

预防医学大专函授系列教材

生物化学

汤新之 王嘉仪 王木尼 主编

天津医学院 审定
中国预防医学科学院



中国科学技术出版社

预防医学大专函授系列教材

生 物 化 学

汤新之 王嘉仪 王木尼 主编

天 津 医 学 院
中国预防医学科学院 审定

中 国 科 学 技 术 出 版 社

编写说明

生物化学是一门重要的医学基础课,因为它不仅直接服务于临床医学,而且在分子水平上,与广泛的医学基础课都有密切联系和沟通,已成为医学发展道路上的前沿阵地。

本教材显示如下特点。

1. 内容充实,符合时代教材要求。文字通顺可读,取材没有因求新求全而导致的繁琐毛病。

2. 条理清晰,表达明确,便于学员的自学和一般参考之用。

3. 每章之后附有复习题,帮助学员复习和巩固。

4. 针对成人教育特点以及今后广泛阅读参考的需要,将重要的生物化学名词的缩写符号,中英文对照,附录于书后。

因此,本书既是适于成人学习的医学基础教材,也可供一般医务工作者参考之用。

本书由赵宝初审阅。

预防医学大专函授系列教材

生物化学

汤新之 王嘉仪 王木尼 编写

天津医学院 审定
中国预防医学科学院

责任编辑 邓俊峰 杨莲芬

封面设计 范惠民

中国科学技术出版社出版(北京海淀区魏公村白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京星城印刷厂 印刷

开本: 787×1092毫米 1/16印张 字数: 362千字

1989年7月第1版 1989年7月第1次印刷

印数: 1—4000册 定价: 3.00元

ISBN 7-5046-0141-1/R·35

序 言

建国40年来,由于贯彻预防为主方针,我国卫生事业有了很大的发展,全国已形成一支相当规模的卫生防疫保健队伍,卫生防疫工作取得了巨大成就。但是,目前卫生防疫队伍仍然存在数量不足、素质不高、专业技术人员结构比例不合理等状况,还有相当一部分卫生防疫人员没有受过系统的专业教育和职业培训,技术水平急待培养和提高,以适应四化建设的需要。为此,受卫生部卫生防疫司的委托,由天津医学院和中国预防医学科学院联合举办预防医学专业证书函授教育,为全国卫生、防疫、保健人员提供继续教育的机会,通过系统的有计划的专业知识教育,达到上岗任职所要求的大专层次的专业水平和工作能力。

本系列教材共计有十六分册,包括专业基础课和专业课两部分,含有基础医学、临床医学和预防医学有关的专业内容。其中专业基础课有医学生物学、医学微生物学、生物化学、卫生统计学、卫生微生物学、卫生化学、卫生毒理学和流行病学总论;专业课有劳动卫生与职业病学、环境卫生学、营养与食品卫生学、传染病学、寄生虫学、社会医学、卫生检验和防疫检验等。

遵照卫生部《关于高等医药院校教材编审原则和注意事项》的要求精神和有关规定,这套系列教材在编写过程中注意贯彻党和国家的各项有关政策和指导思想,根据我国国情,结合实际,努力做到专业教材具有科学性、系统性、逻辑性和先进性的要求,重点阐述本学科的基础理论、基本知识和基本技能。并考虑到函授教学的特点,在语言文字上力求深入浅出,通俗易懂,重点突出,条理清晰,适合自学形式。本书不仅是预防医学专业证书函授教材,也可作为医疗卫生系统从事卫生、防疫、检验、预防保健在职人员进行职业培训、自学的教材或参考书。

天津医学院卫生系和各有关专业以及中国预防医学科学院所属的流行病学微生物学研究所、病毒学研究所、寄生虫病研究所、劳动卫生与职业病学研究所、环境卫生与卫生工程研究所、营养与食品卫生研究所、食品卫生监督检验所、环境卫生监测所的有关专家、教授参加了这套教材的编审工作,经过多次研究,反复审评修改,保证了教材质量。我们谨向一切组织、支持本教材编写出版工作的领导,向所有参加本教材的编辑、校对人员致以深切谢意。

