 核蛋白体24

(五) 高尔基复合体25

(六) 溶酶体26

(七) 细胞骨架28

(八) 中心体29

四、细胞核.....	30
(一) 细胞核的结构	30
1.核膜(30) 2.染色质(31) 3.核仁(33) 4.核基质(34)	
(二) 细胞核的功能	34
五、细胞的整体性.....	34
第三节 细胞的增殖	35
一、细胞增殖过程.....	35
(一) 间期	35
1、DNA合成前期(G_1 期).....	35
2、DNA合成期(S期)	36
3、DNA合成后期(G_2 期)	37
(二) 丝裂期	37
二、细胞增殖的调节.....	39
(一) 细胞的原有状态	39
(二) 同类细胞间影响	40
(三) 整体调节作用	40
第四节 细胞的分化、衰老与死亡	41
一、细胞分化的概念与可能机制.....	41
二、细胞衰老的特点及关于细胞衰老的假说.....	42
第二章 医学遗传学基础	
第一节 概述	44
一、遗传性疾病的基本概念.....	44
(一) 遗传病的定义	44
(二) 遗传病的特点	44
(三) 遗传病与先天性疾病、家族性疾病以及由突变引起的疾病的关系.....	45
(四) 遗传性疾病的分类	45
二、祖国医学关于人类遗传的论述.....	46
三、医学遗传学的任务.....	47
第二节 细胞遗传学及染色体疾病	48
一、减数分裂.....	48
(一) 减数分裂的定义	48
(二) 减数分裂的特征	48
(三) 减数分裂过程及各期变化特点	48
1. 前减数分裂期	48
2. 第一次减数分裂	48

3. 第二次减数分裂	49
(四) 减数分裂的生物学意义	49
二、人类配子发生过程	52
(一) 精子的发生	52
(二) 卵子的发生	52
(三) 受精	52
三、人类的性别决定	52
四、人类染色体	53
(一) 人类染色体制备技术	53
(二) 人类染色体的形态特征	53
(三) 核型分析及显带技术	55
1. Q带(55) 2. G带(56) 3. C带(57)	
(四) 性染色质及其应用	57
(五) 染色体畸变与染色体疾病	57
1. 染色体数目畸变	57
2. 染色体结构畸变	60
3. 染色体畸变引起的常见疾病	60
第三节 单基因性状遗传与单基因病	64
一、单基因性状遗传的概念	64
二、常用的系谱分析符号	64
三、单基因性状(疾病)的遗传方式	64
(一) 常染色体显性遗传(AD)	64
1. 完全显性	65
2. 不完全显性	66
3. 共显性	66
(二) 常染色体隐性遗传(AR)	67
1. 遗传特点	67
2. 近亲婚配	68
(三) 性连锁遗传(SL)	70
1. X连锁隐性遗传	70
2. X连锁显性遗传	72
3. Y连锁遗传	72
四、两种单基因性状(疾病)的伴随遗传	73
(一) 受孟德尔自由组合律制约	73
(二) 受摩根连锁与互换律制约	73
第四节 多基因遗传与多基因遗传病	74
一、多基因性状遗传的概念	74

二、多基因性状遗传的特点	75
三、多基因遗传病	75
(一) 易患性与阈值	75
(二) 遗传度	76
(三) 多基因遗传病复发风险的估计	76
第五节 遗传病的诊断和优生措施	77
一、遗传病的诊断	77
(一) 遗传病的症状与体征	77
(二) 系谱分析	77
(三) 染色体和性染色质检查	77
(四) 生化检测	78
(五) 杂合子检出	78
(六) 皮纹分析	79
二、优生措施	80
第六节 遗传的分子基础	81
一、基因的本质—DNA	81
二、DNA复制	82
三、基因表达	83
(一) 转录过程	83
(二) 翻译过程	84
1. 遗传密码	84
2. 遗传信息的翻译	85
(三) 中心法则及其发展	85
四、基因概念的新发展	86
五、基因的调控	87
六、基因突变	87
(一) 基因突变的概念	87
(二) 基因突变的特征	88
(三) 基因突变的影响与环境因素	89
(四) 基因突变的作用机制	89
(五) 基因突变的修复	89
七、群体中的基因	90
(一) 基因频率	90
(二) Hardy-Weinberg定律	91
第七节 遗传工程简介	92
一、目的基因的分离与合成	92

