



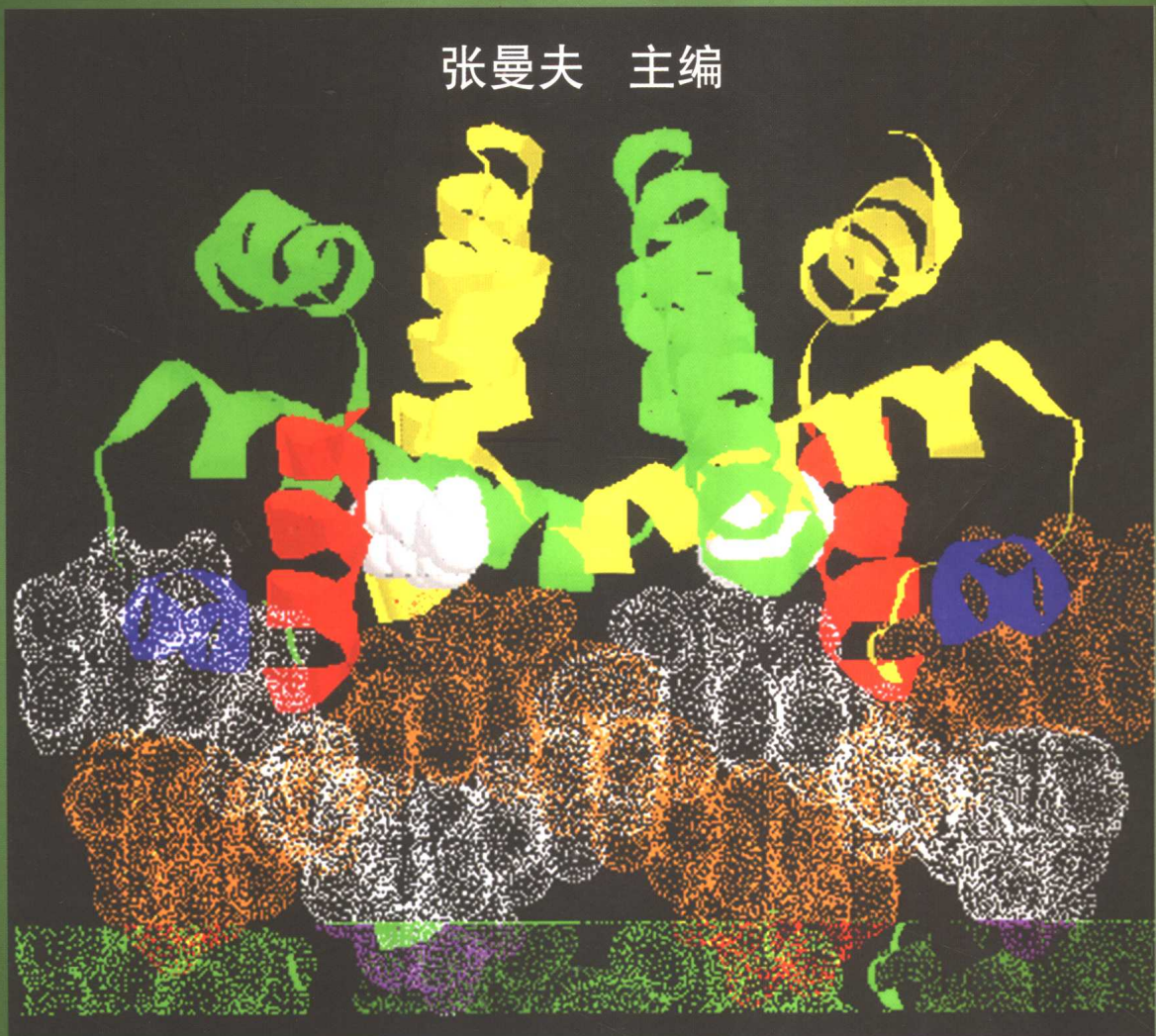
面向 21 世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

