

Principles of Biochemistry

生物化学原理

(第2版)

主编 张楚富



生物化学原理

SHENGWU HUAXUE YUANLI

(第2版)

主 编 张楚富

副主编 程汉华 刘德立

编写人员 (以汉语拼音为序)

程汉华 刘德立 袁永泽

张楚富 张 蕾 周荣家

内容提要

《生物化学原理》一书自第1版出版发行以来,受到读者的欢迎。此次修订结合编者长期从事生物化学教学与研究的积淀和武汉大学“生物化学”国家精品课程建设经验,并参考国外著名的教科书,在内容上做了较大的调整、更新和补充,许多章节都是重新编写。第2版新增“生物膜与物质转运”、“信号转导”两章,“代谢总论”和“生物能学”两章合并构成新的“代谢总论”一章,并把“物质代谢调节和激素的作用机制”一章的相关内容并入相关章节。

第2版具有以下特点:①篇幅适度,内容基础且新颖,便于学生阅读、理解和掌握生物化学基本原理;②重点突出,点线结合,以点带面;③凸显生物化学的生命性,强调章节与章节之间的联系,有利于培养学生科学思维能力和对知识的综合、分析与运用。

本书可作为综合性大学、师范院校、理工院校、医学院校和农业院校生命科学类专业的教学用书,亦可作为相关专业的教师、科研人员以及研究生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

生物化学原理/张楚富主编. —2版. —北京:高等教育出版社,2011.2

ISBN 978-7-04-029978-6

I. ①生… II. ①张… III. ①生物化学-高等学校-教材 IV. ①Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 262025 号

策划编辑 吴雪梅 责任编辑 王 莉
责任绘图 尹 莉 责任校对 殷 然

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 保定市中国画美凯印刷有限公司

开 本 889×1194 1/16
印 张 41.5
字 数 1 300 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

版 次 2003 年 9 月第 1 版
2011 年 2 月第 2 版
印 次 2011 年 2 月第 1 次印刷
定 价 69.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29978-00

第2版前言

自第1版出版发行以来,《生物化学原理》一书受到读者的欢迎,这让编者感到很欣慰。但是该书也存在一些问题,例如,书中存在某些表述不太清楚的地方,以至于读者难以理解;某些内容前后衔接不够好等。虽然这些问题与当时处在“非典”特殊时期有关,因为时间紧迫,稿件不能多次往返进行校对。这次修订时,编者希望尽量避免出现类似的问题,而且更希望本书的质量和-content能更上一层楼,更能受到读者的欢迎。

正如我们在第一版前言中说的那样,本次修订仍然本着“篇幅适度、内容基础、便于学生阅读、理解和掌握生物化学基本原理”的宗旨,同时力求体现近年来生命科学研究的新成果和新进展。

“生物化学”是学生学习生物学各门课程的主要基础课,同时也是从事生命科学研究的基础知识的主要支撑。一本好的生物化学教科书,应该是通过教与学,让学生掌握生物化学的基础知识和基本原理,进而对所学到的知识进行综合分析运用,并对科学研究中的问题进行科学的解答。这是我们修订此书的良好愿望。

与第1版相比,第2版增加了“膜与物质转运”、“信号转导”两章,并把“代谢总论”和“生物能学”两章合并成新的“代谢总论”一章。为了避免重复,也为了全书内容上的衔接,取消“物质代谢调节及激素的作用机制”一章,把有关内容并入相关章节。这次修订,除主编外,其他编写人员都是新邀请参加的具有丰富教学经验的教师。修订过程中结合了编者长期从事生物化学教学与研究的积淀,并参考了国外优秀的教科书,在内容上做了较大的调整、更新和补充,许多章节均是重新编写。

全书分为22章,由主编统一组织编写和修正。全书内容分为三大部分:第一部分为生物分子的组成、结构、性质和功能;第二部分为物质代谢和能量代谢;第三部分为遗传信息的传递与表达。第1~5章、第10~14章由张楚富编写;第6~9章由张蕾编写,同时张蕾还编写了蛋白质组学和代谢组学的内容;第15章和第17章由袁永泽编写;第16章、第20章和第21章由刘德立编写;第18章和第19章由程汉华编写;第22章由周荣家编写。

