

蛋白质知识

郑集
编著

1
分子生物学知识丛书

上海科学技术出版社

分子生物学丛书

蛋白质知识

郑 集 编著

上海科学技术出版社

分子生物学丛书

蛋白质知识

郑集 编著

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 江苏扬中印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 3.625 字数 79,000

1980年4月第1版 1980年4月第1次印刷

印数 1—20,000

书号: 13119·817 定价: (科三) 0.31元

前 言

蛋白质是生命的物质基础，是人类生活实践不可缺少的物质。蛋白质化学的发展，特别是蛋白质的氨基酸组分、蛋白质的结构、功能和生物合成等几方面的发展，使生命起源、生物进化、种属变异、机体发育、酶和激素的作用机理、免疫机理以及食物营养功能等诸方面的知识都得到了进一步的丰富和阐明。在近代分子生物学中，蛋白质化学占有极其重要的位置。在实践方面，蛋白质知识与农业生产、医药卫生和食品制造也都有密切关系。有关这些专业的工作人员都需要具备一些蛋白质知识。本书的编写旨在为广大读者提供一点方便。

本书用简明词句首先介绍了蛋白质化学的基础知识，然后对与人类关系密切的血浆蛋白、卵蛋白、动物组织蛋白、谷类蛋白、糖蛋白、脂蛋白、色蛋白和核蛋白等几类蛋白质的分布、组分、结构、性质和功能等作了深入浅出的介绍。可供一般读者阅读，也可供生物化学、微生物学、生理学、农学、医学和食品卫生等学科的学生、教师和实验人员参考之用。

南京大学生化组韩仪同志通读本书全稿，提供宝贵意见，并协助校稿和编制索引，著者深切感谢。

目 录

前言

一、蛋白质的基础知识	1
(一) 什么是蛋白质	1
(二) 蛋白质的种类	2
(三) 蛋白质的化学本质	3
(四) 蛋白质的结构	20
(五) 蛋白质的重要性质	30
(六) 蛋白质结构和功能的关系	44
二、血浆蛋白质	52
三、奶蛋白质	58
四、卵蛋白质	61
五、动物组织蛋白(结构蛋白)	67
(一) 肌肉蛋白	67
(二) 结缔组织蛋白(硬蛋白)	70
六、植物种子蛋白质	76
(一) 谷类种子蛋白	76
(二) 豆类种子蛋白	80
七、结合蛋白质	84
(一) 糖蛋白	84
(二) 脂蛋白	88
(三) 色蛋白	97
(四) 核蛋白	106
结语	108
索引	109

一、蛋白质的基础知识

(一) 什么是蛋白质

蛋白质是细胞的重要成分,是生命的基本物质,广布于各种生物组织。蛋白质在生物体内的形成和作用是多样化的,举凡构成生物体的结构物质(如肌肉的蛋白质)、促进体内化学反应的生物催化剂(称酶)、调节生理功能的肽类激素、运输氧和二氧化碳以及传递铁离子的载体(如血红蛋白和铁载体蛋白)、抵抗病菌的抗体、对动植物和人类为害的病毒等,其本质皆是蛋白质。此外,谷类、豆类和其他植物种子也都含有或多或少的蛋白质。总的来说,人类的生存是离不开蛋白质的。

虽然自有人类以来,即知道利用蛋白质,但对蛋白质本质的科学认识还是较晚的事。从十九世纪有机化学发展后,才逐渐认识到蛋白质的真实面目。通过对蛋白质的分离、提纯和分析,我们现在已经知道蛋白质是由二十种左右的 α -氨基酸组成的高分子有机物质。分子量小者数千,大者数千万(胰岛素单体的分子量为六千,烟草斑纹病毒的分子量达六千万)。蛋白质的水解产物为 α -氨基酸。有些蛋白质尚含有非蛋白质物质。

所谓 α -氨基酸是有机酸分子 α -碳位上的氢原子被氨基($-\text{NH}_2$)取代了的化合物。例如丙酸的 α -碳位上的一个氢原子被“ NH_2 ”基取代即得丙氨酸($\text{CH}_3\text{CHNH}_2-\text{COOH}$)。

(二) 蛋白质的种类

自然界有多少种蛋白质，我们还弄不清楚。根据已发现的蛋白质种类（包括酶蛋白和激素蛋白），为数已达数百。人们不可能对每一种蛋白质都去加以研究，为了使复杂的问题简单化便于掌握起见，科学家根据已知蛋白质的形状、组成和性质对蛋白质进行分类。

