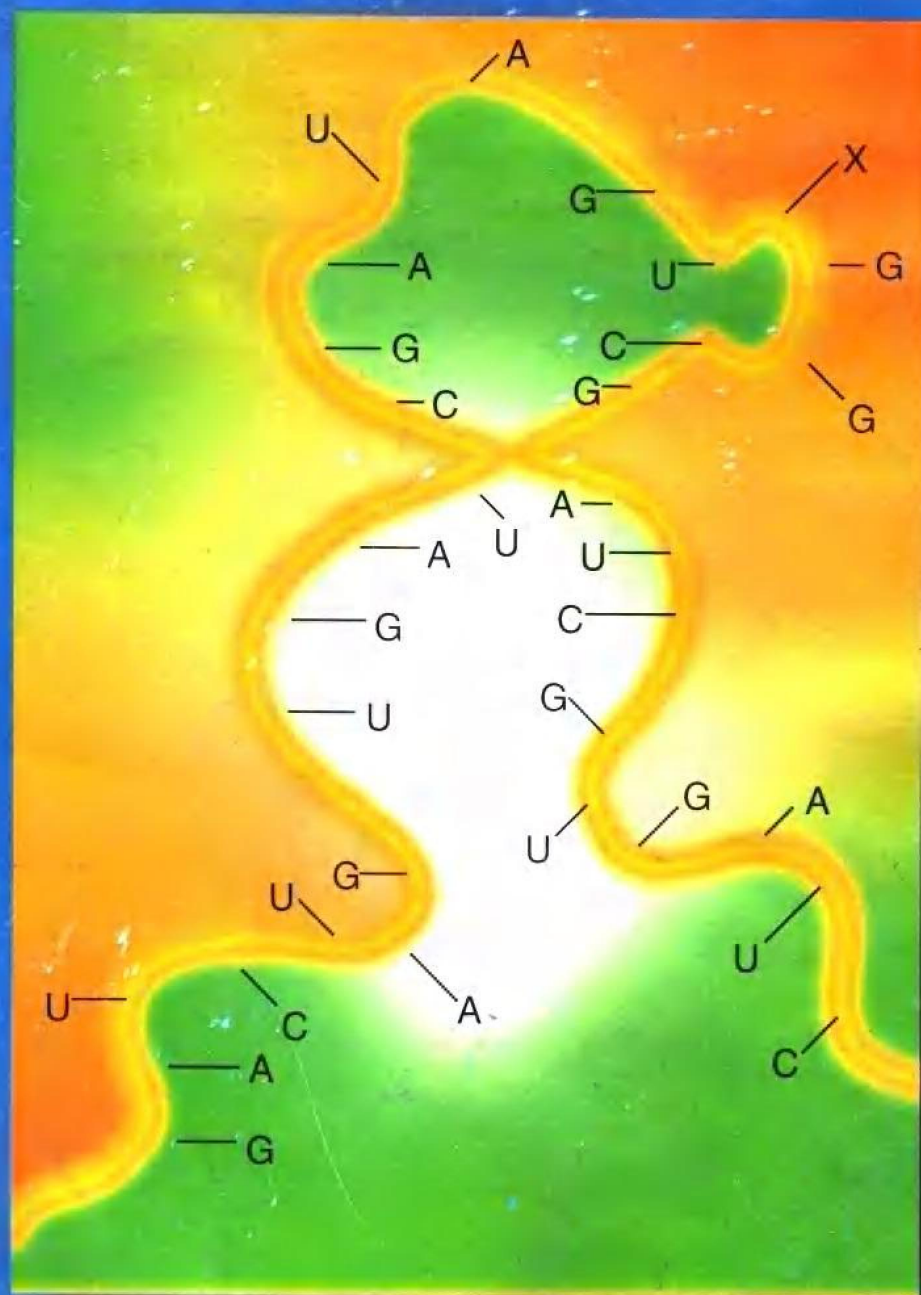


高等医学院校教材

生物化学

主编 祝其锋 副主编 魏晴霞 何立望 田兴亚 李金生

广东科技出版社



11503 1 20
高等医学院校教材

生 物 化 学

主 编	祝其锋
副主编	魏晴霞 何立望 田兴亚 李金生
主 审	姚 侃
编 委	(按姓氏笔画为序) 田兴亚 (昆明医学院) 任锡麟 (贵阳医学院) 何立望 (贵阳医学院) 李金生 (江西医学院) 李家林 (昆明医学院) 苏海翔 (兰州医学院) 沈静娴 (江西医学院) 林观平 (广东医学院) 祝其锋 (广东医学院) 魏晴霞 (兰州医学院)

广东科技出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生物化学/祝其锋主编, —广州: 广东科技出版社, 1997. 7
ISBN 7-5359-1858-1

I. 生…
Ⅱ. 祝…
Ⅲ. 生物化学
IV. Q5

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码: 510075)

经 销: 广东省新华书店

印 刷: 肇庆新华印刷厂

(地址: 肇庆市郊狮岗 邮码: 526060)

