



GAODENG XUEXIAO ZHUANYE JIAOCAI

• 高等学校专业教材 •

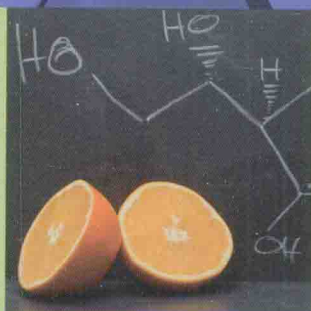
国家级精品资源共享课程

食品分子生物学

(第二版)

宁正祥 主编

FOOD MOLECULAR BIOLOGY
(SECOND EDITION)



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

高等学校专业教材
国家级精品资源共享课程

食品分子生物学(第二版)

FOOD MOLECULAR BIOLOGY (SECOND EDITION)

宁正祥 主编



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品分子生物学/宁正祥主编. —2 版. —北京: 中国轻工业出版社, 2014. 7

高等学校专业教材 国家级精品资源共享课程

ISBN 978-7-5019-9669-8

I. ①食… II. ①宁… III. ①食品—分子生物学—高等学校—教材 IV. ①TS201. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 042276 号

责任编辑: 李亦兵 责任终审: 张乃柬 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 宋振全 责任校对: 晋洁 责任监印: 张可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印刷: 三河市万龙印装有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2014 年 7 月第 2 版第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 20. 5

字数: 470 千字

书号: ISBN 978-7-5019-9669-8 定价: 39. 00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

120626J1X201ZBW

《食品分子生物学》(第二版) 编写人员

主 编 宁正祥

副 主 编 战 宇 宁 博 杨继国

参编人员 王渝林 战 朔 袁尔东 韦庆益 向智男 李 娜
刘本国 黄志良 李 妍

前 言

本书是为食品科学与工程专业的学生编写的国家精品资源共享课程教材，可供各类大专院校食品科学与工程专业学生作为教科书使用，也可供其他相关专业本科生及研究生、教师和科技工作者参考。

本书以人和食物的关系为中心，对食品分子生物学的基础理论知识进行了全面和系统的介绍，讲述问题主要包括以下五个方面：

1. 静态分子生物学

生物分子糖类、脂类、核酸、蛋白质、酶、维生素和激素的结构、性质与生物功能，并对一些无营养功能，但具有药物活性的天然生物分子及其衍生物的构效基础知识进行了归纳和介绍。

2. 动态分子生物学

生物大分子糖类、脂类、蛋白质、核酸的生物合成与降解，生物能量（ATP）的产生以及生物代谢的调节与控制。

3. 细胞分子生物学

生物细胞及细胞器、生物膜的结构与功能。

4. 食品加工分子生物学

糖类、脂类、蛋白质、维生素及食品无机成分的食品营养特性和在食品加工过程中的物理化学变化。

5. 人体分子生物学

人体基本组织、系统的结构和功能及人体养生基础理论与实践。

各章内容自成体系，力求在阐述基本理论知识的基础上，尽可能反映现代食品科学的新进展。

编 者

于华南理工大学

目 录

第一章 蛋白质静态分子生物学	1
第一节 蛋白质的化学组成与分类	1
第二节 氨基酸	2
第三节 肽	12
第四节 蛋白质的结构	14
第五节 蛋白质的性质	21
第六节 蛋白质的生物功能	24
第二章 酶分子生物学	25
第一节 酶的催化性质	25
第二节 酶的分类	27
第三节 酶的专一性	29
第四节 影响酶反应速度的因素	30
第五节 酶的作用原理	36
第六节 多酶体系和调节酶	38
第七节 同功酶和诱导酶	40
第八节 抗体酶和核糖酶	41
第九节 酶工程	42
第十节 酶的分离提纯及活力测定	44
第十一节 酶在食品工业中的应用	46
第三章 辅酶和维生素	52
第一节 水溶性维生素	53
第二节 脂溶性维生素	59
第三节 维生素在食品贮存和加工过程中的变化	64
第四章 蛋白质代谢分子生物学	66
第一节 氨基酸的生物合成	66
第二节 蛋白质的生物合成	67
第三节 蛋白质的生物降解	72
第四节 氨基酸的分解	77
第五节 蛋白质代谢的调节	84

