

5 年制全国高等医学院校教材

Biochemistry

生物化学

■ 童坦君 主编



内附光盘



北京大学医学出版社

责任编辑：赵 蔚

封面设计： 科学出版社

Biochemistry

生物化学

5
年制全国高等医学院校教材

- | | |
|-----------|----------|
| 《人体解剖学》★ | 《神经病学》 |
| 《组织学与胚胎学》 | 《眼科学》★ |
| 《医学生理学》★ | 《皮肤病性病学》 |
| 《医学免疫学》★ | 《影像诊断学》 |
| 《医学微生物学》★ | 《精神病学》 |
| 《医学寄生虫学》★ | 《中医学》 |
| 《医学遗传学》★ | 《康复医学》 |
| 《生物化学》 | 《医学心理学》★ |
| 《病理学》 | 《医学伦理学》 |
| 《药理学》★ | 《体检诊断学》 |
| 《病理生理学》 | 《检验诊断学》 |
| 《医学细胞生物学》 | 《传染病学》 |
| 《内科学》 | 《核医学》 |
| 《外科学》★ | 《口腔医学》 |
| 《妇产科学》★ | 《预防医学》★ |
| 《儿科学》★ | 《临床流行病学》 |
| 《耳鼻咽喉科学》★ | 《卫生法学》★ |

★ 为普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-81071-332-9



9 787810 713320 >

ISBN 7-81071-332-9/R·332

定价：44.50元

五年制全国高等医学院校教材

生物化学

主 编 童坦君

副主编 陈 瑞 李 刚 于公元 刘淑萍

编 者 (以章次为序)

王新娟	北京大学医学部
周春燕	北京大学医学部
张迺衡	北京大学医学部
李 刚	北京大学医学部
陈 瑞	首都医科大学
刘淑萍	内蒙古医学院
关泽红	内蒙古医学院
解用虹	天津医科大学
于公元	天津医科大学
李平风	北京大学医学部
张祖珣	首都医科大学
马康涛	北京大学医学部
童坦君	北京大学医学部
贾弘禔	北京大学医学部
倪菊华	北京大学医学部
周 虹	哈尔滨医科大学
刘新文	北京大学医学部

北京大学医学出版社

SHENGWU HUAXUE

图书在版编目 (CIP) 数据

生物化学/童坦君主编. —北京: 北京大学医学出版社, 2003.3

全国高等医学院校教材

ISBN 7-81071-332-9

I. 生… II. 童… III. 生物化学—医学院校—教材 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 085107 号

本书从 2003 年 3 月第 1 次印刷起封面贴防伪标记, 无防伪标记不准营销。

北京大学医学出版社出版发行

(100083 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内)

责任编辑: 赵 蔚

责任校对: 焦 娟

责任印制: 张京生

莱芜市圣龙印务书刊有限责任公司印刷 新华书店经销

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 27 字数: 683 千字

2003 年 3 月第 1 版 2003 年 3 月第 1 次印刷 印数: 1 - 10000 册

定价: 44.50 元

版权所有 不得翻印

序

为了适应医学教育改革以及加强教材建改的需要,北京大学医学部、首都医科大学、天津医科大学、哈尔滨医科大学、内蒙古医学院等五所医学院校共同研究决定编写一套以本科五年制为基础的医学生教材。

出版这套教材的目的在于:

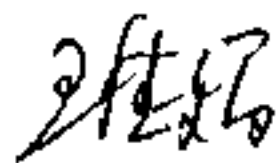
1. 教材内容要更新,以适应于面向 21 世纪医师的要求。近年来,医学科技突飞猛进,疾病谱发生了重大变化,疾病的预防、诊断、治疗的技术手段明显提高。新编写的教材一定要反映这些新的成果。

2. 医师的服务对象是人,医师不仅需要深厚的医学基础知识、临床学科的知识,还需要增加人文社会科学,比如卫生法学、卫生经济学、心理学、伦理学、沟通技巧与人际关系等。因此新编写教材应增加新的学科内容以及学科之间的融合和交叉。

3. 教育,包括医学教育要逐步走向全球化,我们培养的医师应得到国际认可。最近,世界医学教育联合会、美国中华医学基金会都制定出了医学教育的国际标准或人才培养的最低基本要求。这也为我们编写这套教材提供了一个参照系。

我们计划编写 30 多种教材,在主编和编者的人选方面精心挑选,既有学术知名度,又有丰富的教学经验,并且认真做到老中青结合。在内容、体例、形式、印刷、装帧等方面要有特色,力求有启发性以引起学生的兴趣,启发创新思维。要提高学生的英语水平,教材中体现英文专业词汇的使用,书后配英文专业词汇只读光盘。

在教材编写和教材建设工作中,目前教育部提出要百花齐放,打破过去一本教材一统天下的局面,我们希望这套教材能在竞争中脱颖而出。这套教材编写过程中得到北京大学医学出版社的大力支持,在此表示感谢!错误不足之处还希望同仁们批评指正。



编写说明

本书是5年制医学各专业生物化学与分子生物学的教科书。全书分4篇，包括生物分子，代谢及其调节，分子遗传学基础，组织、器官的生物化学，共18章。

“立足国内，走向世界”是本书的编写宗旨。不仅让医学生学好生物化学，也为他们学习其它医学课程打下良好的基础，而且要跟上时代，与国际接轨。

我国已于2001年加入WTO，普及双语教育是当务之急。本书为此作了初步的尝试，除在文中注以大量英文词汇外，书后还附有光盘，光盘中有英文词汇、英文名词解释和英文摘要，由外籍教员朗读，便于学生听、读，自学生物化学专业英语。