# 生物化学

## BIOCHEMISTRY

张曼夫 主编



中国农业大学出版社

面向 21 世纪课程教材  
Textbook Series for 21st Century

# 生 物 化 学

## BIOCHEMISTRY

张曼夫 主编

中国农业大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

生物化学/张曼夫主编. —北京: 中国农业大学出版社, 2002.8 面向 21 世纪课程教材  
ISBN 7-81066-432-8/Q·20

I. 生… II. 张… III. 生物化学—高等学校—教材 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 004025 号

出 版 中国农业大学出版社  
发 行  
经 销 新华书店  
印 刷 山东省莱芜市圣龙印务书刊有限责任公司  
版 次 2002 年 8 月第 1 版  
印 次 2002 年 8 月第 1 次印刷  
开 本 16 印张 26.75 千字 647  
规 格 850×1 168  
印 数 1~3 500  
定 价 46.00 元

---

图书如有质量问题本社负责调换

社址 北京市海淀区圆明园西路 2 号 邮政编码 100094  
电话 010-62892633 网址 [www.cau.edu.cn](http://www.cau.edu.cn)

中华农业科教基金资助图书

## 中华农业科教基金会简介

中华农业科教基金会经中国人民银行批准，民政部注册登记，于1995年12月20日成立。基金会得到国家科委、中国人民银行、民政部、农业部等部委的大力支持；得到国内外企业界、知名人士的积极响应。基金会归口农业部管理，接受中国人民银行和民政部监督。

中华农业科教基金会的宗旨是：通过广泛吸收国内外和社会各方面的资金，用以支持中国农业科教事业，补充国家主渠道对农业科技的投入，以加快实施“科教兴农”战略。

中华农业科教基金会的任务是：发展农业科教事业，推动农业科技进步，提高农业劳动者素质，促进中国农业发展和农村经济繁荣。基金会资助农业基础研究、应用研究、试验示范、成果推广和农业科教前沿重大课题的研究；资助有突出贡献和有发展潜力的中青年农业科技人才；资助优秀农业科技著作的出版；奖励在中国农业科教事业中做出重要贡献的个人。

中华农业科教基金会将根据政府制订的农村经济发展规划，定期公布资助方向。资助项目的遴选实行“公开申请，专家评审，民主公正，择优资助”原则。基金会建立严格的筹资、管理和使用制度，公正、合理、规范、科学、有效地使用农业科教基金，向捐赠者公开收支帐目，接受监督。

中华农业科教基金会热忱欢迎国内外企业、社团、各界人士向本基金会捐赠资金，本基金会可根据捐赠者的意愿，设立名人基金、专项基金等。

主 编：张曼夫

编 者：（按姓氏笔画）

龙良启（华中农业大学）

刘国琴（中国农业大学）

张曼夫（中国农业大学）

程国华（沈阳农业大学）

郭蔼光（西北农林科技大学）

## 封面图说明

色氨酸阻遏子与 DNA 的相互作用

色氨酸阻遏子螺旋 4(蓝色)和螺旋 5(红色)与 DNA 螺旋结合:

色氨酸(白色)位于阻遏子螺旋 3(绿色)和螺旋 5 之间。

# 面向 21 世纪教改教材

## 专家推荐意见

21 世纪将是信息科学与生物科学高速发展的时代，其中生物技术将给人类生活带来革命性变化，特别是农业与医学将发生重大革新。为了适应 21 世纪我国国民经济的发展，大量培养生物科学与农业科学高素质的人才，已成为我国高等教育的关键问题。在生物科学中生物化学是一门重要的基础课，也是学好分子生物学开展生物技术研究的基础。因此编写《生物化学》教材有重要意义，本书由张曼夫等教授编写，他们都有多年生物化学教学和研究的丰富经验，教材内容取舍适当，文字流畅，条理清楚，逻辑性强，适于学生阅读，相信此书对培养农业院校理科人才将会发挥良好作用。

