

# 氨基酸的应用

蒋 滢 主编



世界图书出版公司

# 氨基酸的应用

葛 道 主编

科学出版社北京

# 氨基酸的应用

主编 蒋 滢

编者 于 嘉 刘永玉 朱贻伯  
黄美英 蒋 滢

世界图书出版公司

北京·广州·上海·西安

图书在版编目 (CIP) 数据

氨基酸的应用/蒋滢主编. - 北京: 世界图书出版公司  
北京公司, 1996.6

ISBN 7-5062-2124-1

I. 氨… II. 蒋… III. 氨基酸-应用 IV. Q517  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 22719 号

## 内 容 简 介

氨基酸的应用研究进展非常迅速, 其应用开发前景十分诱人。为适应经济发展的需要, 苏州医学院氨基酸研究组总结20年来的研究成果, 并参考国外研究进展写成本书。书中对氨基酸的应用原理及在临床医学、工农业、食品及日用工业上的应用现状作了较为全面的介绍。既有理论研究进展, 又有实际应用。适用范围较为广泛。可供临床、医药、食品、日用工业品等领域的市场开发人员及医学院校有关专业师生参考。

### 氨基酸的应用

蒋 滢 主编

责任编辑 西世良

世界图书出版公司北京公司出版

北京朝阳门内大街 137 号

北京昌平百善印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1996 年 12 月 第 1 版 开本: 787×1092 1/32

1996 年 12 月 第 1 次印刷 印张: 7.125

印数: 0001-1,000 字数: 140 千字

ISBN: 7-5062-2124-1/O·170

定价: 12.50 元

# 前 言

近三十年来，氨基酸的应用研究，进展非常迅速，其应用开发前景十分可观。为适应社会需要，进一步开发氨基酸在临床、医药、食品业以及日用工业等方面的应用，苏州医学院生物化学教研室氨基酸研究组，总结了 20 年来在研究工作中积累的成果和经验，并参阅了部分国内外资料，共同编写了这本书。书中内容有理论、有研究进展，但更着眼于实用，因而对氨基酸应用的开发具有一定的意义。

本书共分五部分，第 I 部分为氨基酸的分类、命名及其理化性质；第 II 部分为氨基酸的生物合成及其工业生产；第 III 部分为氨基酸的分解代谢及其临床应用；第 IV 部分为氨基酸在工业（医药、食品、日用工业等）上的应用；第 V 部分为氨基酸的定量分析方法。

由于编写时间仓促，不足之处，在所难免，请读者提出宝贵意见，以便今后不断地修改、更新，使其更适合于读者的需要。

# 目 录

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| I. 氨基酸的分类、命名及其理化性质 .....       | ( 1 )  |
| 1.1 氨基酸的分类及命名 .....            | ( 1 )  |
| 1.2 蛋白质氨基酸 .....               | ( 2 )  |
| 1.2.1 非极性氨基酸 .....             | ( 3 )  |
| 1.2.2 不带电荷的极性氨基酸 .....         | ( 3 )  |
| 1.2.3 带电荷的极性氨基酸 .....          | ( 4 )  |
| 1.3 氨基酸的主要理化性质 .....           | ( 12 ) |
| 1.3.1 氨基酸的两性解离和等电点 .....       | ( 12 ) |
| 1.3.2 氨基酸的紫外吸收光谱 .....         | ( 14 ) |
| 1.3.3 氨基酸的化学反应 .....           | ( 15 ) |
| 1.3.3.1 氨基的反应 .....            | ( 15 ) |
| 1.3.3.2 羧基的反应 .....            | ( 18 ) |
| 1.3.3.3 R基的反应 .....            | ( 19 ) |
| 1.4 氨基酸的化学合成 .....             | ( 21 ) |
| 1.4.1 $\alpha$ -卤代酸与氨的反应 ..... | ( 21 ) |
| 1.4.2 Strecker 合成 .....        | ( 22 ) |
| 1.5 氨基酸的分离 .....               | ( 22 ) |
| 1.5.1 电泳 .....                 | ( 23 ) |
| 1.5.2 离子交换层析 .....             | ( 24 ) |
| 1.6 游离氨基酸 .....                | ( 25 ) |
| II. 氨基酸的生物合成及其生产 .....         | ( 28 ) |
| 2.1 氨基酸的生物合成 .....             | ( 28 ) |
| 2.1.1 非必需氨基酸的生物合成 .....        | ( 29 ) |
| 2.1.1.1 谷氨酸生物合成 .....          | ( 29 ) |