由于编写这类教材我们还是首次,难免存在缺点和不足,敬希使用本教材的教师、同学和读者们提出宝贵意见,以期再版时修改提高。

中国预防医学科学院院长 陈春明

天津医学院副院长 王正伦

目 录

第一章 绪论.....	1	第二节 水溶性维生素	22
第二章 蛋白质化学.....	2	一、维生素B ₁	22
第一节 蛋白质的分子组成.....	2	二、维生素B ₂	23
一、蛋白质的元素组成.....	2	三、维生素PP.....	23
二、蛋白质分子的基本单位——		四、维生素B ₆	24
氨基酸.....	2	五、泛酸.....	25
第二节 蛋白质的分子结构.....	4	六、生物素.....	25
一、一级结构.....	4	七、叶酸.....	26
二、空间结构——二、三、四级结构.....	5	八、维生素B ₁₂	26
三、蛋白质的结构和功能的关系.....	7	九、维生素C	27
第三节 蛋白质的理化性质.....	8	第五章 酶	30
一、蛋白质的两性解离和等电点.....	8	第一节 酶的概念	30
二、蛋白质的紫外吸收特性.....	8	一、酶是生物催化剂.....	30
三、蛋白质的胶体性质.....	8	二、酶与一般催化剂的比较.....	30
四、蛋白质的沉淀.....	9	第二节 酶的结构和功能	31
五、蛋白质的变性.....	9	一、酶的组成.....	31
第四节 蛋白质的分类	10	二、酶的分子结构.....	32
一、单纯蛋白质.....	10	三、酶原和酶原的激活.....	33
二、结合蛋白质.....	10	四、同功酶.....	33
第三章 核酸化学	11	五、变构酶.....	34
第一节 核酸的化学组成	11	第三节 酶的作用原理	34
一、碱基.....	11	一、酶-底物中间复合物降低活化能.....	34
二、戊糖.....	11	二、锁钥结合学说与诱导契合学说.....	35
三、核苷与核苷酸.....	12	第四节 酶促反应动力学	36
第二节 核酸的分子结构	14	一、酶浓度对反应速度的影响.....	36
一、核酸的基本结构.....	14	二、底物浓度对反应速度的影响.....	36
二、DNA的分子结构	15	三、温度对反应速度的影响.....	37
三、RNA的分子结构.....	16	四、pH对反应速度的影响.....	37
第三节 核酸的性质	18	五、激动剂对反应速度的影响.....	38
一、核酸的紫外吸收.....	18	六、抑制剂对反应速度的影响.....	38
二、核酸的变性和复性.....	18	第五节 酶的分类和命名	39
第四章 维生素	19	一、酶的分类.....	39
第一节 脂溶性维生素	19	二、酶的命名.....	40
一、维生素A.....	19	第六节 酶在医学上的应用	40
二、维生素D.....	20	第六章 糖代谢	42
三、维生素E.....	21	第一节 物质代谢的概念	42
四、维生素K.....	22	第二节 自然界的糖类及其生理	

功用	42
一、自然界中的糖类	42
二、糖的生理功用	43
第三节 糖的消化和吸收	43
一、糖的消化	43
二、糖的吸收	44
第四节 血糖	44
一、血糖的来源和去路	44
二、血糖浓度的调节	45
第五节 糖的分解代谢	46
一、糖的无氧酵解	46
二、糖的有氧氧化	48
三、磷酸戊糖途径	54
第六节 糖原的合成和分解	55
一、糖原的合成	55
二、糖原的分解	56
三、糖原合成分解代谢的调节	56
第七节 糖异生作用	56
一、糖异生的反应过程	57
二、糖异生的生理意义	58
三、糖异生的调节	58
第八节 糖代谢障碍	58
一、高血糖	59
二、低血糖	59
第七章 生物氧化	60
第一节 概述	60
第二节 生物氧化的方式	61
一、生物氧化中二氧化碳生成的方式	61
二、生物氧化中物质氧化的方式	61
第三节 线粒体中的生物氧化 体系——呼吸链	62
一、呼吸链的组成成分	62
二、两条重要的呼吸链	64
第四节 能量的释放、贮存和利用	65
一、ATP的形成	65
二、能量的贮存和利用	68
第八章 脂类代谢	70
第一节 脂类的化学	70
一、脂肪酸及脂肪	70
二、磷脂	71
三、胆固醇及其酯	73
第二节 脂类的分布和生理功用	73

一、脂肪	73
二、类脂	74
第三节 脂类的消化、吸收及运输	74
一、脂类的消化、吸收	74
二、脂类的运输	75
第四节 甘油三酯的中间代谢	78
一、脂肪动员	78
二、甘油的代谢	79
三、脂肪酸的氧化分解	79
四、酮体的生成和利用	82
五、脂肪的合成代谢	84
第五节 类脂的代谢	86
一、磷酸甘油酯的代谢	86
二、胆固醇的代谢	88
第九章 蛋白质的营养作用及氨基酸 代谢	91
第一节 蛋白质的营养作用	91
一、氮平衡	91
二、蛋白质的营养价值	91
第二节 蛋白质的消化、腐败及 氨基酸的吸收	92
一、蛋白质的消化	92
二、蛋白质在肠内的腐败作用	93
三、氨基酸的吸收	94
第三节 氨基酸的一般代谢	94
一、氨基酸代谢概况	94
二、氨基酸的脱氨基作用	95
三、氨的代谢	98
四、 α -酮酸的代谢	101
第四节 个别氨基酸代谢	102
一、脱羧基作用	102
二、一碳单位代谢	103
三、含硫氨基酸的代谢	105
四、苯丙氨酸及酪氨酸代谢	107
第五节 糖、脂类和氨基酸代谢的 联系	107
一、氨基酸与糖代谢的联系	107
二、氨基酸与脂类代谢的联系	108
三、糖与脂类代谢的联系	108
第十章 核酸的新陈代谢	110
第一节 核酸的消化与吸收	110
第二节 核苷酸的代谢	111

一、嘌呤核糖核苷酸的代谢	111
二、嘧啶核糖核苷酸的代谢	113
三、脱氧核糖核苷酸的生成	115
第三节 脱氧核糖核酸 (DNA) 的生物合成	116
一、DNA 的复制	116
二、基因突变及诱发因素	119
三、基因工程	119
第四节 核糖核酸 (RNA) 的生物合成	120
一、DNA 指导的 RNA 聚合酶	120
二、RNA 的合成过程	121
三、转录后核糖核酸的加工修饰	122
第五节 分子遗传学中心法则的扩充	123
一、RNA 指导的 DNA 聚合酶的作用及逆 (反向) 转录	123
二、RNA 指导的 RNA 聚合酶的作用及 RNA 的复制	124
第十一章 蛋白质的生物合成	125
第一节 概论	125
一、合成原料	125
二、三种主要的 RNA 在蛋白质合成中的作用	125
三、主要的酶系及有关因子	127
第二节 蛋白质生物合成过程	127
一、氨基酸的活化与转运	128
二、核糖体 (核蛋白体) 循环 (翻译过程)	129
三、翻译后的加工修饰和亚基的聚合	133
第三节 蛋白质合成的调节	134
一、转录水平的调节	135
二、转录后翻译水平的调节	136
第四节 蛋白质生物合成与医学的关系	136
一、分子病	136
二、蛋白质生物合成的阻断剂	137
第十二章 物质代谢的调节	138
第一节 细胞水平的调节	138
一、多酶体系在代谢调节中的基本规律	138
二、酶结构的调节	139

