

# 生物化学

(供护士专业用)

谢诗占 主编

孙岩森 主审

人 民 卫 生 出 版 社

# 生物化学

(供护士专业用)

谢诗占 主编

孙岩森 主审

汪开圣 李茂林 谢诗占 编写  
马如骏 郝庆恩

人民卫生出版社

**生物化学**

谢诗占 主编

**人民卫生出版社出版**

(北京市崇文区天坛西里10号)

**北京市房山区印刷厂印刷**

**新华书店北京发行所发行**

787×1092毫米 16开本  $8\frac{3}{4}$ 印张 193千字

1989年8月第1版 1989年8月第1版第1次印刷

印数: 00,001—9,600

ISBN 7-117-01046-0/R·1047 定价: 2.80元

## 前 言

多年来,中等卫生学校护士专业的生物化学教学由于缺乏适合的教材,给教学工作带来一定的困难。很多中等卫校的生化教师迫切希望有一本适合于护士专业的教材。有鉴于此,人民卫生出版社大力支持和推动了这项工作。

编写本书时,基本上仍以人民卫生出版社1985年出版的全国中等卫校教材《生物化学》(谢诗占主编)所列的教学大纲为依据,并结合护士专业的需要做了部分修改和删减。教材内容力求作到以必需的基本理论和知识为主,能够满足学生学习其他课程的需要,并为今后在工作中进一步自学提高打下基础。在突出重点、删节与专业培养关系不大的内容以及文字叙述上尽可能地精炼通顺等方面编者做了很大努力。但是生物化学是一门基础课程,所以在章节安排上仍然保持学科本身的系统性。

尽管编者做了努力,但编写为护士专业用的生化教材,还是新的尝试。由于经验和水平的限制,本书不可避免地存在缺点和错误。编者诚恳地希望使用本书的老师和学生提出批评。

河北省卫生厅科教处对本书的编写给予了大力支持。石家庄地区卫校在工作上给予大力协助。在定稿讨论会上,济南市山东医科大学附属医院护士学校郑延玲、天津市护士学校吕学儒、北京军区军医学校和文洲、曹守义、河北省沧州地区卫校李友会对教材提出详尽的意见,还得到一些学校的同行的建议和希望。在此一并致谢。