|          |                                               |        |
|----------|-----------------------------------------------|--------|
| 2.2.3.5  | L-天门冬氨酸发酵生产                                   | ( 60 ) |
| 2.2.3.6  | 酪氨酸发酵生产                                       | ( 61 ) |
| 2.2.3.7  | 苯丙氨酸发酵生产                                      | ( 61 ) |
| 2.2.3.8  | 色氨酸发酵生产                                       | ( 62 ) |
| 2.2.3.9  | 鸟氨酸和瓜氨酸发酵生产                                   | ( 62 ) |
| 2.2.3.10 | 精氨酸发酵生产                                       | ( 63 ) |
| 2.2.3.11 | 异亮氨酸发酵生产                                      | ( 64 ) |
| 2.2.3.12 | 亮氨酸发酵生产                                       | ( 65 ) |
| 2.2.3.13 | 缬氨酸发酵生产                                       | ( 66 ) |
| III.     | 氨基酸的分解代谢及临床应用                                 | ( 66 ) |
| 3.1      | 血液游离氨基酸的来源与去路                                 | ( 66 ) |
| 3.1.1    | 血液氨基酸的来源                                      | ( 66 ) |
| 3.1.2    | 血液氨基酸的去路                                      | ( 67 ) |
| 3.2      | 血液氨基酸的含量                                      | ( 68 ) |
| 3.3      | 氨基酸的分解代谢                                      | ( 68 ) |
| 3.3.1    | 氨基酸氮的分解                                       | ( 69 ) |
| 3.3.1.1  | 转氨作用                                          | ( 70 ) |
| 3.3.1.2  | 氧化脱氨作用                                        | ( 72 ) |
| 3.3.1.3  | 氨的转运                                          | ( 74 ) |
| 3.3.1.4  | 尿素的生物合成                                       | ( 76 ) |
| 3.3.2    | 氨基酸碳骨架的分解                                     | ( 77 ) |
| 3.3.2.1  | 氨基酸形成草酰乙酸                                     | ( 78 ) |
| 3.3.2.2  | 氨基酸形成 $\alpha$ -酮戊二酸                          | ( 79 ) |
| 3.3.2.3  | 氨基酸形成丙酮酸                                      | ( 84 ) |
| 3.3.2.4  | 氨基酸形成乙酰 CoA                                   | ( 95 ) |
| 3.4      | 氨基酸转变成重要功能的物质                                 | ( 95 ) |
| 3.4.1    | 肌肽的生物合成及其功能                                   | ( 96 ) |
| 3.4.2    | 多胺的分子结构及其功能                                   | ( 96 ) |
| 3.4.3    | 褪黑素的生物合成及其功能                                  | ( 97 ) |
| 3.4.4    | 黑色素的生物合成及白化病                                  | ( 98 ) |
| 3.4.5    | $\gamma$ -NH <sub>2</sub> 丁酸 (GABA) 的形成及其代谢紊乱 | ( 98 ) |