阎隆飞

2000 年 12 月



## 前 言

20 世纪是信息与生命科学的世纪，人才是科学发展的关键。我国高等学校担当了培养高等人才的历史任务。为了适应新世纪生物科学的发展需要，各院校相继成立了细胞、分子生物学和生物技术等相关专业。国家教育部同时决定在全国高校建立生物专业理科人才培养基地。中国农业大学生物学院于 1997 年获准建立生物专业理科人才培养基地后进行了专业调整，重新制定了教学大纲。编者根据新教学大纲的要求和需要，参考近年国外生物化学教材的有关内容组织编写了这本书。本书专业名词根据科学出版社出版的《英汉、汉英生物化学词汇》和《英汉生物学与生物工程词汇》编写。该书也是高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革项目（04—10）研究的成果。

根据国家教育部关于加强基础、淡化专业的改革精神，在篇幅可能的条件下，本教材突出了水、糖、脂肪、氨基酸等生物分子的基本知识，重点加强了酶、核酸、蛋白质等生物大分子的功能与结构的描述，尽可能吸收了近代生物化学发展的知识；内容编辑方式上也做了一些新的尝试。我们希望能给读者新鲜感。这是一本生物专业理科教材，也可作为相关专业的研究生和生物科学研究工作者的参考书。

编写《生物化学》得到了中华农业科教基金的资助，同时也得到了中国农业大学、华中农业大学、西北农林科技大学、沈阳农业大学各级领导的关怀和支持，这里特别要感谢 Western Michigan University J. Stenesh 教授和美国 Plenum, New York Press，我们在参考和引用他们出版的教材图表时，得到了他们的支持和授权。我国著名的生物化学家、中国科学院院士、中国农业大学教授阎隆飞先生生前对本书的编写给予了热情支持，并对编写大纲和内容都作了精心的指导，还亲自为本书写了推荐意见。中国农业大学生物学院生物化学与分子生物学系吴显荣教授也在百忙中审阅了大部分章节。李义平博士、袁克湖博士和乔素兰博士为本书绘制图表、校对等方面做了大量的工作。对此，我们向为这本书做过工作的老师、朋友和同学表示衷心感谢。

编者抱着一颗为教学工作尽心尽力做些工作的心情，从事了这本教材的编写工作，但主观愿望与实际能力总是有差距，教材中一定有不足甚至是错误的地方。希望广大读者不吝指出，以便再版时更正。

编 者

2002 年 8 月 1 日

# 目 录

<b>1 生物化学导论</b> .....	(1)
1.1 生物化学是生命的化学 .....	(1)
1.2 生命物质的特征 .....	(2)
1.2.1 生物体内的化学反应遵循普通物理化学规律 .....	(2)
1.2.2 结构与功能是相互依存的 .....	(2)
1.2.3 细胞是生命的基本单位 .....	(2)
1.2.4 生物既表现出一致性又存在差异 .....	(2)
1.3 生命物质和非生命物质有着本质的不同 .....	(3)
1.3.1 所有生物是一个复杂和高度组织化的体系 .....	(3)
1.3.2 生物体含有多种不同种类的生物分子 .....	(3)
1.3.3 所有的生物都需要酶作为代谢反应的催化剂 .....	(3)
1.3.4 所有生物都需要能量供应 .....	(4)
1.3.5 生物都有编码在基因中的遗传信息 .....	(4)
1.4 生物分子、大分子和它们的单体 .....	(4)
1.4.1 生命物质主要由较轻的元素组成 .....	(4)
1.4.2 生物分子是含碳的化合物 .....	(5)
1.4.3 单体组成生物大分子 .....	(5)
1.5 水——生命的介质 .....	(6)
1.5.1 水分子结构 .....	(6)
1.5.2 非共价键 .....	(7)
1.5.3 水具有独特的热力学性质 .....	(8)
1.5.4 水是生物体内最好的溶剂 .....	(9)
1.5.5 水分子可以解离 .....	(9)
<b>2 蛋白质的结构与功能</b> .....	(11)
2.1 氨基酸与多肽 .....	(11)
2.1.1 氨基酸共有的结构特征 .....	(11)
2.1.2 依据氨基酸侧链 (R) 不同进行氨基酸分类 .....	(13)
2.1.3 每种氨基酸都有专用的缩写名 .....	(13)
2.1.4 氨基酸既是酸又是碱 .....	(16)
2.1.5 氨基酸有特征的滴定曲线 .....	(18)
2.1.6 氨基酸可进行特征的化学反应 .....	(21)
2.1.7 氨基酸可缩合成肽链 .....	(22)
2.2 蛋白质的三维结构 .....	(24)
2.2.1 蛋白质的分子结构特点 .....	(24)