三、酶含量的调节	142
第二节 激素对物质代谢调节的作用机理	142
一、激素通过细胞膜受体调节代谢的机理	143
二、激素通过细胞内受体调节代谢的机理	145
第十三章 血液	147
第一节 血液的化学成分	147
一、正常人血液化学成分概况	147
二、血中非蛋白氮	147
三、无机盐	148
第二节 血浆蛋白质	149
一、血浆蛋白质的组成	149
二、血浆蛋白质的功能	149
第三节 红细胞的代谢	152
一、血红素的合成	152
二、叶酸、维生素 B ₁₂ 对红细胞成熟的影响	154
三、成熟红细胞的代谢特点	154
四、铁代谢	157
第四节 血红蛋白在气体运输中的作用	158
一、O ₂ 的运输	159
二、CO ₂ 的运输	163
第十四章 水与无机盐代谢	166
第一节 体液	166
一、体液的含量、分布与电解质组成	166
二、体液间的交换	169
第二节 水平衡	170
一、水的生理功用	170
二、水平衡——水的来源与消耗	170
第三节 电解质平衡	171
一、电解质的生理功用	171
二、钾、钠与氯的代谢	172
第四节 水与电解质平衡的调节	172
一、神经系统的调节	173
二、肾脏的调节作用	173
三、神经体液的调节	173
第五节 水与电解质平衡的失调	175
一、脱水	175
二、水肿	176

三、低血钾和高血钾·····	176
第六节 微量元素的代谢·····	176
一、铜·····	176
二、锌·····	176
三、硒·····	177
四、锰·····	177
五、钼·····	177
第七节 钙磷代谢·····	177
一、钙磷的吸收与排泄·····	178
二、血钙与血磷·····	179
三、骨的化学组成及更新作用·····	179
四、钙磷代谢的调节·····	180
第十五章 酸碱平衡·····	185
第一节 体内酸性和碱性物质的来源·····	185
一、酸性物质的来源·····	185
二、碱性物质的来源·····	186
第二节 体内酸碱平衡的调节·····	186
一、血液的缓冲体系及其作用·····	186
二、肺对酸碱平衡的调节作用·····	188
三、肾脏对酸碱平衡的调节作用·····	189
第三节 酸碱平衡失调·····	191
一、代谢性酸中毒·····	191
二、代谢性碱中毒·····	192
三、呼吸性酸中毒·····	192
四、呼吸性碱中毒·····	192
五、体内酸碱平衡失调的几项生化检验指标·····	193
第十六章 肾脏的生物化学·····	195
第一节 尿液的生成及肾脏的内分泌功能·····	196
一、尿液的生成·····	196
二、肾脏的内分泌功能·····	197

第二节 尿液的物理性状及化学成分·····	198
一、物理性状·····	198
二、尿液的化学成分·····	199
三、尿的异常成分·····	200

第十七章 肝脏的生物化学·····203

第一节 肝脏在物质代谢中的作用·····	203
一、肝脏在糖代谢中的作用·····	203
二、肝脏在脂类代谢中的作用·····	203
三、肝脏在蛋白质代谢中的作用·····	204
四、肝脏在维生素代谢中的作用·····	204
五、肝脏在激素代谢中的作用·····	204

第二节 肝脏的生物转化作用和排泄功能·····	204
一、生物转化作用·····	204
二、胆汁酸的代谢与功能·····	207

第三节 胆色素代谢·····	208
一、胆红素的生成和运输·····	208
二、胆红素在肝脏中的转变·····	209
三、胆红素在肠中的转变及胆色素的肝肠循环·····	210
四、血清胆红素与黄疸·····	211

第四节 肝脏功能检查的原则·····	213
一、血浆蛋白质的变化·····	213
二、血清中某些酶活性的改变·····	213
三、胆色素代谢的指标·····	214
四、肝脏的生物转化及排泄功能·····	214
五、其他·····	214

附录一 本书常用代号·····	216
附录二 常用字尾表·····	219
附录三 十进位数量词头及符号表·····	219
附录四 希腊字母表·····	220

第一章 绪 论

生物化学即生命化学。它主要应用化学的理论、技术及物理学、免疫学等原理和方法,研究生物体的物质组成、代谢变化以及分子结构与功能的关系。生物化学研究的主要内容大致概括为下述几个方面:

1. 物质组成及生物分子 人体的基本化学组成是蛋白质、核酸、脂类、糖类、无机盐及水。这些物质有一定的组成形式而不是杂乱无章,从而发挥其特有的机能。

蛋白质、核酸、脂类及糖类是生物体特有的大而复杂的分子,称为生物分子,其结构复杂,种类多,是体现各种生命现象最基本的物质。生物分子是由简单的构件分子构成的,例如蛋白质中的氨基酸,核酸中的核苷酸,脂类中的脂肪酸及糖类中的单糖等。所以,从它们的分子组成及结构探讨生命的奥秘,是当前生物化学研究的主流,也就是分子生物学发展的主要内容。

2. 物质代谢及其调控 这是生命的特征之一,生物体按一定规律不断与外界环境进行物质交换,这是生命活动的物质基础。物质代谢过程中,几乎所有的化学反应在伴随物质变化过程中发生能量的转化,而这些反应是在细胞内酶的催化下完成的。酶的结构、特异性、区域化分布等影响着代谢过程。此外,神经体液及作用物、产物的反馈抑制以及基因对酶合成调控等对代谢调节亦发挥重要作用。