第五章 蛋白质加工分子生物学	86
第一节 蛋白质的功能性质	86
第二节 食品中的蛋白质	91
第三节 蛋白质的分离制备及改性	94
第四节 食品加工对蛋白质的影响	96
第六章 糖类静态分子生物学	99
第一节 单糖	99
第二节 寡糖	112
第三节 多糖	116
第七章 糖类代谢分子生物学	128
第一节 糖类的膳食利用	128
第二节 糖类的合成与降解	129
第三节 糖类的中间代谢	134
第四节 糖代谢的调节	142
第八章 能量代谢分子生物学	145
第一节 高能磷酸化合物	145
第二节 生物电子传递链	149
第三节 氧化磷酸化作用	152
第九章 脂类静态分子生物学	155
第一节 三脂酰甘油类	155
第二节 二脂酰甘油类	161
第三节 磷脂类	162
第四节 结合脂类	165
第五节 简单脂类	168
第十章 脂类代谢分子生物学	176
第一节 脂类在机体内的消化、吸收和贮存	176
第二节 脂类的生物合成	176
第三节 脂类的降解	182
第四节 脂代谢的调节	187
第十一章 油脂加工分子生物学	189
第一节 食用油脂的生产与加工	189
第二节 食用油脂在加工和贮存过程中的变化	192
第三节 常见食用油脂	199

第十二章 核酸静态分子生物学	203
第一节 核苷酸	203
第二节 脱氧核糖核酸	208
第三节 核糖核酸	212
第四节 核酸的理化性质	215
第五节 核蛋白体	216
第十三章 核酸代谢分子生物学	218
第一节 核酸的合成代谢	218
第二节 核酸的分解代谢	222
第三节 遗传工程	224
第十四章 激素分子生物学	226
第一节 动物激素	226
第二节 植物激素	232
第三节 激素的作用原理	233
第四节 细胞内信使	235
第十五章 细胞分子生物学	238
第一节 细胞的一般结构	238
第二节 细胞的化学组成	241
第三节 细胞壁	242
第四节 生物膜	243
第五节 细胞液	247
第六节 细胞核	248
第七节 细胞器	248
第十六章 人体生物学	255
第一节 人体基本组织	255
第二节 人体骨骼生物学	263
第三节 人体消化系统	265
第四节 体液循环系统	279
第五节 神经系统	283
第六节 血液生物学	291
第七节 血液循环系统	301
第八节 呼吸循环系统	306
第九节 泌尿系统	310

第一章 蛋白质静态分子生物学

蛋白质是以氨基酸为基本单位的生物大分子，是动物、植物和微生物细胞中最重要的有机物质之一，是生命存在的形式。

第一节 蛋白质的化学组成与分类

一、蛋白质的化学组成

蛋白质含有碳、氢、氧和氮元素，大部分还含有硫。有些蛋白质还含有其它的元素，特别是磷、铁、锌及铜。

大多数蛋白质的基本组成十分相似，其百分比为：碳 50% ~ 55%，氢 6% ~ 8%，氧 20% ~ 30%，氮 15% ~ 18% 及硫 0 ~ 4%。大多数蛋白质所含氮素约为 16%，因该元素容易用凯氏（Kjeldahl）定氮法进行测定，故蛋白质的含量可由氮的含量乘以 6.25 (100/16) 计算出来。

蛋白质的相对分子量非常大，但是用酸水解后，蛋白质分子产生一系列相对分子量低的简单有机化合物—— α -氨基酸，构成蛋白质的 α -氨基酸共有 20 种。

二、蛋白质的分类

简单蛋白质 简单蛋白质是水解时只产生氨基酸的蛋白质。

结合蛋白质 结合蛋白质是水解时不仅产生氨基酸，还产生其它有机或无机化合物的蛋白质。结合蛋白质的非氨基酸部分称为辅基。

1. 简单蛋白质的分类

(1) 清蛋白 溶于水及稀盐、稀酸或稀碱溶液。为饱和硫酸铵所沉淀。广泛存在于生物体内，如血清蛋白、乳清蛋白等。

(2) 球蛋白 为半饱和硫酸铵所沉淀。不溶于水而溶于稀盐溶液的称为优球蛋白，溶于水的称为拟球蛋白。球蛋白普遍存在于生物体内，如血清球蛋白、肌球蛋白和植物种子球蛋白等。