二、载体的选择.....	93
三、限制性内切酶与连接酶.....	93
四、导入细胞后筛选基因产物.....	94
五、基因工程实例.....	94

第三章 生物学与中药资源

第一节 生物的分类.....	97
----------------	----

一、我国的《本草学》与生物分类学.....	97
二、生物的分界和分类等级.....	97
(一) 生物分界的简况	97
(二) 分类等级	98
三、生物分类的方法.....	98
(一) 物种的概念	98
(二) 种的命名方法	99
(三) 中药生物种名的鉴定	99

第二节 生物界的主要类群及进化机理	100
-------------------------	-----

一、前细胞生物	100
二、细胞生物	101
(一) 原核生物界.....	101
(二) 真核原生生物界.....	101
(三) 真菌界.....	101
(四) 植物界.....	101
(五) 动物界.....	102
三、生物进化的机理	102
(一) 达尔文的自然选择学说	102
(二) 综合性进化学说	102

第三节 药用植物概述	104
------------------	-----

一、药用植物研究简况	104
(一) 药用植物资源的研究.....	105
(二) 药用植物专科专属的研究.....	105
(三) 药用植物化学成份的研究.....	105
二、药用植物的主要资源	106
(一) 药用藻类植物.....	106
(二) 药用苔藓和蕨类植物.....	106
(三) 药用种子植物.....	107
三、药用植物与环境	107
(一) 气候因素.....	108

(二) 地貌因素.....	108
(三) 土壤因素.....	108
第四节 药用动物概述	108
一、动物的进化概况	108
(一) 各类动物的系统演化.....	108
(二) 无脊椎动物与脊椎动物.....	109
(三) 脊索动物与脊椎动物.....	110
二、药用无脊椎动物资源	112
(一) 药用海绵动物.....	112
(二) 药用腔肠动物.....	112
(三) 药用环节动物.....	113
(四) 药用软体动物.....	113
(五) 药用节肢动物.....	114
(六) 药用棘皮动物.....	115
三、药用脊椎动物资源	116
(一) 药用鱼类.....	116
(二) 药用两栖类.....	118
(三) 药用爬行类.....	118
(四) 药用鸟类.....	119
(五) 药用哺乳类.....	120
四、有毒动物的药用及中毒防治原则	121
(一) 有毒动物的种类.....	122
(二) 动物毒素的毒理.....	123
(三) 动物毒素中毒的诊断.....	126
(四) 动物毒素中毒的防治原则.....	127
第五节 生态系与生态平衡	128
一、生物圈和生态系的概念	128
二、生态平衡与人类生存	130
(一) 自然资源的破坏.....	130
(二) 环境污染.....	131
(三) 人口爆炸.....	131
 第四章 时间生物学和全息生物学	
第一节 时间生物学	132
一、什么是时间生物学	132
(一) “时间”概念的重要性.....	132
(二) 平衡概念的局限性.....	132

