

Q5.
B: Y
C.3

011596

95298

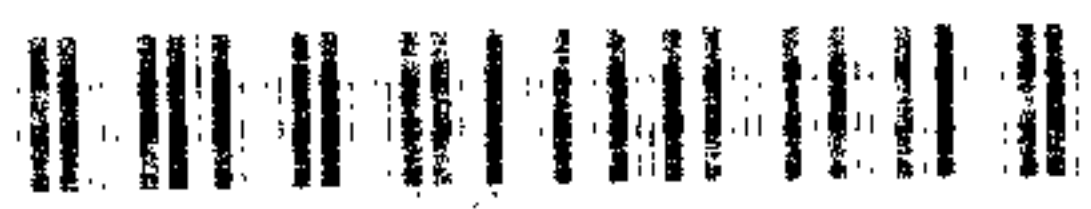
Q5
B:
C.8

全国高等医药院校试用教材
(供医学、儿科、口腔、卫生专业用)

生 物 化 学

主 编 单 位
北 京 医 学 院

编 写 单 位
山 东 医 学 院 上 海 第 一 医 学 院
中 山 医 学 院 哈 尔 滨 医 科 大 学



人 民 卫 生 出 版 社

编写说明

本书是卫生组织编写的全国高等医药院校试用教材，供医学、儿科、口腔、卫生专业用。为了招生制度改革后首批大学生在 1979 年春季教学中能够使用，本书从拟定编写大纲到完稿，只花了约半年时间。在这样短的时间内编写出的东西，不免有些粗枝大叶，错误遗漏。望各院校使用后多所指正，以利日后多改提高。

近年来，生物化学的进展十分迅速。以有限的篇幅，将共全收罗，显然是不可能的。但是，对新进展应力求反映，对基本知识应着重提供。考虑到医学的需要，本书以人体的物质代谢为中心内容。在分子水平上阐明这一中心问题时，尽可能结合结构与功能的关系，介绍有关的新进展，并指明发展的方向。

本书共二十三章，几乎包括了医学所需的生物化学基础。但是，生理学与生物化学两课程在教学分工上，各院校稍有不同，另外还有些院校设有病理生理学课程，因此这二十三章中，少数也可能是在生理学课程中讲授，如激素、血液、肾脏生化等；也有少数则可能列在病理生理学课程中，如水与电解质平衡、酸碱平衡等。这样，各院校的生物化学课程的讲授内容，应按各自的具体情况来安排，不必包括所有二十三章，也不必强求一律。在教学时，教师如果认为内容的安排不便，完全可以将材料重新组织，以适合其讲授方式。每章中的内容用大、小号字编排。小号字的内容可供学生参考，不必要求掌握；即使大号字的内容，教师也可以选择讲授。

历来医学院校生物化学教材中的名词，绝大多数是来自 1954 年卫生教材编审委员会编订的《生物化学名词》、1957 年人民卫生出版社编订的《医学名词汇编》及 1961 年中国科学院编译出版委员会名词室编订的《英汉化学化工词汇》。本书中的名词绝大多数也是来自这几本词汇。为了补充这几本词汇的不足，还参照选用了 1977 年科学出版社出版的《英汉生物化学词汇》及 1976 年人民卫生出版社出版的《英汉常用医学词汇》的一些名词。还有一些新的名词是本书编写时译订的。

本书的编写工作由北京医学院张吕颖、梁康同志主持，参加审定工作的有中山医学院徐晓利、遵义医学院林钧材、上海第一医学院何开玲、浙江医科大学朱寿民等同志，以及北京医学院刘思职、丁延祚、蔺苍玉、陈明、张乃衡、童坦君、周柔力及周爱如等同志，使本书得以顺利编成，对此表示志谢。还有一些同志参加编制索引及英中名词对照、制图、抄写、校对等工作，在此一并致谢。

编者

一九七八年六月

目 录

第一章 绪论..... 1	第六节 蛋白质的分离和提纯.....27
第一节 生物化学的对象和目的..... 1	一、提取.....27
一、物质组成及生物分子..... 1	二、分离纯化.....27
二、结构与功能..... 1	三、鉴定.....29
三、物质代谢..... 2	第三章 核酸的化学.....30
四、物质代谢的调控..... 2	第一节 概述.....30
五、繁殖与遗传..... 2	一、核酸的发现和发展.....30
第二节 生物化学的发展..... 3	二、核酸在体内的分布和含量.....31
一、我国古代人民对生物化学的贡献..... 3	第二节 核酸的化学组成.....32
二、近代生物化学的发展..... 4	一、元素组成.....32
三、我国科学工作者对近代生物化学的贡献..... 5	二、水解产物.....32
四、生物化学发展的三个阶段..... 5	三、嘧啶碱.....32
第三节 生物化学与医药卫生各学科的关系..... 6	四、嘌呤碱.....33
第四节 本书的内容..... 7	五、戊糖.....35
第二章 蛋白质化学..... 8	六、核苷.....35
第一节 蛋白质的分子组成..... 8	七、核苷酸.....37
一、蛋白质的元素组成..... 8	第三节 脱氧核糖核酸 (DNA) 的分子结构.....40
二、组成蛋白质分子的基本单位——氨基酸..... 9	一、DNA 的碱基组成.....40
三、肽键与肽.....12	二、DNA 的一级结构.....40
第二节 蛋白质的分子结构.....14	三、DNA 的二级结构.....42
一、蛋白质分子的一级结构.....14	四、DNA 的三级结构.....45
二、蛋白质分子的空间结构.....15	第四节 核糖核酸 (RNA) 的分子结构.....45
第三节 蛋白质的理化性质.....19	一、RNA 的种类.....45
一、两性游离和等电点.....20	二、RNA 的碱基组成.....46
二、高分子性质.....20	三、RNA 的一级结构.....47
三、变性.....22	四、RNA 的二级结构.....53
四、沉淀.....23	五、RNA 的三级结构.....55
五、呈色反应.....24	第五节 核酸的提取、分离和测定.....55
第四节 蛋白质的分子结构与功能的关系.....24	一、RNA 的提取.....55
一、纤维状蛋白质的结构与功能的关系.....24	二、RNA 的分离.....56
二、肽链的氨基酸顺序与功能关系.....24	三、DNA 的提取和分离.....56
三、蛋白质构象与生物学功能的表现.....25	四、核酸含量的测定.....57
第五节 蛋白质的分类.....26	第四章 酶.....58
	第一节 概论.....58
	一、酶的概念.....58
	二、酶学的发展.....
	第二节 酶促反应的特点.....