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| 3.5 氨基酸的器官代谢 .....              | ( 98 )  |
| 3.5.1 血浆氨基酸与器官之间交换 .....        | ( 98 )  |
| 3.5.1.1 血浆氨基酸与肠道的交换 .....       | ( 98 )  |
| 3.5.1.2 血浆氨基酸与肝脏的交换 .....       | ( 99 )  |
| 3.5.1.3 血浆氨基酸与肌肉组织的交换 .....     | ( 99 )  |
| 3.5.1.4 血浆氨基酸与肾脏的交换 .....       | ( 100 ) |
| 3.5.1.5 血浆氨基酸与脑组织的交换 .....      | ( 100 ) |
| 3.5.1.6 血浆氨基酸与红细胞的交换 .....      | ( 100 ) |
| 3.5.2 肌肉组织的氨基酸代谢 .....          | ( 101 ) |
| 3.5.3 肝脏的氨基酸代谢 .....            | ( 101 ) |
| 3.5.4 肾脏的氨基酸代谢 .....            | ( 106 ) |
| 3.5.5 大脑的氨基酸代谢 .....            | ( 109 ) |
| 3.6 体液氨基酸失衡 .....               | ( 113 ) |
| 3.6.1 氨基酸失衡的原因及后果 .....         | ( 113 ) |
| 3.6.2 肝脏疾病体液氨基酸平衡失调 .....       | ( 114 ) |
| 3.6.3 内分泌疾病体液氨基酸平衡失调 .....      | ( 114 ) |
| 3.6.4 脑病及脑组织损伤体液氨基酸平衡失调 .....   | ( 115 ) |
| 3.6.5 呼吸系统疾病体液氨基酸平衡失调 .....     | ( 117 ) |
| 3.6.6 肾脏疾病体液氨基酸平衡失调 .....       | ( 118 ) |
| 3.6.7 白血病体液氨基酸平衡失调 .....        | ( 119 ) |
| 3.6.8 喉癌 Hep II 细胞氨基酸代谢特点 ..... | ( 121 ) |
| 3.6.9 冠心病体液氨基酸平衡失调 .....        | ( 122 ) |
| 3.6.10 苯酮尿症体液氨基酸平衡失调 .....      | ( 123 ) |
| 3.6.11 其他疾病体液氨基酸平衡失调 .....      | ( 124 ) |
| 3.7 混合氨基酸的补充 .....              | ( 125 ) |
| IV. 氨基酸及其衍生物的应用 .....           | ( 129 ) |
| 4.1 氨基酸在医药工业上的应用 .....          | ( 129 ) |
| 4.1.1 复方氨基酸输液 .....             | ( 130 ) |
| 4.1.2 口服氨基酸制剂 .....             | ( 132 ) |
| 4.1.3 作为某些药物的合成原料 .....         | ( 134 ) |

|        |                    |         |
|--------|--------------------|---------|
| 4.1.4  | 在医药上其他方面的应用 .....  | ( 134 ) |
| 4.2    | 氨基酸在食品工业上的应用 ..... | ( 134 ) |
| 4.2.1  | 食品调味剂 .....        | ( 134 ) |
| 4.2.2  | 食品营养强化剂 .....      | ( 136 ) |
| 4.2.3  | 食品除臭剂 .....        | ( 138 ) |
| 4.2.4  | 食品增香剂与发色剂 .....    | ( 140 ) |
| 4.2.5  | 油脂抗氧化剂和食品保护剂 ..... | ( 141 ) |
| 4.2.6  | 防止食品褐变 .....       | ( 142 ) |
| 4.2.7  | 面包速成剂 .....        | ( 143 ) |
| 4.2.8  | 食品抗菌剂 .....        | ( 144 ) |
| 4.2.9  | 抑制食品中有害物质生成 .....  | ( 144 ) |
| 4.3    | 氨基酸在日用化工中的应用 ..... | ( 145 ) |
| 4.3.1  | 洗涤剂 .....          | ( 145 ) |
| 4.3.2  | 人造皮革 .....         | ( 145 ) |
| 4.3.3  | 化妆品 .....          | ( 146 ) |
| 4.4    | 氨基酸在农牧业上的应用 .....  | ( 146 ) |
| 4.4.1  | 氨基酸强化饲料 .....      | ( 147 ) |
| 4.4.2  | 氨基酸农药 .....        | ( 148 ) |
| 4.5    | 主要氨基酸应用概况 .....    | ( 150 ) |
| 4.5.1  | 赖氨酸 .....          | ( 150 ) |
| 4.5.2  | 色氨酸 .....          | ( 151 ) |
| 4.5.3  | 苏氨酸 .....          | ( 151 ) |
| 4.5.4  | 缬氨酸 .....          | ( 152 ) |
| 4.5.5  | 亮氨酸 .....          | ( 152 ) |
| 4.5.6  | 苯丙氨酸 .....         | ( 152 ) |
| 4.5.7  | 甲硫氨酸 .....         | ( 153 ) |
| 4.5.8  | 甘氨酸 .....          | ( 153 ) |
| 4.5.9  | 精氨酸 .....          | ( 153 ) |
| 4.5.10 | 组氨酸 .....          | ( 154 ) |
| 4.5.11 | 丙氨酸 .....          | ( 154 ) |