(3) 谷蛋白 不溶于水、醇及中性盐溶液，但易溶于稀酸或稀碱。如米谷蛋白和麦谷蛋白等。

(4) 醇溶谷蛋白 不溶于水及无水乙醇，但溶于 70% ~ 80% 乙醇中。组成上的特点是脯氨酸和酰胺较多，非极性侧链远较极性侧链多。这类蛋白质主要存在于植物种子中。如玉米醇溶蛋白、麦醇溶蛋白等。

(5) 组蛋白 溶于水及稀酸，但为稀氨水所沉淀。分子中组氨酸、赖氨酸较多，分子呈碱性。如小牛胸腺组蛋白等。

(6) 鱼精蛋白 溶于水及稀酸，不溶于氨水。分子中碱性氨基酸特别多，因此呈碱

性。如鲑精蛋白等。

(7) 硬蛋白 不溶于水、盐、稀酸或稀碱。这类蛋白是动物体内作为结缔及保护功能的蛋白质。例如，角蛋白、胶原、网硬蛋白和弹性蛋白等。

2. 结合蛋白质的分类

(1) 核蛋白 辅基是核酸，如脱氧核糖核蛋白、核糖体、病毒等。

(2) 脂蛋白 与脂质结合的蛋白质，脂质成分有磷脂、固醇和中性脂等。如血中的 β_1 -脂蛋白、卵黄球蛋白等。

(3) 糖蛋白和黏蛋白 辅基成分为半乳糖、甘露糖、己糖胺、己糖醛酸、唾液酸、硫酸或磷酸等。如卵清蛋白、 γ -球蛋白、血清类黏蛋白等。

(4) 磷蛋白 磷酸基通过酯键与蛋白质中的丝氨酸或苏氨酸残基侧链相连。如酪蛋白、胃蛋白酶等。

(5) 血红素蛋白 辅基为血红素，它是卟啉类化合物，卟啉环中心含有金属。含铁的如血红蛋白、细胞色素 C，含镁的有叶绿蛋白，含铜的有血蓝蛋白等。

(6) 黄素蛋白 辅基为黄素腺嘌呤二核苷酸。如琥珀酸脱氢酶、D-氨基酸氧化酶等。

(7) 金属蛋白 与金属直接结合的蛋白质。如铁蛋白含铁，乙醇脱氢酶含锌，超氧化物歧化酶（SOD）含硒，黄嘌呤氧化酶含钼和铁等。

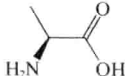
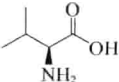
蛋白质按其分子外形的对称程度可以分为球状蛋白质和纤维状蛋白质两大类。球状蛋白质，分子对称性佳，外形接近球状或椭球状，溶解度较好，能结晶，大多数蛋白质属于这一类。纤维状蛋白质，对称性差，分子类似细棒或纤维。它又可分成可溶性纤维状蛋白质（如肌球蛋白、血纤维蛋白原）和不溶性纤维状蛋白质（包括胶原、弹性蛋白、角蛋白以及丝心蛋白等）。

还可依据蛋白质的生物功能进行分类，把蛋白质分为酶、运输蛋白质、营养和贮存蛋白质、收缩蛋白质或运动蛋白质、结构蛋白质和防御蛋白质等。

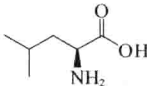
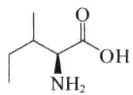
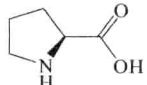
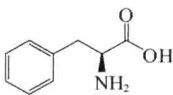
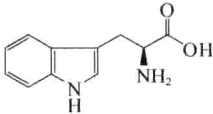
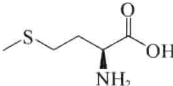
第二节 氨基酸

蛋白质中存在的 20 种氨基酸，除脯氨酸外，在其 α -碳原子上都有一个自由的羧基及一个自由的氨基；由于脯氨酸的 α -氨基被取代，它实际上是一种 α -亚氨基酸。此外，每种氨基酸都有一个特殊的 R 基团。