一、酶与一般催化剂的异同.....59	一、质膜的化学组成与结构.....97
二、酶作用的特异性.....59	二、质膜的功能.....98
第三节 酶的化学结构及其与功能的关系..61	第六章 糖的代谢.....101
一、酶的分子组成.....61	第一节 糖的消化吸收.....101
二、酶的分子结构与其生物学活性的关系.....62	一、口腔内的消化.....101
第四节 酶作用的基本原理.....68	二、肠腔内的消化.....101
一、酶作用与分子活化能.....68	三、肠粘膜上皮细胞表面的消化.....101
二、酶的作用机理.....69	四、糖的吸收.....102
第五节 酶促反应的动力学.....70	第二节 糖在体内的一般动态.....103
一、酶浓度对反应速度的影响.....70	一、糖的运输和贮存.....103
二、作用物浓度对酶促反应速度的影响.....71	二、糖的利用和转变.....104
三、温度对酶促反应速度的影响.....75	三、血糖.....104
四、pH 对酶促反应速度的影响.....75	第三节 糖的分解代谢.....106
五、抑制剂对酶促反应速度的影响.....76	一、糖的无氧酵解.....106
第六节 酶的命名和分类.....80	二、糖的有氧氧化.....110
一、酶的命名.....80	三、糖酵解与有氧氧化的调节.....116
二、酶的分类.....81	四、磷酸戊糖途径.....120
第七节 酶在医学上的应用.....81	第四节 糖元的合成与分解.....123
一、酶与某些疾病发生的关系.....82	一、由葡萄糖合成糖元的途径.....124
二、酶在疾病诊断上的应用.....83	二、糖元的分解.....125
三、酶在临床治疗上的应用.....84	三、糖元合成与分解代谢的调节.....126
第五章 亚细胞结构生化.....85	第五节 糖的异生作用.....127
第一节 亚细胞各部分的分离和鉴定.....85	一、糖异生的场所和原料.....127
一、亚细胞各部分的分离.....86	二、糖异生的途径.....128
二、分离出各部分的鉴定.....87	三、糖异生作用的调节.....130
第二节 细胞核.....88	四、糖异生作用的生理意义.....132
一、化学组成.....88	第六节 其他单糖的代谢.....133
二、染色质和染色体.....90	一、果糖的代谢.....133
第三节 线粒体.....91	二、半乳糖的代谢.....133
一、线粒体的结构.....91	三、甘露糖的代谢.....134
二、线粒体的化学.....91	第七节 糖代谢失常.....134
三、线粒体的功能.....91	一、高血糖及糖尿.....134
第四节 微粒体、高尔基复合体和核蛋白体.....92	二、低血糖.....136
一、微粒体.....92	第七章 脂类代谢.....137
二、高尔基复合体.....93	第一节 脂类的分布和生理功用.....137
三、核蛋白体.....93	第二节 脂类的消化和吸收.....138
第五节 溶酶体.....94	一、脂类的消化.....138
第六节 过氧化物酶体.....95	二、脂类的吸收和吸收后的命运.....139
第七节 胞液.....96	第三节 脂类的运输.....140
一、质膜.....97	一、血浆中脂类的含量.....140
	二、血浆脂蛋白.....141
	第四节 甘油三酯的中间代谢.....146
	一、甘油三酯的水解.....146

二、脂肪酸的氧化	146
三、酮体的生成和利用	149
四、脂肪酸的合成	151
五、甘油的代谢	153
六、甘油三酯的合成	154
七、体内糖和脂肪的转变	154
第五节 磷脂的代谢	155
一、甘油磷脂的代谢	156
二、神经磷脂的代谢	159
第六节 胆固醇的代谢	160
一、胆固醇的合成代谢	161
二、胆固醇合成的调节	163
三、胆固醇的转化与排泄	164
第七节 脂类代谢紊乱	164
一、消化吸收障碍	164
二、肥胖	165
三、脂肪肝	165
四、酮症	166
五、高脂血症及其与动脉粥样硬化 的关系	166
第八章 生物氧化	168
第一节 生物氧化的方式和酶类	168
一、生物氧化中二氧化碳生成的方式	168
二、生物氧化中物质氧化的方式	168
第二节 线粒体氧化体系	172
一、呼吸链	172
二、氧化与磷酸化的偶联作用	179
三、线粒体外NADH的氧化磷酸化	184
四、高能磷酸键的储存和释放	185
第三节 非线粒体氧化体系	186
一、微粒体氧化体系	187
二、过氧化物酶体氧化体系	189
第九章 蛋白质的代谢	191
第一节 蛋白质的营养作用	191
一、食物蛋白质的生理功用	191
二、人体对蛋白质的需要量	191
三、必需氨基酸与蛋白质的营养价 值	193
四、患病时氨基酸的补给	193
第二节 蛋白质的消化、吸收与腐败	194
一、蛋白质的消化	194
二、氨基酸的吸收	196
三、蛋白质在肠中的腐败	198

第三节 氨基酸的一般代谢	200
一、氨基酸代谢总说	200
二、氨基酸的脱氨基作用	201
三、氨的代谢	206
四、 α -酮酸的代谢	212
五、氨基酸和糖、脂肪代谢的联系	213
第四节 个别氨基酸的代谢	214
一、氨基酸的脱羧基作用	214
二、一碳单位的代谢	218
三、含硫氨基酸的代谢	222
四、芳香族氨基酸的代谢	225
五、其他氨基酸的代谢	228
六、先天性氨基酸代谢缺陷	230
第十章 核酸的代谢	233
第一节 核酸的消化与吸收	233
第二节 核苷酸的代谢	234
一、嘌呤核苷酸的代谢	234
二、嘧啶核苷酸的代谢	242
第三节 DNA的合成	247
一、DNA的复制	248
二、RNA指导的DNA聚合酶酶 促合成作用(反向转录)	255
三、基因的突变及诱变因素	255
四、基因的重组	259
第四节 RNA的合成	260
一、DNA指导的RNA聚合酶酶 促合成作用(转录)	260
二、RNA指导的RNA聚合酶酶 促合成作用(RNA的复制)	266
第十一章 蛋白质的生物合成	267
第一节 概说	267
一、蛋白质合成的基本原理	268
二、蛋白质合成体系	269
第二节 蛋白质的合成过程	272
一、氨基酸的活化与转运	272
二、核蛋白体循环	273
三、肽链合成后的加工和亚单位的 聚合	278
第三节 蛋白质合成的调节	279
一、转录水平的调节	280
二、转录后的调节	283
三、翻译水平的调节	283
第四节 蛋白质合成与某些医学问题	283

