

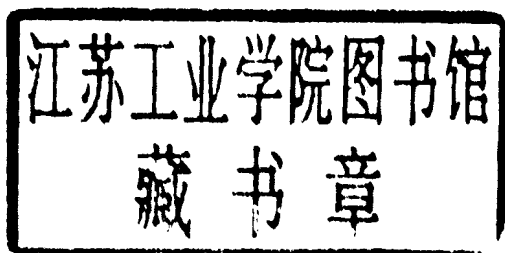
兽医、畜牧、兽医公共卫生专业本科基本教材

动物生物化学

中国人民解放军兽医

1990, 8

动 物 生 物 化 学



绪 言

生物化学 (Biochemistry) 是生命的化学。它是用化学的理论和方法研究生物体的化学组成, 生命活动过程中化学变化的规律 (新陈代谢), 以及化学变化与生理功能的关系, 阐明生命现象的化学本质的一门科学。以动物为研究对象的称为动物生物化学 (Animal biochemistry)。

生物体是由蛋白质、核酸、糖、脂类等有机化合物和多种无机化合物组成的。无论是有机化合物或无机化合物都是生命所必需的物质。从分子水平来看, 生命是由蛋白质、核酸以及糖、脂类等一类大分子和另一类氨基酸、核苷酸、单糖、脂肪酸等小分子组成的。由众多的小分子, 按一定的组成规律, 并连接生成复杂的生物大分子、亚细胞结构、组织、器官, 并在一定条件下表现各种功能。但是作为生命的最基本的物质是蛋白质和核酸。每一种生物在生长、发育过程中都需要有特定的蛋白质, 各种蛋白质表现各种功能, 体现生命活动。核酸是指导合成各种特有蛋白质, 并能体现生命特征和一代代相传下去的另一类大分子物质。蛋白质和核酸不仅是一切生物体的基本组成部分, 而且是生命活动的物质基础。

生命现象是自然现象中最复杂的现象之一, 是物质运动的高级形式。生命活动最一般而显著的规律是机体与其周围环境间的新陈代谢 (Metabolism), 其中包含着复杂而有规律的化学变化过程。机体通过新陈代谢, 实现体温的维持、肌肉收缩、腺体分泌、生长及生殖等生命活动。新陈代谢的协调则必须依赖于机体细胞水平的调节、激素和神经的调节。新陈代谢停止, 生命也就终止。

生物化学是十九世纪末和廿世纪初才发展成为一门独立的新学科。它是一门比较年青的学科, 也是廿世纪中发展最快、最引起人们重视的学科。近二、三十年来, 由于生产实践的需要, 各门科学的互相推动, 以及现代科学技术的应用, 有力地推动生物化学的发展。特别是近年来, 生物化学在生物体内生物大分子的结构与功能方面, 新陈代谢及其调控等方面有较深入的了解。

以生物大分子结构与功能, 特别是以蛋白质和核酸的结构与功能为基础去探讨生命现象的本质, 已成为现代生物科学的主要发展动向, 并把生物学推进到分子生物学时代。分子生物学和生物工程 (包括基因工程、酶工程、蛋白质工程、细胞工程、微生物发酵工程和生化工程) 都是以生物化学为基础发展起来的新学科和新技术。分子生物学的兴起和生物工程技术的应用, 使生命科学的研究上升到一个崭新的阶段, 不仅从分子水平较深入的阐明了生命现象的本质, 而且标志着从认识和利用生物, 进入了改造和创建物种的新时期, 对工农业生产、医学方面, 包括畜牧、兽医方面发挥极为重要的作用。

生物化学与畜牧兽医各专业学科有广泛的联系, 且也极为重要。在畜牧学上, 为了定向培育家畜新的优良品种, 必须探讨遗传性的生化基础。近年来, 分子遗传学的建立

和基因工程的出现，不但能说明遗传的生化基础，而且能改变遗传特性。可见生物化学与遗传学是何等密切。为了使饲养不同种类的家畜适合人类需要，必须探求合理饲养的科学依据。生物化学为合理的饲养提供了理论依据。因此，生物化学是遗传学、饲养学以及与此有关的畜牧学的基础学科。

在兽医学上，从分子水平弄清生理功能仍是生理学和生物化学的共同目的。微生物学的研究、药理学中阐明药物化学结构与生物活性的关系及药物作用机理、病理生理学为了阐明生理功能紊乱和代谢失调的机理，以及兽医临床医学为了探讨病因、作出诊断和寻求防治措施等都应用生物化学的原理和技术。甚至组织学、病理解剖学、解剖学和寄生虫学等学科，也应用生物化学的知识和技术。以探讨各自的问题。可见，动物生物化学与畜牧学各科和兽医学各科都有密切联系，它是兽医基础课的基础学科，也是兽医临床和畜牧学的基础学科。