表 1-1 具有非极性或疏水 R 基团的氨基酸

氨基酸名称	结构式	$pK' - \text{COOH}$	$pK' - \text{NH}_3^+$	pI	$\Delta G_{\text{R基}}^*$
丙氨酸 (Ala)		2.34	9.69	6.02	3.10
缬氨酸 (Val)		2.34	9.62	5.97	7.05

续表

氨基酸名称	结构式	$pK' - \text{COOH}$	$pK' - \text{NH}_3^+$	pI	$\Delta G_{\text{R基}}^*$
亮氨酸 (Leu)		2.36	9.60	5.98	10.10
异亮氨酸 (Ile)		2.36	9.68	6.02	12.40
脯氨酸 (Pro)		1.99	10.60	6.30	10.85
苯丙氨酸 (Phe)		1.83	9.13	5.48	11.10
色氨酸 (Trp)		2.38	9.39	5.89	12.55
甲硫氨酸 (Met)		2.28	9.21	5.75	5.45

注: * $\Delta G_{\text{R基}}$ 为侧链疏水性 (乙醇 $\rightarrow$ 水), 单位为 kJ/mol。

一、氨基酸的分类

根据 R 基团的极性, 一般可将氨基酸分为以下四类: ①非极性或疏水; ②极性但不带电荷; ③在 pH 7 时带负电荷; ④在 pH 7 时带正电荷。这种分类法在说明不同氨基酸在蛋白质中的功能时很有意义。

1. 具有非极性或疏水的 R 基团的氨基酸

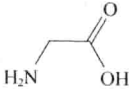
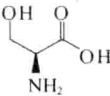
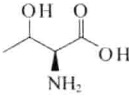
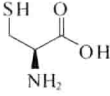
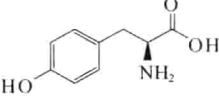
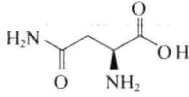
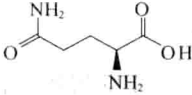
这类氨基酸共有八种 (表 1-1), 其中五种具有脂肪烃侧链 (丙氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸及脯氨酸), 两种具有芳香环 (苯丙氨酸及色氨酸), 一种含硫氨基酸 (甲硫氨酸或称蛋氨酸)。这类氨基酸在水中的溶解度比极性氨基酸小。

2. 具有极性不带电荷 R 基团的氨基酸

这类氨基酸比疏水氨基酸易溶于水, 它们所含的极性 R 基团能形成氢键 (表 1-2)。丝氨酸、苏氨酸及酪氨酸的极性是由羟基提供的, 而天冬酰胺和谷氨酰胺的极性则是其酰胺基引起的。半胱氨酸的极性来自其巯基 ($-\text{SH}$)。天冬酰胺和谷氨酰胺分别是天冬氨酸和谷氨酸的酰胺化合物, 它们极易为酸碱所水解, 缩写符号 Asx 及 Glx 分别代表天冬氨酸与天冬酰胺之和及谷氨酸与谷氨酰胺之和。如果酰胺含量不清楚时, 可用 Asx 及 Glx 表示。甘氨酸虽然不带有 R 基团, 但由于其带电荷的氨基和羧基占了整个分子的大部分, 具有明显的极性, 所以也归入此类。

表 1-2

具有极性不带电荷 R 基团的氨基酸

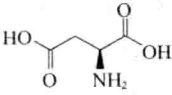
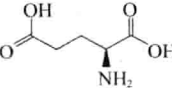
氨基酸名称	结构式	$pK' - \text{COOH}$	$pK' - \text{NH}_3^+$	$pK' - R$ ($\Delta G_{R\text{基}}$)	pI
甘氨酸 (Gly)		2.34	9.60	(0)	5.97
丝氨酸 (Ser)		2.21	9.15	(0.17)	5.68
苏氨酸 (Thr)		2.63	10.43	(1.85)	6.53
半胱氨酸 (Cys)		1.71	8.33	10.78 (SH) (4.20)	5.02
酪氨酸 (Tyr)		2.20	9.11	10.07 (OH) (12.00)	5.66
天冬酰胺 (Asn)		2.02	8.8	(-0.04)	5.41
谷氨酰胺 (Gln)		2.17	9.13	(-0.4)	5.65