规 格: 787×1092 1/16 印张 26.25 字数 620 千

版 次: 1997 年 7 月第 1 版 1997 年 7 月 第 1 次印刷

印 数: 1—10 000

ISBN 7-5359-1858-1

分 类 号: Q·18

定 价: 26.00 元

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

编写者名单
(按姓氏笔画为序)

万福生	王晓华	田兴亚	朱月春	任锡麟
刘新光	陈颖	李亢宗	何立望	杨西林
宋芝娟	李江琪	李金生	李家林	苏海翔
沈静娴	林观平	罗时文	郑娅萍	姚侃
祝其锋	梁念慈	黄迪南	韩跃武	雷大卫
雷霆雯	魏晴霞			

前 言

本教材是根据国家教委《全国普通高等学校临床医学专业本科生物化学课程基本要求(试行)》编写的,主要供医学各专业本科教学之用。

本教材编写的宗旨是既要阐明生物化学的基本原理,又要力求反映近代生物化学成熟的新进展。本书包括生物大分子(蛋白质、核酸及酶)的结构与功能;糖类、脂类、蛋白质和核苷酸代谢以及物质代谢调节;遗传信息的传递(复制、转录、翻译)、基因表达调控及基因工程;增写了与生命现象密切相关的生物膜与复合糖;结合医学专业的需要,保留了维生素、肝胆生化、血液生化、无机物代谢与酸碱平衡等章,全书共20章。

本书由广东医学院、兰州医学院、贵阳医学院、昆明医学院、江西医学院5所院校工作在教学第一线的教师执笔联合编写,由兰州医学院姚侃教授主审。在充分讨论了编写原则及编写大纲的基础上,各院校分工编写出初稿,再经编委会认真讨论修改,最后由主编和主审定稿。

在本书编写和出版过程中,各参编院校的领导和全体生化教师热情关切,为编写提供了种种方便;其他兄弟院校也给予了大力支持;广东医学院院长梁念慈教授给予热情鼓励并提出许多指导性意见;贵阳医学院和广东医学院为组办编委会和定稿会作了周到的安排和热情的接待;广东医学院教材科洪日富和荆荣花同志为本书描绘了部分插图,梅冬华同志打印部分书稿;广东医学院生化教研室林观平副教授、侯敢、黄迪南、宋芝娟3位讲师及宋元宗硕士等协助主编为本书打印、校对、整理图表等;广东科技出版社为确保本书按期出版作了大量细致的工作,在此一并表示衷心感谢!

由于水平所限和急于供用,书中难免有欠妥甚至错漏之处,诚盼同道专家和读者赐教指正,以便再版时修订。

编 者

1996年12月于广东湛江

目 录

第一章 蛋白质化学

第一节 蛋白质的化学组成····· (1)	关系····· (15)
一、元素组成····· (1)	二、蛋白质空间结构与功能的 关系····· (16)
二、蛋白质的构件分子—— 氨基酸····· (1)	第四节 蛋白质的理化性质····· (20)
第二节 蛋白质的分子结构····· (7)	一、两性解离和等电点····· (20)
一、维系蛋白质结构的作用力····· (7)	二、蛋白质的变性作用····· (21)
二、蛋白质的一级结构····· (9)	三、蛋白质的胶体性质····· (21)
三、蛋白质的二级结构····· (10)	第五节 蛋白质的分离纯化 及一级结构测定····· (23)
四、蛋白质的三级结构····· (13)	一、蛋白质的分离提纯····· (23)
五、蛋白质的四级结构····· (15)	二、蛋白质一级结构测定····· (26)
第三节 蛋白质结构与功能的关系·· (15)	
一、蛋白质一级结构与功能的	

第二章 核酸化学

第一节 核苷酸····· (28)	结构····· (36)
一、碱基····· (29)	二、RNA 的类型····· (36)
二、戊糖····· (29)	三、三种主要 RNA 的结构与 功能····· (37)
三、核苷····· (29)	第四节 核酸的某些理化性质 及其研究方法····· (41)
四、核苷酸····· (30)	一、核酸的粘度····· (41)
第二节 DNA 的结构与功能····· (31)	二、核酸的紫外吸收特性····· (42)
一、DNA 的碱基组成····· (31)	三、核酸的沉降特性····· (42)
二、DNA 的一级结构····· (32)	四、核酸的变性、复性及其分子 杂交····· (43)
三、DNA 的二级结构····· (33)	五、核酸的分离纯化····· (45)
四、DNA 的三级结构····· (34)	六、核酸电泳及印迹技术····· (45)
五、DNA 的生物学功能····· (36)	
第三节 RNA 的结构与功能····· (36)	
一、RNA 的碱基组成及其基本	

第三章 酶

第一节 酶的生物催化作用····· (47)	二、酶作用的专一性····· (49)
一、酶的作用特点····· (47)	三、酶的作用原理····· (49)