学习动物生物化学的目的，不仅是了解动物体的化学组成，及代谢的一般规律和特有规律及其与功能的联系，更重要的是，通过学习掌握和运用这些规律来帮助认识疾病的发生和发展，从而为预防、诊断和治疗疾病提供有关依据，以及直接运用近代生物化学的理论和技術去研究当前畜牧兽医中存在的问题，促进畜牧兽医科学的向前发展，为实现我国四个现代化做出新的贡献。

(汪玉松)

目 录

绪 言.....	(1)	第三节 酶作用的机理.....	(31)
第一章 蛋白质的化学.....	(1)	一 酶作用与分子活化能的 关系.....	(31)
第一节 蛋白质的生物学意义	(1)	二 中间产物学说.....	(32)
第二节 蛋白质的化学组成	(1)	三 诱导契合学说.....	(32)
一 蛋白质的元素组成.....	(1)	四 多酶体系.....	(33)
二 蛋白质的水解.....	(2)	第四节 酶促反应的动力学.....	(33)
三 组成蛋白质分子的基本 单位——氨基酸.....	(2)	一 温度对酶作用的影响.....	(34)
第三节 蛋白质的分子结构.....	(7)	二 pH 对酶作用的影响.....	(34)
一 蛋白质分子的基本结构 (一级结构).....	(7)	三 酶浓度对酶作用的影响	(35)
二 蛋白质的空间结构.....	(9)	四 底物浓度对酶作用的影 响.....	(36)
三 蛋白质分子结构与功能 的关系.....	(14)	五 抑制剂对酶作用的影响	(39)
第四节 蛋白质的性质.....	(17)	六 激活剂对酶作用的影响	(41)
一 蛋白质的两性电离和等 电点.....	(17)	第五节 酶的命名和分类.....	(43)
二 蛋白质的胶体性质.....	(18)	一 酶的命名.....	(43)
三 蛋白质的沉淀.....	(19)	二 酶的分类.....	(43)
四 蛋白质的变性.....	(21)	第六节 酶的分离、提纯和活 性测定.....	(44)
五 蛋白质的颜色反应.....	(22)	一 酶的分离、提纯.....	(44)
第五节 蛋白质的分类.....	(23)	二 酶的活性测定.....	(45)
第二章 酶.....	(25)	第七节 酶在畜牧兽医实践中 的应用.....	(46)
第一节 概述.....	(25)	一 酶在畜牧学上的应用.....	(46)
一 酶的概念.....	(25)	二 酶在兽医学上的应用.....	(46)
二 酶作用的特点.....	(25)	第三章 维生素和辅酶.....	(47)
第二节 酶的分子组成及结构 与功能的关系.....	(27)	第一节 概述.....	(47)
一 酶的分子组成.....	(27)	一 维生素的概念.....	(47)
二 酶的结构与功能的关系	(28)	二 维生素的分类和命名.....	(47)
		第二节 水溶性维生素.....	(48)

一 维生素 B ₁ 和 羧化辅酶	三 生物氧化的场所····· (84)
····· (48)	四 催化生物氧化的酶类·· (85)
二 维生素 B ₂ 和 黄酶辅基	第二节 呼吸链····· (86)
····· (49)	一 呼吸链的组成····· (86)
三 维生素PP和辅酶 I 辅酶 I	二 呼吸链中的电子传递体
····· (50)	系····· (89)
四 维生素 B ₆ 和 磷酸吡哆	第三节 氧化磷酸化····· (91)
醛····· (52)	一 高能磷酸化合物····· (91)
五 泛酸和辅酶 A····· (53)	二 氧化磷酸化作用和ATP
六 生物素····· (54)	形成····· (92)
七 叶酸和辅酶 F····· (55)	三 氧化磷酸化的偶联机理
八 维生素 B ₁₂ 和辅酶 B ₁₂	····· (94)
····· (56)	四 影响氧化磷酸化的因素
九 维生素 C····· (57)	····· (95)
第三节 脂溶性维生素····· (59)	五 高能磷酸键的储存和利
一 维生素 A····· (59)	用····· (97)
二 维生素 D····· (61)	第四节 微粒体氧化体系和过
三 维生素 E····· (62)	氧化体氧化体系····· (98)
四 维生素 K····· (63)	一 加单氧酶····· (98)
五 α-硫辛酸····· (65)	二 加双氧酶····· (99)
第四章 激素的化学····· (67)	三 过氧化氢的生成及其毒
第一节 概述····· (67)	性····· (99)
第二节 含氮激素····· (67)	四 过氧化氢的处理和利用
一 甲状腺激素····· (67)	····· (100)
二 甲状旁腺激素····· (68)	第五节 生物氧化中二氧化碳
三 降钙素····· (71)	的生成····· (100)
四 肾上腺素····· (71)	一 直接脱羧反应····· (100)
五 胰岛素····· (72)	二 氧化脱羧反应····· (101)
六 胰高血糖素····· (73)	第六章 糖的代谢····· (102)
七 生长激素和催乳激素·· (74)	第一节 概述····· (102)
八 孕马血清促性腺激素·· (76)	一 新陈代谢的概念····· (102)
第三节 类固醇激素····· (76)	二 糖代谢的概念····· (102)
一 肾上腺皮质激素····· (76)	三 糖的生理作用····· (103)
二 性激素····· (78)	第二节 糖原的合成和分解·· (103)
第五章 生物氧化····· (82)	一 糖原生成作用····· (104)
第一节 概述····· (82)	二 糖原分解作用····· (106)
一 生物氧化的意义····· (82)	第三节 糖的氧化分解····· (108)
二 生物氧化的特点····· (82)	一 糖的无氧分解····· (108)

