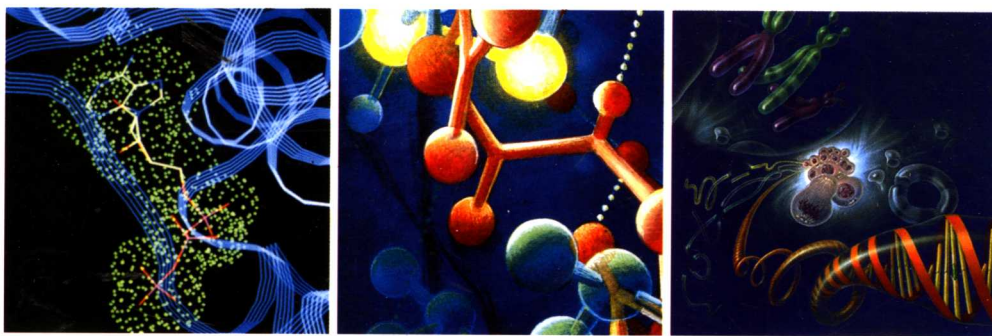


王希成 编著

生物化学学习指导

SHENGWU HUAXUE XUEXI ZHIDAO

第二版



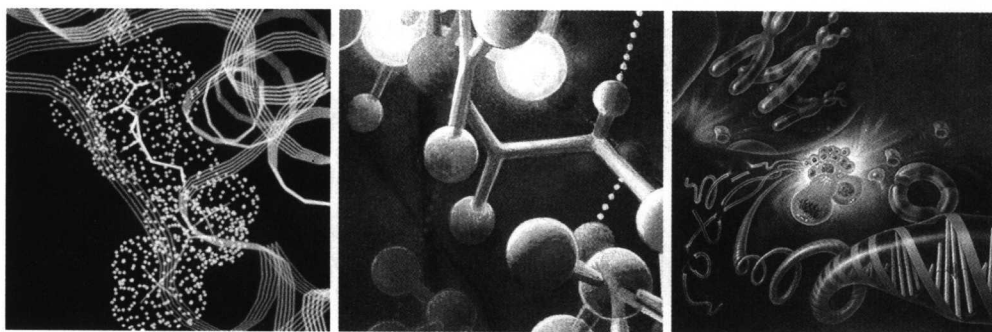
清华大学出版社

王希成 编著

生物化学学习指导

SHENGWU HUAXUE XUEXI ZHIDAO

第二版



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

《生物化学学习指导》(第二版)共 23 章,与《生物化学》(王希成编著)第二版各章一一对应。每一章都包括要点提示、术语解释、精编习题和习题解答 4 个部分,并附有 1~2 个精选的学习信息图。习题共计 366 题,其中 200 多题是新编习题。另外,增添了 5 套生物化学硕士研究生入学考试模拟试题,并给出了比较详细的解答。

本书可作为生物化学学习的辅导教材、生物化学研究生入学考试复习指导书以及生物化学教学参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

生物化学学习指导/王希成编著. —2 版. —北京:清华大学出版社,2005. 10
ISBN 7-302-11747-0

I. 生… II. 王… III. 生物化学—高等学校—教学参考资料 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 101190 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦
<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

责任编辑: 罗 健

版式设计: 刘祎森

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 12 字数: 297 千字

版 次: 2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-11747-0/Q·51

印 数: 1~4000

定 价: 19.00 元

PREFACE

第二版前言

《生物化学学习指导》第二版是《生物化学》(王希成编著)第二版的配套教材,各章设置与《生物化学》第二版一一对应,包括要点提示、术语解释、精编习题和习题解答4个部分。每章要点提示部分概括了相应章节的知识点,并配有1~2个学习信息图,可使读者看图联想到相应的内容。

为了适应《生物化学》第二版新增内容需要,重新调整了习题类型和数量,尽量做到各个知识点都有相应的练习题。习题总量从第一版的314题增加到366题,其中200多题都是新编习题。另外,新添了5套生物化学硕士研究生入学考试模拟试题,并附有比较详细的答案。