一、分子病·····	284
二、蛋白质生物合成的阻断剂·····	284
三、诱导现象·····	286
第十二章 物质代谢调节·····	287
第一节 细胞水平的物质代谢调节·····	287
一、酶结构的调节控制·····	288
二、酶含量的调节·····	291
第二节 激素对物质代谢调节的作用 机理·····	292
一、通过细胞膜受体的调节机理·····	293
二、通过细胞内受体的调节机理·····	297
第三节 某些情况下物质代谢的整体 调节·····	300
一、饥饿·····	300
二、应激·····	301
第十三章 激素·····	303
第一节 甲状腺·····	303
第二节 胰岛·····	308
一、胰岛素·····	308
二、高血糖素·····	311
第三节 肾上腺·····	312
一、肾上腺髓质激素·····	312
二、肾上腺皮质激素·····	314
第四节 性腺·····	318
一、雄性激素·····	318
二、雌性激素·····	319
三、胎盘激素·····	321
第五节 脑垂体·····	322
一、生长素和催乳素·····	323
二、促肾上腺皮质激素和促黑激素·····	323
三、促甲状腺激素、促黄体激素、 促卵泡激素·····	324
四、催产素和抗利尿激素·····	325
五、松果体激素·····	325
第六节 丘脑下部·····	326
一、概说·····	326
二、化学与生理作用·····	326
三、神经激素分泌的调节·····	327
四、内分泌腺间的关系·····	327
第七节 前列腺素·····	328
第十四章 血液·····	330
第一节 血液的化学成分概说·····	330
第二节 血浆蛋白质·····	331

一、血浆蛋白质的组成和功能·····	331
二、清蛋白·····	333
三、免疫球蛋白和补体·····	334
四、糖蛋白·····	333
五、金属结合蛋白·····	338
六、脂蛋白·····	339
七、酶·····	339
第三节 血液凝固的化学·····	340
一、凝血因子·····	340
二、血液凝固机理·····	341
三、纤维蛋白溶解·····	345
第四节 血细胞的代谢·····	347
一、红细胞的代谢——血红蛋白的生 物合成·····	347
二、铁的代谢·····	355
三、白细胞和血小板的代谢特点·····	358
第五节 血红蛋白在气体运输中的作 用·····	360
一、O ₂ 的运输·····	361
二、CO ₂ 的运输·····	368
第六节 正常人血液的化学成分·····	371
第十五章 水与电解质平衡·····	375
第一节 人体体液的含量、分布与组 成·····	375
一、体液的含量与分布·····	375
二、体液的电解质组成·····	376
三、体液的交换·····	379
第二节 水与电解质平衡·····	380
一、水平衡·····	380
二、电解质平衡·····	382
第三节 水与电解质平衡的调节·····	386
一、抗利尿素·····	386
二、醛固酮·····	387
第四节 水与电解质平衡的紊乱·····	388
一、脱水·····	388
二、水过多(水中毒)·····	389
三、低血钾与高血钾·····	389
第五节 微量元素的代谢·····	390
一、铁·····	390
二、氟·····	391
三、锌·····	391
四、铜·····	391
五、钼·····	391

六、锰·····	391	四、肝脏在维生素代谢中的作用·····	419
七、硒·····	392	五、肝脏在激素代谢中的作用·····	419
八、碘·····	392	第三节 肝脏的生物转化作用·····	420
九、其他微量元素·····	392	一、生物转化的反应类型·····	421
第十六章 酸碱平衡·····	393	二、生物转化作用的若干特点·····	426
第一节 体内酸性和硷性物质的来源·····	393	三、影响生物转化作用的因素·····	428
一、酸性物质的来源·····	393	第四节 胆汁与胆汁酸·····	429
二、硷性物质的来源·····	394	一、胆汁·····	429
第二节 调节酸碱平衡的主要机构·····	394	二、胆汁酸的代谢与功能·····	430
一、血液的缓冲系统在调节酸碱平衡中的作用·····	394	第五节 胆色素代谢·····	433
二、肺脏在维持酸碱平衡中的作用·····	397	一、胆红素的生成与转运·····	433
三、肾脏在调节酸碱平衡中的作用·····	397	二、胆红素在肝细胞内的代谢·····	434
第三节 酸碱平衡失调·····	400	三、胆红素在肠中的转变·····	435
一、代谢性酸中毒·····	401	四、影响尿胆素原排泄的因素·····	436
二、呼吸性酸中毒·····	401	五、血清胆红素与黄疸·····	437
三、代谢性硷中毒·····	401	第六节 肝脏功能检查原则·····	439
四、呼吸性硷中毒·····	402	第十九章 肌肉组织的生化·····	441
五、体液酸碱平衡失调的生化指标·····	402	第一节 肌肉组织的微细结构与化学组成·····	441
第十七章 肾脏的生化·····	404	一、肌肉组织的微细结构·····	441
第一节 尿液的生成与肾功能测定的原理和意义·····	405	二、肌肉的化学组成·····	444
一、尿液的生成·····	405	第二节 肌肉收缩与松弛的分子机理·····	446
二、肾功能测定的原理和意义·····	406	一、肌肉收缩时肌节的变化及滑行学说·····	446
第二节 肾脏在维持内环境恒定上的作用·····	408	二、粗丝的分子组成·····	446
一、肾脏的排泄机理及水、电解质平衡·····	408	三、细丝的分子组成·····	449
二、肾脏在调节酸碱平衡中的作用·····	409	四、肌肉收缩的启动·····	450
三、非电解质的重吸收与排出·····	409	五、兴奋收缩偶联与肌肉的松弛·····	451
第三节 尿液的性质与化学成分·····	410	第三节 肌肉组织的能代谢·····	452
一、一般性质·····	410	一、肌肉收缩所需能量的直接来源及暂时补充途径·····	452
二、尿液的化学成分·····	411	二、肌肉收缩所需能量的最终来源·····	453
三、尿的异常成分·····	413	三、活动肌肉中的能代谢小结·····	453
第四节 肾素与促红细胞生成素·····	414	第四节 心肌·····	454
第十八章 肝胆生化·····	416	一、心肌的特点·····	454
第一节 肝脏的结构与化学组成的特点·····	416	二、心肌细胞的代谢特点及影响因素·····	455
一、肝脏结构的特点·····	416	第二十章 神经组织的生化·····	457
二、肝脏化学组成的特点·····	417	第一节 神经组织的化学组成·····	457
第二节 肝脏在物质代谢中的作用·····	418	一、糖类·····	457
一、肝脏在糖代谢中的作用·····	418	二、脂类·····	457
二、肝脏在脂类代谢中的作用·····	418	三、蛋白质·····	458
三、肝脏在蛋白质代谢中的作用·····	418	四、核酸·····	458