(三) 开放系统的概念.....	132
(四) 环境的节律性.....	133
(五) 生物的节律.....	133
(六) 时间生物学的诞生及其发展.....	135
二、生物节律学说	136
(一) 什么叫节律.....	136
(二) 节律的基本形态.....	136
(三) 节律的类型.....	137
(四) 生物节律的特点.....	138
(五) 影响节律的因素.....	139
(六) 节律的机制.....	141
三、人的生物学时间	144
(一) 人的整体和细胞水平的节律.....	144
1. “头部时钟”与“脑力定型”	144
2. 睡眠—觉醒节律	145
3. 心跳和体温节律	146
4. 体力、情绪和智力节律	146
(二) 人体分子水平的节律.....	147
1. 激素分泌节律	147
2. 血液成分的节律变化	147
3. 免疫反应的节律	148
4. 酶活性的节律	148
5. 核酸、环核苷酸的节律	148
(三) 病理变化的节律.....	149
四、节律学说的意义	149
(一) 哲学意义.....	149
(二) 实践意义.....	150
(三) 对医学的意义.....	150
第二节 全息生物学	150
一、穴位分布的全息律	150
二、生物全息律	153
三、泛胚论	154
四、全息胚学说	155
五、全息生物的理论和实践意义	155
第五章 医学生物学实验指导	
第一节 生物学的作图要求及方法	156
第二节 实验指导	156

一、显微镜的使用和细胞的基本结构	156
二、细胞的有丝分裂	160
三、细胞的减数分裂	163
四、蟾蜍解剖	164
五、家兔解剖	171
六、小鼠骨髓细胞染色体制备方法	178
七、人体染色体核型分析	179
八、人体 X 染色质检查方法	181
九、人体免疫学性状遗传——ABO 血型的遗传	182
十、人体皮肤纹理分析	184

第一章 医学细胞学基础

细胞 (cell)是具有生命现象的生物体(包括人类)结构与功能的基本单位。细胞由什么组成?细胞的结构又如何?那些组成与结构在细胞的代谢活动中有何重要作用?这些都是我们在研究生命现象时必须了解的基本问题。

第一节 细胞的化学组成

组成细胞的物质统称为原生质(protoplasm),又叫生命物质。分析各种原生质的化学成分,发现它们都含有碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、硫(S)、钙(Ca)、氯(Cl)、钾(K)、钠(Na)、镁(Mg)、铁(Fe)等元素。此外还有铜(Cu)、锌(Zn)、碘(I)、钡(Ba)等微量元素(表1—1)。这些元素在生物体内并非单独游离存在,而是以化合物形式结合在一起,包括无机化合物和有机化合物两大类。无机化合物如水和无机盐(inorganic salt);有机化合物如碳水化合物(carbohydrate)、脂类(lipid)、蛋白质(protein)、酶(enzyme)、核酸(nucleic acid)、维生素(vitamin)、激素(hormone)等。其中核酸、蛋白质与酶因分子量巨大,又叫生物大分子。无机化合物与有机化合物都以一定种类、数量,一定的结合方式参加细胞结构与代谢活动。本节简单介绍蛋白质与核酸的结构和功能。

表 1—1 组成生命物质的元素

元素	O C H N	Ca P	S Cl Na K Mg Fe	Cu Mn Zn Co I F Mo Si V Cr Sn Se 等
重量	65 18 10 3	2 1	0.9	0.1
%	96	3	1	

一、蛋白质

蛋白质是种类最多,功能最复杂的生物大分子。它是细胞结构的主要成分,也是一切生物体的主要成分;同时,它对细胞的新陈代谢与生理机能起着至关重要的作用。如已知在代谢中起调节作用的激素大多是蛋白质,在代谢中起催化作用的酶几乎都是蛋白质,近年来发现的对细胞增殖与分化起重要作用的生长因子(growth factor)也是蛋白质。

(一) 蛋白质的分子组成

蛋白质是由氨基酸(amino acid)聚合而成的大分子物质。组成人体蛋白质的氨基酸有20种,都是含有氨基的有机羧酸。每个氨基酸分子既带有碱性的氨基($-\text{NH}_2$),又带有酸性的羧基($-\text{COOH}$),是典型的两性化合物。氨基酸的通式如图1—1。

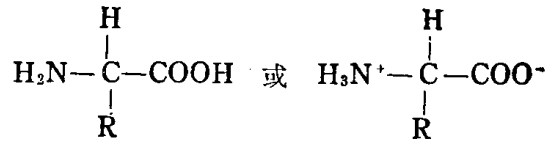


图 1-1 氨基酸分子结构的通式

通式中R表示某种化学基团,因不同氨基酸而异。20种氨基酸结构的区别也就在于R基团的不同,如甘氨酸的R基团是一个H原子,丙氨酸的R基团是一个甲基(—CH₃)等等(图1-2)。