3. 基团带负电荷的氨基酸

这类氨基酸在 pH 7.0 时具有净的负电荷，它们都含有第二个羧基（表 1-3）。谷氨酸的钠盐就是调味用的味精。

表 1-3

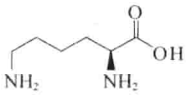
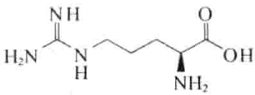
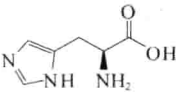
R 基团带负电荷的氨基酸

氨基酸名称	结构式	$pK' - \text{COOH}$	$pK' - \text{NH}_3^+$	$pK' - R$ ($\Delta G_{R\text{基}}$)	pI
天冬氨酸 (Asp)		2.09	9.82	3.86 (βCOOH) (2.25)	2.97
谷氨酸 (Glu)		2.19	9.67	4.25 (γCOOH) (2.30)	3.22

4. R 基团带正电荷的氨基酸

在这类氨基酸中 R 基团在 pH 7.0 时带有正电荷（表 1-4）。赖氨酸在其脂肪链的 ϵ 位置上带有第二个氨基。精氨酸带有正电荷的胍基，而组氨酸带有弱碱性的咪唑基。在 pH 6.0 时组氨酸 50% 以上的分子带电荷，而在 pH 7.0 时带正电荷的分子少于 10%。

表 1-4 R 基团带正电荷的氨基酸

氨基酸名称	结构式	$pK' - \text{COOH}$	$pK' - \text{NH}_3^+$	$pK' - \text{R}$ ($\Delta G_{\text{R基}}$)	pI
赖氨酸 (Lys)		2.18	8.95	10.53 (ϵNH_3) (6.25)	9.74
精氨酸 (Arg)		2.17	9.04	12.48 (胍基) (3.10)	10.76
组氨酸 (His)		1.82	9.17	6.00 (咪唑基) (2.10)	7.59

二、蛋白质的稀有氨基酸

除去上述 20 种氨基酸外，有一些蛋白质的水解液中含有少数其它氨基酸，这些都是正常氨基酸的衍生物，其中有 4-羟基脯氨酸，存在于纤维蛋白、胶原以及某些植物蛋白中（如烟草细胞壁的糖蛋白）。在胶原的水解液中也分离出 5-羟基赖氨酸。 N -甲基赖氨酸存在于肌球蛋白中，另一个重要的特有氨基酸是 γ -羧基谷氨酸，存在于凝血酶原及某些具有结合离子功能的其他蛋白质中。锁链素（一种赖氨酸的衍生物，其中央的吡啶环结构由 4 个赖氨酸分子的侧链组成）则仅在弹性蛋白中发现。从甲状腺蛋白中分离出 3,5-二碘酪氨酸和甲状腺素等，他们都是酪氨酸的衍生物。稀有氨基酸都是从肽链中的正常氨基酸前体经过化学修饰产生的，含稀有氨基酸的蛋白质多具有较强的生物活性。

三、非蛋白质氨基酸

除去蛋白质的 20 种普通氨基酸及少数稀有氨基酸外，已发现有 150 多种其它氨基酸，存在于各种细胞及组织中，呈游离状态或者结合状态，但并不存在于蛋白质中，所以称为非蛋白质氨基酸。它们大多数是蛋白质中存在的 α -氨基酸的衍生物，但是也发现有 β -、 γ -或 δ -氨基酸。某些非蛋白质氨基酸呈 D-构型，如细菌细胞壁中存在的 D-谷氨酸和 D-丙氨酸。

有些非蛋白氨基酸在代谢上作为重要的前体或中间产物，例如， β -丙氨酸是维生素泛酸的前体，瓜氨酸及鸟氨酸是合成精氨酸的前体， γ -氨基丁酸是神经传导的化学物质。有些非蛋白质氨基酸如高丝氨酸及刀豆氨酸，在氮素运转及贮藏上有一定作用。