编 者

1988年9月6日

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>第一章 绪论</b> .....      | 1  |
| <b>第二章 蛋白质化学</b> .....   | 2  |
| 第一节 蛋白质的分子组成.....        | 2  |
| 一、蛋白质的元素组成.....          | 2  |
| 二、蛋白质基本组成单位——氨基酸.....    | 2  |
| 第二节 蛋白质的分子结构.....        | 5  |
| 一、蛋白质的基本结构.....          | 5  |
| 二、蛋白质的空间结构.....          | 6  |
| 三、蛋白质的结构与功能的关系.....      | 6  |
| 第三节 蛋白质的物理化学性质.....      | 8  |
| 一、蛋白质两性电离和等电点.....       | 8  |
| 二、蛋白质的高分子性质.....         | 9  |
| 三、蛋白质的变性作用.....          | 9  |
| 四、蛋白质的沉淀.....            | 10 |
| 第四节 蛋白质的分类.....          | 11 |
| <b>第三章 核酸的化学</b> .....   | 11 |
| 第一节 核酸的分子组成.....         | 12 |
| 一、核酸组成的基本成分.....         | 12 |
| 二、核酸组成的基本单位——单核苷酸.....   | 13 |
| 第二节 核酸的分子结构.....         | 16 |
| 一、核酸的基本结构.....           | 16 |
| 二、核酸的空间结构.....           | 17 |
| <b>第四章 酶</b> .....       | 19 |
| 第一节 概述.....              | 19 |
| 一、酶的概念.....              | 19 |
| 二、酶促反应的特点.....           | 19 |
| 第二节 酶的组成与酶的作用机理.....     | 20 |
| 一、酶的组成.....              | 20 |
| 二、酶的作用机理.....            | 20 |
| 第三节 影响酶促作用的因素.....       | 22 |
| 一、酶浓度对酶促作用的影响.....       | 22 |
| 二、底物浓度对酶促反应速度的影响.....    | 22 |
| 三、温度对酶促反应速度的影响.....      | 23 |
| 四、pH 对酶促反应速度的影响.....     | 23 |
| 五、激活剂和抑制剂对酶促反应速度的影响..... | 23 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第四节 酶的命名、分类和应用       | 26 |
| 一、酶的命名               | 26 |
| 二、酶的分类               | 26 |
| 三、酶在医药学上的应用          | 26 |
| 第五章 维生素              | 28 |
| 第一节 脂溶性维生素           | 28 |
| 一、维生素A               | 28 |
| 二、维生素D               | 29 |
| 三、维生素E               | 30 |
| 四、维生素K               | 31 |
| 第二节 水溶性维生素           | 31 |
| 一、维生素B <sub>1</sub>  | 31 |
| 二、维生素B <sub>2</sub>  | 32 |
| 三、尼克酸和尼克酰胺           | 32 |
| 四、维生素B <sub>6</sub>  | 33 |
| 五、泛酸                 | 33 |
| 六、生物素                | 33 |
| 七、叶酸                 | 34 |
| 八、维生素B <sub>12</sub> | 34 |
| 九、维生素C               | 35 |
| 第六章 糖代谢              | 36 |
| 第一节 糖的分解代谢           | 36 |
| 一、通过三羧酸循环完成的糖氧化      | 36 |
| 二、通过磷酸戊糖途径的糖氧化       | 41 |
| 第二节 糖原的合成与分解         | 42 |
| 一、糖原的合成              | 42 |
| 二、糖原分解               | 42 |
| 第三节 糖异生作用            | 43 |
| 第四节 血糖               | 45 |
| 第七章 生物氧化             | 47 |
| 第一节 氢的氧化过程           | 47 |
| 第二节 生物氧化中二氧化碳的生成     | 51 |
| 第八章 脂类代谢             | 53 |
| 第一节 血脂               | 53 |
| 一、血脂的组成与含量           | 53 |
| 二、血脂的存在形式——血浆脂蛋白     | 54 |
| 第二节 脂肪的中间代谢          | 55 |
| 一、脂肪的分解代谢            | 55 |
| 二、脂肪的合成代谢            | 59 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第三节 磷脂与胆固醇代谢·····        | 59 |
| 一、磷脂代谢·····              | 59 |
| 二、胆固醇代谢·····             | 60 |
| 第九章 蛋白质代谢·····           | 62 |
| 第一节 蛋白质的营养功用·····        | 62 |
| 一、蛋白质的生理功用·····          | 62 |
| 二、人体对蛋白质的需要量·····        | 62 |
| 第二节 氨基酸的一般代谢·····        | 63 |
| 一、氨基酸的代谢概况·····          | 63 |
| 二、氨基酸的脱氨基作用·····         | 64 |
| 三、氨的代谢·····              | 67 |
| 四、 $\alpha$ -酮酸的代谢·····  | 70 |
| 五、氨基酸的脱羧基作用·····         | 70 |
| 六、个别氨基酸的代谢·····          | 71 |
| 第三节 氨基酸、糖和脂肪在代谢上的联系····· | 72 |
| 第十章 核酸代谢和蛋白质的生物合成·····   | 73 |
| 第一节 核酸代谢·····            | 74 |
| 一、核苷酸的合成代谢·····          | 74 |
| 二、核苷酸的分解代谢·····          | 75 |
| 第二节 DNA 和RNA 的生物合成·····  | 76 |
| 一、DNA 的生物合成·····         | 76 |
| 二、RNA 的生物合成·····         | 77 |
| 第三节 蛋白质的生物合成·····        | 77 |
| 一、RNA在蛋白质生物合成中的作用·····   | 78 |
| 二、蛋白质生物合成过程·····         | 79 |
| 三、蛋白质生物合成与医学的关系·····     | 80 |
| 第十一章 肝的生物化学·····         | 81 |
| 第一节 肝在物质代谢中的作用·····      | 82 |
| 一、肝在糖代谢中的作用·····         | 82 |
| 二、肝在脂类代谢中的作用·····        | 82 |
| 三、肝在蛋白质代谢中的作用·····       | 82 |
| 四、肝在维生素代谢中的作用·····       | 82 |
| 五、肝在激素代谢中的作用·····        | 82 |
| 第二节 肝的生物转化作用·····        | 83 |
| 一、生物转化的概念·····           | 83 |
| 二、生物转化的反应类型·····         | 83 |
| 第三节 胆汁与胆汁酸·····          | 85 |
| 一、胆汁·····                | 85 |
| 二、胆汁酸的代谢和功能·····         | 85 |