二 糖的有氧分解…………… (115)	一 磷脂的代谢…………… (158)
三 磷酸戊糖通路…………… (122)	二 胆固醇的代谢…………… (161)
四 其它已糖代谢…………… (125)	第八章 蛋白质的分解代谢 …………… (164)
第四节 糖的异生作用 …………… (127)	第一节 蛋白质的营养作用 … (164)
一 糖异生的场所和原料… (127)	一 蛋白质的生理作用…… (164)
二 糖异生的途径…………… (127)	二 氮平衡与蛋白质需要… (164)
三 糖异生作用的生理意义 …………… (129)	三 必需氨基酸与蛋白质的 营养价值…………… (165)
第五节 血糖 …………… (130)	第二节 氨基酸的一般代谢 … (166)
一 血糖的来源和去路…… (131)	一 氨基酸代谢的概况…… (166)
二 激素对血糖浓度的调节 …………… (132)	二 氨基酸的脱氨基作用… (167)
第六节 糖代谢调节 …………… (132)	三 氨的代谢…………… (172)
一 代谢物对关键酶的调节 作用…………… (132)	四 酮酸的代谢…………… (175)
二 激素的调节作用…………… (133)	五 氨基酸的脱羧基作用… (176)
第七章 脂类的代谢 …………… (136)	第三节 某些氨基酸的特殊代 谢 …………… (176)
第一节 脂类及其生理作用 … (136)	一 一碳基团的代谢…………… (176)
一 动物体内的主要脂类… (136)	二 含硫氨基酸的代谢…… (179)
二 脂类的生理作用…………… (137)	三 酪氨酸与苯丙氨酸的代 谢…………… (182)
第二节 脂类的运输、储存和 动员 …………… (138)	四 肌酸的代谢…………… (183)
一 脂类的运输…………… (138)	第四节 激素对蛋白质代谢的 调节 …………… (184)
二 脂肪的储存…………… (141)	一 生长激素…………… (184)
三 脂肪的动员…………… (141)	二 胰岛素…………… (185)
第三节 脂肪的分解与合成 … (142)	三 雄激素…………… (185)
一 脂肪的分解…………… (142)	四 甲状腺激素…………… (185)
二 脂肪的合成…………… (149)	五 肾上腺皮质激素…………… (185)
第四节 激素对脂肪代谢的调 节 …………… (157)	第五节 糖、脂肪和蛋白质代 谢之间的关系 …………… (185)
一 胰岛素…………… (157)	一 糖和脂肪代谢的关系… (186)
二 肾上腺素…………… (157)	二 蛋白质和糖代谢的关系 …………… (186)
三 生长激素与肾上腺皮质 激素…………… (157)	三 蛋白质和脂肪代谢的关 系…………… (186)
四 甲状腺激素…………… (157)	第九章 核酸的化学 …………… (188)
五 性激素…………… (157)	第一节 核酸的分类和在细胞 内的分布 …………… (188)
第五节 磷脂和胆固醇的代谢 …………… (158)	