第二节 中枢神经组织的代谢特点·····	458	一、软骨·····	495
一、糖代谢和能代谢·····	458	二、骨·····	496
二、脂类代谢·····	459	三、牙·····	500
三、氨基酸和蛋白质代谢·····	460	第二十三章 维生素·····	502
四、核酸代谢·····	460	第一节 总论·····	502
第三节 神经递质的结构、功能和代谢···	460	一、维生素的概念·····	502
一、乙酰胆碱 (Ach) ·····	461	二、维生素缺乏病的原因·····	502
二、儿茶酚胺类·····	464	三、维生素的命名与分类·····	503
三、5-羟色胺 (5-HT) ·····	467	第二节 脂溶性维生素·····	503
四、氨基酸类·····	468	一、维生素 A ·····	504
五、肽类·····	471	二、维生素 D ·····	506
六、环核苷酸在突触传递中的作用···	471	三、维生素 E ·····	507
第二十一章 结缔组织的生化·····	473	四、维生素 K ·····	508
第一节 概说·····	473	第三节 水溶性维生素·····	510
一、结缔组织基质·····	473	一、维生素 B ₁ ·····	510
二、结缔组织纤维·····	474	二、维生素 B ₂ ·····	511
第二节 结缔组织纤维的蛋白质·····	474	三、维生素 PP·····	512
一、胶原·····	475	四、维生素 B ₆ ·····	513
二、弹性蛋白·····	479	五、泛酸·····	514
第三节 结缔组织基质中的氨基多糖····	480	六、生物素·····	515
一、氨基多糖的结构·····	481	七、叶酸·····	515
二、氨基多糖的生物合成·····	482	八、维生素 B ₁₂ ·····	517
三、氨基多糖的分解代谢·····	485	九、维生素 C ·····	518
第二十二章 钙磷代谢和骨牙·····	487	第四节 其它维生素·····	522
第一节 钙磷代谢·····	487	一、“维生素 P”·····	522
一、钙磷在体内的含量、分布及生理功用·····	487	二、“维生素 B ₁₅ ”·····	522
二、钙磷的吸收及排泄·····	487	三、“维生素 U”·····	523
三、血钙与血磷·····	489	四、 α -硫辛酸·····	523
四、钙磷代谢的调节·····	490	第五节 人体对各种维生素的需要量····	523
第二节 骨与牙·····	495	索引·····	527
		英中名词对照·····	568

第一章 绪 论

第一节 生物化学的对象和目的

生物化学是一门运用化学的原理及方法以研究生物的科学。虽然常常也采用物理的及生物学的方法，但总是着眼于搞清维持生命活动的一切化学变化。一言以蔽之，生物化学实际就是生命的化学。

(一) 物质组成及生物分子

生物体是由一定的组成成分按严格的规律和方式组织而成的。研究生物体内的化学变化，首先要探寻其物质组成，并测定其含量，这是理所当然的。现已测得人体约含水 55~67%，蛋白质 15~18%，脂类 10~15%，无机盐 3~4% 及糖类 1~2%。从这个分析来看，人体的组成似乎比较简单，除水和无机盐之外，主要就是蛋白质、脂类及糖类三类有机物质。但是，若从分子水平来看，那就非常复杂了。以蛋白质为例，人体内的蛋白质分子，据估计不下 100,000 余种。这些蛋白质分子中，极少与其它生物体内的相同。实际上，不同种类的生物体内罕见完全相同的蛋白质分子。每一类生物都各有其一套特有的蛋白质；它们都是些大而复杂的分子；有人将它们及其它几类物质的大分子特别称为生物分子 (biomolecule)。其它几类物质 (如核酸、脂类及糖类等) 的分子类别也不少。由此可见生物体在组成上的复杂性。

大而复杂的生物分子也可降解到非常简单的程度。当生物分子被水解时，即可发现组成它们的基本单位，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。这些小而简单的分子可以看作生物分子的构件，或称作构件分子 (building-block molecule)。它们为数不多，在一切生物体内的都是一样的。实际上，生物体内的生物分子仅仅是由不多几种构件分子借共价键连接而成的。由于组成一个生物分子的构件分子数目多，它的分子就大；因为构件分子不只一种，而且其排列顺序又可以是各式各样；由此而形成的生物分子结构当然就复杂。自然界中约一百五十余万种生物都是由这些构件分子所组成。构件分子在生物体内的新陈代谢中，按一定的组织规律，互相连接，依次逐步形成生物分子、亚细胞结构、细胞、组织及器官，最后在神经体液的沟通和联系下，形成一个有生命的整体。所以，在分子水平上研究生物体十分重要。

(二) 结构与功能

组成生物体的每一部分都具有其特殊的生理功能。鸟有翅而能飞；兽有脚而善走；植物为了结实传代而开花，为了捕获光能以制备养分而发叶，这些都是显而易见的。从生物化学的角度，则必须深入探讨细胞、亚细胞结构及生物分子的功能。功能与结构是密切相关的。欲知细胞的功能，必先了解其亚细胞结构；同理，要知道一种亚细胞结构的功能，也必先弄清构成它的生物分子。现在已经到了人们有充分的理由和手段探究生物体内分子的结构及功能的时代了。关于生物分子的结构与其功能有密切关系的知识已知不少。例如，细胞内许多有生物催化剂作用的蛋白质——酶，它们的催化活性与其分子的结构有着密切的关系。又如，细胞核中的脱氧核糖核酸 (简称为 DNA) 的结构与