2.2.2	蛋白质可根据结构与功能进行分类	(25)
2.2.3	蛋白质具有多种生物功能	(26)
2.2.4	蛋白质的一级结构是蛋白质结构的基础	(27)
2.2.5	蛋白质的二级结构	(29)
2.2.6	蛋白质的三级结构	(34)
2.2.7	蛋白质的四级结构	(40)
2.3	蛋白质的结构与功能	(41)
2.3.1	载氧的结合蛋白质——血红蛋白	(41)
2.3.2	酶原和激素原经限制性蛋白酶解而被激活	(42)
2.4	蛋白质的特性	(46)
2.4.1	蛋白质是两性电解质	(46)
2.4.2	蛋白质溶解性受所带电荷和溶液离子强度的影响	(46)
2.4.3	蛋白质具有胶体性质	(47)
2.4.4	蛋白质的呈色反应可以用于蛋白质定性或定量分析	(47)
2.5	蛋白质变性时丧失其结构与功能	(48)
2.6	蛋白质的分离纯化和一级结构测定	(49)
2.6.1	蛋白质分离纯化	(49)
2.6.2	蛋白质纯度和活性鉴定	(49)
2.6.3	蛋白质氨基酸序列测定	(50)
3	酶	(55)
3.1	酶的导论	(55)
3.1.1	酶的化学本质是蛋白质	(55)
3.1.2	酶具有巨大的催化能力	(56)
3.1.3	酶的命名和分类	(58)
3.1.4	酶的催化活性具有高度专一性	(60)
3.2	酶特有催化的作用机理	(60)
3.2.1	酶的催化反应发生在活性中心	(61)
3.2.2	酶催化高效率的机理	(63)
3.2.3	酶促反应机理的实例	(65)
3.3	酶催化反应的动力学	(71)
3.3.1	酶反应速度与酶活力单位	(71)
3.3.2	底物浓度影响酶反应速度	(72)
3.3.3	酶浓度对酶反应速度的影响	(75)
3.3.4	温度影响酶反应速度	(76)
3.3.5	pH 值影响酶反应速度	(76)
3.3.6	激活剂影响酶反应速度	(77)
3.3.7	抑制剂影响酶反应速度	(77)
3.4	酶活性的调节——酶的类型	(81)
3.4.1	失活形式	(81)