3. 结构与功能关系 功能来自结构。如果了解细胞或亚细胞结构的功能,就必须弄清构成它们的生物分子。目前,生物化学在探讨生命奥秘和研究生物体结构与功能之间的关系方面发展极为迅速,这部分内容称为分子生物学。分子生物学大体分为三大领域:(1)蛋白质体系(包括酶)是生命的物质基础;(2)蛋白质-核酸体系,中心问题是分子遗传学,其功能为遗传中起传代作用和决定生物体内蛋白质的合成;(3)蛋白质-脂质体系(即生物膜)与物质转移、膜受体及酶等有关。

生物化学是重要的基础医学学科之一,它是从有机化学及生理学发展起来的,所以它与有机化学及生理学之间有着密切联系。医学院校所讲授的生物化学主要是涉及到哺乳动物生物化学及生理化学,而且与临床医学也有着密切的关系。在分子水平上探讨病因,作出诊断,寻求防治,增进健康,都需要生物化学的知识和技术。其它如生化药理学、分子药理学、免疫学,微生物学,甚至组织学,解剖及病理生理学等,也运用生物化学原理及技术,探讨其分子结构及功能问题。

(汤新之)

第二章 蛋白质化学

蛋白质是生命活动的主要物质基础，广泛存在于生物体内各种组织之中。对于人体和动物体而言，身体最重要的组成成分是蛋白质（在人体中，其重量占整体干重的45%）。而蛋白质在体内具有多种重要的生理功能：蛋白质与机体的生长、发育、繁殖，组织的更新、修复都有密切的关系；四肢的活动、肠胃蠕动和心脏搏动等都依赖各种肌肉组织中的蛋白质分子；体内物质代谢的化学反应大都需要一种称做“酶”的蛋白质来催化。此外，调节物质代谢的某些激素，参与免疫反应的抗体以及在血液中运输某些物质的载体，也都是蛋白质。蛋白质具有如此多样的功能，是与其复杂的结构分不开的。因此，研究生命的化学，首先要了解蛋白质这种生物大分子的化学成分、结构及其功能。

第一节 蛋白质的分子组成

一、蛋白质的元素组成

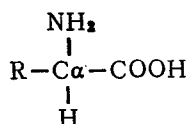
蛋白质种类繁多，在人体内的蛋白质种类约在十万种以上，而在自然界中的蛋白质，总数可达一百亿种。虽然种类繁多，但各种蛋白质的元素组成都很相近，都含有碳（C）、氢（H）、氧（O）、氮（N）四种元素，大多数蛋白质还含有硫（S）和磷（P），少数蛋白质还含有铁（Fe）、铜（Cu）等金属元素，个别蛋白质含有碘（I）。各种蛋白质的含氮量比较接近，大约在16%左右，由于体内的含氮物质主要是蛋白质，所以在任何生物样品中每含有一克氮，就相当于含有6.25克蛋白质。因此只要测出生物样品中的含氮量，就可以计算出蛋白质含量。

$$\text{样品含氮量(克)} \times 6.25 = \text{蛋白质含量(克)}$$

二、蛋白质分子的基本单位——氨基酸

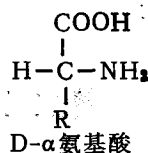
蛋白质是高分子化合物，分子量大，结构复杂。但各种蛋白质用酸、碱或蛋白酶水解时，最后都得到约20种氨基酸混合物，因此可见氨基酸是组成蛋白质分子的结构单位。自然界中发现的氨基酸有几百种，但组成蛋白质的氨基酸只是20种L- α 氨基酸。

组成蛋白质的氨基酸的氨基是连接在与羧基相邻的碳原子（ α 碳原子）上，所以称为 α -氨基酸。其通式为：



其中R表示侧链部分。

可以看出，在氨基酸分子中（除甘氨酸外）， α 碳原子所联结的四个原子或基团各不相同， α 碳原子是不对称碳原子，因而每种氨基酸都有两种构型：D-型和L-型；



蛋白质中的氨基酸都是L-型。即当氨基酸中的羧基固定在顶端时，氨基位于 α -碳原子的左边。

表2-1中列出了组成蛋白质的氨基酸。

表2-1 组成蛋白质的二十种氨基酸

分类	名称 (简称)	结 构 式	分类	名称 (简称)	结 构 式
中 性 氨 基 酸	甘氨酸 (甘)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	中 性 氨 基 酸	半胱氨酸 (半)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$
	丙氨酸 (丙)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$		蛋氨酸 (蛋)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$
	缬氨酸 (缬)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{C}-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{NH}_2 \end{array}$		脯氨酸 (脯)	
	亮氨酸 (亮)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$		天冬酰胺 (天-NH ₂)	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{NH}_2 \\ \quad \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$
	异亮氨酸 (异亮)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$		谷氨酰胺 (谷-NH ₂)	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{NH}_2 \\ \quad \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$
	丝氨酸 (丝)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$		天冬氨酸 (天)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$
	苏氨酸 (苏)	$\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{NH}_2 \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C}-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$		谷氨酸 (谷)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$
	苯丙氨酸 (苯)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$		赖氨酸 (赖)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$
	酪氨酸 (酪)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$		精氨酸 (精)	$\begin{array}{c} \text{NH} \quad \text{NH}_2 \\ \quad \\ \text{C}-\text{NH}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
	色氨酸 (色)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C}_8\text{H}_6\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$		组氨酸 (组)	
氨 基 酸	芳香族氨基酸		氨 基 酸	碱性氨基酸	