其在遗传中的作用息息相关。生物化学近年来在这方发已极为迅速，有人将这分内容称作分子生物学。

（三）物质代谢

生物体不同于无生物，体内有许多化学反应，按一定的规律，无时无刻不在连续不断地进行着。参加这些化学反应的不仅有生物分子，而更多和更主要的还是小的分子及离子。有人认为，没有小分子参加，不能移动或移动不便的生物分子便不会产生巧夺天工的生物化学反应。凭借这些化学反应，生物体能将环境中的物质（营养素）及能量加以转变、吸收和利用。营养素进入体内后，总是与体内原有的混合起来，参加化学反应。在合成反应中，作为原料，使体内的各种结构能够生长、发育、参补、替换及繁殖。在分解反应中，主要作为能源物质，经生物氧化作用，放出能量，供生命活动的需要，同时产生的废物，经由各排泄机构排出体外，交回环境。这就是生物体与其外环境的物质交换过程，一般称为物质代谢或新陈代谢。据估计，一个人在其一生中（按60岁计标），通过物质代谢与其体外环境交换的物质约相当于60,000公斤水，10,000公斤糖类，1,600公斤蛋白质及1,000公斤脂类。欲求人类生长健康，发育正常，体力充沛，繁衍不断，益寿延年，就必须注重物质代谢各方面的研究。

（四）物质代谢的调控

物质代谢中绝大部分化学反应是在细胞内由酶促成，而且具有高度自动控制能力。这无疑是生物的重要特点之一。一个小小的活细胞内，几近两千种酶，在同一时间内，催化各种不同代谢中各自特有的化学反应。这些化学反应互不妨碍，互不干扰，各自有条不紊地以惊人的速度进行着，而且往往还互相配合。结果，不论是合成代谢还是分解代谢，总是同时进行到恰到好处。以蛋白质的合成为例，用人工合成，即使众多有高深造诣的化学家，在设备完善的实验室里，也需要数月以至数年，或能合成一种蛋白质。然而在一个活细胞里，在37℃及近于中性的环境中，一个蛋白质分子只需几秒钟，即能合成。更有使化学家惊奇而自愧不如的是，有成百上千个不相同的蛋白质分子，几乎象在同一个反应瓶中那样，同时在合成，而且合成的速度和量，都正好合乎生物体的需要。这表明，生物体内的物质代谢必定有尽善尽美的安排和一个调节控制系统。根据现有的知识，酶的严格特异性及多酶体系的存在，可能是各种不同代谢能同时在一个细胞内有秩序地进行的一个解释。在调节控制方面，动物体内神经体液发挥着重要作用，而从分子水平看，则更直接的作用，在于细胞内的反馈控制。

（五）繁殖与遗传

生物体有别于无生物的另一突出特性是具有繁殖能力。一切生物体都能自身复制，复制品与原样几无差别，而且代代相传。从这一现象，不难看出遗传的忠实性和稳定性。三十多年前，基因还是一个神秘的术语，只代表遗传中的一个因子，其化学本质还弄不清，更谈不到用分子结构来说明了。近年来，随着生物化学的进展，已经证实，基因只不过是DNA分子中核苷酸残基的种种排列顺序而已。现在对生物化学工作者来说，DNA分子的结构已不难测得，遗传信息也可以知晓，不但能在分子水平上研究遗传，而且还能改变遗传，从而创立了遗传工程学。可以预见，这一发已将为人类的幸福作出巨大贡献。

第二节 生物化学的发 展

(一) 我国古代人民对生物化学的贡献

生物化学是一门比较年轻的科学。在欧洲约在 160 年前开始,逐渐发 展,一直到 1903 年才引进“生物化学”这一名称而成为一门独立的学科。在我国,劳动人民由于生活的需要,远在上古时代,就已开始在生产、饮食及医药等方面有许多发明创造,对生物化学作出不可磨灭的贡献。下面仅在酶学、营养及医药等三方面,略举数例说明。

1. 酶学方面 公元前二十一世纪我国人民已能造 酒。相传夏人仪狄作 酒,禹饮而甘之。作 酒必用曲,故称曲为 酒母,又叫做酶,与媒通,是促进谷物中 糖类物质转化为 酒的媒介物。我国生物化学家将促进生物体内化学反应的媒介物(即生物催化剂)统称为酶(enzyme)。

从《周礼》记载的来推测,我国劳动人民远在公元前十二世纪以前,已能作 豉。将豆、谷发酵、捣烂、加盐而成 豉。发酵是微生物体内的酶所促进豆、谷中物质分解的过程。《论语》上有“不得其 豉不食”之说;这表明,在周代民间, 豉已被广泛食用。在这同一时期,制 饴的方法亦已发明。饴即今之麦芽 糖,是大麦芽中的淀粉酶作用于谷物中的淀粉而制成。《周礼》称饴为五味之一。

最晚也在公元前十二世纪以前,我们的祖先已能将 酒再发酵制成醋。醋为五味之一。《周礼》上已有五味的描述。《论语》上有微生高乞求邻居给醋以济人的故事。这些都说明我国上古时代已普遍用醋调味了。

从这些例子,可以看出我国劳动人民远在上古时代,在饮食加工方面已大量利用酶的作用了。

2. 营养方面 我国古代的医学思想是非常进步的。被誉为“医书之祖”的《黄帝内经·素问》记载:“圣人不治已 病,……夫 病已成而后药之,……譬犹渴而穿井,斗而铸锥,不亦晚乎”。在这种以预防为主的医学思想影响下,营养学的发 展和讲求是必然的结果。所以,《素问》上还有“五谷为养,五畜为益,五果为助,五菜为充”的记载,将食物分为四大类,并以“养”、“益”、“助”、“充”表明其在营养上的价值。这在近代营养学中,也是配制完全膳食的一个好原则。谷类是生长、发育以及养生所需的食物中最主要者;动物食物可以增进谷类主食的营养价值而有益于健康;如果再得到果品的辅助,蔬菜的充实,在营养上显然是一个无可争辩的完全膳食。在两千多年以前,有如此正确的见解和立论,诚足令人钦佩。

我国古代积累的知识和经验,对正常人有合理的营养原则,对 病者也采取膳食治疗。膳食疗法早在周秦时代,即已开始应用,到唐朝已有专书出现。孟诜(公元七世纪)著《食疗本草》及昝殷(约公元八世纪)著《食医心鉴》等二书,是我国最早的膳食疗法专著。宋朝《圣济总录》(公元十二世纪)有关于食治亦即饮食疗法的阐述。元朝忽思慧(公元十四世纪)著的《饮膳正要》更举出各种疾病患者应该食用的食物及其烹调方法。这些著作与现代的饮食学基本相似。

3. 医药方面 我国古代的“预防为主”的进步医学思想,上面已提及。在治疗上,也积累了不少经验。上面提到造 酒的曲,也可用以治疗胃肠疾患。现在中药中的“神曲”,有消食行气、健脾养胃的作用。我国古代早已用曲治疗胃肠 病。《左传》载有叔 孙欲