|                  |                        |            |
|------------------|------------------------|------------|
| 第四节              | 胆色素的代谢                 | 86         |
| 第五节              | 肝功能检查的生化基础             | 88         |
| <b>第十二章</b>      | <b>血液</b>              | <b>89</b>  |
| 第一节              | 血液的化学成分                | 90         |
| 第二节              | 血浆蛋白质                  | 91         |
| 一、               | 血浆蛋白质的组成               | 91         |
| 二、               | 血浆蛋白质的功能               | 92         |
| 第三节              | 血红蛋白                   | 92         |
| 一、               | 血红蛋白的组成                | 92         |
| 二、               | 血红蛋白的生物合成              | 93         |
| 第四节              | 红细胞的氧化还原系统             | 93         |
| 第五节              | 铁的代谢                   | 94         |
| <b>第十三章</b>      | <b>水和无机盐的代谢</b>        | <b>96</b>  |
| 第一节              | 体液                     | 97         |
| 一、               | 体液的含量和分布               | 97         |
| 二、               | 体液中电解质的分布和含量           | 97         |
| 三、               | 体液的交换                  | 98         |
| 第二节              | 水平衡                    | 99         |
| 一、               | 水的生理功用                 | 99         |
| 二、               | 水的摄入与排出                | 100        |
| 第三节              | 电解质平衡                  | 100        |
| 一、               | 电解质的生理作用               | 100        |
| 二、               | 钠与氯的代谢                 | 100        |
| 三、               | 钾的代谢                   | 101        |
| 四、               | 水与电解质平衡的失常             | 101        |
| 第四节              | 钙磷代谢                   | 101        |
| <b>第十四章</b>      | <b>酸碱平衡</b>            | <b>103</b> |
| 第一节              | 体内酸性和碱性物质的来源           | 104        |
| 一、               | 酸性物质的来源                | 104        |
| 二、               | 碱性物质的来源                | 104        |
| 第二节              | 酸碱平衡的调节                | 105        |
| 一、               | 血液的缓冲功能                | 105        |
| 二、               | 肺在调节酸碱平衡中的作用           | 107        |
| 三、               | 肾在调节酸碱平衡中的作用           | 107        |
| 第三节              | 酸碱平衡失常及判断酸碱平衡的几项生物化学指标 | 109        |
| 一、               | 酸碱平衡失常的基本类型            | 109        |
| 二、               | 判断酸碱平衡的几项生物化学指标        | 110        |
| <b>实验须知与基本操作</b> |                        | <b>111</b> |
| 一、               | 进行实验必须注意的事项            | 111        |

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| 二、几项基本操作法·····                        | 111        |
| 实验一 酶的特异性·····                        | 112        |
| 实验二 影响酶作用的因素·····                     | 114        |
| 实验三 比色测定原理·····                       | 116        |
| 实验四 血糖测定——邻甲苯胺法·····                  | 118        |
| 实验五 肝中酮体生成作用·····                     | 119        |
| 实验六 转氨基作用·····                        | 120        |
| 实验七 血清蛋白质醋酸纤维薄膜电泳·····                | 123        |
| 实验八 血浆CO <sub>2</sub> 结合力测定——滴定法····· | 125        |
| <b>生物化学教学大纲·····</b>                  | <b>127</b> |

# 第一章 绪 论

生物化学属于生物科学，是一门重要的医学基础理论课程。生物化学是用化学的理论和方法来研究生命现象的科学。也可以说，生物化学就是生命的化学。生物化学的主要内容是：①研究生物体的化学组成，特别是生物大分子（蛋白质、核酸、多糖等）的组成、结构以及结构和功能的关系；②研究生物体内的物质代谢过程，各种物质代谢之间的联系、物质代谢的调节，即物质代谢的规律和物质代谢与功能的关系；③研究生物体的信息传递；④医学生物化学还着重研究疾病的生物化学基础。例如，生物分子结构的异常与疾病的关系，物质代谢紊乱与疾病的关系等。从而为预防和治疗疾病提供理论依据。