1. 根据蛋白质分子的形状，人们将蛋白质分为球蛋白和纤维蛋白。

(1) 球蛋白：分子似球形，较易溶解。如血液的血红蛋白，豆类的球蛋白等。

(2) 纤维蛋白：形状似纤维，不溶于水。如指甲、羽毛中的角蛋白，蚕丝的丝蛋白等。

2. 根据蛋白质分子组成的繁简，也有人将蛋白质分为简单蛋白和结合蛋白。

(1) 简单蛋白：分子中只含 α -氨基酸，不含其他物质。根据溶解度的不同，简单蛋白质又分为下列几小类。

白蛋白（又称清蛋白）——溶于水，如血清白蛋白、卵蛋白等。

球蛋白——微溶于水而溶于稀中性盐溶液，如血清球蛋白、大豆球蛋白等。

谷蛋白——不溶于水、醇及中性盐溶液，但溶于稀酸、稀碱，如米、麦蛋白。

醇溶蛋白——不溶于水，溶于70~80%乙醇，如玉米蛋白。

精蛋白——溶于水及酸性液，呈碱性，如鲑精蛋白。

组蛋白——溶于水及稀酸溶液，呈碱性，如珠蛋白。

硬蛋白——不溶于水、盐、稀酸、稀碱溶液，如弹性蛋白、毛发角蛋白。

(2) 结合蛋白：由简单蛋白质与非蛋白质物质结合而成。酶蛋白中的非蛋白质部分称辅基或辅酶。结合蛋白又分下列五小类。

色蛋白类——为简单蛋白质与其他有色素物质（主要为含铁或镁的卟啉）结合而成，如血色蛋白、叶绿蛋白和细胞色素等。

磷蛋白类——为蛋白质与磷酸结合而成，如乳酪蛋白、卵黄蛋白等。

糖蛋白类——为蛋白质与糖类结合而成，如唾液中的粘蛋白等。

脂蛋白类——为蛋白质与脂质结合而成，如血清 α -脂蛋白和血清 β -脂蛋白。

核蛋白类——为蛋白质与核酸结合而成，存在于一切细胞质及细胞膜中。

(三) 蛋白质的化学本质

蛋白质的化学本质可由其元素组成和结构单位来决定。经分析结果，已肯定一切蛋白质都含有碳、氢、氧、氮、硫等元素，有的还含磷、铁或碘。一切蛋白质的基本结构单位都是氨基酸。

1. 蛋白质的元素组成

各种蛋白质的元素组成都很近似，都含有碳、氢、氧、氮四

种元素,多数蛋白质还含硫(特别是毛发的角蛋白),有的还含磷(如奶蛋白)、铁(如血红蛋白)、镁(如叶绿蛋白)及碘(如甲状腺球蛋白)。

表 1-1 蛋白质的元素成分

组 成 元 素	碳	氢	氧	氮	硫	其他(非一般性的)			
						磷	铁	镁	碘
含 量 (%) (平均值)	53	7	23	16	1	牛奶中的酪蛋白含磷	血中的血红蛋白含铁	叶片中的叶绿蛋白含镁	甲状腺中的甲状腺球蛋白含碘

各种蛋白质的含氮量皆近于16%,此值在蛋白质定量上极为有用,因为分析一个样品的蛋白质含量时,总是先测定样品的总氮量百分数,再以6.25常数乘之。此6.25即 $100/16$,为1克氮所代表的蛋白质重量(1克氮 $\approx$ 6.25克蛋白质)。

2. 作为蛋白质分子基本单位的氨基酸

α -氨基酸是构成一切蛋白质分子的结构单位。

(1) 氨基酸的类别

蛋白质分子中存在的二十种左右的氨基酸可分为脂肪族氨基酸、芳香族氨基酸和杂环氨基酸三大类。在脂肪族氨基酸中,根据所含氨基、羧基的多寡及是否含硫或含OH基,又可分为中性、酸性、碱性、含羟基及含硫氨基酸等几小类(参见表1-2)。

严格地说,表1-2中的脯氨酸和羟脯氨酸实际上是亚氨基酸,但因其存在于蛋白质中,习惯上将它们列入天然氨基酸一类。有几个氨基酸显然可以归入这一类或那一类,例如羟脯氨酸也可列入羟基氨基酸,胱氨酸(含二氨基二羧基)也可