“好教，易懂，有时代感”是本书的编写特色。本书覆盖了国家执业医师资格考试的所有内容。形式上，采用大、小字体。大字部分为基本要求内容，文字简明扼要，便于理解和掌握。小字部分包括新进展、新技术及生物化学与临床的联系，这部分内容虽属选学内容，但可开阔学生的视野。

书中图文并茂，使课文生动，好读。书后光盘中附有精美插图，可激发学习兴趣；每章后有小结和思考题便于复习。

书末附有汉英索引，便于学生检索；还附有推荐的课余读物与专业刊物、医学生物化学及分子生物学大事记，使学生能够了解学科动向。

编者



吴宪 (1893 ~ 1959)

[院士述评] 立足国内 走向世界(代序)

我国生物化学的开拓者——吴宪教授

吴教授是一位卓越的生物化学家和营养学家，是我国生物化学、营养学教学和研究的主要创始人，是国际上杰出的生物化学家之一。

摘自刘思职*、张昌颖、刘培楠、周启源：
我国生物化学的开拓者——吴宪教授，
化学通报 1981，(4)：57-59

Advances in Protein Chemistry 是蛋白质研究领域内国际上最具有权威性的综述性丛书。在该丛书今年出版的第 47 卷上发表了美国哈佛大学教授、著名生物化学家、蛋白质研究的老前辈 J. T. Eddsall 教授的文章《吴宪与第一个蛋白质变性理论 (1931)》(*Hsien Wu and the first Theory of Protein Denaturation, 1931*)，对吴宪教授的学术成就给予了极高的评价。该卷还重新刊登了吴宪教授 64 年前关于蛋白质变性的论文：*Studies on Denaturation of Proteins, X III. A Theory of Denaturation, Chinese Journal of Physiology, 1931, 5 (4): 321-344*。一篇在 1931 年发表过的论文在 1995 年仍然值得在第一流的丛书上重新全文刊登，不能不说是国际科学界的一件极为罕见的大事。

他的论文，64 年后在国际一流的丛书上重新发表再次证明这一理论的高度学术价值。

立足国内走向世界是我们应该向吴宪教授学习的第一点。

我们应该向吴宪教授学习的第二点是他严谨的治学态度和实事求是的科学作风。

体育界“冲出亚洲，走向世界”的口号响彻全国，科学上的“冲出亚洲，走向世界”应该是更为重要的。吴宪教授在 30 年代能够做到，我们在 90 年代应该同样可以做到，并且还会做得更好。

摘自 邹承鲁*、王志珍*：立足国内 走向世界——从
吴宪教授六十四年前一篇论文的重新发表谈起，
生理科学进展 1996，27 (1)：5-6

谨以此书敬献给我国生物化学界的先驱与当代学子

——童坦君 于先师刘思职院士百岁诞辰前夕

* 有星号者为中国科学院院士。邹承鲁院士现任中国生物化学与分子生物学会名誉理事长。

目 录

第一篇 生物分子	(1)
第一章 蛋白质化学	(1)
第一节 蛋白质在生命活动中的重要性	(1)
第二节 蛋白质的分子组成	(3)
第三节 蛋白质的分子结构	(9)
第四节 蛋白质结构与功能的关系	(18)
第五节 蛋白质的理化性质及其分离纯化	(25)
第六节 蛋白质的一级结构测定	(31)
第二章 核酸化学	(39)
第一节 概述	(39)
第二节 核酸的基本结构单位——核苷酸	(40)
第三节 DNA 分子的结构与功能	(44)
第四节 RNA 分子的结构与功能	(47)
第五节 核酸的理化性质	(51)
第六节 核酸酶与核苷酸的序列测定	(54)
第三章 酶与生物催化剂	(58)
第一节 生物催化剂在生命活动中的重要性	(58)
第二节 酶的分子结构	(59)
第三节 酶促反应的特点	(63)
第四节 酶促反应的机制	(64)
第五节 酶促反应的动力学	(66)
第六节 调节酶	(74)
第七节 酶活性的测定	(75)
第八节 酶的命名与分类	(77)
第九节 其它具有催化作用的生物分子	(79)
第十节 酶与医学的关系	(84)
第四章 维生素	(88)
第一节 总论	(88)
第二节 脂溶性维生素	(88)
第三节 水溶性维生素	(92)
第二篇 代谢及其调节	(103)
第五章 糖的代谢	(103)
第一节 概述	(103)

第二节	糖的分解代谢	(105)
第三节	糖原的合成与分解	(119)
第四节	糖异生作用	(123)
第五节	糖代谢紊乱	(127)
第六章	生物氧化	(133)
第一节	生物氧化的概念和意义	(133)
第二节	水的生成——线粒体氧化体系	(135)
第三节	ATP 的生成和储存利用	(142)
第四节	非线粒体氧化体系	(149)
第七章	脂类代谢	(153)
第一节	脂类的生理功能	(153)
第二节	脂类的消化吸收	(153)
第三节	血浆脂蛋白	(154)
第四节	甘油三酯的中间代谢	(164)
第五节	磷脂的代谢	(173)
第六节	胆固醇的代谢	(177)
第八章	氨基酸的代谢	(187)
第一节	蛋白质的营养和氨基酸的生理作用	(187)
第二节	蛋白质的消化和吸收	(189)
第三节	大肠中氨基酸的腐败作用	(192)
第四节	氨基酸的一般代谢作用	(194)
第五节	氨的代谢	(200)
第六节	个别氨基酸的代谢	(206)
第九章	核苷酸代谢	(218)
第一节	核苷酸的合成	(219)
第二节	核苷酸的分解代谢	(231)
第十章	物质代谢的相互联系与调节	(237)
第一节	物质代谢的相互联系	(237)
第二节	物质代谢的调节	(238)
第三节	细胞信息传递	(243)
第四节	代谢调节障碍	(254)
第三篇	分子遗传学基础	(257)
第十一章	DNA 的生物合成	(257)
第一节	DNA 的复制	(258)
第二节	DNA 的修复合成	(265)
第三节	反转录作用	(267)
第十二章	RNA 的生物合成	(272)
第一节	转录体系	(272)
第二节	转录过程	(277)