第二节 酶分子的组成与结构	(52)	三、温度对反应速度的影响	(61)
一、酶的化学组成	(52)	四、pH 对反应速度的影响	(62)
二、酶蛋白的分子结构	(53)	五、激活剂对反应速度的影响	(63)
三、酶原	(54)	六、抑制剂对反应速度的影响	(63)
四、同工酶	(55)	七、变构酶	(68)
第三节 酶的分类和命名	(56)	第五节 酶与医学的关系	(68)
一、酶的分类	(56)	一、酶与疾病的发生	(68)
二、酶的命名	(56)	二、酶与疾病的诊断	(69)
第四节 酶促反应动力学	(57)	三、酶与疾病的治疗	(69)
一、酶浓度对反应速度的影响	(58)	四、酶在科学研究和生产中的	
二、底物浓度对反应速度的影响	(58)	用途	(70)

第四章 维 生 素

第一节 维生素的概念、命名		一、维生素 B ₁	(77)
和分类	(71)	二、维生素 B ₂	(78)
一、维生素的概念	(71)	三、维生素 PP	(79)
二、维生素的命名和分类	(71)	四、维生素 B ₆	(80)
第二节 脂溶性维生素	(72)	五、泛酸	(81)
一、维生素 A	(72)	六、生物素	(82)
二、维生素 D	(74)	七、叶酸	(83)
三、维生素 E	(75)	八、维生素 B ₁₂	(84)
四、维生素 K	(76)	九、维生素 C	(85)
第三节 水溶性维生素	(77)		

第五章 复 合 糖

第一节 糖蛋白	(90)	二、鞘糖脂的分类	(96)
一、糖蛋白的结构	(90)	三、鞘糖脂的生物学功能	(97)
二、糖链在可溶性糖蛋白中的		第三节 蛋白聚糖	(97)
作用	(93)	一、蛋白聚糖的组成	(98)
第二节 糖脂	(95)	二、蛋白聚糖的分子结构	(99)
一、鞘糖脂的组成	(95)	三、蛋白聚糖的功能	(101)

第六章 生 物 膜

第一节 生物膜的化学组成	(103)	二、膜的流动性	(106)
一、脂类	(104)	三、膜的不对称性	(109)
二、蛋白质	(104)	四、膜结构的流动镶嵌模型	(110)
三、糖类	(105)	第三节 生物膜的主要功能	(111)
第二节 生物膜的结构特征	(105)	一、膜与转运系统	(111)
一、脂质双分子层	(105)	二、膜与酶	(116)

三、膜与受体和细胞识别.....	(117)
------------------	-------

第七章 糖 代 谢

第一节 糖的消化吸收.....	(119)	第五节 血糖.....	(147)
一、糖的消化.....	(119)	一、血糖浓度.....	(147)
二、糖的吸收.....	(120)	二、血糖的来源和去路.....	(148)
第二节 糖的分解代谢.....	(120)	三、高血糖和低血糖.....	(148)
一、糖的无氧分解.....	(120)	第六节 糖代谢的调节.....	(148)
二、糖的有氧氧化.....	(125)	一、底物或产物浓度对糖代谢的 调节作用.....	(149)
三、磷酸戊糖途径.....	(133)	二、变构剂对糖代谢的调节 作用.....	(149)
四、糖醛酸途径.....	(137)	三、糖酵解和糖有氧氧化的 调节.....	(149)
五、其他己糖的代谢.....	(138)	四、磷酸戊糖途径的调节.....	(150)
第三节 糖原的合成与分解.....	(140)	五、糖原合成与分解的调节.....	(150)
一、糖原的合成.....	(140)	六、糖异生途径的调节.....	(151)
二、糖原的分解.....	(142)	七、血糖浓度的调节.....	(152)
第四节 糖异生作用.....	(143)		
一、糖异生途径.....	(143)		
二、糖异生作用的生理意义.....	(146)		

第八章 生 物 氧 化

第一节 生物氧化的方式与酶类.....	(154)	顺序.....	(164)
一、生物氧化中物质氧化的 方式.....	(154)	三、胞液中 NADH 的氧化	(167)
二、生物氧化中二氧化碳生成的 方式.....	(155)	第四节 ATP 的生成转换和利用	(168)
三、生物氧化有关的酶类.....	(156)	一、ATP 与高能磷酸化合物	(168)
第二节 线粒体.....	(159)	二、ATP 的生成	(170)
第三节 电子传递链.....	(160)	三、能量的转换储存和利用.....	(176)
一、呼吸链的组分及其作用.....	(160)	第五节 生物自由基.....	(177)
二、呼吸链中传递体的排列		一、自由基的产生.....	(177)
		二、自由基的作用.....	(178)
		三、自由基的清除.....	(178)

第九章 脂 类 代 谢

第一节 脂类的主要生理功能.....	(180)	第三节 血浆脂蛋白.....	(182)
一、储能和供能的主要物质.....	(180)	一、血脂与血浆脂蛋白.....	(182)
二、生物膜的重要结构成分.....	(180)	二、血浆脂蛋白的分类.....	(182)
三、参与代谢调控.....	(180)	三、血浆脂蛋白的组成.....	(183)
第二节 脂类的消化吸收.....	(181)	四、血浆脂蛋白的结构.....	(185)
一、脂类的消化.....	(181)	五、血浆脂蛋白的代谢.....	(185)
二、脂类的吸收.....	(181)	第四节 脂肪的中间代谢.....	(192)