(一) 核酸的分类..... (188)	别..... (241)
(二) 核酸在细胞内的分布... (189)	四 多核蛋白体的蛋白质合
(三) 核酸的化学组成..... (189)	成情况..... (242)
(四) 组成核酸的基本化学成	五 翻译后的加工..... (243)
(一) 分..... (189)	第三节 蛋白质生物合成的调
(二) 组成核酸的基本单位—	节..... (245)
单核苷酸..... (191)	一 转录水平的调节..... (245)
(三) DNA的分子结构..... (196)	二 翻译水平的调节..... (248)
一 DNA的一级结构..... (196)	第十二章 代谢调节 (250)
二 DNA的二级结构..... (196)	第一节 细胞水平的代谢调节
三 DNA的三级结构..... (198)	 (250)
四 DNA和基因组织..... (198)	一 酶分子结构改变的调节
第四节 RNA的分子结构..... (199)	 (250)
一 RNA的一级结构..... (199)	二 酶含量的调节..... (255)
二 RNA的二级结构..... (201)	第二节 激素对代谢的调节机
三 RNA的三级结构..... (203)	理..... (256)
第五节 核酸的理化性质..... (203)	一 激素通过细胞膜受体的
一 一般性质..... (203)	调节作用..... (257)
二 核酸对紫外光的吸收... (204)	二 激素通过细胞内受体的
三 核酸的变性与复性..... (204)	调节作用..... (264)
第十章 核酸的代谢 (207)	第十三章 血液生物化学 (268)
第一节 核苷酸的代谢..... (207)	第一节 血液中的主要化学成
一 嘌呤核苷酸的代谢..... (207)	分..... (268)
二 嘧啶核苷酸的代谢..... (213)	一 血液中非蛋白质含氮化
第二节 核酸的合成..... (216)	合物..... (268)
一 遗传信息的传递..... (216)	二 血浆蛋白质..... (269)
二 DNA的生物合成..... (217)	第二节 红细胞的代谢..... (273)
三 RNA的生物合成..... (225)	一 红细胞的化学组成..... (273)
第十一章 蛋白质的生物合成 ... (230)	二 成熟红细胞的代谢特点
第一节 概述..... (230)	 (274)
一 蛋白质生物合成概况... (230)	三 血红蛋白..... (279)
二 蛋白质生物合成体系... (231)	四 铁的代谢..... (288)
第二节 蛋白质生物合成过程	第十四章 体液平衡与酸碱平衡
..... (236)	 (292)
一 氨基酸的活化与转运... (236)	第一节 体液平衡..... (292)
二 核蛋白体循环..... (237)	一 水和电解质的生理作用
三 原核生物与真核生物在	 (292)
蛋白质生物合成上的区	二 体液的来源和去路..... (293)

三 体液中水和电解质的含 量 and 分布.....	(294)
四 体液间的液体交换.....	(296)
五 体液平衡的调节.....	(297)
第二节 酸碱平衡.....	(299)
一 酸碱平衡的意义及酸碱 物质的来源.....	(299)
二 调节酸碱平衡的主要机 理.....	(300)
第十五章 骨质代谢与钙磷代谢	(308)
第一节 骨质代谢.....	(308)
一 骨骼的化学组成特点...	(308)
二 成骨作用与溶骨作用...	(309)
第二节 钙磷代谢.....	(311)
一 钙磷在体内的含量、分 布及生理作用.....	(311)
二 钙磷的吸收和排泄.....	(311)
三 血钙和血磷.....	(312)
四 钙磷代谢的调节.....	(313)
第十六章 微量元素的代谢	(317)
第一节 概述.....	(317)
一 微量元素的概念.....	(317)
二 微量元素的生理功能...	(317)
三 微量元素中毒.....	(318)
第二节 几种微量元素的代谢 特点.....	(318)
一 硒的代谢.....	(318)
二 铜的代谢.....	(320)
三 锌的代谢.....	(321)
四 氟的代谢.....	(321)

五 碘的代谢.....	(322)
六 钴的代谢.....	(322)
七 钼的代谢.....	(323)
八 锰的代谢.....	(323)
九 其它微量元素.....	(324)
第十七章 组织生化	(325)
第一节 肝脏生化.....	(325)
一 肝脏的化学组成特点...	(325)
二 肝脏的代谢功能.....	(325)
三 胆汁酸的代谢和生理功 能.....	(327)
四 肝脏的生物转化.....	(330)
第二节 神经组织生化.....	(334)
一 神经组织的化学组成...	(334)
二 脑组织代谢特点.....	(335)
三 神经递质的代谢.....	(338)
第三节 肌肉组织生化.....	(346)
一 肌肉组织的化学组成...	(346)
二 肌肉收缩与松弛的分子 机理.....	(348)
三 肌肉组织的能代谢.....	(354)
四 心肌.....	(355)
第十八章 乳和蛋的生物化学 ...	(356)
第一节 乳的生物化学.....	(356)
一 乳的化学成分.....	(356)
二 乳成分的生物合成.....	(363)
第二节 蛋的生物化学.....	(364)
一 蛋的结构.....	(364)
二 蛋的化学组成.....	(365)
三 蛋成分的合成.....	(368)

第一章 蛋白质的化学

第一节 蛋白质的生物学意义

蛋白质 (Protein) 在生物体内占有特殊的地位。蛋白质和核酸是构成原生质 (Protoplasm) 的主要成分。原生质是生命现象的物质基础。

从高等动植物到低等的微生物, 都含有蛋白质。高等动物新鲜组织中蛋白质的含量约为20%。植物体含量较低, 约占0.5~3%, 但豆类种子含量较高, 例如黄豆中蛋白质高达40%。鱼、贝类蛋白质含量也很丰富, 约占16~22%。微生物中蛋白质含量也很高, 细菌中一般含50~80%, 病毒则除了一小部分核酸外, 其余几乎都是蛋白质。