用曲治腹疾的对话。曲能治胃肠疾患，不无一定的道理。曲中有酶，可助消化，含有较丰实的维生素B₁，有维持胃肠功能正常的作用。

公元前约四世纪以前，已观察到地方性甲状腺肿，称为瘰疬，如《庄子》上有关于瘰疬的记载。这是饮食中缺碘所致的一种疾病，可用含碘的海带、紫芽、海藻等海产品防治。我们的祖先早已应用了这一治疗方法。公元四世纪，葛洪著《肘后百一方》中，即有用海藻洗治疗瘰疬的记载。此后，唐朝王焘（公元八世纪）著《外台秘要》，载有疗瘰方36种，其中27种为含碘植物。而欧洲晚至公元十世纪才有甲状腺肿的记载，公元1170年始知用海藻及海绵的灰分治疗此病。

脚气病现已知是缺乏维生素B₁所致的一种疾病。公元七世纪孙思邈著有《千金方》，共九十三卷，其中记载有此病的叙述，认为脚气病是一种食米区的疾病，分为“肿”、“不肿”及“脚气入心”三种，可用车前子、防风、杏仁、大豆、槟榔等治疗。这些药物及食品均含有维生素B₁。

缺乏维生素A所致的夜盲症，古称雀目，在公元七世纪的巢元方《诸病源候论》中已有记载。孙思邈首先用猪肝治雀目。我国最早的眼科专著《龙木论》记载用苍术、地肤子、细辛、决明子等治雀目。据近代分析报道，这些药物均含有维生素A元。

我国研究药物最早的当推神农。神农后世又称炎帝，据推测应生活在公元前三十三世纪前，是始作方书，以疗民疾者。《越绝书》上有神农尝百草的记载。我国人民用天然产品治病具有悠久的历史，不但用植物产品，也采用动物及矿物产品。从公元十世纪起，即已开始用动物的脏器组织治疗疾患，如用羊靥（包括甲状腺的头下肌肉）治甲状腺肿，紫河车（胎盘）作强壮剂，蟾酥（蟾蜍皮肤的分泌物）治创伤，羚羊角治中风，鸡内金止遗尿及消食健胃等等。这些脏器疗法可看作是内分泌学的开端。

明朝李时珍（公元1522~1596年）自公元1552年起，以丰实的医疗实践和广泛的调查研究为基础，经三十年之久，纵观诸家，删繁除复，增残补缺，改正谬误，集本草之大成，撰著《本草纲目》一书，凡五十二卷，共载药物一千八百余种，纲目分明，叙述详尽，是药物学中不可多得的经典著作。

（二）近代生物化学的发见

生物化学是生产需要及科学发见的必然产物。在其成长过程中，一些事例是值得一提的。在欧洲十八世纪中期，谢利（Karl Scheele）研究生物体（植物及动物）各种组织的化学组成，一般认为这是奠定了生物化学基础的工作。随后，拉瓦锡（A. L. Lavoisier）于1785年证明，在呼吸过程中，吸进的氧气被消耗，呼出的是二氧化碳，同时放出热能；这意味着，呼吸过程包含有氧化作用，可看作生物氧化及能代谢研究的开端。接着，伯纳（C. Bernard）在消化上，巴斯德（L. Pasteur）在发酵上，李毕格（J. Liebig）在生物物质的定量分析上，都作出显著的贡献。而更值得提到的是，在1828年魏乐（F. Wöhler）在实验室里，将氰酸铵转变成了尿素。氰酸铵是一种普通的无机化合物，而尿素则是哺乳动物尿中的一种成分。人工合成尿素的成功，使认为有机物只能在生物体内合成的错误认识彻底破产。这不但为有机化学扫清了障碍，也为生物化学的发见开辟了广阔的坦途。自此以后，生物体内的物质，有的如糖类、脂类及氨基酸等，被详尽地研究；有的如核质（nuclein）及核酸等，被发现；还有的如多肽等，被合成；而更有意义的则是在1897年布克奈兄弟（H. Buchner及E. Buchner）证明破碎酵母细胞的压出

液能催化糖类发酵，引进了生物催化剂的概念，为酶学的发凡打下了基础。从这些事例中，可以看出生物化学在其萌芽时期，是以了解生物体的化学组成为主。

从二十世纪二十年代开始，生物化学进入一个蓬蓬勃勃的发凡阶段。从营养的角度，研究了动物对蛋白质的需要，并发现了必需氨基酸、必需脂肪酸及各种维生素等。在酶学方面，确定了酶的蛋白质性质，并研究了一些酶的功能。就在这一时期，生物化学已具备一些手段，能够深入探讨各种物质在生物体内的化学变化，故对物质代谢的中心环节三羧酸循环，已有一定的了解。第二次世界大战后，特别从五十年代开始，生物化学的进凡，真可谓突飞猛进；科学中这一领域是最活跃的，从研究成果的报导数目来看，每八年增加一倍。在这期间，已建立了许多先进技术和方法，可供生物化学工作者运用。例如，在代谢途径的研究中可使用同位素示踪法；在分离和鉴定各种化合物时，有各式各样敏锐而特异的层析法，还有特别适用于分离大分子的超速离心法；在测定物质的化学组成时，可使用自动分析仪，如氨基酸自动分析仪等；甚至在测定氨基酸在蛋白质分子中的排列顺序时，也有可供使用的自动顺序分析仪。还有不少近代的物理方法和仪器用以测定生物分子的性质和结构。除此之外，也常常采用繁殖迅速的细菌为研究材料。借助于这些手段，不但把糖类、蛋白质及脂类的分解代谢途径弄得更清楚了，还将蛋白质、核酸、胆固醇、某些固醇类激素、血红素等等的生物合成基本上搞明白，不但测出了某些有生物学活性的重要蛋白质的结构（包括一、二、三及四级结构），而且还测出了一些DNA及RNA的结构，从而确定了它们在蛋白质生物合成及遗传中的作用。利用这些发现，非常可能改变某些生物体的遗传而使其为人类造福。