本书修订和出版是“生物化学”国家精品课程建设的重要内容之一,得到了国家精品课程建设经费的支持。本书的编写还得到了武汉大学生命科学学院的重视、鼓励和支持。作为主编,我要感谢华中师范大学生命科学学院刘德立教授和袁永泽博士对于本书编写的支持,感谢本院程汉华教授、周荣家教授和张蕾副教授的积极参与。在这里,我要特别感谢本实验室的博士生周志鹏和欧吉权,他们为本书的编写提供了很多有益的帮助;感谢林清华教授支持与鼓励。在本书修订、出版过程中,得到了高等教育出版社王莉老师的指导和帮助,她为本书的再版付出了辛勤劳动。

尽管我们尽了最大的努力,力求使本书能为读者所接受,但限于编者的水平,难免会存在这样或那样的问题,真诚地希望读者批评指正。

张楚富
于武昌珞珈山
2010年10月

第1版前言

近半个世纪、特别是近20年来,生命科学取得了令人瞩目的成就,以至于人们认为21世纪将是生命科学的世纪。作为生命科学重要组成部分的生物化学以及在其基础上发展起来的分子生物学,在现代生命科学研究中起着基础和带头的作用。生物化学和分子生物学研究无论在广度或深度上都发生着巨大的变化,特别是在遗传信息表达和调节、信号的转导以及蛋白质结构与功能等重点研究领域,更是取得了无与伦比的成就。

随着现代生命科学的发展,生物化学以及分子生物学与生物科学其他学科领域也发生着愈来愈密切的交叉和融合。细胞生物学、遗传学、动物生理学和植物生理学、免疫学、药理学、病理学以及生物工程学的发展也得益于生物化学和分子生物学原理的应用及其方法和技术的巨大进步。

“生物化学”作为高等学校生命科学各专业本科生和研究生教育的基础课程,其地位是其他课程无法取代的。生物化学教材对于学生学习和掌握生物化学的原理和方法是极为重要的。因此,编写一本好的生物化学教材将会更加有利于学生对生物化学原理和知识的理解和掌握。翻开近几年出版的生物化学教科书,你就会看到这些教科书无论是在广度和深度上,还是篇幅上都达到了前所未有的程度。这样的教科书对于学习生命科学的学生,或者科学工作者全面了解生物化学基础及其前沿领域是非常有用的。然而,从我国高等学校的教与学的实际情况来看,把这样的教科书作为课堂教学的教材无疑增加了学生学习和掌握它的难度。因此,编写出篇幅适度、内容基础,便于学生阅读、理解和掌握生物化学基本原理的教科书是很有必要的。应高等教育出版社之约,我们本着这样的指导思想编写了这本《生物化学原理》。

尽管主编者从事生物化学教学20余载,但是由于生物化学包括的内容广泛,知识日新月异,而且也由于生物化学与生命科学其他学科的交叉和融合,编写出一本内容新颖、结构合理、读者较为满意的生物化学教材还是心有余悸,更何况受主编者知识的局限而难以达到要求。好在编者所在的学校和院系领导给予了极大的支持,有关教师积极地参与和配合,使主编者有了很大的信心来完成这项工作。

我们在编写过程中特别注意了以下几点:①在内容的安排上由浅入深,尽可能做到叙述深入、细致,并联系学生之前所学的课程(如生物学、有机化学、物理化学等);②侧重生物化学的基本原理和反应机制的介绍,以便于学生阅读、理解和掌握;③注意教材的系统性和前后章节的衔接以及代谢途径之间的联系;④突出重点,不面面俱到,但要体现出课程的需要和教材的完整性。由于生物化学是一门实验性强的学科,生物化学原理的提出源于对科学实验结果的分析 and 总结,因此,我们在编写相关内容时尽可能地从实验过程和结果出发,引出相关的原理或结论。这样也许会有利于学生对问题的理解和对原理的掌握,有利于培养和提高学生科学思维的能力。

全书共分22章,由张楚富统一组织编写。本书的基本内容大体上分为三大部分。第一部分为生物分子的组成、结构、性质和功能;第二部分包括物质代谢和能量代谢;第三部分包括遗传信息的传递与表达。第1~5章和第8~13章由张楚富编写;第6、7章由彭芳芳编写;第14章由何之常编写;第15章由汪炳华编写;第16章由洪嘉玲编写;第17、18章由陈芳和章江洲编写;第19~22章由王鄂生编写。