蛋白质的重要性不仅在含量多, 而且种类繁多, 大肠杆菌是简单的单细胞生物, 每个菌体估计有三千种不同结构的蛋白质分子, 复杂的动物体则有十万种以上。由于不同蛋白质具有不同结构, 从而呈现不同生理功能, 例如催化生物体内化学过程的酶, 调节新陈代谢的某些激素, 运载 O_2 和 CO_2 的血红蛋白以及某些虾蟹、贝类的血蓝蛋白, 在生物氧化过程中传递电子的细胞色素, 运输脂类的血浆脂蛋白, 协调机体运动的肌动蛋白和肌球蛋白, 参与免疫作用的抗体, 决定生物生长、繁殖和遗传变异的核蛋白, 控制或调节核酸遗传信息表达的组蛋白等。其它还有许多蛋白质在凝血作用, 通透作用, 营养作用以及动物的记忆活动等方面都起着重要作用。

从上面所举例子可见, 蛋白质在生命活动过程中起着非常重大的作用。近二十年来, 由于分子生物学和生物化学的迅速发展, 已经可以在实验室中精确测定其分子结构, 进行精细的理化性质的研究和结构与功能关系的研究等, 使人们从分子水平来认识生命现象取得重大进展。我国科学家1965年在世界上首次用化学方法, 合成了具有生物学活性的蛋白质——结晶牛胰岛素。这一重大成功, 雄辩地证实了生命现象的物质基础。近年来我国科学家又成功地完成了胰岛素结构的测定工作, 基本搞清楚了空间结构, 为今后研究胰岛素分子结构与功能关系, 创造了有利条件, 使我们在探索生命本质的征途上又前进了一步。

第二节 蛋白质的化学组成

自然界蛋白质的种类很多, 不同蛋白质的组成和结构彼此不同, 但所有蛋白质的基本组成仍有许多共同特点。

一 蛋白质的元素组成

从生物组织中提取的各种蛋白质, 经元素分析, 知其组成和含量大致相似。它们除含氮外, 尚含有碳、氢、氧以及少量硫。有些蛋白质还含有磷、铁、锰、锌、碘等元

素。一般干燥蛋白质的主要元素分析平均值为：

碳：50~55%	氢：6.0~7.0%
氧：20~23%	氮：14.7~19.5%
硫：0.3~2.5%	

糖和脂肪一般不含氮、因此氮是蛋白质的特征性元素，而且多数蛋白质含氮量相当接近，一般恒定在14.7~19.5%，平均16%左右。也就是说，每100克蛋白质平均含氮量约为16克。在定量分析蛋白质时，只要测得样品中的含氮量，就可以算出蛋白质的近似含量（粗蛋白质含量）。

$$\frac{\text{蛋白质含氮量}}{\text{蛋白质含量}} = \frac{16}{100}$$

$$\text{蛋白质含量} = \text{蛋白质含氮量} \times \frac{100}{16} = \text{蛋白质含氮量} \times 6.25$$

由于不同样品中的蛋白质含氮量差异较大，凡蛋白质含氮量尚未确定的样品，可用平均系数6.25乘以含氮量，算出粗蛋白质的量。但蛋白质含氮量已经确定的样品，则按它们的实际系数换算。例如荞麦、玉米用系数6.00，大豆、蚕豆、小麦用系数5.70，牛奶用系数6.38。

二 蛋白质的水解

蛋白质是一种结构极其复杂的高分子化合物，分子量一般都在一万以上。它可被酸、碱或酶水解。其水解程度因反应条件不同而分为不完全水解和完全水解两种。不完全水解的产物是分子量大小不等的肽段和氨基酸。肽段是蛋白质分子的碎片，它由二个乃至几十个氨基酸所组成。完全水解的产物是氨基酸的混合物。肽段可以进一步水解，分子碎片越来越小，最后成为各种氨基酸。但氨基酸不能再水解，所以氨基酸是蛋白质的最终水解产物，是组成蛋白质的基本单位。

酸法水解是最常用的方法。一般用6mol/L HCl，在无氧条件下，维持110℃水解20多个小时，即可完全水解成氨基酸。该法较稳定，不会引起消旋作用，但色氨酸常被破坏。

碱法水解一般用2mol/L Ba(OH)₂，水解10小时，蛋白质可以完全水解。但该法缺点多，可以使含硫、含羟基或含胍基的氨基酸破坏，同时会使氨基酸产生消旋作用，故不宜用来制备L-型氨基酸。

酶法水解因其作用条件温和，故可避免以上两种方法缺点。但酶法水解蛋白质是在体外进行，即要较长时间而且水解又不完全，单用某一种蛋白酶不可能将蛋白质完全水解成氨基酸，故该法常用于蛋白质不完全水解，以制取水解蛋白。