《生物化学学习指导》第二版可作为学习生物化学的辅导教材、研究生生物化学入学考试复习指导书以及生物化学教学参考书。

王希成

2005年7月于清华园

PREFACE

第一版前言

这本《生物化学学习指导》是笔者编著的《生物化学》的配套教材。本书各章是按照《生物化学》的章节安排的,每一章都包括要点提示、术语解释、精选习题和习题解答。其中分布于各章的生物化学术语有 285 条,精选习题 314 道。

要点提示帮助读者了解和掌握每一章内容的重点和难点,回忆起每章的主要内容,生物化学术语也是按章给出的,作者参考了一些中英文教科书给予了准确的解释。书末附有按汉语拼音顺序的术语索引,查阅方便。安排在每一章的习题都是从一些参考书中精选出来的,基本上照顾到了本章的内容,通过认真地做这些习题能使读者达到复习巩固生物化学基本知识的目的。有些习题是很有趣的,一些与生物化学有关的现象能诱发读者去思考。所以安排的习题并不单单是测试对内容理解和记忆的程度,更重要的是测试同学们应用生物化学原理的能力。大部分习题都有较详细的解答,最好自己先做一遍,然后再对照答案检查是否正确,这样更能加深印象。

本书是大学本科生生物化学学习辅导教材,也是一本很好的研究生生物化学入学考试复习指导书,同时也是一本生物化学教学参考书。

王希成

2000 年 8 月于清华园

CONTENTS

目 录

1. 生物化学与细胞	1
要点提示	1
术语解释	2
精编习题	3
习题解答	3
2. 氨基酸和肽	5
要点提示	5
术语解释	7
精编习题	8
习题解答	9
3. 蛋白质的三维结构	12
要点提示	12
术语解释	13
精编习题	16
习题解答	18
4. 蛋白质研究技术	23
要点提示	23
术语解释	25
精编习题	26
习题解答	29
5. 酶	31
要点提示	31
术语解释	32
精编习题	34
习题解答	37
6. 辅酶和维生素	40
要点提示	40

术语解释	41
精编习题	42
习题解答	43
7. 糖	45
要点提示	45
术语解释	47
精编习题	48
习题解答	50
8. 脂和生物膜	52
要点提示	52
术语解释	54
精编习题	55
习题解答	57
9. 核酸	60
要点提示	60
术语解释	62
精编习题	64
习题解答	65
10. DNA 复制	68
要点提示	68
术语解释	69
精编习题	70
习题解答	72
11. RNA 合成	74
要点提示	74
术语解释	75
精编习题	77
习题解答	77
12. 蛋白质合成	79
要点提示	79
术语解释	82
精编习题	83
习题解答	84

13. 核酸研究技术	88
要点提示	88
术语解释	90
精编习题	90
习题解答	92
14. 代谢导论	94
要点提示	94
术语解释	96
精编习题	96
习题解答	98
15. 糖酵解	100
要点提示	100
术语解释	102
精编习题	102
习题解答	104
16. 柠檬酸循环	107
要点提示	107
术语解释	108
精编习题	109
习题解答	110
17. 糖原代谢、糖异生和磷酸戊糖途径	112
要点提示	112
术语解释	113
精编习题	114
习题解答	115
18. 电子传递和氧化磷酸化	118
要点提示	118
术语解释	119
精编习题	119
习题解答	122
19. 光合作用	125
要点提示	125
术语解释	126

精编习题	127
习题解答	128
20. 脂代谢	131
要点提示	131
术语解释	132
精编习题	133
习题解答	134
21. 氨基酸代谢	137
要点提示	137
术语解释	138
精编习题	139
习题解答	140
22. 核苷酸代谢	143
要点提示	143
术语解释	144
精编习题	144
习题解答	145
23. 激素与代谢调控	147
要点提示	147
术语解释	149
精编习题	149
习题解答	150
附 生物化学硕士研究生入学考试模拟试题	151
模拟试题 1	151
模拟试题 2	154
模拟试题 3	158
模拟试题 4	161
模拟试题 5	164
生物化学硕士研究生入学考试模拟试题答案	167
模拟试题 1 答案	167
模拟试题 2 答案	170
模拟试题 3 答案	172
模拟试题 4 答案	174
模拟试题 5 答案	177
参考文献	179