这20种氨基酸，只是R-侧链互不相同。根据侧链中酸性基团和碱性基团的数目，可将这些氨基酸分为中性氨基酸、酸性氨基酸和碱性氨基酸三类。而在中性氨基酸中，根据R结构的不同，又可分为若干亚类。

脯氨酸的结构中只有一个亚氨基，所以它是一个亚氨基酸。

第二节 蛋白质的分子结构

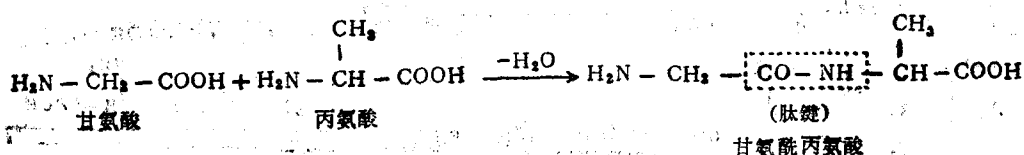
已经证明，蛋白质是由 α -氨基酸结合而成的高分子物质，具有复杂的空间结构。蛋白质的分子结构可以分为四个等级。

一、一级结构

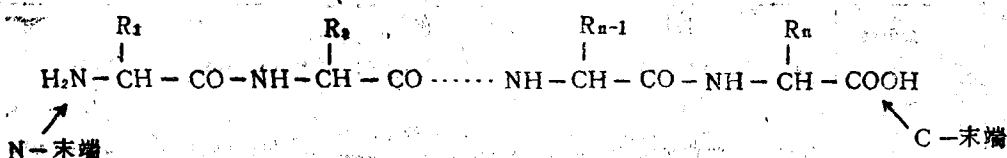
蛋白质分子的一级结构是指构成蛋白质分子的氨基酸的连接方式和排列顺序。

蛋白质分子中的氨基酸以肽键彼此相连。肽键是一个氨基酸的羧基与另一个氨基酸的氨基脱水缩合而成的键，又称为酰胺键。

例如：



甘氨酸和丙氨酸脱水缩合生成了甘氨酸丙氨酸，其中的结合键 CO-NH 即为肽键，生成的产物称为肽。由两个氨基酸形成的肽为二肽；由三个氨基酸形成的肽为三肽；依此类推，由多个氨基酸形成的肽为多肽。一条链状的多肽有两个末端，具有自由氨基的一端称为氨基末端，或称N-末端，书写时写在多肽链的左边，具有自由羧基的一端称为羧基末端，或称C-末端，书写时写在右边。一条多肽链结构如下：



组成肽键的氨基酸单位已经不是完整的氨基酸分子，因此，每个 $-\text{NH}-\text{CH}-\text{CO}-$ 单位称作一个氨基酸残基。在每一个氨基酸残基上都有R侧链，不同的侧链上具有各种不同的功能基团。例如半胱氨酸残基上有巯基；谷氨酸和天冬氨酸残基上有羧基；丝氨酸残基上有羟基；还有一些含非极性侧链的氨基酸残基上有疏水基团等。这些功能基团使得多肽链能进行多种化学反应。

构成蛋白质分子的多肽链中的氨基酸残基都是严格地按一定顺序借肽链连接起来。除了肽键之外，蛋白质分子中的两个半胱氨酸残基之间还可以二硫键相连。通过完全水解的方法可以确定蛋白质的氨基酸组成，但要确定其氨基酸残基的排列顺序就复杂和困难得多。现在有了自动化的氨基酸序列分析仪，确定蛋白质一级结构的速度已大为加快。目前约有一千种蛋白质的一级结构已经确定，首先搞清楚的是胰岛素，此外还有核糖核酸酶、胰蛋白酶等。每种天然蛋白质都有其特殊的生物学功能，而蛋白质的功能与其空间结构有密切的关系。一级结构是空间结构形成的基础，所以蛋白质的一级结构对其生物学功能有着决定性的作用。

二、空间结构——二、三、四级结构

复杂的蛋白质分子的结构并非只是肽链简单的线性伸展，因为那样最不稳定。实际上，蛋白质分子通过多肽链的盘曲、折叠，构成其特有的空间结构。这种空间结构也称做蛋白质的构象。由于蛋白质分子中有许多可以自由旋转的单键，因此一种蛋白质可能存在着无数的构象。但是蛋白质分子内各个原子，各种基团之间的相互作用使得单键的自由旋转受到限制，每种蛋白质在一定条件下只有一种或有限的几种比较稳定的构象。

(一) 二级结构

蛋白质多肽链的肽链骨架可以绕成螺旋状，称为 α -螺旋；也可以折叠成片层状，称为 β -片层， α -螺旋与 β -片层是蛋白质二级结构中常见的形式。多肽链的盘曲、折叠的基本单位是肽键平面。

通过 X-射线衍射法证明，肽键 $\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{H} \\ \parallel \quad | \\ -\text{C}-\text{N}- \end{array}$ 中的 C-N 键的键长比普通的 C-N 单键的键长短，而比普通的 C=N 双键长，所以肽键中的 C-N 键的性质介于单、双键之间，具有部分双键性质。肽键中 C 及 N 周围的三个键角之和为 360° ，说明肽键中的四个原子及相连的两个 α -碳原子处于同一平面，称为肽键平面，见图 2-1。