生物化学的发展过程始终是和医学的发展密切相关的。医学的目的就在于提高人类的健康水平，预防和治疗疾病。为了实现这一目的，就需要了解人是如何正常生长、发育，如何维持健康，如何延缓老化等等基本问题。生物化学的成就为医学的进步和发展作出很大的贡献。例如，在人的一生中应该如何取得合理的营养？人体需要从食物中得到哪些营养素？这些问题虽然属于营养学，但营养学是以生物化学为基础的。大约一百年前开始的对维生素的研究，就为预防和治疗曾经威胁人类健康的各种维生素缺乏病作出重要贡献。在当前，为了预防动脉粥样硬化及其引起的冠心病、脑动脉硬化，为了降低某些肿瘤的发生率，合理的营养也是一项重要措施。再以糖尿病为例，胰岛素的发现挽救了成千上万糖尿病病人的生命。对糖类、脂类和蛋白质代谢的研究，使我们对糖尿病病人的代谢紊乱有了更为全面和深刻的认识，从而不断提高对该病的诊断和治疗水平。生物化学对生物大分子的研究，也为医学解决了很多重大问题。例如，血液的运氧功能是由血红蛋白完成的。一氧化碳对人体的危害就在于它干扰了血红蛋白的运氧功能。还发现某些贫血是由于体内形成了异常的血红蛋白引起的，于是引入“分子病”的概念。生物化学家对核酸和蛋白质生物合成的研究为遗传学奠定了生化的基础，也为预防、诊断和治疗肿瘤、放射病、先天性酶缺陷疾病等开辟了新的前景和途径。以上的叙述，仅仅是生物化学和医学相互促进的某些方面。虽然很不全面，但也可以看出为什么生物化学是医学的重要基础理论课程。

护理是医疗工作的重要组成部分。因此，护理工作也必须对人体的解剖结构、生理生化功能等有全面的认识，这样，才能主动地、自觉地做好护理工作。例如，输液几乎是每天都要进行的工作，而输液中的很多问题如输液的目的、输什么液体、输入的量 and 速度，输液时应注意的事项等等，都可从生物化学的学习中得到解答。学习生化课程的目的就是要求同学能够从生物化学的角度认识人体，并用来分析和解决实际问题。同时，也为不断提高护理的理论水平打下良好的基础。使护理工作能够适应现代医学不断发展的新形势。

（唐山卫生学校 谢诗占）

## 第二章 蛋白质化学

蛋白质是由许多种及许多个氨基酸各自通过肽键连接而成的生物大分子物质。是人类食物中一种重要的营养物质。也是构成人体各种组织的主要有机成分。约占人体体重的18%。

蛋白质是生命的物质基础：凡是有生命的物质无不含有蛋白质，一些重要的生理功能也是由蛋白质去完成的，如具有催化功能的酶，具有调节功能的某些激素，具有免疫功能的抗体，它们都是蛋白质。早在一百多年前恩格斯曾说过：“生命是蛋白体的存在方式，这种存在方式本质上就在于这些蛋白体的化学组成成分的不断的自我更新”。今天，对于蛋白质和核酸这些生物大分子的研究成果都充分证明了恩格斯的这一英明论断。

### 第一节 蛋白质的分子组成

#### 一、蛋白质的元素组成

蛋白质的组成元素有碳、氢、氧、氮，有的含有硫，有的还含有其它元素。各种蛋白质的含氮量接近16%，并且生物体内含氮物质以蛋白质为主，因此可以根据生物样品中所测定的氮的含量去推算出该生物样品中蛋白质的大约含量。因为100克蛋白质含有氮16克，所以1克氮就相当于6.25克蛋白质（ $\frac{100}{16}=6.25$ ）。其计算公式如下：

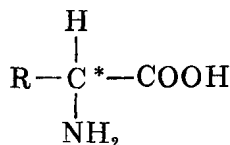
每克样品中含氮克数  $\times 6.25 \times 100 = 100$  克样品中蛋白质含量（克%）