一、脂肪动员·····	(192)	一、甘油磷脂的代谢·····	(214)
二、甘油代谢·····	(192)	二、鞘磷脂的代谢·····	(218)
三、脂肪酸的氧化·····	(194)	第六节 胆固醇代谢·····	(220)
四、酮体的生成与利用·····	(199)	一、食物胆固醇的吸收·····	(221)
五、脂肪酸的合成·····	(202)	二、胆固醇的合成·····	(221)
六、脂肪的合成·····	(212)	三、胆固醇的转化与排泄·····	(224)
第五节 磷脂的代谢·····	(214)		

第十章 蛋白质分解代谢

第一节 蛋白质的营养作用·····	(226)	一、氨基酸的脱氨基作用·····	(231)
一、蛋白质的生理功能·····	(226)	二、氨的代谢·····	(234)
二、氮平衡·····	(227)	三、 α -酮酸的代谢·····	(239)
三、蛋白质的营养价值·····	(227)	四、氨基酸的脱羧基作用·····	(240)
第二节 蛋白质的消化、吸收与 腐败·····	(228)	第四节 个别氨基酸的代谢·····	(243)
一、蛋白质的消化·····	(228)	一、一碳单位的代谢·····	(243)
二、氨基酸的吸收与转运·····	(229)	二、含硫氨基酸的代谢·····	(246)
三、蛋白质的腐败作用·····	(229)	三、苯丙氨酸和酪氨酸的代谢·····	(250)
第三节 氨基酸的一般代谢·····	(231)	四、精氨酸的代谢·····	(252)

第十一章 代谢调节

第一节 酶活性的调节·····	(253)	二、激素通过细胞膜受体的调节 机理·····	(261)
一、酶活性的变构调节·····	(254)	三、激素通过细胞内受体的调节 机理·····	(266)
二、酶的共价修饰调节·····	(257)	第四节 整体调节·····	(267)
三、有限的蛋白水解作用·····	(259)	一、饥饿·····	(267)
第二节 酶含量的调节·····	(259)	二、应激·····	(268)
第三节 激素的调节·····	(260)		
一、激素与受体作用的特点·····	(260)		

第十二章 核苷酸代谢

第一节 嘌呤核苷酸代谢·····	(271)	二、嘧啶核苷酸的分解代谢·····	(281)
一、嘌呤核苷酸合成代谢·····	(271)	三、嘧啶核苷酸代谢异常的 疾病·····	(282)
二、脱氧核糖核苷酸的生成·····	(275)	第三节 核苷酸的抗代谢物·····	(283)
三、嘌呤核苷酸的分解代谢·····	(276)	一、嘌呤类似物·····	(283)
四、嘌呤核苷酸代谢异常的 疾病·····	(276)	二、嘧啶类似物·····	(283)
第二节 嘧啶核苷酸代谢·····	(278)	三、叶酸类似物·····	(284)
一、嘧啶核苷酸的合成代谢·····	(278)	四、氨基酸类似物·····	(285)

第十三章 核酸的生物合成

第一节 DNA 的生物合成	(288)	二、DNA 损伤的修复	(299)
一、DNA 的复制	(288)	第三节 RNA 的生物合成	(301)
二、反转录	(296)	一、转录	(301)
第二节 DNA 的损伤与修复	(297)	二、转录后的加工	(307)
一、DNA 的损伤	(297)	三、RNA 的复制	(310)

第十四章 蛋白质生物合成

第一节 蛋白质合成体系	(312)	二、核糖体循环	(317)
一、mRNA	(312)	三、多聚核糖体	(321)
二、tRNA	(314)	四、翻译后的加工	(321)
三、核糖体	(315)	第三节 抗生素对蛋白质生物合成	
第二节 蛋白质生物合成过程	(316)	的影响	(323)
一、氨基酸活化及转运	(316)		

第十五章 基因表达的调控

第一节 原核生物基因表达的		第二节 真核生物基因表达的	
调控	(325)	调控	(331)
一、酶的诱导	(326)	一、转录前的表达调控	(331)
二、原核生物转录起始的调节	(326)	二、转录水平的调控	(332)
三、转录终止的调控	(328)		

第十六章 基因工程

第一节 基因工程的基本原理	(338)	表达	(346)
第二节 常用的工具酶及载体	(338)	一、重组体的转化	(346)
一、常用的工具酶	(338)	二、重组体克隆的筛选与鉴定	(347)
二、载体	(341)	三、克隆基因的表达	(348)
第三节 构建 DNA 重组体	(343)	第五节 基因工程与医学的关系	(349)
一、目的基因制备	(343)	一、基因工程与医药产品	(349)
二、构建 DNA 重组体	(344)	二、基因诊断与基因治疗	(350)
第四节 DNA 重组体的转化与		三、环境监测与净化	(351)

第十七章 肝胆生化

第一节 肝脏在物质代谢中的		作用	(353)
作用	(352)	四、肝脏在维生素代谢中的	
一、肝脏在糖代谢中的作用	(352)	作用	(353)
二、肝脏在脂类代谢中的作用	(352)	五、肝脏在激素代谢中的作用	(353)
三、肝脏在蛋白质代谢中的		第二节 肝脏的生物转化作用	(354)