要点提示

1. 生物化学是研究生命中的分子和化学反应的学科。也可以说是主要用化学的原理和语言在分子水平解释生命现象的一门学科。
2. 生物化学中经常出现一些典型的有机化合物、反应官能团和化学键类型,熟悉和掌握它们的结构和反应特性对于学习生物化学很有帮助(表 1.1)。

表 1.1 生物化学中常见的一些有机化合物、反应官能团和常见化学键的类型

(a) 有机化合物

$\text{R}-\text{OH}$	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{H}$	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{R}_1$	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{OH}$
醇	醛	酮	羧酸 ¹
$\text{R}-\text{SH}$	$\text{R}-\text{NH}_2$	$\text{R}-\overset{\text{R}_1}{\underset{ }{\text{N}}}-\text{H}$	$\text{R}-\overset{\text{R}_1}{\underset{ }{\text{N}}}-\text{R}_2$
巯基化合物	一级	二级	三级
	胺 ²		

(b) 反应官能团

$-\text{OH}$	$-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{R}$	$-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-$	$-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{O}-$	$-\text{O}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{P}}}-\text{O}-$	$-\text{O}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{P}}}-\text{O}-$
羟基	酰基	酮基	羧基	磷酸基	磷酸基
$-\text{SH}$	$-\text{NH}_2$ 或 $-\text{NH}_3^+$				
巯基	氨基				

(c) 常见化学键

$\text{R}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{R}$	$\text{R}-\text{O}-\text{R}$	$\text{R}-\text{N}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{R}$	$\text{R}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{P}}}-\text{O}-\text{R}$	$\text{R}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{P}}}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{P}}}-\text{O}-\text{R}$
酯键	醚键	酰胺键	磷酸键	磷酸酐键

1. 在大多数条件下,羧酸表示为解离状态: $\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}}-\text{O}^-$;

2. 胺可以表示为质子化形式: $\text{R}-\text{NH}_3^+$, $\text{R}-\overset{\text{R}_1}{\underset{|}{\text{N}}}-\text{H}_2^+$ 和 $\text{R}-\overset{\text{R}_1}{\underset{|}{\text{N}}}-\text{H}-\text{R}_2^+$ 。

3. 氨基酸、核苷酸以及葡萄糖等生物分子都是由碳、氢、氧、氮、硫以及磷等组成的。由 20 种标准氨基酸可形成功能各异的蛋白质,4 种核苷酸可构成遗传物质 DNA。葡萄糖聚合可形成多糖(例如淀粉和糖原),脂肪酸与甘油酯化可生成脂肪。

4. 在生物体内时时刻刻发生着生物化学反应,这些反应绝大多数是由具有催化功能的称为酶的蛋白质催化的。少数 RNA 具有像酶那样的催化功能。

5. 代谢包括分解代谢和合成代谢,一系列有序的相关联的酶反应通常称为一个代谢途径,代谢途径中的反应物、中间物以及产物称为代谢物。途径中上一步反应的产物往往都是下一步反应的反应物。分解代谢可产生大量以能量“货币”腺苷三磷酸(ATP)形式储存的能量。

6. 细胞分为原核细胞和真核细胞,真核细胞又有动物细胞和植物细胞之分(图 1.1)。原核细胞没有一个严格定义的核与内膜系统,只有一个核区。真核细胞含有膜包被的细胞核和许多细胞器。