#### 二、蛋白质基本组成单位—氨基酸

蛋白质可被酸、碱或酶的催化作用而水解。在水解过程中蛋白质逐步降解为蛋白胨、多肽、寡肽、三肽和二肽，最后被水解成各种氨基酸的混合物。氨基酸是蛋白质的基本组成单位。

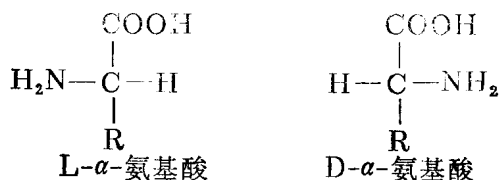
##### （一）氨基酸的结构特点

组成蛋白质的氨基酸有20种，虽然它们的结构都不完全相同，但它们之间都具有共同的结构特点，即多数都是L-系的 $\alpha$ -氨基酸。第一，它们的氨基都是连接在与羧基相连的 $\alpha$ -碳原子上，所以称为 $\alpha$ -氨基酸。其结构通式如下：



上式中带\*号者为 $\alpha$ -碳原子，式中的R表示氨基酸的侧链，随氨基酸种类而不同，且为氨基酸分类的依据。第二，除最简单的甘氨酸没有不对称碳原子外，其它氨基酸的 $\alpha$ -碳原子都是不对称碳原子，因此可以有两种立体异构体，即D-系或L-系。从蛋白质水解得到的 $\alpha$ -氨基酸都是L-系氨基酸。L-系氨基酸的氨基书写于 $\alpha$ -碳原子的左侧，D-系

的则位于右侧。



## (二) 氨基酸的分类

根据氨基酸分子中R基的结构不同，可以将氨基酸分为脂肪族、芳香族和杂环族等三类。此外，有的氨基酸具有两个羧基，如谷氨酸和天门冬氨酸，它们是酸性氨基酸。有的氨基酸具有两个碱性基团，如赖氨酸、精氨酸、组氨酸，它们是碱性氨基酸。其余的氨基酸则是中性氨基酸（表 2-1）。

表 2-1 组成蛋白质的二十种氨基酸的结构式

| 名 称          | 结 构 式                                                                                                                                                                         |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 丙 氨 酸<br>(丙) | $  \begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}  $                                                                                      |
| 缬 氨 酸<br>(缬) | $  \begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}  $                                                  |
| 亮 氨 酸<br>(亮) | $  \begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}  $                                      |
| 异亮氨酸<br>(异)  | $  \begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}  $                                      |
| 脯 氨 酸<br>(脯) | $  \begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{H}_2\text{C}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \searrow \text{H}_2\text{C}-\text{NH} \end{array} \end{array}  $ |
| 苯丙氨酸<br>(苯丙) | $  \begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}  $                                                                 |
| 色 氨 酸<br>(色) | $  \begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_4-\text{N}-\text{C}=\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}  $                                               |
| 蛋 氨 酸<br>(蛋) | $  \begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}  $                                                     |

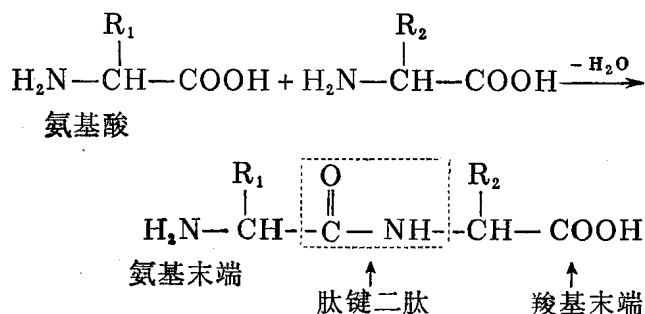
| 名 称                          | 结 构 式                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 甘 氨 酸<br>(甘)                 | $\begin{array}{c} \text{H} - \text{CH} - \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                                                                                        |
| 丝 氨 酸<br>(丝)                 | $\begin{array}{c} \text{HO} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                                                                         |
| 苏 氨 酸<br>(苏)                 | $\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH} - \text{COOH} \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$                                                                 |
| 半胱氨酸<br>(半胱)                 | $\begin{array}{c} \text{HS} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                                                                         |
| 酪 氨 酸<br>(酪)                 | $\begin{array}{c} \text{HO} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                                                  |
| 天冬酰胺<br>(天-NH <sub>2</sub> ) | $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}_2\text{N} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                                   |
| 谷氨酰胺<br>(谷-NH <sub>2</sub> ) | $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}_2\text{N} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                     |
| 天冬氨酸<br>(天)                  | $\begin{array}{c} \text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                                                                       |
| 谷 氨 酸<br>(谷)                 | $\begin{array}{c} \text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                                                         |
| 赖 氨 酸<br>(赖)                 | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                      |
| 精 氨 酸<br>(精)                 | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N} - \text{C} - \text{NH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\    \quad   \\ \text{NH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$    |
| 组 氨 酸<br>(组)                 | $\begin{array}{c} \text{HC} = \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \quad   \\ \text{N} \quad \text{NH} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} \\   \\ \text{H} \end{array}$ |