一、生物转化的概念·····	(354)	第四节 胆色素代谢·····	(362)
二、生物转化反应的类型·····	(354)	一、胆红素的生成·····	(362)
三、生物转化作用的特点·····	(357)	二、胆红素的运输·····	(363)
第三节 胆汁酸代谢·····	(358)	三、胆红素在肝细胞内的代谢·····	(363)
一、胆汁·····	(358)	四、胆红素在肠道中的变化及胆素 原的肠肝循环·····	(364)
二、胆汁酸的分类、代谢和生理 功用·····	(359)	五、血清胆红素与黄疸·····	(366)

第十八章 血液生化

第一节 血浆蛋白质·····	(367)	第二节 红细胞代谢·····	(375)
一、血浆蛋白质的分类与功能·····	(368)	一、血红蛋白的合成·····	(375)
二、重要的血浆蛋白质·····	(372)	二、成熟红细胞的代谢特点·····	(379)

第十九章 无机物代谢

第一节 水代谢·····	(383)	第五节 钙磷代谢·····	(391)
一、水的生理功能·····	(383)	一、钙、磷的含量和分布·····	(391)
二、水平衡·····	(384)	二、钙、磷的生理功能·····	(392)
第二节 体液·····	(385)	三、血钙和血磷·····	(392)
一、体液的含量和分布·····	(385)	四、钙磷的吸收与排泄·····	(393)
二、体液的电解质含量及其 特点·····	(385)	五、钙磷代谢的调节·····	(394)
三、各部分体液间的交流·····	(387)	第六节 微量元素·····	(396)
第三节 钠、氯和钾的代谢·····	(388)	一、碘·····	(396)
一、钠和氯的代谢·····	(388)	二、锌·····	(396)
二、钾的代谢·····	(388)	三、铜·····	(397)
第四节 水盐代谢的调节·····	(389)	四、氟·····	(397)
一、神经调节·····	(389)	五、硒·····	(397)
二、激素调节·····	(389)	六、锰·····	(397)
		七、钼·····	(398)

第二十章 酸碱平衡

第一节 体内酸碱性物质的来源·····	(399)	三、肾调节酸碱平衡的机制·····	(403)
一、体内酸性物质的来源·····	(399)	第三节 检验酸碱平衡的常用生化 指标·····	(406)
二、体内碱性物质的来源·····	(400)	第四节 酸碱平衡失调时生化指标的 变化特征·····	(408)
第二节 酸碱平衡的调节机制·····	(400)	一、单纯性酸碱平衡失调·····	(408)
一、血液对酸碱性物质的缓冲 机制·····	(400)	二、混合性酸碱平衡失调·····	(409)
二、肺调节酸碱平衡的机制·····	(402)		

第一章 蛋白质化学

蛋白质是重要的生物大分子，其含量约占细胞干重的一半。蛋白质不仅是构成生物体的主要成分，同时也是各种生命活动的物质基础，几乎所有的生物现象都是蛋白质分子运动的结果。例如：生命的重要特征新陈代谢，就是在一大类具有催化活性的蛋白质——酶的催化下进行的；调节物质代谢的激素，很多都是蛋白质或多肽；生物体内物质的运输、肌肉收缩、抵御病原体的侵袭等功能都离不开蛋白质；在遗传信息的传递、调控和表达过程中，蛋白质也起到十分重要的作用。因此，蛋白质在生物体的生长、繁殖、运动和代谢等各种生命过程中都是不可缺少的。

蛋白质的种类繁多，仅一个大肠杆菌内就有数千种蛋白质，在人体内有 10 万种以上，在整个生物界就更多了。这些蛋白质的结构各不相同，各有其特殊的功能。而各种生物体有它固有的蛋白质体系，从而表现出了多种多样的生命形式和奇妙的生命现象。蛋白质的功能是由它的结构决定的，只有深入了解蛋白质的结构，才能更好地了解蛋白质的功能。本章主要介绍蛋白质的构成单位氨基酸以及氨基酸如何构成蛋白质，进而讨论蛋白质分子不同层次的结构，最后阐述蛋白质结构与功能的关系及蛋白质的主要理化性质等。

第一节 蛋白质的化学组成

一、元素组成

组成蛋白质的元素主要有：碳 50%~55%、氢 6%~8%、氧 19%~24%、氮 13%~19%、硫 0%~4%。有的蛋白质还含有其他一些元素，如磷、铁、铜、锌、碘等。

在各种蛋白质中氮元素的含量比较接近，平均为 16%，体内其他物质的元素组成不具这一特点，可以认为氮元素是蛋白质的标志性元素。通常利用这一特点作为蛋白质定量测定的依据。测出生物样品中氮元素的含量，再乘以 16% 的倒数 6.25，即可求出蛋白质的大约含量。样品中蛋白质含量 = 样品含氮量 $\times$ 6.25。