3.4.2	同工酶	(82)
3.4.3	共价修饰酶	(82)
3.4.4	变构酶	(83)
3.5	许多辅酶成分是水溶性维生素	(84)
3.5.1	NAD、NADP 与 $V_{pp}$	(85)
3.5.2	FMN、FAD 含有维生素 $B_2$	(86)
3.5.3	硫胺素是焦磷硫胺素的主要成分	(87)
3.5.4	辅酶磷酸吡哆醛是维生素 $B_6$ 的(吡哆醛)的衍生物	(88)
3.5.5	辅酶 A 含有泛酸(维生素 $B_3$ )	(88)
3.5.6	羧化酶辅酶含有生物素	(90)
3.5.7	四氢叶酸是叶酸的衍生物	(91)
3.5.8	5'-脱氧腺苷钴胺素(辅酶 $B_{12}$ )	(91)
3.5.9	维生素 C 也是辅酶的成分	(92)
3.5.10	硫辛酸	(93)
4	脂类与生物膜	(94)
4.1	生物体内的脂类	(94)
4.1.1	单纯脂类	(94)
4.1.2	复合脂类	(97)
4.1.3	衍生脂具有生物活性	(100)
4.1.4	脂溶性维生素 E 与维生素 K	(102)
4.1.5	前列腺素是脂肪酸的衍生物	(103)
4.1.6	脂质与蛋白质的结合——脂蛋白	(104)
4.2	生物膜	(105)
4.2.1	细胞具有多种膜系统	(105)
4.2.2	生物膜主要由脂类和蛋白质组成	(106)
4.2.3	生物膜的结构有多种分子模型	(111)
4.2.4	生物膜分子结构与特性	(112)
4.3	生物膜具有多种功能	(113)
4.3.1	穿膜运输是重要的物质运输方式	(114)
4.3.2	膜泡运输	(116)
4.3.3	生物膜参与能量转换	(117)
4.3.4	通过生物膜传递信息	(117)
4.3.5	细胞膜与神经冲动传递	(118)
5	糖类	(120)
5.1	单糖与二糖	(120)
5.1.1	葡萄糖分子结构与构象	(121)
5.1.2	单糖的物理、化学性质	(123)
5.1.3	重要的单糖	(126)
5.1.4	单糖有多种衍生物	(128)

5.1.5	双糖	(129)
5.1.6	三糖	(130)
5.2	多糖与蛋白聚糖	(131)
5.2.1	同多糖	(131)
5.2.2	杂多糖	(134)
5.3	糖蛋白与糖脂	(137)
5.3.1	糖蛋白	(137)
5.3.2	糖脂	(139)
6	核酸化学	(141)
6.1	核苷酸	(141)
6.1.1	核苷酸由含氮碱、戊糖和磷酸组成	(141)
6.1.2	核苷酸具有多种理化性质	(144)
6.1.3	核苷酸有多种衍生物	(145)
6.2	核酸的结构分为不同层次	(147)
6.2.1	核苷酸排列顺序是核酸的一级结构	(147)
6.2.2	核酸的二级结构	(149)
6.2.3	核酸的三级结构	(155)
6.3	核酸的性质	(163)
6.3.1	核酸在外界因素作用下的降解与变性	(163)
6.3.2	核酸的复性与杂交	(164)
6.3.3	核酸中核苷酸可进行非酶促转变与甲基化	(164)
6.3.4	DNA 序列分析	(165)
7	生物能与生物氧化	(168)
7.1	生物能学原理	(168)
7.1.1	自由能是生物化学中最有用的热力学函数	(168)
7.1.2	ATP 具有较高的基团转移潜势的结构基础	(171)
7.1.3	生物氧化所释放的能量转换为 ATP 分子中的化学能	(176)
7.2	线粒体电子流	(178)
7.2.1	氧化磷酸化发生在线粒体中	(178)
7.2.2	线粒体电子传递链(呼吸链)有 5 种载体	(179)
7.2.3	呼吸链的电子传递顺序	(183)
7.2.4	关于电子传递顺序的实验证据	(184)
7.3	氧化作用和磷酸化作用由质子梯度偶联起来	(184)
7.3.1	氧化磷酸化作用的概念	(185)
7.3.2	P/O 比和由 ADP 形成 ATP 的部位	(186)
7.3.3	氧化磷酸化的解偶联和抑制	(186)
7.3.4	氧化磷酸化作用的机理	(187)
7.3.5	线粒体的穿梭系统	(189)
7.3.6	呼吸控制	(191)