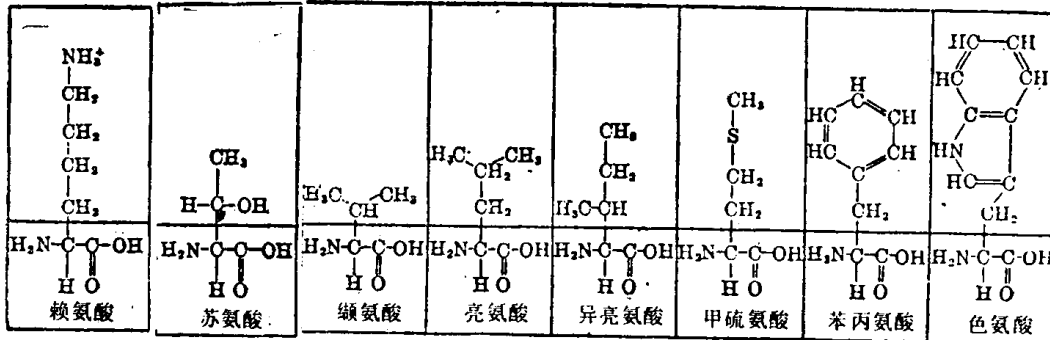


图 1-2 人体若干必需氨基酸的结构

由氨基酸聚合而成的化合物叫肽(peptide),二个氨基酸聚合成二肽,三个氨基酸聚合成三肽,依次类推。由多个氨基酸聚合而成的化合物叫多肽,因它具有链状结构,所以又叫多肽链。

氨基酸是通过特定的化学键——肽键(peptide bond)相互连接起来的。肽键是由一个氨基酸的羧基与相邻氨基酸的氨基结合,脱去一个水分子而形成的化学键 $\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{H} \\ || \quad | \\ (-\text{C}-\text{N}-) \end{array}$ (图1-3)。

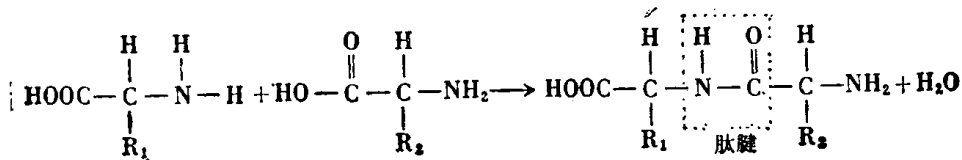


图 1-3 肽键的结构

多肽链就是由许多氨基酸按一定排列顺序,通过肽键依次缩合而成的化合物,它是蛋白质的基本结构,又叫一级结构(图1-4)。多肽链上氨基酸的种类、数目和排列顺序,决定了蛋白质一级结构的多样性,并影响着以后高级结构的性质。如果把一系列的肽键联系看成是多肽链的主链,那么从各个R基团上伸出的便是多肽链的侧链。这些侧链对蛋白质的特异性起着重要的作用。