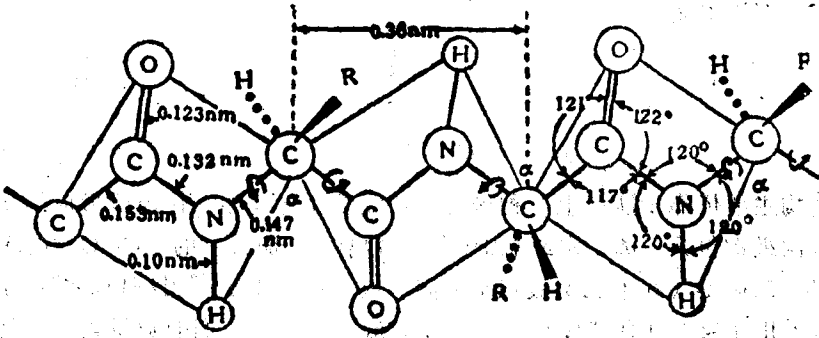


图 2-1 肽键平面

多肽链中（不包括侧链）能够旋转的只有 α -碳原子形成的单键，此单键的旋转决定了两个相邻的肽键平面的位置关系，所以多肽链的肽链骨架借肽键平面与 α -碳原子的单键的旋转可绕成螺旋状，即 α -螺旋（图 2-2）；也可折叠为片层状，即 β -片层（图 2-3）。 α -螺旋是以肽键平面为单位，以 α -碳原子为转折的右手螺旋。在上下两层螺旋之间的 C=O 与 N-H 形成氢键，使 α -螺旋成为稳定的构象。 β -片层的肽键平面之间折叠成锯齿状。两段以上的这种锯齿状的肽链，依靠两段肽链（可能来自一条肽链或是两条肽链）之间的氢键相连并行，呈片层状的结构。

(二) 三级结构

蛋白质多肽链在二级结构的基础上进一步卷曲折叠所形成的空间结构，称为蛋白质的三级结构。

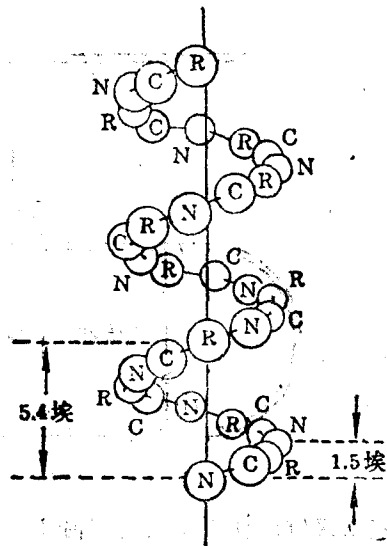


图 2-2 蛋白质的 α -螺旋结构

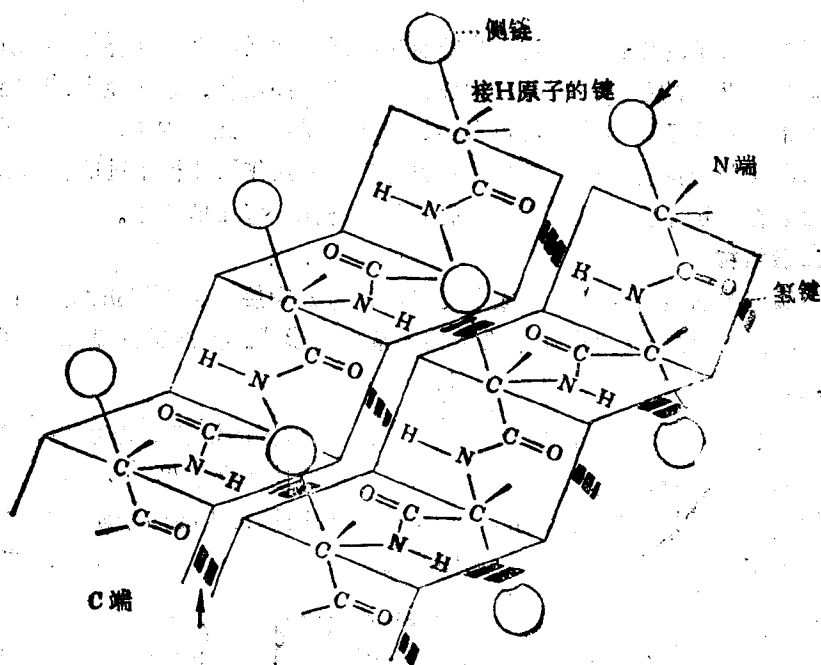


图2-3 蛋白质的 β -片层结构

构。三级结构主要依靠多肽链上各种侧链的功能基团之间相互作用所形成的次级键来维持其稳定。这些次级键包括：离子键或盐键（在可解离的R-侧链上的 $-\text{COO}^-$ 和 NH_3^+ 之间可以形成）、氢键、二硫键（在半胱氨酸残基之间形成）和疏水键（图2-4），其中疏水键是指R-侧链上的由于相互吸引具有排斥水分子作用的疏水基团。它们的数量较多，是维持蛋白质三级结构最主要的稳定力量。

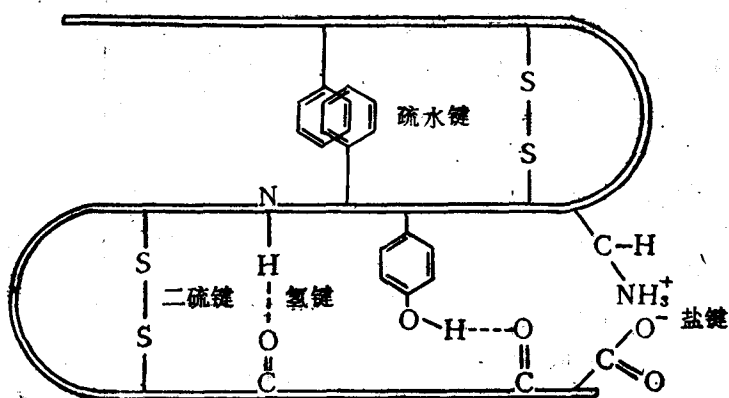


图2-4 三级结构中的次级键

这些次级键的作用不仅使蛋白质的肽链骨架（主链）进一步卷曲折叠，而且还使各个侧链也形成一定的空间结构，例如在分子内部由一些疏水侧链集中形成一些“洞穴”或“口袋”。它们往往与蛋白质的功能有密切的关系。