第三节	转录后的加工过程	(278)
第四节	RNA 的复制	(287)
第十三章	蛋白质生物合成	(289)
第一节	蛋白质合成体系	(290)
第二节	蛋白质的合成过程	(293)
第三节	蛋白质合成与医学	(304)
第十四章	基因、基因组与基因表达调控	(311)
第一节	基因和基因组	(311)
第二节	癌基因与抑癌基因	(313)
第三节	基因表达调控的相关概念与原理	(317)
第四节	原核基因转录调节	(322)
第五节	真核基因转录调节	(325)
第十五章	重组 DNA 技术	(330)
第一节	概述	(330)
第二节	重组 DNA 技术的基本步骤	(335)
第三节	重组 DNA 技术与分子医学	(340)
第四篇	组织、器官的生物化学	(344)
第十六章	血液的生物化学	(344)
第一节	血液的基本成分与功能	(344)
第二节	血浆蛋白质	(346)
第三节	血红蛋白的合成与红细胞代谢	(349)
第十七章	肝的生物化学	(355)
第一节	肝在物质代谢中的作用	(355)
第二节	肝的生物转化作用	(358)
第三节	胆汁与胆汁酸代谢	(362)
第四节	胆色素代谢与黄疸	(366)
第十八章	钙磷代谢与必需微量元素	(373)
第一节	钙磷代谢	(373)
第二节	镁的代谢	(379)
第三节	必需微量元素	(380)
附录 1	推荐的课余读物与专业刊物	(385)
附录 2	医学生物化学与分子生物学大事记	(387)
汉英索引		(390)

第一篇 生物分子

第一章 蛋白质化学

第一节 蛋白质在生命活动中的重要性

一、生命的物质基础

生物体可以看做是一个由物质组成的不均一体系。此体系的特征是其构成部分布置合宜，变化协调，并可以自我更新。体系的另一个特征是它含有大量的蛋白质（protein）和核酸（nucleic acid）。病毒（virus）能够生长繁殖、遗传、致病，然而它却连最简单的细胞形态或结构都没有，它只是一种蛋白质与核酸结合而成的核蛋白（nucleoprotein）。例如烟草花叶病毒（tobacco mosaic virus, TMV），它能使烟草致病，人们将其纯化结晶，并储存数年后再接种到宿主烟叶上，它照样能够生长、繁殖并使烟叶感染花叶病，同时病毒核蛋白也大量增加。这说明了核蛋白是最简单的生命形式。近年，美国神经生物化学家 S.B. Prusiner 发现一类只有蛋白质而没有核酸的病原体——朊病毒（prion），若其结构发生某种确定的改变则可引起动物或人的朊病毒病。朊病毒的发现打破了“病毒必须有核酸”的传统观念。S.B. Prusiner 因发现朊病毒而荣获 1997 年度诺贝尔生理学或医学奖。

生物体所携带的全部遗传信息在基因组（genome）中，而生物学功能的主要体现者是蛋白质。蛋白质组（proteome）指的是基因组编码的全部蛋白质（详见后）。今后在蛋白质组水平上揭示生命现象的本质及活动规律将成为生命科学的重点。

蛋白质是生物体中含量最丰富的高分子物质，约占人体固体成分的 45%，分布广泛，几乎所有的器官组织都含有蛋白质。生物体结构越复杂其蛋白质种类和功能也越繁多，即使在单细胞生物中所发现的蛋白质也有数千种。有些蛋白质的功能相当特异，例如南极水域中的有些鱼类，其血液中含有抗冻蛋白（antifreeze protein），可保护血液不被冻凝，使生物体在低温下得以生存，生命得以繁衍。综上所述，蛋白质是生命的物质基础。

二、蛋白质的生物学功能

1. 酶 某些蛋白质是酶，催化生物体内的代谢反应。如己糖激酶催化三磷酸腺苷（ATP）的磷酸根转移至葡萄糖，使葡萄糖磷酸化而活化；乳酸脱氢酶可催化乳酸脱氢转变成丙酮酸；DNA 聚合酶参与 DNA 的复制和修复。

2. 调节蛋白 某些蛋白质是激素，具有一定的调节功能，如调节糖代谢的胰岛素（insulin）；与生长和生殖有关的促甲状腺素（thyrotropin）、促生长素（somatotropin）、黄体生成素（luteinizing hormone, LH）和卵泡刺激素（follicle stimulating hormone, FSH）等。一般说来，分

子量低于 10 000 者称为多肽。重要的肽类激素包括促肾上腺皮质激素 (ACTH)、抗利尿激素 (antidiuretic hormone)、胰高血糖素 (glucagon) 和降钙素 (calcitonin)。另外,许多激素的信号常常通过 G 蛋白 (GTP 结合蛋白) 介导。其它还有转录和翻译调控蛋白,包括与 DNA 紧密结合的组蛋白及某些酸性蛋白等。