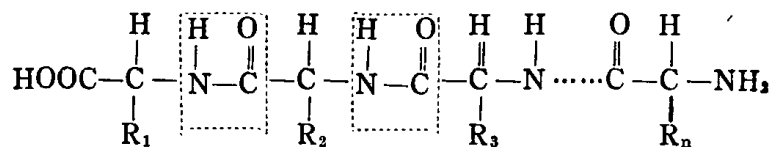


图 1-4 多肽链的结构

(二) 蛋白质的立体结构

蛋白质分子可能只含有一条多肽链,也可能含有几条多肽链。但所有蛋白质分子有一

个共同点，即它们必定具有一定的空间立体构型。这个立体构型是在一级结构基础上进一步按特定方式形成的，包括二级结构、三级结构、四级结构(图1—5)。

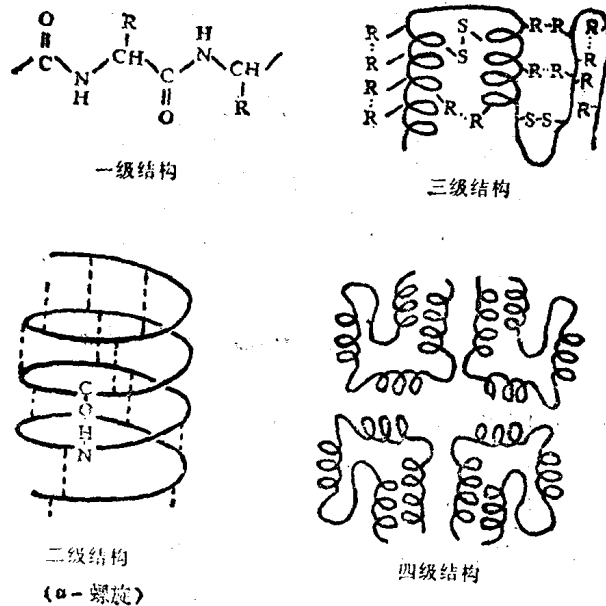


图 1—5 蛋白质分子的空间结构示意图

二级结构是多肽链以氢键而形成的螺旋或折迭立体构型。所谓氢键是指多肽链上一个〔氨基酸残基—NH—中的H，与位置相近的另一个氨基酸残基上—CO—中的O，以静电相互吸引而形成的较不牢固的连接。

三级结构是在二级结构基础上，按一定方式再行盘曲、折迭而形成的立体构型。此构型主要靠多肽链的侧链之间形成一定的连接来维持，这种连接除氢键外还有离子键(侧链中正负电荷相吸的连接)，疏水键(侧链中疏水基团间的粘附连接)等。蛋白质分子一般具有了三级结构，就能表现出其生物特性。

四级结构。有些蛋白质具有更高级的立体构型，其分子结构中包含着若干个由三级结构组成的亚单位，这些亚单位分离时多无生物特性，只有以一定方式连接成完整的四级结构，才表现出生物特性。如人的血红蛋白分子，由四条三级结构的多肽链组成，其中两条各有141个氨基酸，叫 α 链；另两条各含有146个氨基酸，叫 β 链。

蛋白质的空间结构使多肽链上侧链的某些基团形成活性中心，保证了蛋白质的各种特定生物特性。但是，蛋白质的空间结构又是可以改变的，尤其是酶蛋白分子的空间结构，可受底物或变构剂的影响而发生改变，以致影响其生物活性改变。蛋白质的这种构型改变被称做“变构”，它不影响到蛋白质的一级结构，而只发生空间结构变化。由于“变构”，使蛋白质分子的功能在一定条件下可以是活跃的，而在另一种条件下又可能是潜藏的，这也正是生命体系代谢过程自发调节的重要分子基础之一(图1—6)。

(三) 蛋白质的种类及其功能

如按组成的成分区分，蛋白质可分为单纯蛋白与结合蛋白两类。单纯蛋白仅由氨基酸组成，如乳和卵中的白蛋白，血清和肌肉中的球蛋白等。结合蛋白则由单纯蛋白和辅基(如核酸、脂类、糖类、色素等)结合而成，如核蛋白、脂蛋白、糖蛋白、色蛋白、磷蛋白等。生物