生产上常把蛋白质不完全水解产物，按其分子大小分别称胨、肽、肽。其实，胨、肽是指分子量较大而又不确定的多肽混合物。

三 组成蛋白质分子的基本单位——氨基酸

（一）氨基酸的结构通式

氨基酸（Amino acid）是构成蛋白质的基本单位，含有氨基的羧酸。从蛋白质中

分离出来的氨基酸都是 α -氨基酸，即其结构中氨基（ $-\text{NH}_2$ ）或亚氨基（ $-\text{NH}-$ ）都与邻接羧基（ $-\text{COOH}$ ）的碳原子相连接。氨基酸的化学结构可以用以下通式表示。式中R为 α -氨基酸的侧链，其它基团则为各种氨基酸的共同结构。



从上述结构通式可以看出，除R为氢原子（即甘氨酸）外，所有 α -氨基酸分子中的 α -碳原子都为不对称碳原子。因此，第一，氨基酸都具有旋光性，能使偏振光平面向左或向右旋转，左旋者通常用 $(-)$ 表示，右旋者用 $(+)$ 表示；第二，每一种氨基酸都有D型和L型两种立体异构体，这取决于 α -碳原子上氨基的位置。书写时将羧基写在 α -碳原子的上端，则氨基在左边的为L-型，氨基在右边的为D-型。从蛋白质水解得到的 α -氨基酸都属于L-型的，所以习惯上书写氨基酸都不标明构型和旋光方向。虽然蛋白质组成分子中没有D-型氨基酸，但在生物界有D-型氨基酸存在，如某些细菌产生的抗菌素就含有。

在生物体内除了构成蛋白质的 α -氨基酸外，尚含有游离的 β -丙氨酸（是偏多酸的前体）和 γ -氨基丁酸（一种传递神经冲动的化学介质）等。

（二）氨基酸的分类

按照 α -氨基酸侧链的极性性质的不同，将氨基酸分为以下四类：

- （1）非极性或疏水性氨基酸
- （2）不带电荷的极性氨基酸
- （3）带正电荷的极性氨基酸
- （4）带负电荷的极性氨基酸

这种分类的优点在于它更有利于反映不同氨基酸在蛋白质中可能发挥的作用。四类氨基酸分别列表如下。（表1—1、表1—2、表1—3、表1—4）。

表 1—1 非极性或疏水性氨基酸

名 称	缩写符号	化学结构式	分 子 量	等 电 点
L $(-)$ 丙氨酸 (alanine)	丙 (Ala) (A)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	89	6.0
L $(+)$ 缬氨酸 (valine)	缬 (Val) (V)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{C}-\text{COO}^- \\ / \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	117	5.96

L (-) 亮氨酸 (leucine)		亮 (Leu) (L)	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \diagup \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_3^+ \end{array} $	131	5.98
L (-) 异亮氨酸 (isoleucine)		异亮 (Ile)	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_3^+ \end{array} $	131	6.02
L (-) 脯氨酸 (proline)		脯 (Pro) (P)	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2 \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{CH}_2 \quad \text{C}-\text{COO}^- \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{CH}_2 \quad \text{NH}_2 \end{array} $	115	6.3
L (-) 苯丙氨酸 (phenylalanine)		苯丙 (Phe) (F)	$ \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ $	165	5.48
L (-) 色氨酸 (tryptophan)		色 (Trp) (W)	$ \text{Indole ring}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ $	204	5.89
L (-) 蛋氨酸 (methionine)		蛋(甲硫) (Met) (M)	$ \begin{array}{c} \text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_3^+ \end{array} $	149	5.74

表 1—2

不带电荷的极性氨基酸

名 称	缩写符号	化学结构式	分子量	等电点
甘氨酸 (glycine)	甘 (Gly) (G)	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} $	75	5.97
L (+) 丝氨酸 (serine)	丝 (Ser) (S)	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{HO}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} $	105	5.68

L (-) 苏氨酸 (threonine)	苏 (Thr) (T)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	119	6.16
L (-) 半胱氨酸 (cysteine)	半胱 (Cys) (C)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{HS}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	121	5.07
L (-) 酪氨酸 (tyrosine)	酪 (Tyr) (Y)	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	181	5.66
天门冬酰胺 (asparagine)	天冬酰胺 (Asn) (N)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N} \\ \diagdown \\ \text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ // \quad \\ \text{O} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	132	5.41
谷氨酰胺 (glutamine)	谷氨 (Gln) (Q)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	146	5.65

表 1—3

带正电荷的极性氨基酸

名 称	缩写符号	化学结构式	分子量	等电点
L (+) 赖氨酸 (lysine)	赖 (Lys) (K)	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	146	9.47
L (+) 精氨酸 (arginine)	精 (Arg) (R)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \quad \\ \text{NH}_2^+ \quad \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	174	10.26
L (-) 组氨酸 (histidine)	组 (His) (H)	$\begin{array}{c} \text{HC}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \quad \\ \text{HN} \quad \text{NH} \quad \text{NH}_3^+ \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}$	155	7.59