表 1-2 天然氨基酸的分类

类 别	名 称	英 文 名	代 号 (西)	代号 (中)
脂 肪 族 氨 基 酸	甘 氨 酸	Glycine	Gly	甘
	丙 氨 酸	Alanine	Ala	丙
	缬 氨 酸	Valine	Val	缬
	亮 氨 酸 ^①	Leucine	Leu	亮
	异亮氨酸	Isoleucine	Ileu	异亮
	中性氨基酸 (一氨基,一羧基)			
	天门冬氨酸 ^②	Aspartic acid	Asp	天
	谷 氨 酸 ^②	Glutamic acid	Glu	谷
	酸性氨基酸 (一氨基,二羧基)			
	精 氨 酸	Arginine	Arg	精
芳 香 族 氨 基 酸	赖 氨 酸	Lysine	Lys	赖
	碱性氨基酸 (二氨基,一羧基)			
	丝 氨 酸	Serine	Ser	丝
	苏 氨 酸	Threonine	Thr	苏
	羟氨基酸			
	胱 氨 酸	Cystine	Cys	胱
	半胱氨酸	Cysteine	CySH	半胱
	蛋 氨 酸 ^①	Methionine	Met	蛋
	含硫氨基酸			
	苯丙氨酸	Phenylalanine	Phe	苯
杂 环 氨 基 酸	酪 氨 酸	Tyrosine	Tyr	酪
	组 氨 酸	Histidine	His	组
	色 氨 酸	Tryptophan	Try	色
	脯 氨 酸 ^①	Proline	Pro	脯
	羟脯氨酸 ^①	Hydroxyproline	Hyp	羟脯

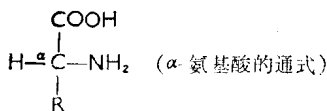
① 亮氨酸亦称白氨酸, 蛋氨酸亦称甲硫氨酸, 脯氨酸和羟脯氨酸是亚氨基酸。

② 天门冬氨酸的酰胺天门冬酰胺(Asparagine)的代号为 Asn, 中文代号为天-NH₂; 谷氨酸的酰胺谷氨酰胺(Glutamine)的代号为 Gln, 中文代号为谷-NH₂, 两者皆存在于天然蛋白质中。

列入中性氨基酸。

(2) 氨基酸的化学结构

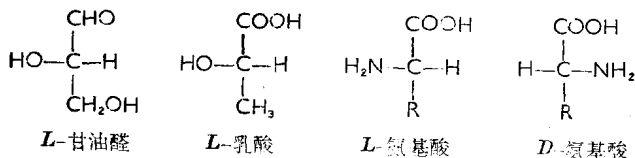
α -氨基酸是有关有机酸的 α -碳位的氢原子被氨基(NH_2)取代而成,其结构可用下式代表:



上式具有两个特点:第一,具有酸性的羧基($-\text{COOH}$)及碱性的氨基($-\text{NH}_2$),因而是双性物质或称两性物质。第二, R基团如不是氢(H),则具有不对称碳(甘氨酸分子的 R 为 H,不具有不对称碳),因而是光活性物质,有旋光性*。第一个特点使不同氨基酸具有某些共同的化学性质,第二个特点使各种氨基酸具有共同的物理性质。

由于 α -氨基酸分子含不对称碳,故除甘氨酸外,一切 α -氨基酸的 α -碳皆为不对称碳,在不对称碳左右两边的H和 NH_2 基有两种可能的排列法,故有 D- 及 L-型两种异构体。

氨基酸的 D-型或 L-型的命名是以 L-甘油醛或 L-乳酸为参考的。凡 α -碳位的构型(指分子的结构)与 L-甘油醛(或 L-乳酸)相同的氨基酸皆为 L-型,相反者为 D-型。



D- 或 L-只表示氨基酸的构型与 D-或 L-甘油醛类似,并不表示氨基酸的旋光性。如欲表示旋光性,则须在 L 或 D

* 有机化合物分子中的碳原子带有四个不同基团的称不对称碳。不对称碳的化合物溶液能使偏光(极化后的光)左旋或右旋,称光活性物质或称有旋光性物质。

与氨基酸名称之间加(+)或(-)符号。例如 $L(+)$ 氨基酸即表示是右旋氨基酸, $L(-)$ 氨基酸则表示其为左旋。天然氨基酸一般为 L -型, 但微生物的氨基酸也有 D -型的。

上述通式中, 只有 α 碳位上有一个氨基, 个别氨基酸, 例如赖氨酸和精氨酸分子中都有两个氨基, 赖氨酸的两个氨基, 一在 α 位, 一在 ϵ 位, 精氨酸的两个氨基, 一在 α 位, 一在胍基上。