植物含有非常多的非蛋白氨基酸，对动物和微生物多有一定的生理活性。有些具有极特殊的结构，这些植物氨基酸如刀豆氨酸、黎豆氨酸及 β -氰丙氨酸对其它生物是有毒的。一般认为非蛋白氨基酸是植物的次生代谢物质。植物生长的时间愈长，富积的次生代谢物质就愈多，次生代谢物质的结构就愈复杂，对其他生物的生理活性也就愈强。中草药的主要药效成分多是植物次生代谢物，故生长年份愈久，次生代谢药效成分积累也就愈多，生理活性也就可能愈强。

一些非蛋白氨基酸的分子结构见图 1-1。

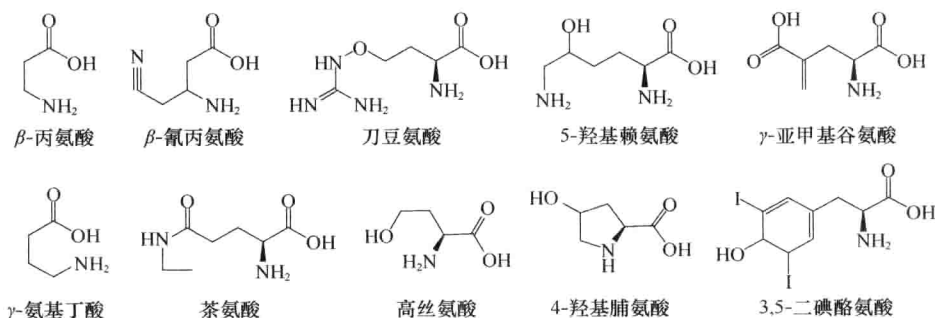
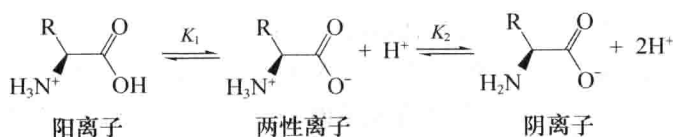


图 1-1 一些非蛋白氨基酸的分子结构

四、氨基酸的酸碱性质

氨基酸在水溶液中通常解离成两性离子，而不是呈不解离的分子状态。



一氨基-羧基氨基酸（如甘氨酸）在低 pH 时，为二盐基性酸 $\text{H}_3\text{N}^+\text{CHRCOOH}$ ，用碱滴时它可以供给两个质子（ H^+ ）：



当 pH 升到 6 时，从羧基失去一个质子形成两性离子 $^+\text{NH}_3\text{CHRCOO}^-$ ，在电场中呈中性，进一步升高 pH 即失去第二个质子，产生 $\text{NH}_2\text{CHRCOO}^-$ 。第一步解离的 pK 为 2.0 ~ 2.5， α -COOH 基解离；第二步解离的 pK 为 9.0 ~ 10，即 α - $^+\text{NH}_3$ 的解离。其它含有可解离的 R 基团的氨基酸还存在额外的解离形式，视其 R 基团的 pK 值而定。

在 pH 5.97 时，甘氨酸分子的净电荷等于零，在电场中这个分子不再流动。这就是它的等电 pH。pI 代表等电点时的 pH，为 pK_1 及 pK_2 的算术平均值，即 $\text{pI} = (\text{pK}_1 + \text{pK}_2) / 2$ 。