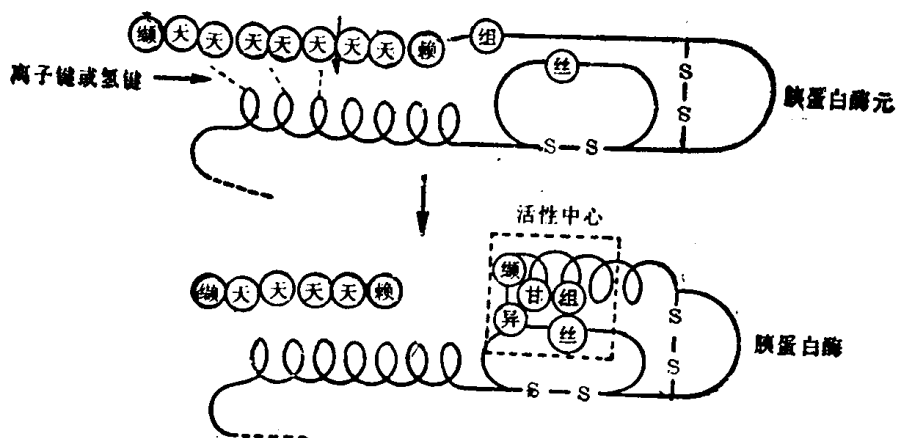


图 1-6 酶的活性与分子构型的关系示意图

(胰蛋白酶原受肠激酶或胰蛋白酶本身作用后,从末端切去一个六肽,酶分子空间构型改变,活性中心形成。)

体中的蛋白质大多以结合蛋白的形式存在,其中以核蛋白最重要。

如按分子形状分,蛋白质可分为纤维蛋白与球蛋白两大类。前者如毛发中的角蛋白、血浆中的纤维蛋白等,后者如红细胞中的血红蛋白、血清中的球蛋白等。

有时根据蛋白质在生命活动中的主要作用,而将它们分为:

结构蛋白(structural protein),它是细胞结构及机体各种组织的主要成分,占人体干重的一半左右。但事实上,许多结构蛋白既参与了细胞形态结构的维持,又执行着某些重要的生理功能,因此严格讲,结构蛋白这一名词不是绝对的。

催化蛋白(catalytic protien),即酶(enzyme),人体内的每一步代谢反应都离不开酶的催化作用,已发现的酶几乎都是蛋白质。酶的作用有三个特点:一是高效的催化能力,一般无机催化剂难以与之相比。如一克分子过氧化氢酶能催化分解 5×10^6 克分子 H_2O_2 ,而在同样条件下每克铁离子只能催化水解 6×10^{-4} 克分子 H_2O_2 ,两者效力相差 10^{10} 倍之多。二是高度专一性,一种酶只能作用于某一特定化合物,细胞内的每一步代谢反应都必须有特定的酶参与催化。三是高度不稳定性,酶的功能有赖于酶分子一定的立体构型,任何引起酶分子构型变化的因素,都将影响酶的活性,或起抑制作用,或起促进作用。在实际工作中对血液、生物制品、菌种的低温保存,临床的低温疗法、加热灭菌等,就是考虑到了温度对酶活性的影响。

和其他蛋白质一样,有的酶由单纯的氨基酸组成,如一些消化酶;也有些酶则由氨基酸与辅助因子结合而成,如脱氢酶等。辅助因子可以是金属离子,也可以是被称做为辅酶的有机化合物。由氨基酸与辅助因子结合而成的有活性的酶又叫全酶,去掉辅助因子后没有活性的蛋白质部分又叫酶蛋白。

除上而外,还有起其他重要作用的蛋白质,如运输蛋白(血红蛋白、铜蓝蛋白、运铁蛋白等),收缩蛋白(肌动蛋白、肌球蛋白等),调节蛋白(生长激素、胰岛素、生长因子等),防御蛋白(丙种球蛋白等)。

二、核酸

核酸(nucleic acid)也是一种复杂的生物大分子,广泛存在于生物界中所有的动物、植物、微生物。它是细胞极重要的组成部分,生物的遗传物质基础,与生物体的生长、发育与遗传变异有着极为密切的关系。