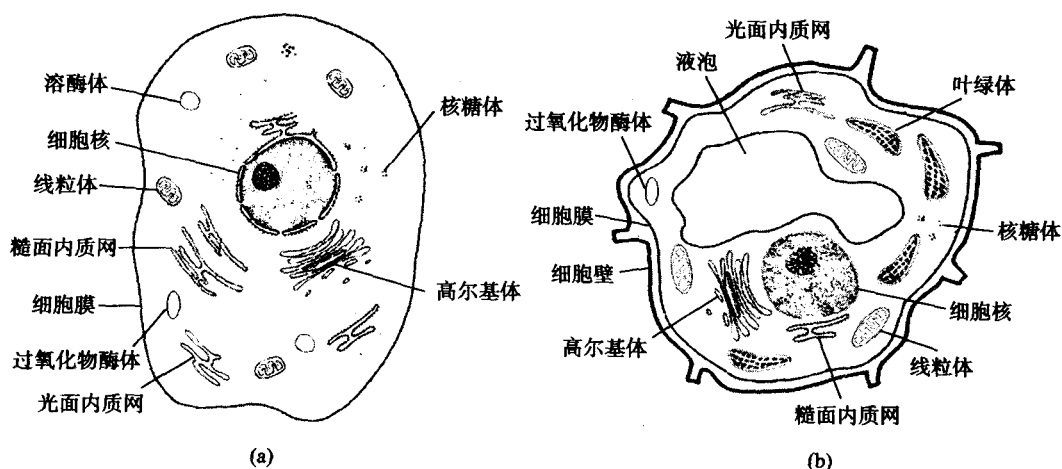


图 1.1 真核细胞模式图

(a) 动物细胞; (b) 植物细胞

7. 一个典型的由双层核膜包围的细胞核含有由 DNA 和蛋白质组成的染色质等,可进行 DNA 复制和 RNA 合成。线粒体也是由双层膜包被的细胞器,可进行例如柠檬酸循环、脂肪酸氧化和氧化磷酸化等氧化反应,并可产生大量能量。此外还含有内质网、高尔基体、溶酶体和过氧化物酶体等,植物细胞还含有可进行光合作用的叶绿体和细胞壁等。



术语解释

聚合物(polymer): 由一种或几种单体聚合形成的物质。例如由单一葡萄糖单体可以聚合形成淀粉或糖原等聚合物。

原核生物(prokaryote): 细胞中没有明显的由膜包围的核,以单细胞形式存在的生物。所有的细菌都是原核生物。

真核生物(eukaryote): 由单细胞或多细胞组成的生物,其遗传物质包含在一个由膜包围的细胞核内。

细胞器(organelle): 存在于真核细胞中的已分化了的结构,如线粒体、核糖体、叶绿体等,它们都具有各自特殊的功能。

细胞核(nucleus): 一种膜包被的细胞器,核内含有遗传物质。

线粒体(mitochondrion): 一种由双层膜包被的细胞器,线粒体内可进行一些代谢反应,如柠檬酸循环、脂肪酸氧化和氧化磷酸化。

内质网(endoplasmic reticulum): 一种真核细胞的有膜细胞器,在该细胞器中可进行膜脂合成,以及对翻译后蛋白质进行加工。

高尔基体(Golgi apparatus): 一种由一系列扁平膜囊组成的细胞器,在该细胞器中可对翻译后的蛋白质和新合成的脂进行修饰。

叶绿体(chloroplast): 植物中一种进行光合作用的细胞器。

溶酶体(lysosome): 真核细胞内一种由单层膜包被的细胞器,含有一些水解酶。这些水解酶可消化摄入的外来物质以及细胞碎片。

过氧化物酶体(peroxisome): 真核细胞内一种具有特殊氧化功能的细胞器。



精编习题

1. 核酸是 4 种核苷酸构件分子的线性多聚体,一个由 40 个单体组成的多聚体有多少可能的序列?
2. 假设在直径 $1\mu\text{m}$ 的球菌内的葡萄糖浓度为 $1.0\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,计算细胞中含有多少个葡萄糖分子?
3. 原核细胞与真核细胞之间主要区别有哪些?
4. 说明以下细胞器在结构与功能上有什么区别与共同点: 高尔基体、溶酶体、过氧化物酶体、乙醛酸循环体。
5. 什么样的细胞器包含 DNA?
6. 什么样的细胞器可产生大量能量?
7. 如果一位科学家声明在细菌中发现了线粒体,这是否合理?