(三) 四级结构

有些蛋白质分子是由两条或更多的具有独立的三级结构的多肽链通过次级键（盐键、氢键等）相互结合而形成的，这就是具有四级结构的蛋白质（图2-5），其中每个具有三级结构的多肽链单位称为亚基，几个亚基可以相同也可以不同。例如过氧化氢酶就是由四个相同的亚基组成，而血红蛋白A则是由两个 α 链、两个 β 链四个亚基组成。只含有一条多肽链的蛋白质（如核糖核酸酶）没有四级结构。由于亚基之间的缔合方式不含共价键，所以通过共价键相连而形成的蛋白质（如胰岛素）也没有四级结构。

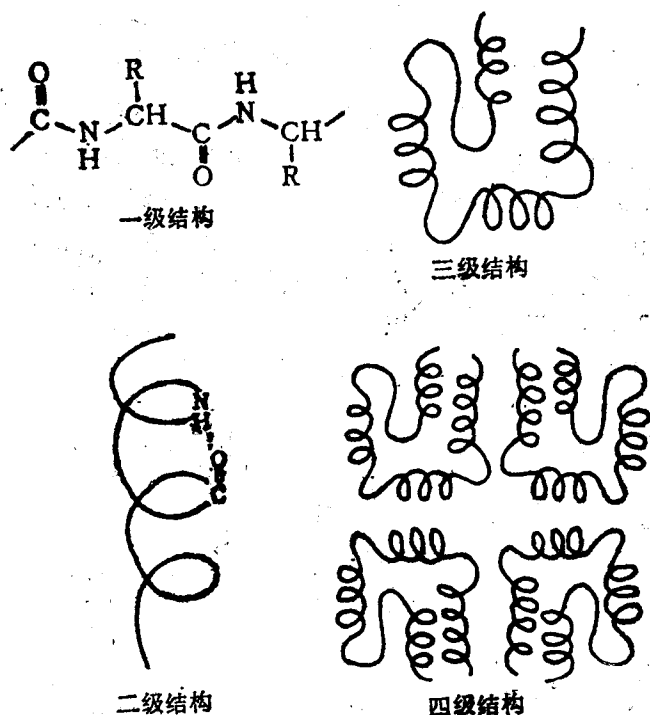


图2-5 蛋白质一、二、三、四级结构示意图

每一种蛋白质都有其特定的空间结构，而空间结构是以其一级结构为基础的。一级结构一旦确定，多肽链的肽链骨架（主链）旋转的许可角度以及各侧链之间形成的种种次级键就都会确定下来，最后形成了在一定条件下最稳定的空间结构。

三、蛋白质的结构和功能的关系

蛋白质的功能与它的结构之间有密切的关系。许多事实证明，一级结构或空间结构的改变常引起蛋白质功能的改变。但是蛋白质分子中的各个氨基酸残基对于维持其功能的重要性却不相同，例如，若把胰岛素A链中A₁甘氨酸残基去掉，胰岛素活性就降低90%以上；但把胰岛素B链中的B₂₈~₃₀，即脯-赖-苏残基去掉时，对其活性毫无影响。这说明各个氨基酸残基对维持胰岛素的活性所起的作用不同。镰刀形红细胞病患者的红细胞变成镰刀形，它在通过网状内皮系统时很快地被破坏，造成严重的贫血。如将正常人的血红蛋白与患者的血红蛋白相比较就可发现，在 β -链上的第六个氨基酸，正常人为谷氨酸，而在患者则为缬氨酸；在多肽链上的一个氨基酸残基的改变造成了血红蛋白性质的改变，导致红细胞形状的改变，从而产

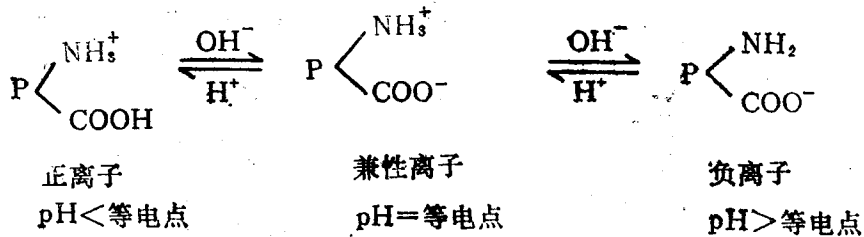
生溶血性贫血。酶是具有催化功能的蛋白质，若用一定的方法破坏了酶的正常空间结构，酶的催化功能则随之丧失。

可见蛋白质的功能与其一级结构、空间结构有密切的关系，而一级结构又是空间结构的基础，所以蛋白质分子中氨基酸的组成及顺序的千变万化，就会有多种多样的不同结构、不同功能的蛋白质。