## 第二节 蛋白质的分子结构

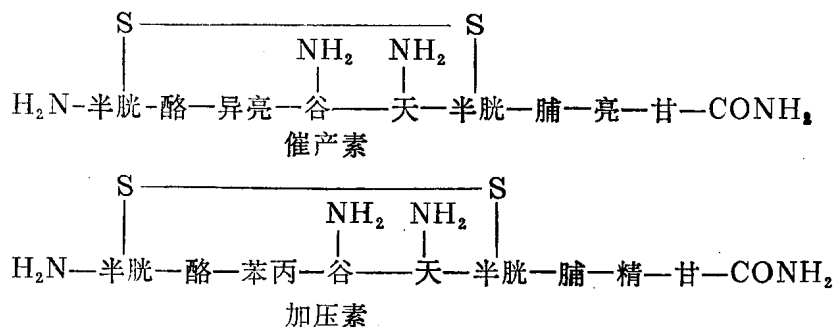
### 一、蛋白质的基本结构

一个氨基酸的羧基与另一个氨基酸的氨基脱水缩合，缩合后所生成的酰胺键

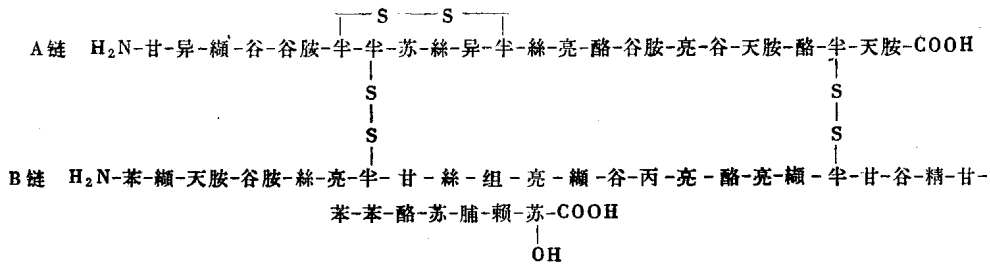
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{NH}- \end{array}$  称为肽键。氨基酸通过肽键连接而成的化合物称为肽。两个氨基酸缩合成二肽，三个氨基酸缩合成三肽，多个氨基酸缩合成多肽。多肽为长长的链状，称为多肽链。蛋白质的基本结构是由氨基酸连接而成的多肽链结构。在多肽链中每个氨基酸由于连接而不完整，称为氨基酸残基。氨基酸残基愈多，多肽链愈长。多肽链具有自由氨基的一端，称为氨基末端（N-末端）；多肽链具有自由羧基的一端，称为羧基末端（C-末端）。书写时，习惯上将氨基末端书写在左侧。



肽的命名是从肽链氨基末端开始，称为某氨基酸某氨基酸。这种命名繁琐，除少数短肽外，一般都根据生物学功能或来源命名。如垂体后叶的二个九肽，根据生物学功能，分别命名为催产素和加压素。



组成蛋白质的氨基酸仅有 20 种，可是人体内的蛋白质分子，据估计不下 100,000 种，这些蛋白质分子中极少与其它生物体内完全相同。实际上，不同种类的生物体内，罕见完全相同的蛋白质分子。蛋白质分子内氨基酸残基的种类及排列顺序称为蛋白质的一级结构，不同蛋白质，它的一级结构不同。迄今已有一千余种蛋白质的一级结构被确定。其中胰岛素的一级结构是首先被确定的。它是由 51 个氨基酸残基组成的二条肽链构成，A 链由 21 个氨基酸残基组成，B 链由 30 个氨基酸残基组成，A 链与 B 链通过 A<sub>7</sub> 与 B<sub>7</sub> 以及 A<sub>20</sub> 与 B<sub>19</sub> 间的两个二硫键（二硫桥）连接，此外在 A 链 A<sub>6</sub> 和 A<sub>11</sub> 之间还有一个二硫键。人胰岛素的一级结构如下：