习题解答

1. 有 4^{40} 或者 1.2×10^{24} 个可能的序列,该数值是阿伏加德罗常数的两倍。
2. $V = (4/3)\pi R^3 = (4/3) \times 3.14 \times [(1 \times 10^{-5} \text{ dm})/2]^3 = 5.24 \times 10^{-16} \text{ L}$
葡萄糖分子数 $= (10^{-3}) (5.24 \times 10^{-16}) (6.02 \times 10^{23}) = 3.2 \times 10^5$ (个)
3. (1)原核细胞没有清楚界定的细胞核,而真核细胞有一双层膜将核与细胞其他部分分开。(2)原核细胞仅有一层(细胞)膜,真核细胞内有一完善的膜系统。(3)真核细胞含有膜包被的细胞器,原核细胞没有。(4)真核细胞通常比原核细胞大。(5)原核生物是单细胞有机体,真核生物可能是单细胞,也可能是多细胞。
4. 高尔基体参与蛋白质的糖基化反应和细胞的向外运输物质的过程。溶酶体含有水解酶,过氧化物体含有过氧化氢酶(过氧化物代谢的需要),乙醛酸循环体中含有植物中乙醛酸循环所需要的酶。所有的这些细胞器都是由单膜包被的扁平囊状体。
5. 细胞核、线粒体和叶绿体都含有 DNA。叶绿体和线粒体中的 DNA 与核 DNA

不同。

6. 细胞中很大一部分的氧化放能反应是在线粒体中进行的。线粒体是 ATP 合成的主要场所,被形象地称为生物体的“发电厂”。

7. 细菌没有内膜系统,所以不可能存在线粒体。真核细胞器具有双层膜包被,其中的线粒体几乎和细菌一样大。



要点提示

1. 蛋白质是由 20 种标准氨基酸组成的。每一种氨基酸都含有一个 α -氨基、 α -羧基和一个侧链(R)。除了甘氨酸没有手性碳以外,其他 19 种氨基酸都含有手性碳,其中苏氨酸和异亮氨酸含有两个手性碳。蛋白质中几乎所有的氨基酸都是 L 构型。

2. 氨基酸可以按照它们侧链的化学结构分为:脂肪族的、芳香族的、含硫的、含醇的、碱性的、酸性的和酰胺类氨基酸(图 2.1)。氨基酸侧链基团的不同反映了氨基酸性质方面的差别,侧链特性在蛋白质的结构和功能中起着决定性的作用。

3. 芳香族氨基酸包括苯丙氨酸、酪氨酸和色氨酸,这 3 种氨基酸的紫外吸收峰出现在 280nm 附近。测定蛋白质溶液的 280nm 吸光度是估算蛋白质浓度的一种方法。

4. 酸性氨基酸包括天冬氨酸和谷氨酸,这两种氨基酸在侧链还含有一个可解离的羧基。在生理 pH 条件下,天冬氨酸和谷氨酸都带负电荷。

5. 碱性氨基酸包括赖氨酸、精氨酸和组氨酸,在侧链分别含有氨基、胍基和咪唑基。在生理 pH 下,这 3 种氨基酸都带正电荷,其中组氨酸由于咪唑基的 pK 值为 6.0,所以组氨酸是惟一个在生理 pH 条件下具有缓冲作用的氨基酸。

6. 氨基酸滴定曲线反映了氨基酸的可滴定基团获得或失去质子的 pH 范围。每一个可滴定基团的 $pK \pm 1$ 的范围都可看做该氨基酸在该 pH 范围具有缓冲作用。如甘氨酸那样侧链没有可滴定基团的氨基酸,具有两个缓冲区;而像组氨酸那样侧链含有可滴定基团的氨基酸就有 3 个缓冲区(图 2.2)。

7. 氨基酸所带净电荷为零时的 pH 称之为氨基酸的等电点(pI),pI 值是氨基酸净电荷为零的状态相邻两侧 pK 值的平均值。氨基酸在溶液中所带净电荷取决于溶液的 pH,当 pH 低于 pI 时,氨基酸带净正电荷,当 pH 大于 pI 时,氨基酸带净负电荷,当 pH 等于 pI,氨基酸带的净电荷为零。表 2.1 给出了 20 种氨基酸的 pK、pI 以及在蛋白质中出现的几率。