（三）我国科学工作者对近代生物化学的贡献

我国远在欧洲之前，对生物化学就有了不少贡献。但是，历代封建王朝，为了巩固其统治地位，都是专经崇礼，视科学为异端，限制其发凡，所以生物化学发凡成为独立学科的时间在我国就比较晚。二十世纪二十年代后期，我国生物化学家在血液分析方面，创立了血滤液的制备及血糖的测定等方法；在蛋白质的研究中，提出了蛋白质变性的学说；在免疫化学上，首先使用定量分析方法，研究抗原抗体反应的机理。在此同时，还研究杂食与素食的优劣，为改善我国人民营养提供依据。在解放以后，科学受到了重视。在党和政府的关怀下，我国生物化学工作者作出了优异的成绩。其中最突出的是人工合成蛋白质首先在我国获得成功。1965年有生物学活性的蛋白质胰岛素，在我国实现了人工全合成；并在1972年，用X光衍射研究胰岛素晶体结构，所得结果与国外的相比，更为精确。此外，在用鲫鱼的仪使RNA致变金鱼的一些遗传性状的研究方面获得进凡。在英明领袖华主席的领导下，党和政府大力提倡和支持科学研究，在这样的环境和条件下，可以预期，我国生物化学的发凡，将更为迅速。

（四）生物化学发凡的三个阶段

生物化学的发凡大致可分为三个阶段。在研究一个生物体时，首先是确定其物质组成，然后描述其组成成分的性质和含量等方面，这一阶段可以称为“叙述生物化学”。

在了解生物体的物质组成之后，自然就要深入弄明维系其生命活动的化学反应；这就是研究物质组成在生物体内的代谢变化，以及酶、维生素、激素等在代谢中的作用。代谢过程不是静止的，而是处于动态平衡之中。生物化学发凡到这样的阶段，就称为“动态生物化学”。

物质代谢主要是在细胞内进行。细胞内为什么能有条不紊地同时进行各种物质代谢呢？这主要与构成亚细胞结构的生物分子有关。不同结构的生物分子具有不同的功能，由它们组成的亚细胞结构无疑具有不同的功能。不同的亚细胞结构分布于细胞内的不同部位，使各种物质代谢得以有条不紊地进行。不同类别的细胞构成不同的器官和组织，并赋予它们不同的生理功能。研究器官、组织、细胞、亚细胞结构以及生物分子等的结构与功能的关系已成为生物化学当前重要课题之一。这就是“机能生物化学”的内容。

上述生物化学的叙述、动态及机能三个阶段，是发已必经的过程，合乎发已的规律。它们之间不是彼此脱节，而是互相衔接。如果没有对物质组成的了解，物质代谢的研究就无从着手；如果没有物质代谢的知识，机能生物化学也就难于发已。到目前为止，机能生物化学可说是生物化学发已新的高峰。

第三节 生物化学与医药卫生各学科的关系

一门科学不是孤立地发已起来的，也不会孤立地存在下去。所以，生物化学与其它有关的生物学科必然有或多或少的关系，它们总是互相为用，互相渗透的。生物体不只一种，因此生物化学有研究动物方面的，也有研究植物方面的，还有研究微生物方面的。它们之间有差异，也有共同之处。生物化学在医药卫生事业、农业及工业等方面都有应用。它是一门基础医学学科，也是一门基础农学学科，而在工业方面的应用也不少，如食品加工、酿造、制药以及生物制剂制备等等。

生物化学是从有机化学及生理学发已起来的；一直到现在，它与有机化学及生理学之间，仍然关系密切。了解生物分子的结构及性质，乃是有机化学和生物化学的共同课题；在分子水平上弄清生理功能，显然是生理学和生物化学的一个共同目的。

微生物学及免疫学，在研究病原微生物的代谢、产毒的本质，以及它们的防治等方面，莫不应用生物化学的知识和技术。同时，近代生物化学也常常以细菌为研究材料，这样做，一方面可以验证在动物体内得到的结果，另一方面由于细菌的生长、繁殖极其迅速，为在分子水平上研究遗传，提供非常有利的条件，于是应运而出生化遗传学，又称分子遗传学，进而又出现遗传工程学。由此不难看出，生物化学与微生物学、免疫学及遗传学之间的关系是如何的密切。

生物物理学是从生物化学发已起来的，主要应用物理的理论和方法来研究生物体内物质的性质和结构，能量的转变，以及生物体内发生的一些过程，如生物发电及发光等。生物物理学与生物化学总是相辅相成的。

近代药理学往往以酶的活性、激素的作用及代谢途径的研究成果为其发已的依据，于是出现生化药理学及分子药理学等。病理生理学也注重运用生物化学的原理及方法来研究生理功能的失调及代谢途径的紊乱等。甚至，组织学、病理解剖学及寄生虫学等学科，也开始应用生物化学的知识和方法，以探讨和解决它们的问题了。这些学科的名称之前，多冠以“分子”字样，就是这方面的一个明证。

生物化学作为医学学科的基础，在医药卫生的各学科中广泛应用，是理所当然的。事实也正如此，临床医学及卫生保健，在分子水平上探讨病因，作出诊断，寻求防治，增进健康，无不运用生物化学的知识和技术。

第四节 本书的内容

从上面所讲的来看，本书应包括叙述生物化学、动态生物化学及机能生物化学等三部分的内容。在叙述生物化学部分，首先介绍蛋白质的化学与核酸的化学。蛋白质与核酸是生物体内两类重要的生物分子，有必要作较详尽的介绍。酶、维生素、激素等生物学活性物质应为这部分的内容，但激素是调节代谢的物质，将其放在代谢调节之后，可能便于学习。而维生素多为酶的辅酶组成成分，在讨论代谢时不免要提及，特别在讨论生物氧化时，必有较多的介绍，故只将它们的性质、结构、缺乏病及某些药理作用等方面总结为一章，置于书的最后，以备查阅。生物体内的化学变化绝大部分是在细胞内进行，而亚细胞结构则是它们进行的主要场所，因此，在讨论物质代谢之前，对亚细胞结构作些了解，显然是有益的。

对在体内进行代谢的物质、促进物质代谢的酶及物质代谢进行的场所等有所了解之后，转入动态生物化学的讨论，是极其自然的。在这部分里，不仅探讨各种物质的分解代谢和合成代谢，而且对能量的转变、各种物质代谢的控制及调节等，也作一些介绍。

生物化学的发展，经历了从叙述的、动态的到机能的三个阶段。所以本书在第三部分讨论血液等体液、肾脏、肝脏、肌肉、神经、结缔组织等等的物质组成、代谢特点及其与功能的关系。

最后必须指出，本书只就正常人体内的物质结构、化学变化、代谢途径以及器官和组织的代谢特点等方面作些介绍，目的是打好基础；有关病理方面的内容，未予涉及或涉及甚少。这样，或许有人会认为本书与医学无关或关系不大。其实不然。不知何正常，从何了解异常？一句话，基础医学就是医学的基础。无它，只此而已。