在本书出版之际,我要感谢武汉大学教务部和生命科学学院的领导,他们给予我很大的鼓励和支持。我要感谢王鄂生教授,虽然她年事已高,但仍热情支持和参与了本书的编写;感谢洪嘉玲教授的参与和邀请了几位医学院的老师参加。我特别要感谢林清华教授,是她给予了我多方面的支持,使我有更多的时间和精力投入组织和编写;感谢我实验室的研究生,他们为本书的编写出版做了许多辅助性的工作。本书能得以顺利出版,还得十分感谢高等教育出版社吴雪梅和林金安两位老师,他们为本书的出版付出了辛勤劳动,做了大量的编辑和图表的加工工作,并对书中有关内容提出了宝贵的修改意见。

尽管我们做出了很大的努力,但由于学识有限,对某些问题的理解难免有错误之处,在内容的组织和编排上也会有不尽如意的地方,恳请读者批评指正。

张楚富
于武昌珞珈山
2003年2月

目 录

第一章 生物化学导论	1	第二章 氨基酸与蛋白质	15
第一节 生物机体是由生物分子构成的	1	第一节 氨基酸	15
一、生物分子	1	一、氨基酸的种类和结构	15
(一) 生物分子是含碳的化合物	1	(一) 氨基酸的结构共性	15
(二) 生物分子是分级的	2	(二) 氨基酸侧链结构差异与分类	16
二、细胞是构成生命的基本单位	3	(三) 氨基酸名称的缩写符号	18
三、生物大分子含有生命的信息	3	二、“非标准”氨基酸	18
(一) 生物大分子及其构件具有方向性	3	三、氨基酸的构型	19
(二) 蛋白质(包括酶)和核酸是生物 信息分子	4	四、氨基酸的紫外吸收性质	20
(三) 生物大分子具有特征性的三维构象	4	五、氨基酸的酸碱性质	20
(四) 非共价作用力维持生物大分子的结构	4	(一) 氨基酸的两性解离性质	20
(五) 结构互补性决定生物分子的相互作用 并影响生命状态	4	(二) 氨基酸的酸碱滴定曲线	21
(六) 生命活动限制在一个窄小的环境 范围内	4	(三) 滴定曲线可以预示氨基酸的电荷变化	23
第二节 水是生命的载体	5	第二节 氨基酸分离和分析	24
一、水的分子结构	5	一、氨基酸的电泳分离	24
二、水在生物化学中的重要性	5	二、离子交换层析是分离氨基酸的有效方法	25
三、水的溶剂特性	6	第三节 肽和蛋白质	27
四、非极性物质的疏水相互作用与自由能 的变化	7	一、肽、肽键和肽链	27
五、两性化合物	7	二、肽和蛋白质的解离性质	28
六、溶质对水的性质的影响	8	三、生物活性肽	28
七、水的离子化	8	四、蛋白质结构与功能研究的内容	30
八、酸碱化学	9	第四节 蛋白质的分离	31
(一) 酸是质子的供体	9	一、蛋白质的溶解性质与盐析分离	31
(二) 酸的强度	9	二、离子交换柱层析是分离蛋白质的有效方法	32
(三) 溶液的 pH 由酸和碱的相对浓度决定	10	三、疏水(相互作用)层析	33
九、缓冲系统	10	四、凝胶过滤层析是纯化蛋白质的常用方法	33
第三节 生物化学与其他学科的关系	11	五、蛋白质的配体专一性与亲和层析分离	35
一、生物化学与化学、物理学和数学的关系	12	六、电泳技术是分析和鉴定蛋白质的有效方法	36
二、生物化学与生物学其他学科的关系	12	(一) 非变性聚丙烯酰胺凝胶电泳	36
三、“生物化学”学什么? 如何学?	12	(二) SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳 (SDS-PAGE)	36
(一) 学什么?	13	(三) 双向电泳	37
(二) 如何学?	13	(四) 毛细管电泳	38
本章小结	13	(五) 电泳后的蛋白质检测	38
习题	14	第五节 蛋白质的一级结构测定	39
		一、一级结构测定所涉及的内容和方法	40
		(一) 末端分析	40