|         |                        |         |
|---------|------------------------|---------|
| 4.5.12  | 脯氨酸                    | ( 154 ) |
| 4.5.13  | 丝氨酸                    | ( 155 ) |
| 4.5.14  | 谷氨酸                    | ( 155 ) |
| 4.5.15  | 天冬氨酸                   | ( 155 ) |
| 4.5.16  | 胱氨酸                    | ( 156 ) |
| 4.5.17  | 酪氨酸                    | ( 156 ) |
| 4.5.18  | $\gamma$ - 氨酪酸和羟丁氨酸    | ( 157 ) |
| 4.5.19  | $\epsilon$ - 氨基己酸      | ( 157 ) |
| 4.5.20  | 半胱氨酸                   | ( 157 ) |
| 4.6     | 氨基酸的营养作用               | ( 157 ) |
| 4.6.1   | 人体需要的氨基酸               | ( 157 ) |
| 4.6.2   | 某些氨基酸对人体的作用            | ( 160 ) |
| 4.6.2.1 | 赖氨酸                    | ( 160 ) |
| 4.6.2.2 | 甲硫氨酸                   | ( 160 ) |
| 4.6.2.3 | 苯丙氨酸                   | ( 161 ) |
| 4.6.2.4 | 色氨酸                    | ( 161 ) |
| 4.6.2.5 | 苏氨酸                    | ( 161 ) |
| 4.6.2.6 | 异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸           | ( 161 ) |
| 4.6.2.7 | 组氨酸                    | ( 162 ) |
| 4.6.2.8 | 精氨酸                    | ( 162 ) |
| 4.6.2.9 | 牛磺酸                    | ( 163 ) |
| 4.6.3   | 食品中的氨基酸评价              | ( 163 ) |
| 4.6.3.1 | 比较四种食物蛋白质中EAA及其之间比值    | ( 163 ) |
| 4.6.3.2 | 比较动物性食物中EAA含量          | ( 164 ) |
| 4.6.3.3 | 比较谷物、豆类、根茎及块茎食物中 EAA含量 | ( 165 ) |
| 4.6.3.4 | 比较蔬菜、水果及微生物食物中 EAA含量   | ( 166 ) |
| V.      | 氨基酸的分析方法               | ( 168 ) |
| 5.1     | 氨基酸总量的测定               | ( 168 ) |
| 5.1.1   | 甲醛滴定法                  | ( 168 ) |

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| 5.1.2 茚三酮比色法 .....              | ( 169 ) |
| 5.2 氨基酸的仪器分析 .....              | ( 172 ) |
| 5.2.1 氨基酸自动分析仪法 .....           | ( 172 ) |
| 5.2.2 高压液相色谱法 .....             | ( 175 ) |
| 5.2.3 气相色谱法 .....               | ( 177 ) |
| 5.3 DNS-氨基酸聚酰胺薄膜层析 .....        | ( 182 ) |
| 5.4 个别氨基酸的定量测定 .....            | ( 187 ) |
| 5.4.1 赖氨酸的测定 .....              | ( 187 ) |
| 5.4.1.1 三硝基苯磺酸法 .....           | ( 187 ) |
| 5.4.1.2 茚三酮法 .....              | ( 189 ) |
| 5.4.2 色氨酸的测定 .....              | ( 190 ) |
| 5.4.2.1 对二甲基氨基苯甲醛法 .....        | ( 190 ) |
| 5.4.2.2 N-溴代琥珀酰亚胺滴定法 .....      | ( 192 ) |
| 5.4.2.3 荧光法 .....               | ( 193 ) |
| 5.4.3 亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸的联合测定 .....   | ( 195 ) |
| 5.4.4 苯丙氨酸的测定 .....             | ( 200 ) |
| 5.4.5 酪氨酸的测定 .....              | ( 202 ) |
| 5.4.6 脯氨酸的测定 .....              | ( 204 ) |
| 5.4.7 羟脯氨酸的测定 .....             | ( 205 ) |
| 5.4.8 胱氨酸的测定 .....              | ( 208 ) |
| 5.4.9 半胱氨酸的测定 .....             | ( 209 ) |
| 5.4.10 谷氨酰胺的测定 .....            | ( 211 ) |
| 5.4.11 两种羟基氨基酸特异的颜色反应 .....     | ( 213 ) |
| 5.4.12 L-天冬氨酸、L-天冬酰胺的酶法分析 ..... | ( 215 ) |
| 主要参考书目 .....                    | ( 215 ) |