牛胰核糖核酸酶是由 124 个氨基酸残基构成的一条多肽链，链中有 8 个半胱氨酸残基，可以构成 4 个二硫键，这些特定的二硫键对于维持该酶的三级结构与催化功能都有重要意义。

## 二、蛋白质的空间结构

蛋白质分子的多肽链在空间中并非以线状平直展开，而是构成不同水平的空间结构（构象），分别称为二级结构、三级结构，多条肽链还组成四级结构。蛋白质分子的多肽链在空间卷曲成螺旋状或折叠成片层状，这种螺旋状结构或片层状结构称为蛋白质的二级结构。具有二级结构的多肽链再进一步盘曲折叠形成更高级的结构称为蛋白质的三级结构。有的蛋白质只由一条具有三级结构的多肽链构成，如上面举的牛胰核糖核酸酶。但是有的蛋白质是由二条或二条以上的具有三级结构的多肽链构成的。这时，每条多肽链就是蛋白质的一个亚基。由多个亚基所构成的空间结构称为蛋白质的四级结构。例如血红蛋白是由两条  $\alpha$ -链和两条  $\beta$ -链所组成，故有四级结构（图 2-1）。

蛋白质分子的空间结构（构象）所以能维持稳定，是要靠维持它稳定的一些作用力，这些作用力有：氢键、离子键（盐键）、疏水键等，这些都是非共价键。此外，共价的二硫键对维系蛋白质的空间结构也很重要。蛋白质多肽链中的主键是肽键，往往把氢键、离子键、疏水键等称为维系蛋白质空间结构的副键（图 2-2）。副键断裂，蛋白质空间结构被破坏。

## 三、蛋白质的结构与功能的关系

蛋白质的结构与功能是统一的，往往结构改变就会导致其功能的改变。

1. 蛋白质一级结构与功能的关系 蛋白质一级结构与其功能有密切关系。例如，正常成人血红蛋白（Hb-A） $\beta$ -链的第 6 位是谷氨酸残基，而镰刀形红细胞性贫血患者的血红蛋白（Hb-S），其  $\beta$ -链的第 6 位是缬氨酸残基。血红蛋白  $\beta$ -链上共有 146 个氨基酸残基，其中只有一个氨基酸残基被更换，就导致整个血红蛋白的功能异常，引起贫血。再以多肽为例，前面举的二个九肽，催产素和加压素，两者在组成上只有两个氨基酸残基不同，它们的生理功能就不同，这些都说明了一级结构对蛋白质或多肽功能的影响。

2. 蛋白质空间结构与功能的关系 许多事实证明：虽然蛋白质一级结构没有被破坏，但空间构象被改变，也能引起生理功能的改变，这种现象称为变构效应，这对物质代谢的调控及生理功能的变化是十分重要的。有时，其空间结构被破坏，往往引起功能的丧失。例如前面提到的核糖核酸酶，若用 8 摩尔尿素和巯基乙醇处理，则酶分子内的

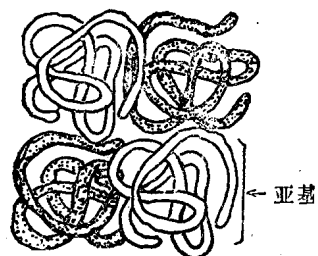
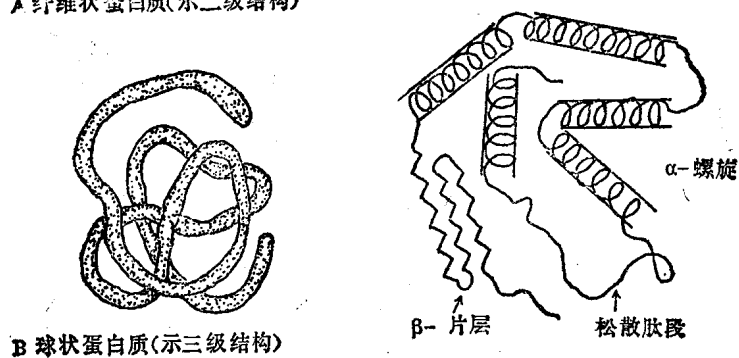
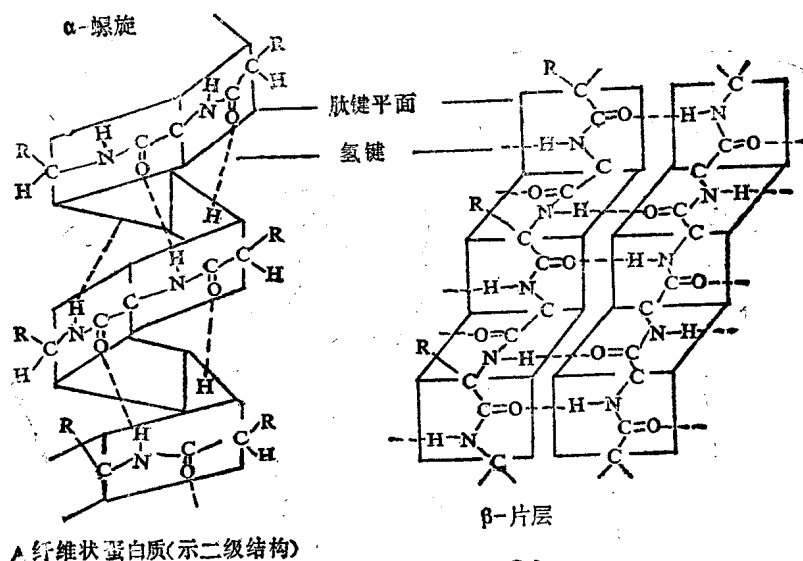