第三节 蛋白质的理化性质

一、蛋白质的两性解离和等电点

蛋白质分子中具有可以解离成正离子和负离子的基团，所以蛋白质是两性电解质。可解离的基团包括每条肽链末端的氨基和羧基，以及肽链的侧链上的可解离基团，例如赖氨酸残基上的氨基、谷氨酸残基和天门冬氨酸残基上的羧基、精氨酸残基上的胍基和组氨酸残基上的咪唑基等。在不同的pH条件下，这些基团的解离情况不同，在碱性条件下，蛋白质分子可如酸一样解离，带有负电荷；在酸性条件下，蛋白质分子可如碱一样解离，而带有正电荷。在某一pH的溶液中，蛋白质分子可解离为正电荷和负电荷相等的兼性离子，其净电荷数为零，这时溶液的pH值叫做这个蛋白质的等电点。



蛋白质的等电点用pI表示。

不同的蛋白质，可解离基团的数目和解离程度均不相同，因此等电点也各不相同。等电点是蛋白质的特征性常数。人体内大多数蛋白质的等电点在pH5左右，在体液(pH7.4)中呈负离子形式存在。蛋白质的两性解离性质使其成为体内重要的缓冲剂，因此血液中的蛋白质是调节血液pH的重要物质之一。

带电粒子在电场中向电性相反的电极移动，这种现象称为电泳。在一定的pH条件下，等电点不同的蛋白质解离情况不同，所带电荷的性质和数目不同，具有不同的分子量，因而在电场中移动速度不同。这应用于蛋白质的分离、纯化上，就是蛋白质的电泳分析法。

二、蛋白质的紫外吸收特性

蛋白质多肽链上的色氨酸和酪氨酸残基有吸收紫外光的能力。蛋白质溶液在280nm波长处有最大吸收峰。这个特性可被用来测定蛋白质溶液的浓度，十分简便。

三、蛋白质的胶体性质

蛋白质是高分子化合物，分子量从几千至数万，有的可达数千万。蛋白质分子颗粒的大小已达到胶体颗粒范围(1~100nm)，又因蛋白质分子表面有许多亲水基团，所以蛋白质在水中成为亲水胶体。由于蛋白质分子量大，所以蛋白质扩散速度小，不透过半透膜，粘度

大。扩散速度和粘度大小和分子的不对称程度有关，分子量越大、分子不对称程度越大的蛋白质，其扩散速度越小，粘度越大。可以利用蛋白质不透过半透膜的性质，进行蛋白质的分离、提纯，将蛋白质放在半透膜的袋中，放在流动的水或缓冲液中，小分子杂质可以从袋中透出，蛋白质得以纯化。这种方法称为透析法。

四、蛋白质的沉淀

蛋白质溶液是亲水胶体，它的稳定因素有二：一是胶体颗粒上所带的同种电荷使它们彼此排斥，不易凝聚下沉；二是胶体颗粒表面多有亲水基团，使得颗粒周围形成稳定的水化膜，从而使胶体颗粒能分散于水中。如果应用物理或化学方法破坏这两个稳定因素，则可将蛋白质颗粒凝聚使之沉淀。例如调整溶液pH值到蛋白质等电点，消除其颗粒表面的电荷，再加入脱水剂（乙醇、丙酮等），破坏其水化膜，就可使蛋白质沉淀，在只破坏其中一个因素时，不一定能使蛋白质沉淀，见图2-6。

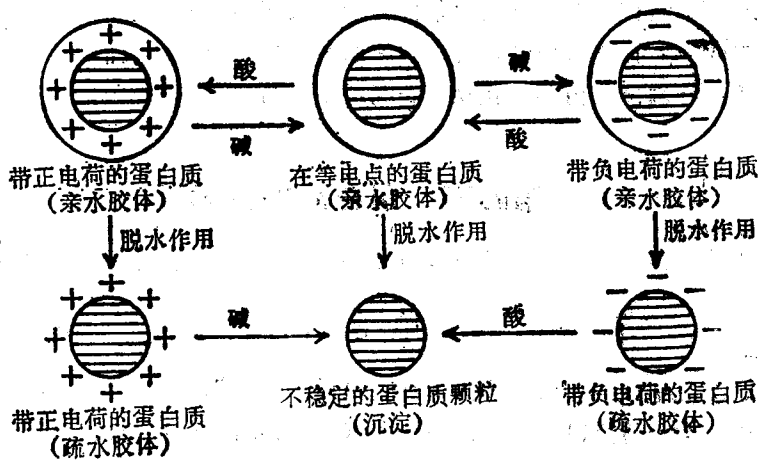


图2-6 蛋白质胶体颗粒的沉淀

在蛋白质溶液中加入高浓度的中性盐〔NaCl、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 Na_2SO_4 等〕可使蛋白质脱水析出，称为盐析。因为大量的中性盐可以破坏蛋白质分子的水化膜，并中和其电荷，使蛋白质沉淀。各种蛋白质由于亲水性及所带的电荷均有差别，盐析所需要的盐浓度也不相同，故对于含有多种蛋白质的混合物，可用逐步增加中性盐浓度的办法使不同蛋白质分别沉淀出来，以达到分离的目的。在较低温度下，短时间内应用盐析法所沉淀的蛋白质，仍保持原有的生物活性。

五、蛋白质的变性

蛋白质由于受到某些理化因素的影响，其空间结构发生改变，从而引起蛋白质性质的改变并丧失其生物学功能，这种现象称为蛋白质的变性（图2-7）。

能使蛋白质变性的因素有：加热、高压、振荡、紫外线、X射线和超声波等物理因素，以及强酸、强碱、重金属盐、尿素、酒精等化学因素。变性的实质是使维持蛋白质空间结构的次级键断裂，以致原有的正常的空间结构变成无规律的松散状态，但蛋白质变性后，肽键并未断裂，所以一级结构并无改变。

变性后的蛋白质因原有的空间结构被破坏，导致许多性质发生改变。由于原来内部的疏