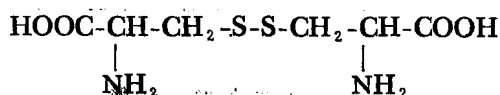
表 1—4 带负电荷的极性氨基酸

名 称	缩写符号	化学结构式	分子量	等电点
L (+) 天门冬氨酸 (aspartic acid)	天冬 (Asp) (D)	$\begin{array}{c} \text{O}^- \\ \diagup \\ \text{C} - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{COO}^- \\ \diagdown \quad \\ \text{O} \quad \text{H} \\ \quad \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	133	2.77
L (+) 谷氨酸 (glutamic acid)	谷 (Glu) (E)	$\begin{array}{c} \text{O}^- \\ \diagup \\ \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{COO}^- \\ \diagdown \quad \\ \text{O} \quad \text{H} \\ \quad \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	147	3.22

以上20种氨基酸是指在蛋白质生物合成时，能参入蛋白质分子中的氨基酸。但蛋白质合成后，分子中某些氨基酸侧链可以发生一定程度的变化，而形成另一种氨基酸。如赖氨酸和脯氨酸，在胶原中常羟化成羟赖氨酸和羟脯氨酸；二分子半胱氨酸借二硫键结合成一分子胱氨酸；酪氨酸经碘化生成二碘酪氨酸及甲状腺素等。此外，生物体内还有一些不参与构成蛋白质的游离氨基酸，如鸟氨酸、胍氨酸等，它们是氨基酸代谢的中间产物，其结构式如下：

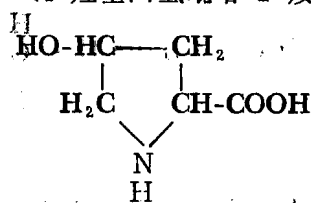
胱氨酸 Cystine (Cys)₂

〔二 (β-硫-α-氨基丙酸) 〕



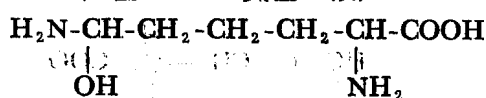
羟脯氨酸 Hydroxyproline (Hyp)

(4-羟基四氢吡咯-2-羧酸)

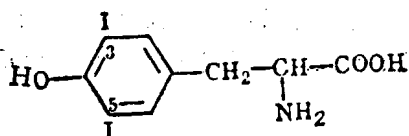


羟赖氨酸 Hydroxylysine (Hyl)

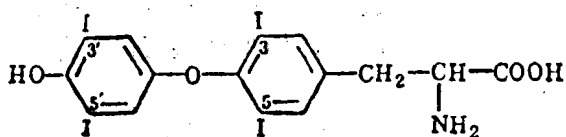
(δ-羟基-α-ε-二氨基己酸)



二碘酪氨酸 Diiodotyrosine (DTT)

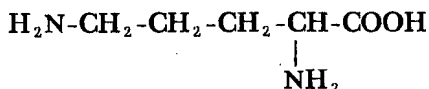


甲状腺素 Thyroxine (T₄)
(四碘甲状腺原氨酸)



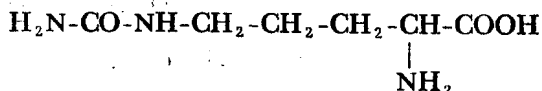
鸟氨酸 Ornithine (Orn)

(α - δ -二氨基正戊酸)



瓜氨酸 Citrulline (Cit)

(α -氨基- δ -脲基正戊酸)



第三节 蛋白质的分子结构

蛋白质是由20种氨基酸借肽键相连而成的多肽链所组成。有的蛋白质分子只有一条多肽链，有的则有两条以上。

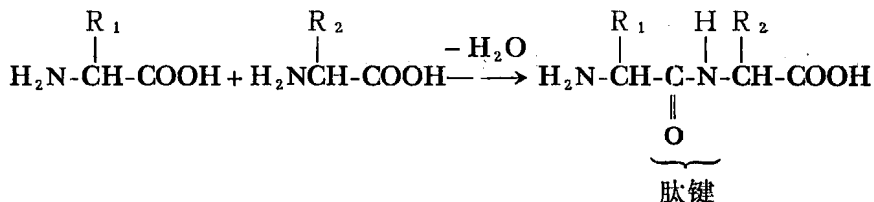
蛋白质是生物大分子，分子量在 $5 \times 10^3 \sim 1 \times 10^6$ 之间，各种蛋白质中氨基酸组成，排列顺序和肽链立体结构均不相同。由于蛋白质的结构极其复杂，目前一般按其结构水平分为基本结构（一级结构）和空间结构（二、三、四级结构）。