图 2-1 蛋白质的分子构象

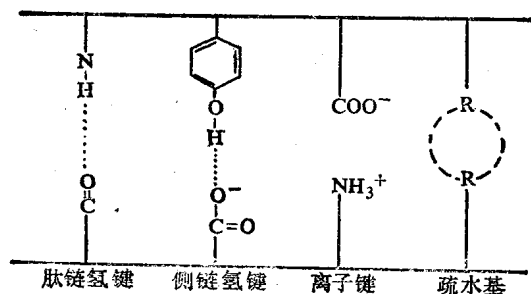


图 2-2 维持蛋白质构象的非共价键作用力

氢键被破坏和二硫键被还原，该酶的空间结构被破坏，以致酶活性丧失。但若再经过处理，除去尿素和巯基乙醇并经氧化，酶分子的空间结构逐渐恢复，同时其活性也得到恢复。这说明了空间结构与功能的关系，也说明了一级结构对空间结构的影响。图 2-3 说明了核糖核酸酶的空间结构的展开与复原。

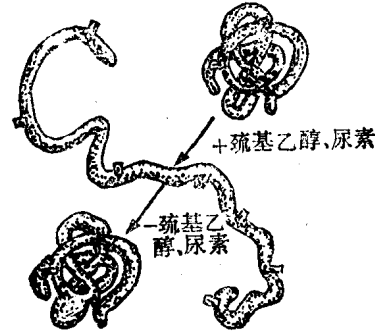


图 2-3 核糖核酸酶的变性和恢复过程

### 第三节 蛋白质的物理化学性质

#### 一、蛋白质两性电离和等电点

蛋白质和氨基酸都是两性电解质。因为它们既含有能电离成正离子的氨基，也含有能电离成负离子的羧基，可以进行两性电离。在蛋白质分子中可电离的基团，除在每条肽链上的氨基末端和羧基末端外，还有肽链的侧链上的那些可电离的基团，如赖氨酸残基上的氨基、精氨酸残基上的胍基、组氨酸残基上的咪唑基，都能电离成正离子基团；谷氨酸残基和天冬氨酸残基上的羧基都能电离成负离子基团。蛋白质分子在溶液中是电离成正离子还是电离成负离子，既取决于蛋白质分子上酸性基团和碱性基团的多少以及两者的相对比例，同时还受该溶液的 pH 值的影响。如在 pH 值偏低的酸性溶液中，酸性基团电离被抑制，则蛋白质电离成正离子，带正电荷，在电场中向负极运动；如在 pH 值偏高的碱性溶液中，碱性基团电离被抑制，则蛋白质电离成负离子，带负电荷，在电场中向正极运动。当溶液处于某一 pH 值时，蛋白质电离成正离子和负离子的趋势相等，而成为两性离子，两性离子所带的正电荷和负电荷相等，在电场中不移动。蛋白质呈两性离子时该溶液的 pH 值就称为该蛋白质的等电点，用 pI 表示。