3. 转运蛋白 某些蛋白质具有运载功能,它们携带小分子从一处到另一处,通过细胞膜,在血液循环中,在不同组织间载运代谢物。如血红蛋白是转运氧气和二氧化碳气的工具;血清清蛋白可运输自由脂肪酸及胆红素等。

4. 收缩或运动蛋白 某些蛋白质赋予细胞和器官收缩的能力,可使其改变形状或运动。如骨骼肌收缩靠肌动蛋白 (actin) 和肌球蛋白 (myosin),这两种蛋白质在非肌肉细胞中也存在。微管蛋白用于构建微管,微管的作用是与鞭毛及纤毛中的动力蛋白 (dynein) 协同推动细胞运动。

5. 防御蛋白 有些蛋白质具有保护或防御功能。凝血酶与纤维蛋白原参与血液凝固,从而防止血管系统失血。最重要的起保护作用的蛋白质是抗体或免疫球蛋白,它们可以中和外来的有害物质。

6. 营养和储存蛋白 像卵清蛋白和牛奶中的酪蛋白是提供氨基酸的储存蛋白。在某些植物、细菌及动物组织中发现的铁蛋白可以储存铁。

7. 结构蛋白 许多蛋白质起支持“细丝”、“薄片”或“缆绳”作用,给生物结构以强度及保护。肌腱和软骨的主要成分是胶原蛋白 (collagen),它具有很高的抗张强度。韧带含有弹性蛋白 (elastin),形成蛋白质“缆绳”,具有双向抗拉强度。头发、指甲和皮肤主要由坚韧的不溶性角蛋白 (keratin) 组成。蚕丝和蜘蛛网的主要成分是纤维蛋白 (fibrin)。某些昆虫的翅膀具有近乎完美无缺的回弹特性,它是由节肢弹性蛋白 (resilin) 构成。

8. 其它蛋白 有些蛋白质的功能相当特异,像 M-甜蛋白 (monellin) 是非洲的一种植物蛋白,味很甜,可作为一种非脂肪性、非毒性的甜味剂。还有蛋白质毒素,如蓖麻蛋白、白喉毒素、厌氧性肉毒杆菌毒素、蛇毒和绵子毒,很少量就可引起高等动物产生强烈的毒性反应。另外,病毒和噬菌体是核蛋白。病毒可以致病;噬菌体则是可以寄生在细菌体内的病毒。

功能蛋白质组学

蛋白质组 (proteome) 指的是基因组 (genome) 表达的全部蛋白质。“蛋白质组学” (proteomics) 是在整体水平上研究细胞内所有蛋白质的组成及其动态变化规律的新兴学科。它以蛋白质组为研究对象,从更为深入的一个层次上去认识生命活动的规律。我们知道 DNA 是遗传信息的载体,而蛋白质是生物学功能的主要体现者。基因组有均一性,即在同一生物个体的不同细胞中是一样的,而蛋白质有其自身特有的活动规律,仅仅从基因的角度研究是不够的。例如蛋白质的修饰加工、转运定位、结构变化、蛋白质与蛋白质之间的相互作用、蛋白质与其它生物分子的相互作用等活动,均无法在基因水平上获知。蛋白质的合成也受着时空等多因素的调控,在生命发育不同阶段的细胞内,蛋白质种类的构成是不一样的,蛋白质的种类和数量在同一生物个体的不同细胞中是各不相同的。因此,蛋白质组比基因组的含义要复杂得多,对“全部蛋白质”的研究是非常困难的。“功能蛋白质组学” (functional proteomics) 则注重于从局部入手,把目标定位在蛋白质群体上。群体可大可小,取决于要研究的蛋白质的功能特点和所用的研究手段。在对群体蛋白质研究的基础上,渐渐把许许多多不同的蛋白质群体统计组合,逐步描绘出接近于生命细胞的“全部蛋白质”的蛋白质组图谱。然后,利用计算机图像分析 (image analysis) 技术系统分析比较,从中发现重要的蛋白质群体及其活动规律和关键蛋白质,并创建各种细胞的蛋白质组数据库

(database)。对于功能蛋白质组学的研究方法在不断发展,目前常用的有二维凝胶电泳(two-dimensional gel electrophoresis, 2-DE)和质谱分析(mass spectrometry, MS)。科学家们预测 21 世纪生命科学的重心将从基因组学转移到蛋白质组学,生命科学领域内一个崭新的蛋白质组时代即将开始。

第二节 蛋白质的分子组成

一、蛋白质的元素组成

从各种动、植物组织提取的蛋白质,经元素分析表明,含碳 50% ~ 55%、氢 6% ~ 8%、氧 19% ~ 24%、氮 13% ~ 19% 和硫 0 ~ 4%; 有些蛋白质还含有少量磷或金属元素铁、铜、锌、锰、钴、钼等,个别蛋白质还含有碘。

各种蛋白质的含氮量很接近,平均为 16%。动植物组织中含氮物又以蛋白质为主,因此只要测定生物样品中的含氮量,就可以按下式推算出样品中的蛋白质大致含量。

每克样品中含氮克数 $\times 6.25 \times 100 = 100$ 克样品中蛋白质含量 (g%)

二、蛋白质的基本结构单位——氨基酸

蛋白质是高分子化合物,可以受酸、碱或蛋白酶作用而水解成为其基本组成单位——氨基酸(amino acid)。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。各种层析法及电泳法等均为分离鉴定氨基酸的手段。

(一) 氨基酸的一般结构式

蛋白质水解生成的天然氨基酸有 20 余种之多,但其化学结构式具有一个共同的特点,即在联结羧基的 α 碳原子上还有一个氨基,故称 α 氨基酸。 α 氨基酸的一般结构式可用下式表示:



由上式可以看出,除 R 为 H 外,与 α 碳原子相连的四个原子或基团各不相同。所以除甘氨酸外其余氨基酸的 α 碳原子是一个不对称碳原子,因而都具有旋光异构现象(optical isomerism),也都会有 D 系和 L 系两种可能性。组成天然蛋白质的 20 种氨基酸多属于 L- α -氨基酸。生物界中已发现的 D 系氨基酸大都存在于某些细菌产生的抗生素及个别植物的生物碱中。

(二) 氨基酸的分类

组成蛋白质的氨基酸已知有 20 余种,但绝大多数蛋白质只由 20 种氨基酸组成(表 1-1)。根据它们的侧链 R 的结构和性质分为以下四类:

1. 非极性 R 基氨基酸 这类氨基酸的特征是在水中溶解度小于极性 R 基氨基酸,包括四种带有脂肪烃侧链的氨基酸(丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸和异亮氨酸);两种含芳香环氨基酸(苯丙氨酸和色氨酸);一种含硫氨基酸(蛋氨酸)和一种亚氨基酸(脯氨酸)。

2. 不带电荷的极性 R 基氨基酸 这类氨基酸的特征是比非极性 R 基氨基酸易溶于水,包括三种具有羟基的氨基酸(丝氨酸、苏氨酸和酪氨酸);两种具有酰胺基的氨基酸(谷氨酰胺和天冬酰胺);一种含有巯基氨基酸(半胱氨酸)和 R 基团只有一个氢但仍能表现一定

极性的甘氨酸。

3. 带正电荷的 R 基氨基酸 这类氨基酸的特征是在生理条件下带正电荷，是一类碱性氨基酸，包括在侧链含有 ε 氨基的赖氨酸；R 基团含有一个带正电荷胍基的精氨酸和含有弱碱性咪唑基的组氨酸。

4. 带负电荷的 R 基氨基酸 天冬氨酸和谷氨酸都含有两个羧基，在生理条件下分子带负电荷，是一类酸性氨基酸。

表 1-1 蛋白质中存在的 L-α-氨基酸

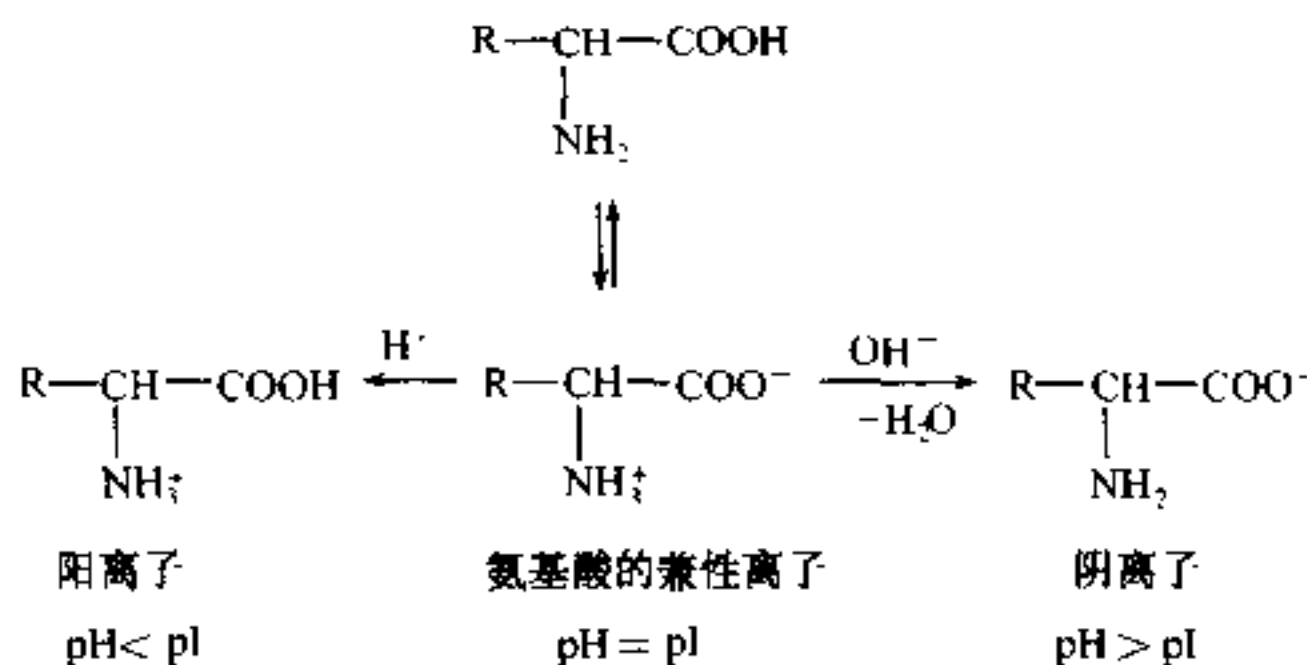
中英文 名称	中英文 缩写	结构式	等电点 pI	pK ₁ α-COOH	pK ₂ α-NH ₂	pK ₃ R-基团
非极性 R 基氨基酸						
丙氨酸 alanine	丙 Ala (A)		6.02	2.34	9.69	
缬氨酸 valine	缬 Val (V)		5.97	2.32	9.62	
亮氨酸 leucine	亮 Leu (L)		5.98	2.36	9.60	
异亮氨酸 isoleucine	异亮 Ile (I)		6.02	2.36	9.68	
苯丙氨酸 phenylalanine	苯丙 Phe (F)		5.48	1.83	9.13	
色氨酸 tryptophane	色 Trp (W)		5.89	2.38	9.39	
蛋氨酸 methionine	蛋 Met (M)		5.75	2.28	9.21	
脯氨酸 proline	脯 Pro (P)		6.48	1.99	10.96	
不带电荷的极性 R 基氨基酸						
丝氨酸 serine	丝 Ser (S)		5.68	2.21	9.15	13.60
苏氨酸 threonine	苏 Thr (T)		5.60	2.11	9.62	13.60
酪氨酸 tyrosine	酪 Tyr (Y)		5.66	2.20	9.11	10.07 苯酚羟基
谷氨酰胺 glutamine	谷氨 Gln (Q)		5.65	2.17	9.13	