一 蛋白质分子的基本结构（一级结构）

蛋白质分子的一级结构 (Primary structure) 是由许多氨基酸按一定的排列顺序通过肽键相连而成的多肽链 (Polypeptide chain)。它包括氨基酸组成、氨基酸间的连接方式、氨基酸排列顺序、肽链数目、末端组成，以及链内和链间二硫键位置等内容。

(一) 氨基酸在蛋白质分子中的连接方式

1. 肽键和肽链 由一个氨基酸的氨基与另一个氨基酸的羧基缩合，失去一分子水形成的酰胺键，一般称为肽键 (Peptide bond)。其生成的化学反应为：

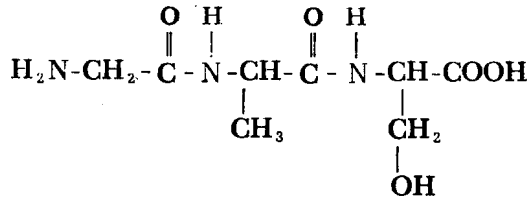


氨基酸通过肽键相连所形成的化合物称为肽 (Peptide)，由二个氨基酸分子组成的肽称为二肽 (Dipeptide)，由三个氨基酸分子组成的肽称为三肽 (Tripeptide)，其余类推。一般由十个以上氨基酸分子组成的肽称为多肽 (Polypeptide)。因多肽分子呈链状结构，故称为肽链。肽链中的氨基酸已不是完整分子，因失水而稍有残缺，故称为氨基酸残基。多肽链的一端含有自由的 α -氨基，称氨基末端 (N-terminal, N-端)，另一端含有自由 α -羧基，称为羧基末端 (C-terminal, C-端)。肽链上的 $\text{R}_1 \text{R}_2 \dots$ 代表

各氨基酸残基的侧链，其上有很多基团，如羟基、巯基、 γ -羧基、 δ -氨基等。

通常写肽链时，总是把游离的 α -NH₂ 端写在左边，可以在氨基酸的缩写或符号前加“H”表示；把 α -COOH 端写在右边，可以在氨基酸的缩写或符号后加“OH”表示。

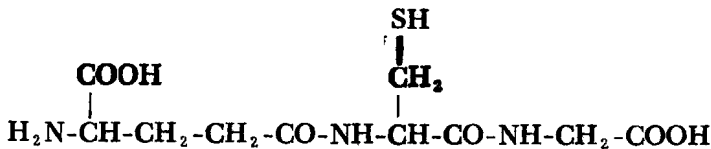
肽的命名是以C端氨基酸残基为母体，把肽链中其他氨基酸残基名称中的酸字改为酰字，按它们在链中顺序（自左至右）写在母体名称之前。所以下列所示三肽应称甘氨酸、丙氨酰、丝氨酸。



此三肽简式如下：H·甘·丙·丝·OH 或 HGly·Ala·SerOH

2. 多肽链的不同形式 已知多肽链有三种不同形式，无分支开链多肽、分支开链多肽和环状多肽。

无分支开链多肽，在许多蛋白质和天然多肽都具有此结构。如谷胱甘肽 (Glutathione)。



谷胱甘肽 (还原型)

分支开链多肽，如胰岛素分子由两条肽链连接而成，一条为A链，一条为B链，总共由51个氨基酸组成 (图1—1)。

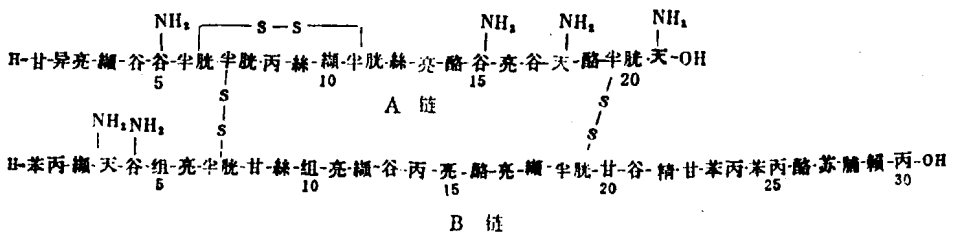


图1—1 牛胰岛素一级结构示意图

环状多肽是由开链多肽的末端氨基与末端羧基缩合形成。如抗菌素中的短杆菌肽S (Gramicidin) (图1—2)。它除有L-氨基酸外，还有D-氨基酸。

(二) 蛋白质分子中氨基酸的排列顺序

蛋白质中氨基酸的排列顺序是十分重要的，它对整个蛋白质分子的性能起着决定的作用。每种蛋白质的氨基酸都有一定排列顺序，决不是随机杂乱无章的。如牛胰岛素分子 (图1—1) 是由51个氨基酸组成的蛋白质，分A、B两条多肽链。A链由21个氨基