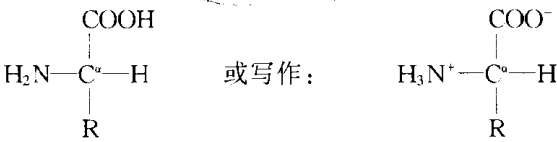
二、蛋白质的构件分子——氨基酸

用酶法或化学法将蛋白质进行完全水解，得到的小分子化合物几乎全部是各种氨基酸，由此可知蛋白质是由氨基酸构成的。事实上，组成蛋白质的碳、氢、氧、氮及少量的

硫元素，就是先构成氨基酸后，才进而连结成蛋白质大分子的。有些蛋白质完全由氨基酸组成，称为单纯蛋白质；有些蛋白质除了由氨基酸组成的蛋白质部分外，还有非蛋白质部分即辅基，这类蛋白质称为结合蛋白质。辅基可以是某些金属原子或别的有机化合物（如糖、脂、铁卟啉等）。无论单纯蛋白质或结合蛋白质，氨基酸都是其最主要的基本结构单位。

(一) 氨基酸的结构特点

构成蛋白质的基本氨基酸有 20 种，均为 L-α 氨基酸，其结构通式为：



式中与-COOH 基相连的碳原子称为 α-碳原子。20 种氨基酸中除脯氨酸外，在 α-碳原子上均连有一个氨基，仅脯氨酸中为环式亚氨基。除甘氨酸的 R-基为氢原子外，其余氨基酸 R-基是不同的原子团，它们的 α-碳原子为不对称碳原子或手性碳原子，因此具有旋光性。已知的天然蛋白质中的氨基酸均属 L-型。生物界 D-型氨基酸不多，主要存在于一些微生物产生的抗菌素或一些植物的生物碱中，不能参加蛋白质的构成。

不同氨基酸之间主要差异在于 R-基不同。各种氨基酸的 R-基其碳链长短不一，并具有不同的功能基如羧基、氨基、羟基、巯基、胍基、酰胺基及一些非极性疏水基团，使 R-基之间能发生各种相互作用，对于蛋白质构象的形成和稳定具有十分重要的意义。

这 20 种氨基酸都具有特异的遗传密码，在蛋白质生物合成中由遗传密码决定其在蛋白质中的排列顺序，因此又称编码氨基酸。此外，在天然蛋白质中也存在一些无遗传密码的非编码氨基酸，它们是由蛋白质中的编码氨基酸经酶促化学修饰转变成的。如胱氨酸是由 2 个半胱氨酸的巯基氧化形成二硫键连接成的，羟脯氨酸和羟赖氨酸分别是由脯氨酸和赖氨酸经酶促羟化反应转变成的。

(二) 氨基酸的分类

根据 R-基的结构和性质，一般将这 20 种氨基酸分为 4 类（表 1-1）。

1. 非极性疏水性氨基酸 这类氨基酸的 R-基无极性，在水溶液中受到水分子的排斥，所以是疏水的，这些 R-基相互靠近时有一种疏水相互作用使它们聚集。其中的脯氨酸比较特殊，它的 α-氨基是亚氨基且与末端碳原子形成环状，氮原子的移动度受到限制。

表 1-1 氨基酸分类

结构式（虚线左侧为 R-基）	中文名	英文名	三字符号	一字符号	等电点 (pI)
1. 非极性疏水性氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CHCOO}^- \\ \\ + \text{NH}_3 \end{array}$	甘氨酸	glycine	Gly	G	5.97
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CHCOO}^- \\ \\ + \text{NH}_3 \end{array}$	丙氨酸	alanine	Ala	A	6.00

(续表)

结构式 (虚线左侧为 R-基)	中文名	英文名	三字 符号	一字 符号	等电点 (pI)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad + \text{NH}_3^+ \end{array}$	缬氨酸	valine	Val	V	5.96
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad + \text{NH}_3^+ \end{array}$	亮氨酸	leucine	Leu	L	5.98
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad + \text{NH}_3^+ \end{array}$	异亮氨酸	isoleucine	Ile	I	6.02
$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ + \text{NH}_3^+ \end{array}$	苯丙氨酸	phenylalanine	Phe	F	5.48
$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_2 \quad \text{CHCOO}^- \\ \backslash \quad / \\ \text{CH}_2 \quad + \text{NH}_3^+ \end{array}$	脯氨酸	proline	Pro	P	6.30
2. 极性中性氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{C}_8\text{H}_7\text{N}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ + \text{NH}_3^+ \end{array}$	色氨酸	tryptophan	Trp	W	5.89
$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ + \text{NH}_3^+ \end{array}$	丝氨酸	serine	Ser	S	5.68
$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ + \text{NH}_3^+ \end{array}$	酪氨酸	tyrosine	Tyr	Y	5.66
$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ + \text{NH}_3^+ \end{array}$	半胱氨酸	cysteine	Cys	C	5.07
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{SCH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ + \text{NH}_3^+ \end{array}$	蛋氨酸	methionine	Met	M	5.74
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ + \text{NH}_3^+ \end{array}$	天冬酰胺	asparagine	Asn	N	5.41
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ + \text{NH}_3^+ \end{array}$	谷氨酰胺	glutamine	Gln	Q	5.65

(续表)