# I. 氨基酸的分类、命名及其理化性质

氨基酸是广泛存在于自然界中含有氨基的有机酸，是组成蛋白质的基本单位，而生物的肉、皮肤、头发及身体其他各种组织都是由蛋白质组成。蛋白质还有一系列其他功能，它们作为酶，催化形形色色的生物化学反应；作为激素，调节机体中不同器官的功能；作为抗原，侵入异体机体，令其致病甚至引起死亡；作为抗体，可以对抗入侵抗原的不良作用。以游离型式存在于体内的氨基酸，对调节机体机能具有重要作用。

## 1.1 氨基酸的分类及其命名

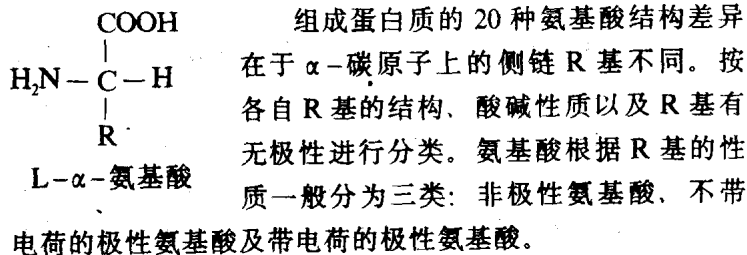
目前发现自然界至少存在 300 多种氨基酸。所有氨基酸可以分为两大类：蛋白质氨基酸与非蛋白质氨基酸。前者是蛋白质的组成成分。尽管其种类只有 20 种，但在自然界中含量丰富，绝大多数氨基酸都是非蛋白质氨基酸。不参与蛋白质构成的氨基酸，属于非蛋白质氨基酸，这一类氨基酸种类繁多，结构不一，但其量却甚少。这两类氨基酸将在下面章节中详细讨论。

氨基酸是由氨基 ( $-\text{NH}_2$ )、羧基 ( $-\text{COOH}$ ) 与其他

基团所组成的一类化合物。虽然可以用系统命名原则命名，但通常都用普通名称（即俗名）来命名氨基酸。俗名反映了物质的来源或性质。例如，天冬酰胺是因为它首先从天门冬属植物汁中分离出来而得此名，甘氨酸则因其味甜。为简便起见，常用三字母来代表一种氨基酸，如丙氨酸（alanine）用 Ala，亮氨酸（leucine）用 Leu，色氨酸（tryptophane）用 Trp 来表示。在表示肽链时也常用单字或单字母，如丙氨酸用丙或 A，亮氨酸用亮或 L，色氨酸用色或 W 来表示。

## 1.2 蛋白质氨基酸

在蛋白质中发现的氨基酸有 20 多种。各种实验表明，其中 20 种氨基酸是组成蛋白质的基本单位。不管来源于动物、植物或微生物的蛋白质，其 20 种均为  $\alpha$ -氨基酸。 $\alpha$ -氨基酸的氨基（ $-\text{NH}_2$ ）都连接在羧基（ $-\text{COOH}$ ）的  $\alpha$ -碳原子上。除甘氨酸外，其它氨基酸的  $\alpha$ -碳原子都是手性碳原子，有旋光性。组成蛋白质的氨基酸均为 L-型，L- $\alpha$ -氨基酸可用下列通式表示：