(一) 核酸的组成

核酸是由许多单核苷酸通过特定连接聚合而成的多核苷酸化合物。每个单核苷酸由磷酸、戊糖和含氮碱基(简称碱基)组成(图1—7)。

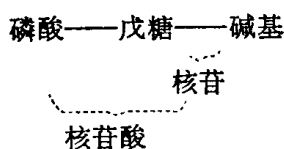


图 1—7 核苷和核苷酸的组成

戊糖即五碳糖,有核糖和脱氧核糖两种。碱基有嘌呤(purine)和嘧啶(pyrimidine)两类,前一类为双环化合物,包括腺嘌呤(adenine,符号为A)、鸟嘌呤(guanine,符号为G),后一类为单环化合物,包括胞嘧啶(cytosine,符号为c)、胸腺嘧啶(thymine,符号为T)、尿嘧啶(uracil,符号为U)。戊糖与碱基连接而成的化合物叫核苷,它再与磷酸连接成单核苷酸(图1—8)。

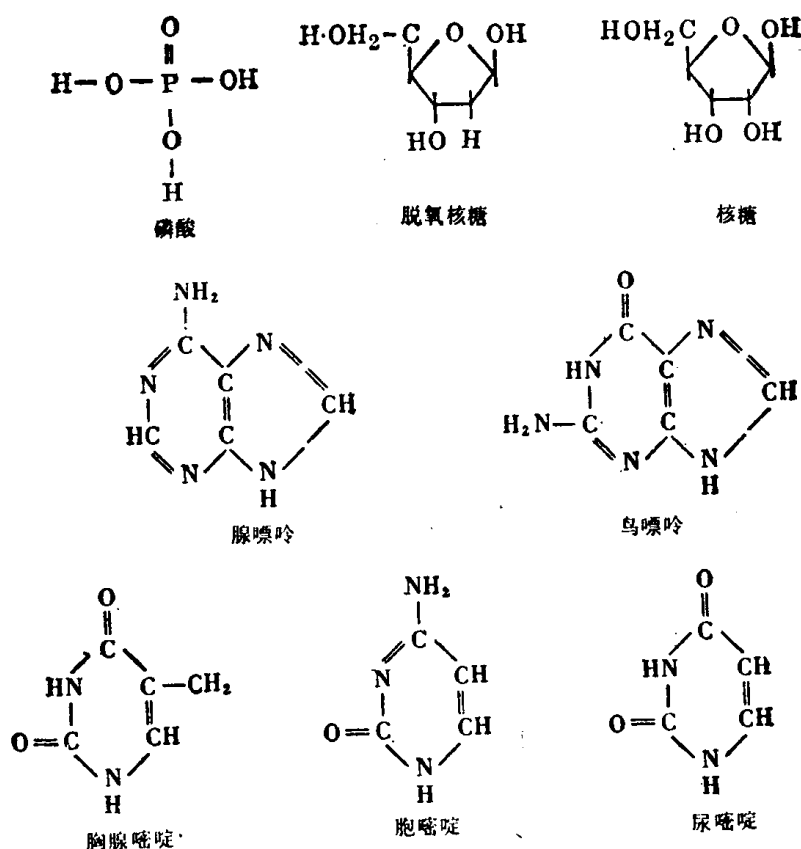


图 1—8 组成核酸分子的磷酸、戊糖、嘌呤和嘧啶的结构式

(二) 核酸的种类

生物体内的核酸主要有脱氧核糖核酸(deoxyribonucleic acid, 符号为DNA)和核糖核酸(ribonucleic acid, 符号为RNA)两大类。它们的区别在于:在组成上,DNA含有的戊糖是脱氧核糖,碱基是A、T、G、C,而RNA所含有的戊糖是核糖,碱基是A、U、G、C;在分子结构上,DNA是双链螺旋结构,而RNA是单链结构;存在场所也不一样,DNA主要存在于细胞核内,少量存在于细胞质中,而RNA主要存在于细胞质中,少量存在于细胞核内(表1—2)。