续表

中英文名称	中英文缩写	结构式	等电点 pI	pK ₁ α-COOH	pK ₂ α-NH ₂	pK ₃ R-基团
天冬酰胺 asparagine	天胺 Asn (N)	$\text{H}-\text{N}-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COO}^-$	5.41	2.02	8.80	
半胱氨酸 cysteine	半胱 Cys (C)	$\text{CH}(\text{SH})-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COO}^-$	5.07	1.96	10.28	8.18 巯基
甘氨酸 glycine	甘 Gly (G)	$\text{H}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COO}^-$	5.97	2.34	9.60	
带正电荷的 R 基氨基酸 (碱性氨基酸)						
精氨酸 arginine	精 Arg (R)	$\text{H}-\text{N}-\text{CH}(\text{C}(\text{NH})=\text{NH})-\text{CH}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}_2}-\text{COO}^-$	10.76	2.17	9.04	12.48 胍基
赖氨酸 lysine	赖 Lys (K)	$\text{CH}_2(\text{NH}_2)-\text{CH}_2-\text{CH}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COO}^-$	9.74	2.18	8.95	10.53 ε 氨基
组氨酸 histidine	组 His (H)	$\text{HN}(\text{咪唑})-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COO}^-$	7.59	1.82	9.17	6.00 咪唑基
带负电荷的 R 基氨基酸 (酸性氨基酸)						
天冬氨酸 aspartic acid	天冬 Asp (D)	$\text{OOC}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COO}^-$	2.98	2.09	9.60	3.86 β 羧基
谷氨酸 glutamic acid	谷 Glu (E)	$^-\text{OOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COO}^-$	3.22	2.19	9.67	4.25 γ 羧基

(三) 氨基酸的理化性质

1. 两性游离及等电点 所有氨基酸都含有碱性的氨基 (或亚氨基), 又含有酸性的羧基; 能在酸性溶液中与质子 (H^+) 结合而呈阳离子 ($-\text{NH}_3^+$); 也能在碱性溶液中与 OH^- 结合, 失去质子而变成阴离子 ($-\text{COO}^-$); 所以它是一种两性电解质, 具有两性游离的特性。氨基酸的游离方式决定于其所处环境的酸碱度。在某种 pH 环境中, 氨基酸可能不游离, 也可能游离成阳性离子及阴性离子的程度及趋势相等, 成为氨基酸的兼性离子 (zwitterion)。在电场中它既不移向阴极, 也不移向阳极。此时, 氨基酸所处环境的 pH 值称为该氨基酸的等电点 (isoelectric point, pI)。



等电点的计算 R 为非极性基团或虽为极性基团但并非游离的, 氨基酸的等电点是由 α

-COOH 和 α -NH₂ 的解离常数的负对数 pK_1 和 pK_2 来决定。 pI 计算方法为： $pI = 1/2 (pK_1 + pK_2)$ 。如甘氨酸 $pK_{-COOH} = 2.34$, $pK_{-NH_2} = 9.60$, 故 $pI = 1/2 (2.34 + 9.60) = 5.97$

酸性和碱性氨基酸的 R 基团上均有可游离的极性基团, 其等电点由 α -COOH、 α -NH₂ 及 R 基团的游离情况共同决定。

如天门冬氨酸 pI 可表示为： $pI = 1/2 (pK_1 + pK_R) = 1/2 (2.09 + 3.86) = 2.98$

赖氨酸 pI 可表示为： $pI = 1/2 (pK_2 + pK_R) = 1/2 (8.95 + 10.53) = 9.74$

各种氨基酸的解离常数通过实验测定而得, 它们的 pI , pK_1 、 pK_2 及 pK_R 见表 1-1。需要说明的是 Cys 的 -SH 和 Tyr 的酚 -OH 具有弱酸性。在 pH 7 时, Cys 的 -SH 大约解离 8%; Tyr 的苯环上的一OH 大约解离 0.01%。Cys 的 pI 按酸性氨基酸计算。Tyr 的游离程度较小, 按 R 为极性非游离情况计算。

2. 芳香族氨基酸的紫外吸收性质 色氨酸、酪氨酸和苯丙氨酸在 280nm 波长附近具有最大的光吸收峰 (图 1-1)。由于大多数蛋白质含有酪氨酸、色氨酸残基, 所以在分光光度计中测定它对 280nm 波段的光吸收, 是定量测定溶液中蛋白质含量的一种最迅速简便的方法。