---

7.3.7 能荷 .....	(191)
<b>8 糖的分解代谢 .....</b>	<b>(193)</b>
8.1 酶促多糖和双糖的降解 .....	(193)
8.1.1 糖原的降解 .....	(193)
8.1.2 淀粉降解的终产物是葡萄糖 .....	(194)
8.1.3 纤维素降解为单糖 .....	(196)
8.1.4 双糖水解为单糖 .....	(196)
8.2 糖酵解 .....	(197)
8.2.1 糖酵解有两个过程 .....	(197)
8.2.2 糖酵解过程中 ATP 的生成 .....	(202)
8.2.3 丙酮酸的进一步代谢 .....	(203)
8.2.4 糖酵解是在严格调节下进行 .....	(204)
8.2.5 果糖和半乳糖进入糖酵解途径 .....	(206)
8.3 柠檬酸循环 .....	(207)
8.3.1 由丙酮酸形成乙酰 CoA .....	(207)
8.3.2 柠檬酸循环的过程 .....	(207)
8.3.3 柠檬酸循环氧化产生的能量的有效储存 .....	(210)
8.3.4 丙酮酸脱氢酶复合体催化多步反应 .....	(212)
8.3.5 柠檬酸循环的添补反应 .....	(214)
8.4 戊糖磷酸途径 .....	(216)
8.4.1 戊糖磷酸途径产生 NADPH, 并合成五碳的糖类 .....	(216)
8.4.2 葡萄糖 - 6 - 磷酸转变为 5 - 磷酸核酮糖时产生 2 分子 NADPH .....	(217)
8.4.3 5 - 磷酸核酮糖通过烯二醇中间产物异构化为 5 - 磷酸核糖 .....	(217)
8.4.4 戊糖磷酸途径和糖酵解由转酮醇酶和转醛醇酶作用联系起来 .....	(217)
8.4.5 戊糖磷酸途径的速率由 $\text{NADP}^+$ 的水平控制 .....	(219)
8.4.6 磷酸戊糖途径具有重要的生理意义 .....	(219)
<b>9 脂肪的降解 .....</b>	<b>(221)</b>
9.1 脂肪在酶催化下的水解 .....	(221)
9.2 脂肪酸的降解 .....	(222)
9.2.1 脂肪酸通过连续除去二碳单位而降解 .....	(222)
9.2.2 脂肪酸的活化 .....	(222)
9.2.3 活化脂肪酸的转运 .....	(223)
9.2.4 每一轮脂肪酸氧化都产生乙酰 CoA、NADH 和 $\text{FADH}_2$ .....	(223)
9.2.5 软脂酸 ( $\text{C}_{16}$ - 酰基 CoA) 彻底氧化产生 129 个 ATP .....	(225)
9.2.6 脂肪酸的 $\alpha$ -氧化作用 .....	(225)
9.2.7 脂肪酸的 $\omega$ -氧化作用 .....	(226)
9.2.8 不饱和脂肪酸的氧化 .....	(227)
9.3 酮体的代谢 .....	(228)
9.3.1 由乙酰 CoA 形成酮体 .....	(229)