表 1—2 组成 RNA和DNA的核苷酸种类和名称

类别	核苷酸的组成	核苷酸的种类和名称
RNA	磷酸 核糖 碱基: A、G、C、U	腺嘌呤核苷酸 (adenylic acid, 符号为AMP) 鸟嘌呤核苷酸 (guanylic acid, 符号为GMP) 胞嘧啶核苷酸 (cytidylic acid, 符号为CMP) 尿嘧啶核苷酸 (uridylic acid, 符号为UMP)
DNA	磷酸 脱氧核糖 碱基: A、G、C、T	腺嘌呤脱氧核苷酸 (deoxyadenylic acid, 符号为dAMP) 鸟嘌呤脱氧核苷酸 (deoxyguanylic acid, 符号为dGMP) 胞嘧啶脱氧核苷酸 (deoxycytidylic acid, 符号为dCMP) 胸腺嘧啶脱氧核苷酸 (deoxythymidylic acid, 符号为dTMP)

(三) DNA的结构与功能

1. DNA 的一级结构: 单核苷酸通过磷酸二酯键聚合成多核苷酸。原来在单核苷酸中, 磷酸与戊糖的第 5 个碳原子之间已有酯键相连, 在形成多核苷酸时, 一个单核苷酸分子的磷酸与相邻单核苷酸分子中戊糖的第 3 个碳原子又形成一个酯键连接。这样, 一个磷酸分子与二个戊糖的碳原子形成二个酯键, 即磷酸二酯键。许多不同种类的脱氧核苷酸(dAMP, dTMP, dGMP, dCMP) 由磷酸二酯键连接成的多核苷酸长链, 就是 DNA 的一级结构。

2. DNA 的二级结构: 已被公认的是 1953 年由华生和克里克 (Watson 和 Crick) 提出的双螺旋结构模型。根据此模型, 一个 DNA 分子由两条互补的、逆向平行而又螺旋的多核苷酸长链组成; 分子中脱氧核糖与磷酸排列在每条长链的外侧, 碱基在内侧; 两条长链以互补配对的碱基通过氢键相连。所谓互补配对, 就是一条长链上的碱基 A 总是与另一条长链上的碱基 T 相连接 ($A = T$), 一条长链上的碱基 C 总是与另一条长链上的碱基 G 相连接 ($C \equiv G$), 所以 DNA 分子的两条长链又叫“互补链”, 分子中碱基 A 的含量与碱基 T 的含量相等, 碱基 C 的含量与碱基 G 的含量相等 (图 1—9、1—10)。

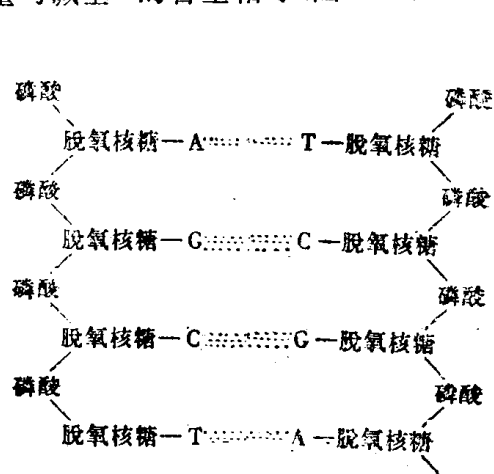


图 1—9 DNA 双链结构各组成成分的位置

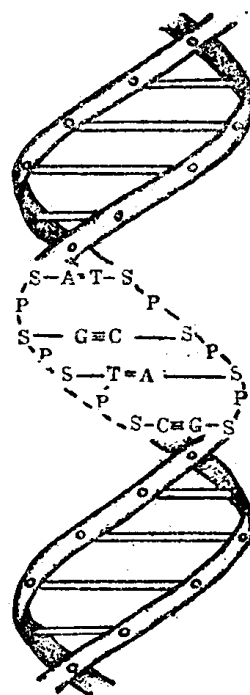


图 1—10 DNA 分子的双螺旋结构模型
(P 磷酸, S 戊糖, A、T、G、C 碱基)