(二) 二硫键的拆开	40	第四节 球状蛋白和三级结构	65
(三) 氨基酸组成分析	40	一、三级结构的某些特征	65
(四) 肽链的部分水解	41	(一) α -螺旋和 β -折叠是球状蛋白质的基本	
(五) 肽碎片的氨基酸序列分析	43	结构要素	65
(六) 片段重叠,重构完整肽链的氨基酸		(二) 氨基酸残基侧链基团的定位随极性的	
顺序	44	不同而变化	66
二、测定蛋白质基因的序列可推出蛋白质的		二、超二级结构和结构域	66
一级结构	44	(一) 超二级结构	67
三、蛋白质一级结构测定的生物学意义	45	(二) 结构域	67
(一) 蛋白质氨基酸序列的进化	45	三、蛋白质基元或结构域是蛋白质结构分	
(二) 基因复制和蛋白质家族	45	类的基础	67
(三) 序列分析可以揭示蛋白质一级结构		四、三级结构的比较能揭示进化上的相互关系 ..	68
的个体差异	47	五、蛋白质折叠	69
第六节 蛋白质组学	47	(一) 多肽链的折叠是一个自然的和有序	
一、蛋白质组和蛋白质组学的基本概念	47	的过程	70
二、组成蛋白质组学和比较蛋白质组学	47	(二) 蛋白质折叠需要辅助蛋白	70
三、蛋白质组学的研究方法	48	六、推动蛋白质特定构象形成和稳定的作用力 ..	71
(一) 样品制备	48	(一) 疏水作用	71
(二) 样品分离	48	(二) 氢键	73
(三) 图像分析	48	(三) 静电相互作用	73
(四) 蛋白质鉴定分析	49	(四) 二硫键	74
(五) 蛋白质组生物信息学	50	七、蛋白质的一级结构决定它的三维结构	74
本章小结	51	(一) 蛋白质变性导致空间构象破坏和生	
习题	51	物活性丧失	74
第三章 蛋白质的空间结构与功能	53	(二) 复性实验证明蛋白质空间构象是由其	
第一节 研究蛋白质空间结构的方法	53	一级结构决定的	75
一、X射线晶体衍射法是研究蛋白质空间		(三) 蛋白质结构预测	77
结构的主要方法	53	第五节 寡聚体蛋白质与四级结构	78
二、核磁共振光谱法研究液态蛋白质的构象 ..	54	一、四级结构研究的内容	78
第二节 构筑蛋白质结构的基本要素	54	二、寡聚体蛋白质的对称性	79
一、肽基的结构	55	三、亚基组成的测定	79
二、多肽链主链的构象可以用扭角来描述	55	(一) 杂交法提供四级结构的信息	79
三、多肽允许的构象可以用拉氏图预测	57	(二) 交联法	80
四、 α -螺旋是有规律的主链构象	58	四、寡聚体蛋白质存在的意义	80
五、 β -结构也是有规律的主链构象	59	(一) 提高蛋白质的稳定性	80
六、转角和环形结构	61	(二) 亚基汇聚形成酶的活性部位	80
(一) β -转角	61	(三) 协同性	80
(二) 环形构象	62	(四) 遗传上的经济性和有效性	80
(三) 无序结构	62	第六节 蛋白质的构象与功能的关系	81
第三节 纤维状蛋白——细胞和组织的		一、血红蛋白和肌红蛋白的生理功能	81
结构物质	62	二、血红蛋白和肌红蛋白的结构特点	81
一、 α -角蛋白——卷曲螺旋	62	(一) 肌红蛋白的结构	81
二、丝心蛋白	63	(二) 血红蛋白的结构	81
三、胶原蛋白	63	三、血红蛋白和肌红蛋白的氧合曲线	82