### 1.2.1 非极性氨基酸

8种非极性氨基酸的R基均无极性，其中丙氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸都带有脂肪烃基侧链；苯丙氨酸带有芳香族烃基侧链；色氨酸的R基为氮杂环；脯氨酸的R基为环状亚氨基酸。这一类氨基酸的R基都具有疏水性，其中以丙氨酸的R基疏水性最小，它介于非极性R基与不带电荷的极性R基之间。这些氨基酸的等电点接近中性，故属中性氨基酸 (neutral amino acid)。氨基酸在水中的溶解度随着侧链的增大而迅速下降，甘氨酸易溶，而色氨酸及苯丙氨酸溶解度有限。

### 1.2.2 不带电荷的极性氨基酸

7种不带电荷的极性氨基酸比非极性氨基酸易溶于水。它们的R基为不解离（前五种）或弱解离（后二种）的极性基团，能与水形成氢键，即它们的侧链（R基）具有亲水性。这些极性基团包括丝氨酸和苏氨酸的羟基（ $-\text{OH}$ ）；酪氨酸的酚羟基（ $-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$ ）；天冬酰胺和谷氨酰胺的酰胺基

$-\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2$ ；半胱氨酸的巯基（ $-\text{SH}$ ）。甘氨酸的R基氢（ $-\text{H}$ ）有极性，但它与羧基、氨基以及 $\alpha$ -碳的氢同处在 $\alpha$ -碳原子上，由于羧基和氨基的极性强，同时又受 $\alpha$ -碳原子上氢的干扰，极性很弱。因此甘氨酸的侧链介于极性与非极性之间。在这一组氨基酸中，以半胱氨酸和酪氨酸的R基极性最强，甘氨酸的最弱。极性R基虽然可以解离，但其等电点均接近中性，故仍属中性氨基酸。

### 1.2.3 带电荷的极性氨基酸

5种带电荷的极性氨基酸有极性且易解离，亲水性强。在生理 pH 范围时，R 基带有正电荷，具有较强的碱性，其等电点大于 7.0，称为碱性氨基酸，如赖氨酸、精氨酸、组氨酸。在生理 pH 范围时，侧链带负电荷，具有较强的酸性，等电点小于 7.0，称为酸性氨基酸，如天冬氨酸、谷氨酸。

以上 20 种氨基酸都有各自的遗传密码，是蛋白质生物合成的基本单位，在合成蛋白质后其结构也没有改变，称为编码氨基酸 (code amino acids) 或始级氨基酸 (primary amino acid)。20 种编码氨基酸的分类及其结构见表 1-1、表 1-2 及表 1-3。

有些蛋白质分子中还含有其它氨基酸，如羟脯氨酸和羟赖氨酸、胱氨酸、磷酸丝氨酸、磷酸苏氨酸等。这些氨基酸都是在肽链合成后由相应的氨基酸修饰生成的，称为修饰氨基酸 (modified amino acids) 或次级氨基酸 (secondary amino acids)。肽链合成后的氨基酸的化学修饰方式主要有乙酰化、酰胺化、甲基化、羧化、羟化、磷酸化等。这些修饰作用对维护蛋白质结构及其功能具有重要作用，如胶原蛋白分子中的脯氨酸和赖氨酸羟化成羟脯氨酸和羟赖氨酸，凝血因子 II、VII、IX、X 中谷氨酸  $\gamma$ -羧基化为  $\gamma$ -羧基谷氨酸，蛋白激酶中丝氨酸、酪氨酸磷酸化为磷酸丝氨酸和磷酸酪氨酸。表 1-4、表 1-5、表 1-6、表 1-7 列出一些较为常见的修饰氨基酸。