结构式 (虚线左侧为 R-基)	中文名	英文名	三字符号	一字符号	等电点 (pI)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{HO}-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	苏氨酸	threonine	Thr	T	5.60
3. 酸性氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{HOOCCH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	天冬氨酸	aspartic acid	Asp	D	2.97
$\begin{array}{c} \text{HOOCCH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	谷氨酸	glutamic acid	Glu	E	3.22
4. 碱性氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	赖氨酸	lysine	Lys	K	9.74
$\begin{array}{c} \text{NH} \\ \\ \text{NH}_2\text{CNHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	精氨酸	arginine	Arg	R	10.76
$\begin{array}{c} \text{HC}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \quad \\ \text{N} \quad \text{NH} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}$	组氨酸	histidine	His	H	7.59

2. 极性中性氨基酸 这类氨基酸的 R-基含有极性基团如羟基、酚基、吡啶基、巯基、甲硫基、酰胺基等,但是在生理 pH 条件下 (近中性) 这些基团不能解离,既不能释放 H^+ 也不能接受 H^+ ,属于中性氨基酸。由于 R-基有极性,可与水形成氢键,比较容易溶于水。

3. 酸性氨基酸 有天冬氨酸和谷氨酸两种,它们的 R-基都有 $-\text{COOH}$ 基,在生理 pH 条件下能解离释放 H^+ ,使其本身带负电荷,带负电的 $-\text{COO}^-$ 可与带正电的离子或基团之间形成离子键 (盐键)。

4. 碱性氨基酸 有赖氨酸、精氨酸和组氨酸 3 种。在 pH7.0 左右赖氨酸的 ϵ -氨基和精氨酸的胍基均可接受 H^+ 使 R-基带上正电荷,但组氨酸的咪唑基碱性较弱,在 pH 为 7.0 时质子化的分子不到 10%。带正电的 R-基可与带负电的离子或基团之间形成盐键。

(三) 氨基酸的理化性质

1. 两性解离性质 氨基酸既含有能释放 H^+ 的基团 (如羧基),也含有能接受 H^+ 的基团 (如氨基),因此是两性化合物。在溶液中它们既能进行酸性解离使分子带负电,也能进行碱性解离使分子带正电,但要由溶液的 pH 值决定。在一定 pH 条件下,某种氨基酸酸性解离和碱性解离的程度相等,分子所带的净电荷为零,此时溶液的 pH 值就称为该

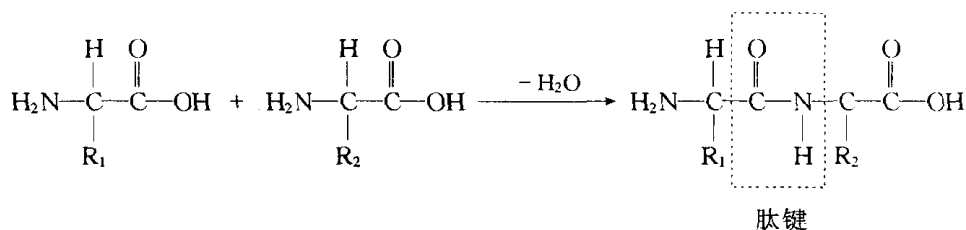
氨基酸的等电点 (pI)。各种氨基酸所含的酸性基团和碱性基团的数目不等, 其 pK 值也不同, 所以氨基酸的等电点各不相同。由于羧基的 pK 值比氨基的 pK 值距 7.0 较远, 因此除碱性氨基酸外, 其余氨基酸的等电点均小于 pH7.0。

2. 紫外吸收性质 20 种氨基酸在远紫外区 ($\lambda < 220\text{nm}$) 都有紫外吸收, 但在近紫外区 ($\lambda = 220 \sim 300\text{nm}$) 则只有酪氨酸、苯丙氨酸和色氨酸具有吸收紫外光的能力。这是因为这 3 种氨基酸均含有苯环的共轭双键系统。蛋白质分子中含有这 3 种氨基酸, 所以蛋白质也具有紫外吸收性质, 最大吸收峰在 280nm 波长处, 可以利用分光光度法测出蛋白质溶液在 280nm 波长处的吸光度, 计算出溶液中蛋白质含量。

3. 呈色反应 多数 α -氨基酸能与水合茚三酮反应生成蓝紫色化合物, 脯氨酸和羟脯氨酸与水合茚三酮反应生成黄色化合物。可利用这一呈色反应对氨基酸进行定性和定量分析。此外还有一些其他的呈色反应, 如酪氨酸与酚试剂反应生成蓝色等。都可用于蛋白质的定性或定量测定。

(四) 氨基酸之间的连接

1. 肽键与肽 蛋白质中的氨基酸通过肽键连接。一个氨基酸的 α -羧基与另一个氨基酸的 α -氨基脱去一分子水缩合形成的键称为肽键 (peptide bond)。肽键可看作是一种酰胺



键, 它与一般的酰胺键一样相当稳定, 但又不同于一般的酰胺键。20 世纪 30 年代末, 美国科学家 L·Pauling 等人开始对肽进行 X 线结晶衍射图研究, 发现肽键具有以下特点 (图 1-1)。