9.3.2	由乙酰 CoA 衍生出来的酮体是能量代谢中的重要分子	(229)
9.4	乙醛酸循环	(230)
9.5	类脂的降解	(232)
9.5.1	甘油磷脂的酶促降解	(232)
9.5.2	糖脂的降解	(232)
<b>10</b>	<b>氨基酸分解代谢</b>	(234)
10.1	$\alpha$ -氨基酸的降解与转化	(234)
10.1.1	$\alpha$ -氨基通过谷氨酸氧化脱氨转变成铵离子	(234)
10.1.2	脲循环	(236)
10.2	氨基酸降解后碳原子的命运	(239)
10.2.1	C <sub>3</sub> 族: 丙氨酸、丝氨酸和半胱氨酸转变为丙酮酸	(240)
10.2.2	C <sub>4</sub> 族: 天冬氨酸和天冬酰胺转变为草酰乙酸	(240)
10.2.3	C <sub>5</sub> 族: 通过谷氨酸转变为 $\alpha$ -酮戊二酸	(241)
10.2.4	琥珀酰 CoA 是某些氨基酸碳原子进入柠檬酸循环的切入点	(242)
10.2.5	亮氨酸降解为乙酰 CoA 和乙酰乙酸	(243)
10.2.6	苯丙氨酸和酪氨酸被加氧酶降解为乙酰乙酸和延胡索酸	(244)
10.3	氨基酸与一碳单位	(245)
10.4	甲硫氨酸为 S-腺苷甲硫氨酸合成提供甲基	(247)
<b>11</b>	<b>糖的生物合成</b>	(248)
11.1	光合作用	(248)
11.1.1	在光合作用中 CO <sub>2</sub> 被 H <sub>2</sub> O 还原成碳水化合物	(248)
11.1.2	光合色素吸收光能, 并使光能转变为同化 CO <sub>2</sub> 的同化力 ——ATP+NADPH	(248)
11.1.3	卡尔文循环是 CO <sub>2</sub> 同化的最基本途径	(251)
11.1.4	植物的 C <sub>4</sub> 途径, 因提高鞘细胞内 CO <sub>2</sub> 浓度而加速光合作用	(254)
11.2	糖异生作用	(254)
11.2.1	糖异生途径并非糖酵解的逆转	(255)
11.2.2	糖酵解和糖异生作用是互补调节的	(256)
11.3	蔗糖和多糖的生物合成	(256)
11.3.1	糖核苷酸是多糖和寡糖合成时的单糖活化形式	(256)
11.3.2	磷酸蔗糖合成酶是合成蔗糖的主要酶类	(257)
11.3.3	淀粉和糖原的合成十分相似	(257)
11.3.4	淀粉的合成主要依赖于以 ADPG 为葡萄糖供体的淀粉合成酶	(258)
11.3.5	糖原是葡萄糖有效的储存形式	(259)
11.3.6	纤维素以 GDPG 为葡萄糖供体	(259)
11.3.7	半纤维素是杂聚糖	(260)
11.3.8	果胶的合成供体是 UDP-半乳糖醛酸	(260)
11.4	植物糖代谢的调节	(261)
11.4.1	植物光合细胞中丙糖、蔗糖、淀粉的相互转化	(261)

11.4.2	果糖 - 2, 6 - 二磷酸对糖酵解起着重要的 调节作用·····	(261)
11.4.3	光合作用生成的能量和还原力除用于光合碳还原外, 还可用于 其他代谢·····	(261)
11.4.4	植物光合细胞中糖酵解及蔗糖和淀粉的合成是被调节的·····	(262)
<b>12</b>	<b>脂类的生物合成</b> ·····	(264)
12.1	脂肪的生物合成·····	(264)
12.1.1	甘油来自糖酵解中磷酸二羟丙酮的还原·····	(264)
12.1.2	乙酰 CoA 通过柠檬酸穿梭方式进入胞质 ·····	(264)
12.1.3	脂肪酸合成的直接原料丙二酸单酰 CoA 由乙酰 CoA 羧化生成·····	(265)
12.1.4	不同生物脂肪酸合酶系统组装形式不同·····	(266)
12.1.5	脂肪酸合成时, 首先合成的是 16 碳饱和脂肪酸 ·····	(268)
12.1.6	脂肪酸碳链的延长以脂酰 CoA 为起始, 由延长酶催化完成 ·····	(271)
12.1.7	不同生物存在不同的脂肪酸链去饱和途径·····	(271)
12.1.8	脂肪酸合成可被调节·····	(272)
12.1.9	三酰甘油是在 3 - 磷酸甘油上逐次与脂酰 CoA 酯化合成的 ·····	(272)
12.2	类脂的生物合成·····	(273)
12.2.1	甘油磷脂合成·····	(273)
12.2.2	糖脂的生物合成·····	(275)
12.2.3	胆固醇的生物合成与转化·····	(277)
12.3	脂类的转运·····	(280)
<b>13</b>	<b>氨基酸的生物合成</b> ·····	(281)
13.1	氮素循环·····	(281)
13.2	生物固氮的生物化学·····	(282)
13.2.1	生物固氮是微生物和藻类通过自身固氮酶把分子氮变成氨的过程·····	(282)
13.2.2	固氮生物分为自生固氮和共生固氮两种类型·····	(282)
13.2.3	固氮过程是由还原酶和固氮酶组成的固氮酶复合物完成的·····	(283)
13.2.4	固氮反应需 ATP、强还原剂和厌氧环境 ·····	(283)
13.2.5	固氮过程常伴随有氢代谢即放氢和吸氢反应·····	(284)
13.3	植物靠硝酸还原作用将土壤硝态氮转变为氨·····	(284)
13.3.1	硝酸还原酶将 $\text{NO}_3^-$ 还原为 $\text{NO}_2^-$ ·····	(285)
13.3.2	亚硝酸还原酶将 $\text{NO}_2^-$ 还原为 $\text{NH}_4^+$ ·····	(285)
13.4	氨的同化·····	(286)
13.4.1	谷氨酸是 $\text{NH}_4^+$ 同化和转移的重要形式 ·····	(286)
13.4.2	$\text{NH}_4^+$ 消耗 ATP 形成氨甲酰磷酸·····	(287)
13.5	氨基酸的生物合成·····	(288)
13.5.1	谷氨酸通过转氨基作用为各种氨基酸合成提供氨基·····	(288)
13.5.2	呼吸和光合作用的碳代谢为各族氨基酸合成提供碳骨架·····	(288)
13.5.3	一碳基团代谢·····	(295)