表 1-1 蛋白质氨基酸——编码氨基酸的结构及分类

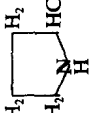
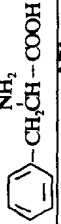
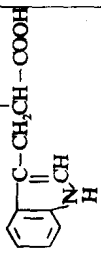
| 分 类                       | 名 称                     | 缩 写            | 结 构 式                                                                             | $pK_a - COO^-$ | $pK_a - NH_3^+$ | pK-R | pI   | 分子量 |
|---------------------------|-------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|------|------|-----|
| 非极性氨基酸 (中<br>脂 肪 烃 基 侧 链) | 丙氨酸<br>(alanine)        | 丙<br>(Ala, A)  | $\begin{array}{c} NH_2 \\   \\ CH_3-CH-COOH \end{array}$                          | 2.34           | 9.69            |      | 6.00 | 89  |
|                           | 缬氨酸<br>(valine)         | 缬<br>(Val, V)  | $\begin{array}{c} NH_2 \\   \\ CH_3-CH-CH-COOH \\   \\ CH_3 \end{array}$          | 2.32           | 9.62            |      | 5.96 | 117 |
|                           | 亮氨酸<br>(leucine)        | 亮<br>(Leu, L)  | $\begin{array}{c} NH_2 \\   \\ CH_3-CH-CH_2-CH-COOH \\   \\ CH_3 \end{array}$     | 2.36           | 9.60            |      | 5.98 | 131 |
|                           | 异亮氨酸<br>(isoleucine)    | 异<br>(Ile, I)  | $\begin{array}{c} NH_2 \\   \\ CH_3-CH-CH-CH-COOH \\   \\ CH_3 \end{array}$       | 2.36           | 9.69            |      | 6.02 | 131 |
|                           | 甲硫氨酸<br>(methionine)    | 甲硫<br>(Met, M) | $\begin{array}{c} NH_2 \\   \\ CH_3-S-(CH_2)_2-CH-COOH \end{array}$               | 2.28           | 9.21            |      | 5.74 | 149 |
|                           | 脯氨酸<br>(proline)        | 脯<br>(Pro, P)  |  | 1.99           | 10.60           |      | 6.30 | 115 |
| 芳香族<br>氮杂环                | 苯丙氨酸<br>(phenylalanine) | 苯<br>(Phe, F)  |  | 1.83           | 9.13            |      | 5.48 | 165 |
|                           | 色氨酸<br>(tryptophan)     | 色<br>(Trp, W)  |  | 2.83           | 9.39            |      | 5.89 | 204 |

表 1-2 蛋白质氨基酸——编码氨基酸的结构及分类

| 分 类       | 名 称                  | 缩 写            | 结 构 式                                                                                                              | pK <sub>a</sub> -COO <sup>-</sup> | pK <sub>a</sub> -NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> | pI   | 分子量 |
|-----------|----------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|------|-----|
| 不 带 电 荷   | 甘氨酸<br>(glycine)     | 甘<br>(Gly, G)  | $\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\   \\ \text{CH}_2-\text{COOH} \end{array}$                                         | 2.34                              | 9.60                                          | 5.97 | 75  |
|           | 丝氨酸<br>(serine)      | 丝<br>(Ser, S)  | $\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\   \\ \text{HOCH}_2\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$                              | 2.21                              | 9.15                                          | 5.68 | 105 |
|           | 苏氨酸<br>(threonine)   | 苏<br>(Thr, T)  | $\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\   \\ \text{CH}_3\text{CHCH}-\text{COOH} \\   \\ \text{OH} \end{array}$            | 2.09                              | 9.10                                          | 5.60 | 119 |
| 极 性 氨 基 酸 | 天冬酰胺<br>(asparagine) | 天胺<br>(Asn, N) | $\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\   \\ \text{H}_2\text{NOCCH}_2\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$                   | 2.02                              | 8.80                                          | 5.41 | 132 |
|           | 谷氨酰胺<br>(glutamine)  | 谷胺<br>(Gln, Q) | $\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\   \\ \text{H}_2\text{NOC}(\text{CH}_2)_2\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$        | 2.17                              | 9.13                                          | 5.65 | 146 |
|           | 酪氨酸<br>(tyrosine)    | 酪<br>(Tyr, Y)  | $\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\   \\ \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$ | 2.20                              | 9.00                                          | 5.66 | 131 |
| 中 性 氨 基 酸 | 半胱氨酸<br>(cysteine)   | 半胱<br>(Cys, C) | $\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\   \\ \text{HSCH}_2\text{CHCOOH} \end{array}$                                      | 1.96                              | 8.18                                          | 5.07 | 121 |