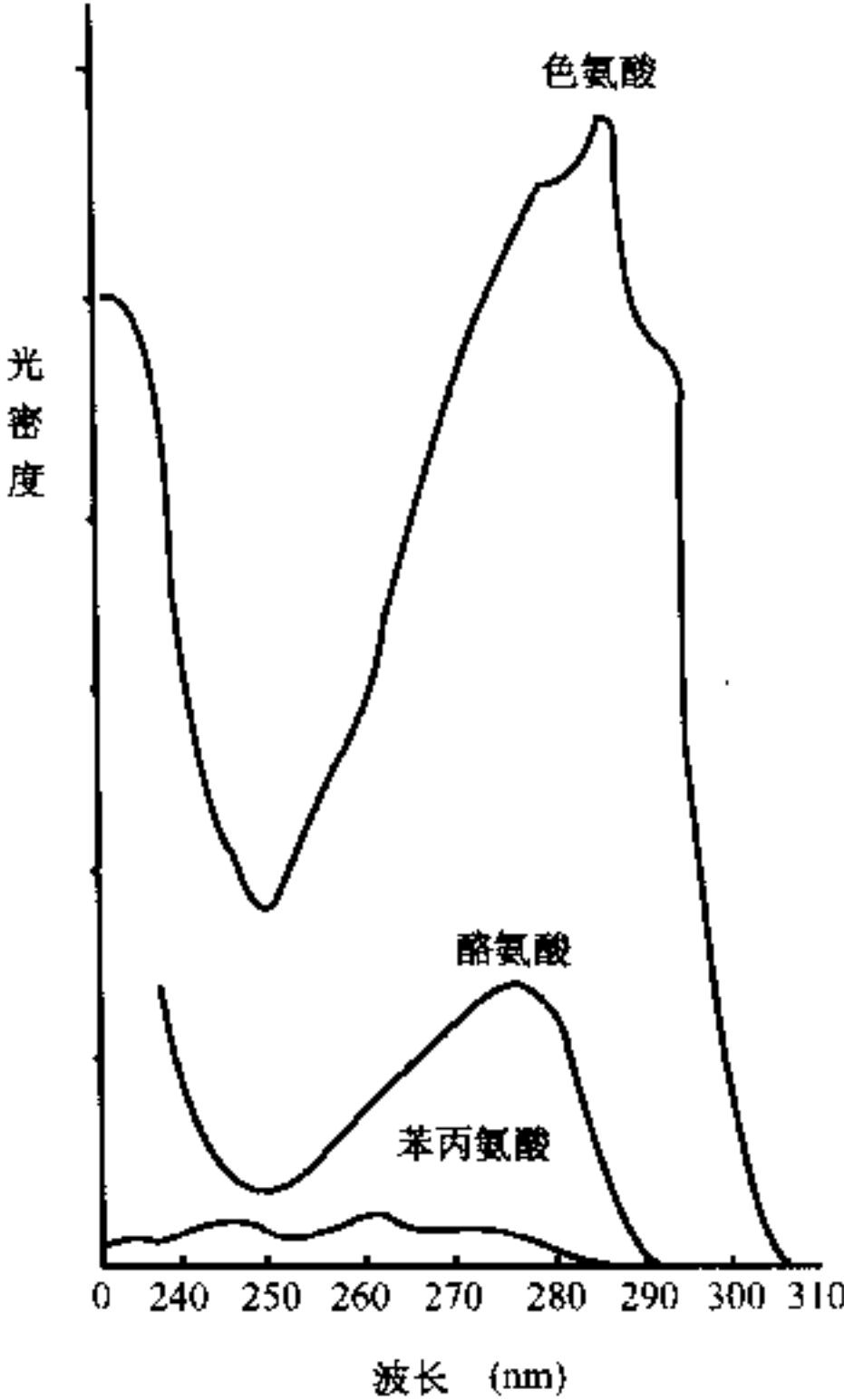


图 1-1 芳香族氨基酸的紫外吸收

3. 茚三酮反应 氨基酸与茚三酮 (ninhydrin) 的水合物共同加热, 氨基酸则被氧化分解, 生成醛、氨及二氧化碳; 茚三酮水合物则被还原。在弱酸性溶液中, 茚三酮的还原产物还可与氨及另一分子茚三酮缩合成为蓝紫色化合物。蓝紫色化合物颜色的深浅与来自氨基酸的氨成正比, 其最大吸收峰在波长 570nm 处 ($\lambda_{MAX} = 570nm$)。据此可以作氨基酸的定量分析, 该反应的灵敏度为 $1\mu g$ 。因为凡具有氨基、能放出氨的化合物几乎都有此反应, 故也能

广泛适用于多肽与蛋白质的定性及定量分析。但脯氨酸和羟脯氨酸与茚三酮呈黄色 ($\lambda_{\text{MAX}} = 440\text{nm}$)；天冬酰胺与茚三酮反应生成棕色产物，这对它们也有定量、定性意义。