13.5.4	硫酸根 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 还原生成半胱氨酸	(297)
13.6	氨基酸可衍生的其他含氮化合物	(298)
13.6.1	具有生物活性的胺类物质	(299)
13.6.2	植物可合成生氰糖苷	(300)
13.6.3	生物碱是植物的重要次生物质	(300)
13.6.4	氨基酸可衍生植物激素和动物激素	(302)
13.6.5	$\text{NAD(P)}^+$ 和 $\text{FAD(FMN)}$ 由氨基酸衍生而来	(302)
13.6.6	卟啉类色素由甘氨酸和谷氨酸合成	(303)
13.6.7	木质素由苯丙氨酸和酪氨酸合成	(304)
13.6.8	儿茶酚类和黑色素	(304)
14	核苷酸代谢	(305)
14.1	核酸的酶促降解	(305)
14.1.1	外切核酸酶	(305)
14.1.2	核糖核酸酶	(306)
14.1.3	限制性内切酶	(306)
14.2	核苷酸的分解代谢	(306)
14.2.1	核苷酸降解成碱基、戊糖与磷酸	(306)
14.2.2	嘌呤的分解代谢	(307)
14.2.3	嘧啶的分解代谢	(307)
14.3	核苷酸的生物合成	(310)
14.3.1	核苷酸的生物合成从磷酸核糖焦磷酸的合成开始	(310)
14.3.2	嘌呤核苷酸利用氨基酸等从头合成	(311)
14.3.3	嘧啶核苷酸的从头合成	(315)
14.3.4	核苷单磷酸经酶促转变成核苷三磷酸	(317)
14.3.5	脱氧核糖核苷酸的生物合成	(318)
14.3.6	胸苷酸的生物合成	(320)
14.3.7	嘌呤和嘧啶碱基通过补救途径再循环	(320)
14.3.8	核苷酸合成的抑制剂	(321)
14.3.9	其他重要核苷酸生物合成	(322)
15	核酸的生物合成	(328)
15.1	DNA 复制	(328)
15.1.1	DNA 复制是一种半保留复制机制	(328)
15.1.2	DNA 多聚酶催化 DNA 的生物合成	(329)
15.1.3	复制从原点开始, 以 $5' \rightarrow 3'$ 方向合成	(331)
15.1.4	真核生物 DNA 复制更复杂	(336)
15.1.5	DNA 复制具有高度的真实性	(337)
15.2	DNA 修复	(337)
15.2.1	DNA 会出现多种突变	(337)
15.2.2	细胞有多种 DNA 修复系统	(338)