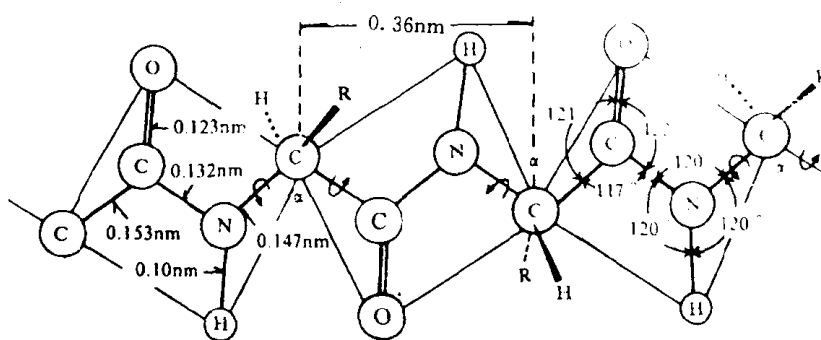


图 1-1 肽键平面示意图

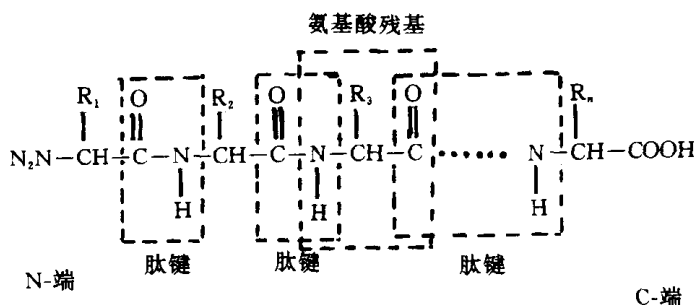
(1) 肽键中 C-N 键长为 0.132nm, 比一般 C-N 单键 (0.149nm) 短, 而比一般 C=N 双键 (0.127nm) 长, 表明肽键中的 C-N 键介于单键和双键之间, 具有部分双键的性质, 因此不能自由旋转。

(2) 在肽键中, 与 C—N 相连的氧原子和氢原子呈反式构型 ($\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{N}- \\ | \\ \text{H} \end{array}$)。

(3) 肽键中的 C=O 和 C—N 均不能自由旋转, 而且 C、N 周围的三个键角之和均为 360° , 因此肽键 ($-\text{CONH}-$) 中的 4 个原子和与之相邻的 2 个 α 碳原子 (C_α) 被约束在一个刚性平面 (即肽键平面) 上, 构成一个肽单元 (peptide unit)。

但是肽键 C—N 与 α -碳原子却是典型的单键相连, 可以自由旋转, 其转角大小就决定了 α -碳原子所处的两个肽键平面的相对位置, 如果每个转角的角度都已固定, 那么整条肽链的主链构象就确定了。

氨基酸借肽键相连形成的化合物称为肽 (peptide)。由两个氨基酸组成的肽称为二肽, 由此类推可生成三肽、四肽、五肽等; 由 10 个以内氨基酸连成的小肽称为寡肽 (oligopeptide)。由许多氨基酸生成的肽称为多肽 (polypeptide), 其形状为一条没有分支的长链, 故又称为多肽链或肽链 (peptide chain)。多肽链是蛋白质的基本结构。其结构为:



由于在形成肽键时丢失了一分子水, 肽链中的氨基酸分子已不完整, 故称为氨基酸残基 (amino acid residue)。肽链中含有自由 α -氨基的一端称为氨基末端, 简称 N-端; 含有自由 α -羧基的一端称为羧基末端, 简称 C-端。按惯例书写时, N-端列在左边, C-端列在右边, 中间写氨基酸的名称或简写符号, 从 N-端开始为氨基酸残基编码顺序号, 即肽链的方向为 $\text{N} \rightarrow \text{C}$ 。

肽链的骨干是由肽单元重复排列而成长链, 称为主链, 氨基酸残基的 R-基连在主链上成为侧链。各种不同的肽链其主链都是一样的, 但侧链 (R-基) 的顺序即氨基酸残基的顺序各不相同。

2. 生物活性肽 在生物体内, 还有许多小分子的肽。蛋白质与肽尤其是多肽之间没有严格的区别, 它们都是氨基酸的聚合物, 主要区别是蛋白质具有特定且相对稳定的构象, 所含的氨基酸残基数较多; 而多肽一般不具有稳定的构象, 所含的残基数较少。所谓多少也没有明确的界线, 一般把有 51 个氨基酸残基的胰岛素归属于蛋白质, 比它小的称为多肽。有些具有重要生理功能的小分子肽, 称为生物活性肽。例如:

(1) 谷胱甘肽 (glutathione, GSH) 是由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸组成的三肽, 构成第一个肽键的羧基不是谷氨酸的 α -羧基而是 γ -羧基。分子中含有一个 -SH 基, 是重要的功能基故写成 GSH。

GSH 是体内重要的还原剂, 它可给出电子使 H_2O_2 及嗜电子的药物、毒物还原, 避免细胞内的蛋白质和核酸受这些物质的氧化变性, 对细胞具有保护作用。GSH 氧化后可在