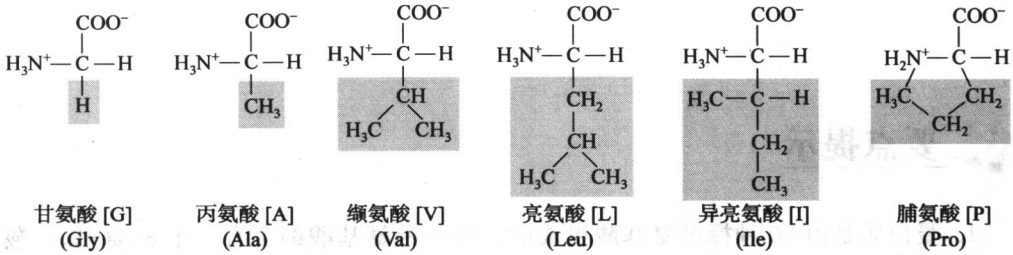
8. 在任一 pH 下[共轭碱]/[共轭酸]([A⁻]/[HA])比可利用 Henderson-Hasselbalch 方程式 $pH = pK + \lg([A^-]/[HA])$ 求出。

9. 氨基酸的 α -氨基和 α -羧基具有化学反应性,一些氨基酸的侧链还含有羟基、氨基、羧基等可反应基团。除了脯氨酸与茚三酮反应生成黄色化合物以外,其他 19 种氨基酸与茚三酮生成的都是紫色化合物。2,4-二硝基氟苯、丹黄酰氯和苯异硫氰酸酯都能与氨基酸的 α -氨基反应,这些试剂常用来测定多肽游离的 N 末端氨基酸残基。

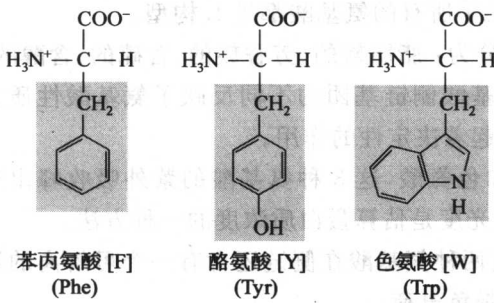
10. 一个氨基酸的羧基与相邻的另一个氨基酸的氨基可以通过脱去一分子水形成的酰胺键(称为肽键)连接。两个氨基酸通过肽键形成的化合物称为二肽,由 3 个氨基酸形