(北京医学院 张昌颖)

第二章 蛋白质化学

唯物主义者认为生命现象是物质运动的表现。革命导师恩格斯指出：“生命是蛋白体的存在方式”，准确地科学地提示了蛋白质与生命的关系。近代生物化学和分子生物学研究充分阐明生物高分子——蛋白质和核酸是生命活动过程中最重要的物质基础。它们是塑造一切细胞和组织结构的重要组成成分。按总量计，人体干重的45%是蛋白质。从种类来看，自然界存在的蛋白质数量也是极多的。最简单的单细胞生物，如大肠杆菌，每个菌体估计含有三千种不同的蛋白质，而比细菌要复杂得多的人体则含有十万种以上不同结构的蛋白质分子。估计整个生物界可能存在着百亿种不同的蛋白质。正由于蛋白质是如此多种多样，生物体才能表现出千差万别的功能活动。蛋白质之所以重要，不仅在于它们是构成生物体的主要成分，更突出的是在于它们在生命活动中起着极其重要的作用。

新陈代谢的全部化学反应，几乎都是在酶的催化下进行的。迄今已知的酶有一千余种，它们毫无例外地都是蛋白质。对代谢起调节作用的很多激素是蛋白质或其衍生物。肌肉的松弛和收缩是因肌肉中具有能收缩的蛋白质，而肌肉收缩是完成躯体运动、血液循环、呼吸、消化等机能活动的基础。对抗外来微生物等侵害而起保护身体作用的免疫反应也是通过蛋白质来实现的。又有一些蛋白质在血液中起着“载体”——运载工具的作用，如血红蛋白是运氧的载体，血浆脂蛋白是脂类的运载形式等。防止创伤时过度出血的凝血过程是血浆中多种蛋白质协同完成的。近代分子生物学的研究还表明蛋白质在遗传信息的控制、细胞膜的通透性、以及高等动物的记忆、识别机构等方面都起着重要作用。

研究蛋白质化学不仅为了认识生命活动，而且在于最终改造生命活动。恩格斯曾指出：“只要把蛋白质的化学成分弄清楚，化学就能着手制造活的蛋白质。”我国科学技术工作者在毛主席的革命路线指引下，经过六年九个月的艰苦工作，于1965年在世界上首先合成了具有生物活性的蛋白质——结晶胰岛素；1971年和1973年又相继地胜利完成了2.5和1.8埃分辨率X-衍射的胰岛素晶体结构研究的全部工作，在揭开生命奥秘的历程中迈进了一大步。

第一节 蛋白质的分子组成

蛋白质是生物高分子化合物，具有极为重要的生物学性质。认识蛋白质的分子组成是理解蛋白质的结构、性质和功能的基础。

一、蛋白质的元素组成

元素分析的结果表明，大多数蛋白质含有碳50~56%、氢6~8%、氧19~24%、氮13~19%。除此之外，还含有硫0~4%。有些蛋白质含有砷，少数含铁、铜、锰、锌、钴、钼等金属，个别蛋白质含有碘。

各种蛋白质的含氮量很接近，平均约为16%。由于体内的含氮物质以蛋白质为主，

因此只要测定生物样品中的氮含量，就可以按下式推算出蛋白质的大约含量：

每克样品中含氮的克数 $\times 6.25 \times 100 = 100$ 克样品中蛋白质的含量（克%）

二、组成蛋白质分子的基本单位——氨基酸

蛋白质可以受酸、硷或酶的作用而水解（例如将蛋白质用 6N 盐酸在真空条件下，110℃ 水解）成为其基本组成单位——氨基酸。蛋白质水解液中的各种氨基酸须进行分离鉴定，才能确定其分子组成。各种层析法及高压电泳法等均为分离鉴定氨基酸的手段。

组成蛋白质的氨基酸的氨基与羧基皆联结在 α 碳原子上，故名 α -氨基酸。除最简单的甘氨酸（氨基乙酸）之外，其它所有氨基酸的 α -碳原子都是不对称碳原子，表现有光学异构现象。组成蛋白质的氨基酸大都属于 L-系的，即 L- α -氨基酸。



生物界中也发现一些 D 系氨基酸，如存在于某些抗菌素以及个别植物的生物硷中。

（一）氨基酸的分类

组成蛋白质的 20 多种氨基酸可以按其化学结构分为脂肪族氨基酸（包括一氨基一羧酸、一氨基二羧酸、二氨基一羧酸）、芳香族氨基酸、杂环氨基酸和杂环亚氨基酸等。它们所不同的地方只是 α -碳上的 R-不同。现将组成蛋白质的重要氨基酸列于表 2-1。

又可按各种氨基酸 R-基团的不同，区分为非极性的和极性的氨基酸：属于非极性氨基酸的有丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、脯氨酸、旦氨酸、苯丙氨酸、色氨酸等。极性氨基酸均有极性，可按带电荷性质又分为：(1)有极性但不带电荷的，如丝氨酸、苏氨酸、半胱氨酸、酪氨酸、天冬酰胺、谷氨酰胺。甘氨酸的 R 是 H，应有极性，但是由于 α -碳上的氨基和羧基的极性比 H 原子强得多，故实际上是没有极性效应的。(2)在中性溶液中带负电荷的，如天冬氨酸、谷氨酸称为酸性氨基酸。(3)在中性溶液中带正电荷的，如赖氨酸、精氨酸、组氨酸，称为硷性氨基酸。蛋白质的许多理化性质和功能很大程度上与所组成的氨基酸的 R 基团及其分布有关。

（二）氨基酸的一般理化性质

1. 一般物理性质 天然氨基酸是无色结晶性物质。熔点很高，大多数在 200℃ 以上，说明它们以带电荷的状态存在 ($-\text{NH}_3^+$, $-\text{COO}^-$)。通常能溶于极性溶剂（如水、乙醇等）而不溶于非极性溶剂（如苯、己烷、乙醚等）中。

2. 氨基酸的两性电离和等电点 氨基酸分子既含有自由氨基又含有自由羧基，在溶液中主要以 $-\text{NH}_3^+$, $-\text{COO}^-$ 形式存在。氨基和羧基的电离取决于溶液的 pH，在较强的酸性溶液中羧基的电离被抑制，氨基酸带正电荷，在较强的硷性溶液中氨基的电离被抑制而带负电荷。这现象被称为两性电离。