五、氨基酸的吸收光谱

氨基酸都不吸收可见光，但酪氨酸、色氨酸和苯丙氨酸显著地吸收紫外光。由于大多

数蛋白质都含有酪氨酸残基，因此用紫外分光光度计测定蛋白质对 280nm 紫外光的吸收，可以作为测定蛋白质含量的特别快速而简便的方法。

六、氨基酸的溶解度、旋光性和味感

在水中，胱氨酸、酪氨酸、天冬氨酸、谷氨酸等，溶解度很小，精氨酸、赖氨酸的溶解度特别大（表 1-5）。在盐酸溶液中，氨基酸都可有不同程度的溶解度。

表 1-5 天然氨基酸的溶解度和旋光性

氨基酸	溶解度/% (25℃)	旋光性			味感		
		比旋	浓度/%	溶剂	阈值* / (mg/100mL)	L-型	D-型
胱氨酸	0.011	-212.9	0.99	1.02mol/L HCl	—	—	—
酪氨酸	0.045	-7.27	4.0	6.03mol/L HCl	—	微苦	甜
天冬氨酸	0.05	+24.62	2.0	6mol/L HCl	3	酸（弱鲜）	—
谷氨酸	0.84	+31.7	0.99	1.73mol/L HCl	30（5）	鲜（酸）	—
色氨酸	1.13	-32.15	2.07	H ₂ O	90	苦	强甜
苏氨酸	1.59	-28.3	1.1	H ₂ O	260	微甜	弱甜
亮氨酸	2.19	+13.91	9.07	4.5mol/L HCl	380	苦	强甜
苯丙氨酸	2.96	-35.1	1.93	H ₂ O	150	微苦	强甜
蛋氨酸	3.38	+23.4	5.0	3mol/L HCl	30	苦	甜
异亮氨酸	4.12	+40.6	5.1	6.1mol/L HCl	90	苦	甜
组氨酸	4.29	-39.2	3.77	H ₂ O	20	苦	甜
丝氨酸	5.02	+14.5	9.34	1mol/L HCl	150	微甜	强甜
缬氨酸	8.85	+28.8	3.40	6mol/L HCl	150	苦	强甜
丙氨酸	16.51	+14.47	10.0	5.97mol/L HCl	60	甜	强甜
甘氨酸	24.99	0	—	—	110	甜	甜
羟脯氨酸	36.11	-75.2	1.0	H ₂ O	50	微甜	—
脯氨酸	62.30	-85.0	1.0	H ₂ O	300	甜	—
精氨酸	易溶	25.58	1.66	6mol/L HCl	10	微苦	弱甜
赖氨酸	易溶	+25.72	1.64	6.03mol/L HCl	50	苦	弱甜
谷氨酰胺	—	—	—	—	250	弱鲜甜	—
天冬酰胺	—	—	—	—	100	弱苦酸	—

注：* 阈值为 L-氨基酸的数据。谷氨酸和天冬氨酸呈酸味，其钠盐才呈鲜味。

在天然氨基酸中，只有甘氨酸无旋光性。

氨基酸的味感与其立体构型有关。D-型氨基酸多数带有甜味，甜味最强的是 D-色氨酸，可达蔗糖的 40 倍。L-型氨基酸有甜、苦、鲜、酸等四种不同味感。民间用澄清的生石灰水蒸鸡蛋，味道极甜美，就是部分苦味的 L-型氨基酸转变为甜味的 D-型氨基酸的结果。

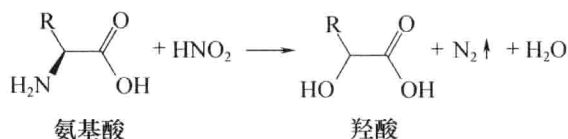
七、氨基酸的化学反应

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 结合、脱氨、与 HNO_2 作用等)。还有一部分性质则为氨基、羧基共同参加或支链 R 基团参加的反应。

(一) 由氨基参加的反应

1. 与 HNO_2 的反应

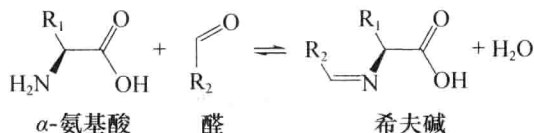
氨基酸的 α -氨基定量地与亚硝酸作用产生羟酸和 N_2 , 所生成的 N_2 可用气体分析仪器加以测定, 这是 Van Slyke 氏氨基氮测定法的原理。



ϵ -氨基 (如赖氨酸) 与 HNO_2 作用较慢, α -氨基在室温下 3~4min 作用即完全。脯氨酸、羟脯氨酸中的亚氨基, 精氨酸、组氨酸和色氨酸环中的结合 N 皆不与亚硝酸作用。