天然氨基酸的化学结构及其化学名称见表 1-3。

表 1-3 天然氨基酸的结构式及其化学名称

普通名称	化 学 名 称	结 构 式
甘 氨 酸	α -氨基乙酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
丙 氨 酸	α -氨基丙酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
缬 氨 酸*	α -氨基异戊酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagup \\ \text{CH} \\ \diagdown \\ \text{CH}_3 \end{array} \text{---CH---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2$
亮 氨 酸*	α -氨基异己酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagup \\ \text{CH} \\ \diagdown \\ \text{CH}_3 \end{array} \text{---CH---CH}_2\text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2$
异亮氨酸*	β -甲基- α -氨基戊酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2 \\ \diagup \\ \text{CH} \\ \diagdown \\ \text{CH}_3 \end{array} \text{---CH---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2$
天门冬氨酸	α -氨基丁二酸	$\begin{array}{c} \text{HOOC---CH}_2\text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
谷 氨 酸	α -氨基戊二酸	$\begin{array}{c} \text{HOOC---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$

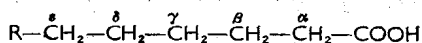
(续表)

普通名称	化 学 名 称	结 构 式
精 氨 酸	δ -胍基- α -氨基戊酸	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{NH} \qquad \qquad \text{NH}_2 \\ \\ \text{C}=\text{NH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} $
赖 氨 酸*	α, ε -二氨基己酸	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{NH}_2 \qquad \qquad \text{NH}_2 \end{array} $
丝 氨 酸	β -羟基- α -氨基丙酸	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array} $
苏 氨 酸*	β -羟基- α -氨基丁酸	$ \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	β -巯基- α -氨基丙酸	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{SH} \quad \text{NH}_2 \end{array} $
胱 氨 酸	双 β -硫- α -氨基丙酸	$ \begin{array}{c} \text{S}-\text{CH}_2\text{CH}-\text{COOH} \\ \qquad \\ \text{S}-\text{CH}_2\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} $
蛋 氨 酸*	γ -甲硫基- α -氨基丁酸	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \qquad \qquad \\ \text{SCH}_3 \qquad \text{NH}_2 \end{array} $
苯 丙 氨 酸*	β -苯基- α -氨基丙酸	$ \begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} $
酪 氨 酸	β -对羟基苯基- α -氨基丙酸	$ \begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} $

(续表)

普通名称	化学名称	结构式
组氨酸	β -咪唑- α -氨基丙酸	$ \begin{array}{c} \text{CH}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \text{N} \quad \text{NH} \quad \text{NH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} \\ \text{H} \end{array} $
色氨酸*	β -吡啶- α -氨基丙酸	$ \begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \quad \quad \diagdown \quad \diagup \\ \quad \quad \quad \text{CH} \quad \text{NH}_2 \\ \quad \quad \quad \text{N} \\ \quad \quad \quad \text{H} \end{array} $
脯氨酸	β -吡咯烷- α -羧酸 (或吡咯环- α -羧酸)	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \\ \quad \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}-\text{COOH} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{N} \\ \text{H} \end{array} $
羟脯氨酸	γ -羟基- β -吡咯烷 - α -羧酸	$ \begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}-\text{CH}_2 \\ \quad \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}-\text{COOH} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{N} \\ \text{H} \end{array} $

α , β , γ , δ , ϵ 等符号是希腊字母, 在有机化学中常用来表示羧酸碳链中碳原子的位置, 在羧酸羧基(COOH)左边的第一个碳称 α -碳位, 第二个碳称 β -碳位, 第三个碳称 γ -碳位, 第四个碳称 δ -碳位, 第五个碳称 ϵ -碳位。例:



硫氢基(SH), 亦称巯基。

表 1-3 中带 * 号的氨基酸是人体和高等动物自身不能合成的, 必须从食物中摄取才能维持正常发育和健康, 称必需氨

基酸。

表 1-3 各氨基酸与有机酸的关系可总结如表 1-4。

表 1-4 氨基酸及其有关的有机酸

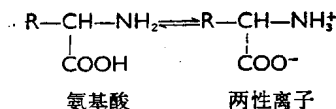
有关有机酸		氨 基 酸
甲 酸		脯氨酸、羟脯氨酸
乙 酸		甘氨酸
丙 酸		丙氨酸、丝氨酸、半胱氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、组氨酸
丁 酸		苏氨酸、蛋氨酸
戊 酸		缬氨酸、精氨酸、异亮氨酸
己 酸		亮氨酸、赖氨酸
丁 二 酸		天门冬氨酸
戊 二 酸		谷氨酸