成的肽称为三肽,以此类推。寡肽指的是由少数几个氨基酸组成的肽,而多肽是由大量氨基酸组成的肽。肽也像氨基酸那样具有等电点(pI)。

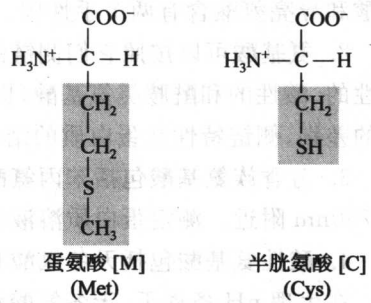
脂肪族



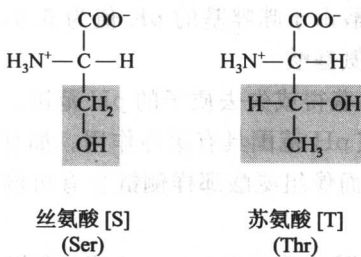
芳香族



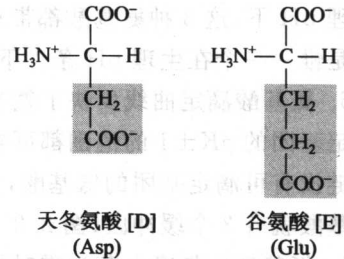
含硫



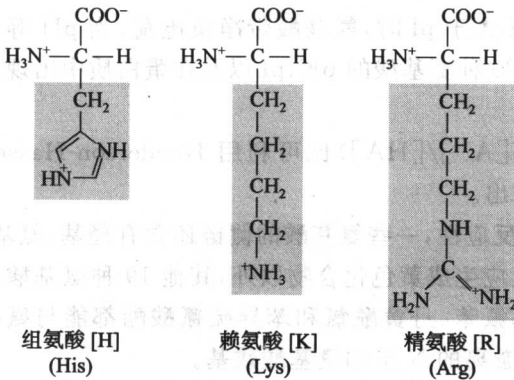
醇类



酸性



碱性



酰胺类

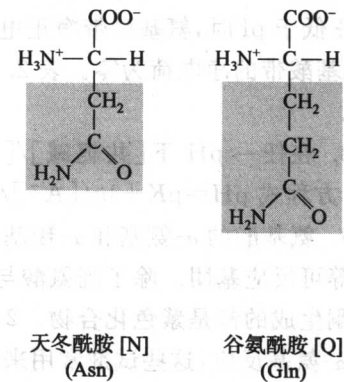


图 2.1 用 Fischer 投影式给出的 20 种氨基酸的结构式

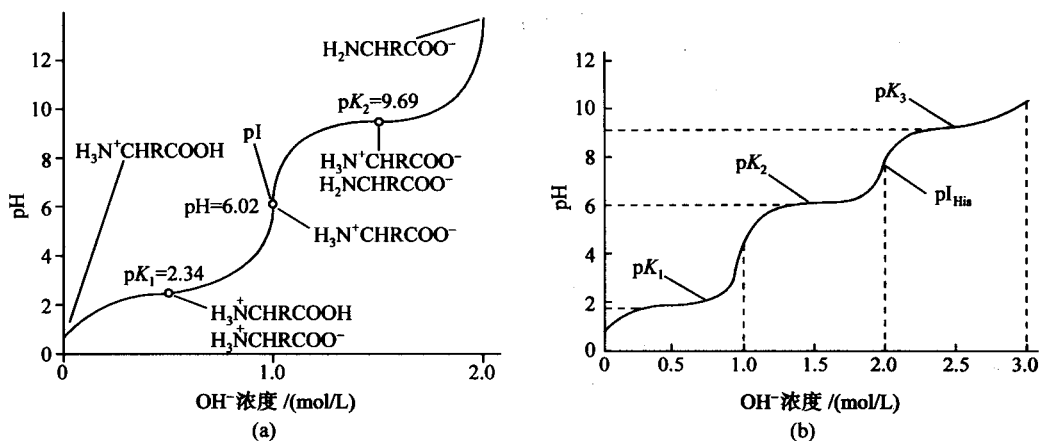


图 2.2 氨基酸的滴定曲线

(a) 丙氨酸的滴定曲线, 在 $\text{pK}_1(2.34)$ 和 $\text{pK}_2(9.69)$ 处各有一个缓冲区, 即虽然 $[\text{OH}^-]$ 变化较大, 但 pH 变化不大。(b) 组氨酸的滴定曲线, 在 $\text{pK}_1(1.82)$ 、 $\text{pK}_2(6.0)$ 和 $\text{pK}_3(9.17)$ 处各有一个缓冲区。

表 2.1 20 种氨基酸的 pK 、 pI 以及在蛋白质中出现的几率

氨基酸	相对分子质量	pK_a			pI	蛋白质中出现的几率*
		$\alpha\text{-COOH}$	$\alpha\text{-NH}_3^+$	R 基团		
甘氨酸	75	2.34	9.60		5.97	7.5%
丙氨酸	89	2.34	9.69		6.01	9.0%
缬氨酸	117	2.32	9.62		5.97	6.9%
亮氨酸	131	2.36	9.60		5.98	7.5%
异亮氨酸	131	2.36	9.68		6.02	4.6%
脯氨酸	115	1.99	10.96		6.48	4.6%
苯丙氨酸	165	1.83	9.13		5.48	3.5%
酪氨酸	181	2.20	9.11	10.07	5.66	3.5%
色氨酸	204	2.38	9.39		5.89	1.1%
丝氨酸	105	2.21	9.15		5.68	7.1%
苏氨酸	119	2.11	9.62		5.87	6.0%
半胱氨酸	121	1.96	10.28	8.18	5.05	2.8%
蛋氨酸	149	2.28	9.21		5.74	1.7%
天冬酰胺	132	2.02	8.80		5.41	4.4%
谷氨酰胺	146	2.17	9.13		5.65	3.9%
天冬氨酸	133	1.88	9.60	3.65	2.77	5.5%
谷氨酸	147	2.19	9.67	4.25	3.22	6.2%
赖氨酸	146	2.18	8.95	10.53	9.74	7.0%
精氨酸	174	2.17	9.04	12.48	10.76	4.7%
组氨酸	155	1.82	9.17	6.00	7.59	2.1%