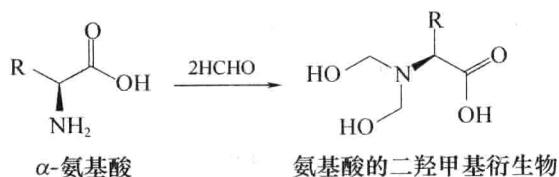
2. 与醛类的反应

氨基酸的 α -氨基能与醛类化合物反应生成弱碱, 即所谓希夫碱。



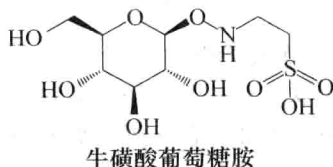
希夫碱是以氨基酸为底物的某些酶促反应的中间物。

与甲醛的反应: 氨基酸的氨基与中性甲醛作用的反应可表示如下:



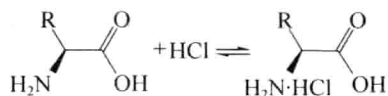
氨基酸的氨基与中性甲醛结合成氨基酸二羟甲基衍生物后, 氨基酸分子中的羧基离解度增加, 释出的 H^+ 即可以酚酞作指示剂用标准 $NaOH$ 溶液加以滴定。每释出的一个 H^+ 相当于一个氨基酸。甲醛滴定可用来测定蛋白质的水解程度。

牛磺酸与葡萄糖脱水反应生成的牛磺酸葡萄糖胺用于治疗关节炎和痛风, 有助于修复受损软骨, 刺激新软骨的生成, 改善发炎症状, 舒缓关节疼痛、僵硬及肿胀。



3. 成盐作用

氨基酸的氨基与 HCl 作用即产生氨基酸盐酸化合物。用 HCl 水解蛋白质制得的氨基酸即为盐酸化合物。



4. 酰基化和羟基化反应

氨基酸氨基的一个 H 可被酰基或羟基（包括环烃及其衍生物）取代，这些取代基对氨基酸的氨基有保护作用。

桑格（Sanger）反应 桑格用 1-氟-2,4-二硝基苯（缩写为 FDNB）试剂测定氨基酸及肽中的氨基，此反应在鉴定多肽链的氨基末端的氨基酸特别有用（图 1-2）。FDNB 也与赖氨酸的 ϵ -氨基反应，但这个衍生物用层析法容易与 α -氨基的 DNP 衍生物区别开。

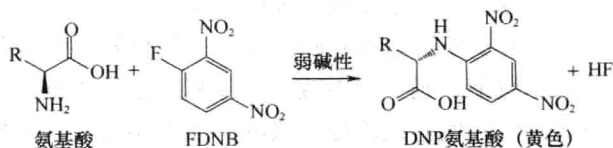


图 1-2 桑格（Sanger）反应

艾德曼（Edman）反应 用苯异硫氰酸与 α -氨基酸定量反应，即生成苯异硫脲氨基酸衍生物，然后在硝基甲烷溶剂中用甲酸处理，苯异硫脲氨基酸即裂解生成乙内酰苯硫脲（简称 PTH）。这个反应也称为艾德曼降解法（图 1-3）。这些衍生物无颜色，容易用层析法分离后显色鉴定，艾德曼反应广泛用于鉴定多肽链中的 NH_2 -末端氨基酸。在测定多肽链的氨基酸顺序上，艾德曼反应具有很大的优点。

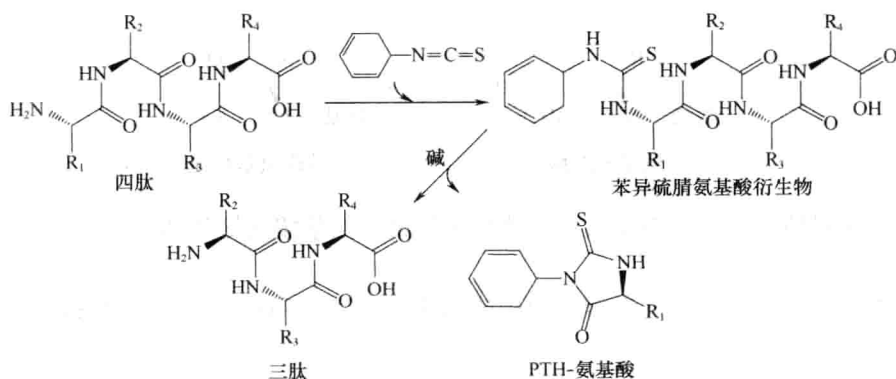


图 1-3 艾德曼（Edman）反应