(3) 氨基酸的重要化学通性

氨基酸的化学性质与其分子结构即分子的特殊功能团(羧基、氨基)分不开的。氨基酸的羧基具有一羧酸羧基的性质(如成盐、成酯、成酰胺、脱羧、酰氯化等),氨基酸的氨基具有一级胺($R-NH_2$)氨基的一切性质(如与 HCl 相结合、脱氨、与 HNO_2 作用等)。氨基酸的化学性质皆由这两种基团所产生。一部分性质是氨基参加的反应,一部分是羧基参加的反应,还有一部分是氨基、羧基共同参加的反应。

1) 与氨基及羧基皆有关的性质:

氨基酸的两性离解:氨基酸的同一分子中含有碱性的氨基($-NH_2$)和酸性的羧基($-COOH$), $-COOH$ 基可离解放出 H^+ , 其自身变为 $-COO^-$ 负离子, 离解释出的 H^+ 离子转移给 $-NH_2$ 而使 $-NH_2$ 基变为 $-NH_3^+$ 正离子, 这时氨基酸成为同一分子上带有正、负两种电荷的两性离子。这种离解称两性离解。



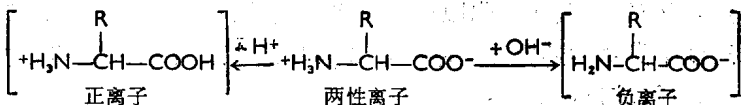
在纯水溶液中(pH 7)的及晶态的氨基酸皆是以两性离子状态存在,其羧基的离解度大于氨基的离解度($-\text{COOH}$ 基的离解常数 $K_1 = 10^{-5}$, $-\text{NH}_2$ 基的离解常数 $K_2 = 10^{-8}$)。

氨基酸的羧基和氨基的离解度都受溶液 pH 影响,向氨基酸两性离子溶液加酸(加 H^+),两性离子的 COO^- 基接

受 H^+ ,变为正离子($^+\text{NH}_3\text{CHCOOH}$),这时溶液中的[正离子]>[负离子]*。向两性离子溶液加碱(加 OH^-),两性离子的

NH_3^+ 基即离解出一个 H^+ 离子,变为负离子($\text{H}_2\text{NCHCOO}^-$),这时溶液中[负离子]>[正离子]。

在适当的酸碱度(pH)时,氨基酸的氨基和羧基的离解度可能完全相等,溶液中的[正离子]=[负离子]。此时的 pH 为氨基酸的等电点。



在等电点时,氨基酸的溶解度最小,净电荷为零,在电场中不向正极或负极移动。

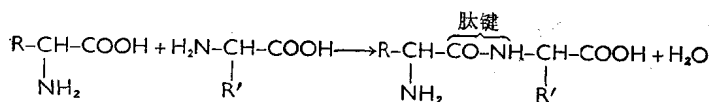
对氨基酸溶液加酸如 HCl ,使溶液的 pH 小于其等电点(即对等电点偏酸),氨基酸即与 Cl^- 离子结合成氨基酸氯化

* [正离子]、[负离子]表示离子的浓度。

物；在氨基酸溶液中加入碱如 NaOH，使溶液的 pH 大于氨基酸的等电点 pH，此时氨基酸即与 Na^+ 离子结合成钠盐。工业上制备氨基酸时，为了便于结晶，常将氨基酸与 HCl 结合变为氨基酸盐酸盐。

由于氨基酸的羧基的离解度大于其氨基的离解度，在纯水(pH7)中，其负离子的浓度大于其正离子的浓度。必须加入适量的酸，才能将溶液中的 pH 调节至氨基酸的等电点，所以一般中性氨基酸的等电点都小于 pH7。二羧基—氨基酸的等电点值一般较低，一羧基二氨基酸的等电点值则一般较高。

形成肽键：一个氨基酸的氨基与另一氨基酸的羧基，在一定条件下可以缩合成肽，其结合键称肽键。肽键是共价键。



这个反应是生物机体和人工合成蛋白质的基本反应。

与茚三酮的反应：茚三酮在弱酸溶液中与 α -氨基酸共热，能使氨基酸起氧化脱氨反应产生酮酸，酮酸脱羧成醛，茚三酮本身变为还原茚三酮，后者再与茚三酮和氨作用产生蓝色物质，其反应如下：