* 在 200 多种蛋白质中出现的平均几率。



术语解释

1. 氨基酸(amino acid): 是含有一个碱性氨基和一个酸性羧基的有机化合物, 氨基一般连接在 α -碳上。氨基酸是肽和蛋白质的构件分子。

2. 必需氨基酸(essential amino acid): 指人(或其他脊椎动物)自己不能合成, 需要从饮食中获得的氨基酸, 例如赖氨酸、苏氨酸等氨基酸。

3. 非必需氨基酸(nonessential amino acid): 指人(或其他脊椎动物)自己能由简单的前体合成的, 不需要由饮食供给的氨基酸, 例如甘氨酸、丙氨酸等氨基酸。

4. 等电点(pI, isoelectric point): 使分子处于兼性分子状态, 在电场中不迁移(分子的净电荷为零)的 pH 值。

5. 茚三酮反应(ninhydrin reaction): 在加热条件下, 氨基酸或肽与茚三酮反应生成紫色(与脯氨酸反应生成黄色)化合物的反应。

6. 肽键(peptide bond): 一个氨基酸的羧基与另一个氨基酸的氨基缩合, 除去一分子水形成的酰胺键。

7. 肽(peptide): 两个或两个以上氨基酸通过肽键共价连接形成的聚合物。



精编习题

1. D-氨基酸与 L-氨基酸之间的区别是什么? 在生物体内发现的游离的或蛋白质水解得到的氨基酸基本上是 L-型还是 D-型氨基酸? D-型氨基酸主要出现在什么样生物中和物质中?

2. 如果一位同学在画处于 pH 7 下的丙氨酸结构式时, 氨基画成 NH_2 , 羧基画成了 COOH 形式, 你判断一下正确与否? 如果不正确, 那么应当怎样画?

3. 侧链(R)分别含有羟基、硫原子、第二个手性碳、氨基、酰胺基、酸性基团、芳香环、支链的氨基酸都有哪些?

4. 20 种氨基酸中只有 3 种氨基酸在 280nm 波长附近有光吸收, 是哪 3 种氨基酸?

5. 20 种氨基酸中哪一种氨基酸事实上不是氨基酸, 哪一种氨基酸不含有手性碳?

6. 有的同学认为非必需氨基酸不是人(或其他脊椎动物)所必需的, 而必需氨基酸才是生物体必不可少的氨基酸。你认为这样的说法正确吗?

7. 一种氨基酸的可解离基团可以带电或中性状态存在, 取决于它的 pK 值和溶液的 pH。组氨酸的滴定曲线如图 2.3 所示。图中数字 1~7 表示组氨酸不同的解离状态。

(a) 组氨酸有 3 个可解离基团, 写出相应于 $\text{pK}_1=1.8$ 、 $\text{pK}_2=6.0$ 、 $\text{pK}_3=9.2$ 的 3 种解离平衡方程式。 pK_1 、 pK_2 和 pK_3 指的是曲线中哪一位置?

(b) 净电荷为 +2、+1、0、-1 的点分别对应于曲线中哪一位置?

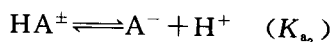
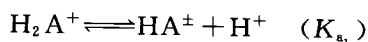
(c) 侧链基团完全被滴定的点是曲线中哪一位置?

(d) 算出组氨酸等电点。并指出 pI 指的是曲线中的哪一点?

(e) 组氨酸能用作缓冲液的 pH 值范围是多少? pH 值为多少时, 组氨酸缓冲液对加入的酸、碱的缓冲能力最强, 即溶液 pH 改变缓慢?

(f) 在 pH 1, 4, 8 和 12 时, 组氨酸分别带什么样电荷? 将每一 pH 下的组氨酸置于电场中, 它们将向阴极还是阳极迁移?

8. 中性氨基酸, 例如甘氨酸的电离过程如下:



证明这种氨基酸的等电点 $\text{pI}=1/2(\text{pK}_{\text{a}_2}+\text{pK}_{\text{a}_1})$