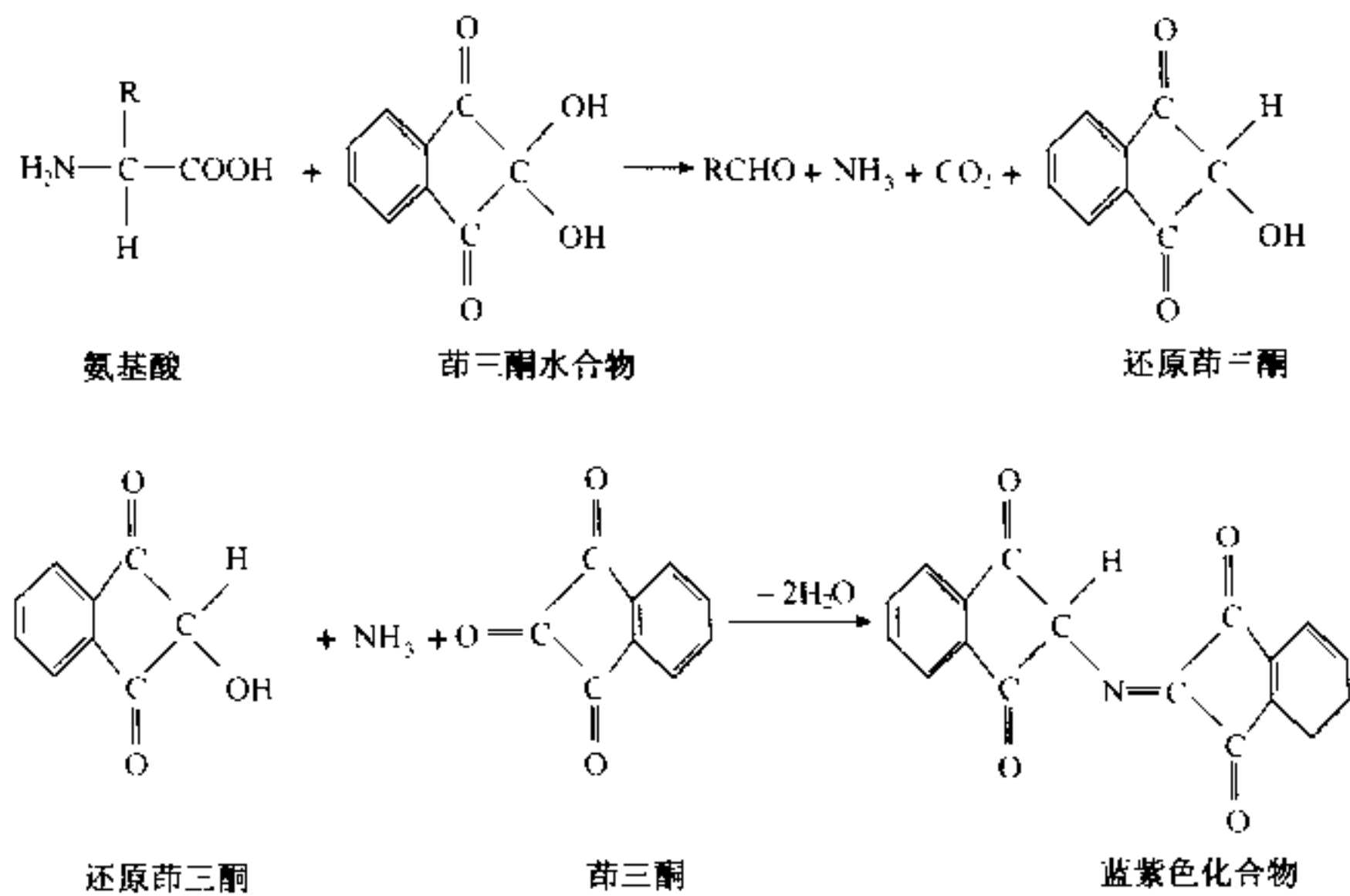
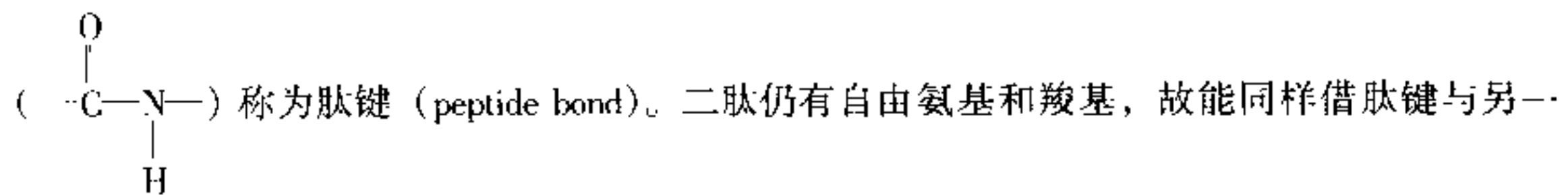


图 1-2 氨基酸的茚三酮反应

三、肽键和多肽链

(一) 氨基酸的成肽反应 两分子氨基酸可借一分子所含的氨基与另一分子所含的羧基去水缩合成为最简单的肽，即二肽 (dipeptide)。在这两个氨基酸之间新产生的酰胺键



分子氨基酸缩合成三肽，三肽借肽键再与氨基酸缩合则依次生成四肽、五肽；由 10 个以内氨基酸连成的小肽称为寡肽 (oligopeptide)。而许多氨基酸可连成多肽 (polypeptide)。肽链分子中的氨基酸相互衔接，形成长链，称为多肽链 (polypeptide chain)。肽链中的氨基酸分子因脱水缩合而稍有残缺，故称为氨基酸残基 (residue)。蛋白质就是由许多氨基酸残基组成的多肽链，通常将分子量在 10 000 以上的称为蛋白质，以下的称为多肽 (胰岛素的分子量虽为 5 733，仍习惯称为蛋白质)。多肽链中有自由氨基的一端称为氨基末端 (amino-terminal) 或 N 末端；有自由羧基的一端称羧基末端 (carboxyl-terminal) 或 C 末端。按照惯例，命名短肽从 N-末端开始指向 C 末端 (图 1-3)。

(二) 生物活性肽 自然界的动物、植物和微生物中存在某些小肽或寡肽，它们有着各种重要的生物学活性。肽类激素如催产素、加压素等；与神经传导等有关的神经肽如 P 物质、脑啡肽等；抗生素肽如短杆菌素 S、短杆菌肽 A、缬氨霉素 (valinomycin) 及博来霉素 (bleomycin)，还有广泛存在于细胞中的谷胱甘肽 (GSH) (表 1-2)。通过重组 DNA 技术还可得到肽类药物、疫苗等。