(一) 氧合曲线的比较	82	(一) 顺次反应	103
(二) 氧合曲线的不同反映出生理环境的 差异	83	(二) 乒乓反应	104
四、协同效应产生的原因	84	(三) 动力学方法可以区分双底物反应 机制	104
(一) 氧合和脱氧血红蛋白有不同的构象	84	五、pH 对酶活性的影响	106
(二) 协同效应的机制	84	六、温度对酶活性的影响	107
五、H ⁺ 和 CO ₂ 能促进血红蛋白氧的解离	86	第四节 酶的抑制作用	107
(一) 波尔效应促进氧的转运	86	一、可逆抑制剂同酶的结合是非共价的	108
(二) 波尔效应产生的原因	86	(一) 竞争性抑制剂只同自由的酶结合	108
(三) CO ₂ 影响血红蛋白氧结合力的机制	87	(二) 反竞争性抑制剂只能同 ES 结合	108
六、二磷酸甘油酸对 O ₂ 结合的影响	87	(三) 非竞争性抑制剂既能同酶结合又能同 ES 结合	109
七、镰状细胞贫血源于脱氧红蛋白的聚集	87	二、不可逆抑制剂与酶共价结合	110
本章小结	88	三、抑制剂的应用	110
习题	89	(一) 抑制剂的应用为酶的催化提供重要 的信息	110
第四章 酶	90	(二) 抑制剂在临床上的应用	113
第一节 酶的基本性质	90	第五节 酶的作用机制	114
一、酶是生物催化剂	90	一、酶的底物专一性是酶的基本属性	114
二、酶能加快化学反应的速度	90	(一) 酶-底物复合物的存在是可检测的	114
三、酶不能改变反应的平衡	91	(二) 结构互补性是酶的专一性的基础	115
四、酶的催化反应具有专一性	92	二、酶和底物间的结合能是催化反应的重 要因素	116
五、酶的组成和酶的辅助因子	92	(一) 酶与底物转换态的相互作用处在最 适状态	116
(一) 酶是蛋白质	92	(二) 转换态类似物实验证实酶能使转换 态稳定	116
(二) 许多酶的催化反应需要辅助因子	92	(三) ES 复合物向 EX [‡] 复合物转变伴随着熵 减和去稳定	117
(三) 酶的活性部位	93	三、底物与酶的邻近极大地有利于酶促反应	118
六、某些 RNA 具有催化活性	93	四、酶功能基团催化	119
第二节 酶的命名与分类	94	(一) 酸碱催化	119
一、酶的命名	94	(二) 共价催化	120
二、酶的分类	94	五、溶菌酶的作用机制	121
第三节 酶反应动力学	96	(一) 溶菌酶的结构以及与底物的结合	121
一、化学反应动力学	96	(二) 溶菌酶的催化机制	122
(一) 化学反应级数与速度方程	96	六、丝氨酸蛋白酶类的结构特点与作用 机制	123
(二) 活化能与速度常数的关系	97	(一) 丝氨酸蛋白酶类的结构特点	123
二、酶活性与酶的反应速度	97	(二) 胰凝乳蛋白酶的作用机制	124
(一) 酶活性可用酶的反应速度表示	97	(三) 丝氨酸蛋白酶进化上的关系	124
(二) 酶的比活性	97	七、天冬氨酸蛋白酶类的结构特点与作用 机制	124
三、酶反应基本动力学	98	(一) 天冬氨酸蛋白酶类的结构特点	124
(一) 米氏方程反映底物浓度与酶反应速 度间的定量关系	98	(二) 天冬氨酸蛋白酶的作用机制	125
(二) 米氏常数的含义和意义	100		
(三) 双倒数作图求解 K _m 和 V _{max}	101		
(四) V _{max} 、K _m 和反应级数的关系	101		
(五) 转换数	102		
(六) k _{cat} /K _m 是比较催化效率的最好参数	102		
四、双底物酶促反应动力学	103		

(三) HIV 蛋白酶是一种天冬氨酸蛋白酶	126	(四) 基因指导蛋白质合成	155
第六节 酶活性的调节	127	第三节 DNA 序列与基因组结构特征	156
一、酶原的激活	127	一、DNA 限制性内切酶	156
二、同工酶在代谢转换中的作用	128	(一) DNA 的限制与修饰	156
三、多酶复合物和多功能酶	129	(二) 限制性内切酶与限制性图谱	156
(一) 多酶复合物	129	(三) 限制性内切酶与重组体 DNA	158
(二) 多功能酶	129	二、DNA 的核苷酸序列测定	158
四、别构酶与代谢途径活性的调节	129	(一) 链终止法	159
(一) 别构酶与别构效应	129	(二) DNA 序列的自动化测定	159
(二) 调节物	130	三、DNA 序列和基因结构的某些特征	161
(三) 别构酶的动力学特征	130	(一) 基因重叠	161
(四) 构象态的改变是别构酶亚基之间的 通讯联系的基础	132	(二) 基因中的插入序列	162
五、共价修饰也是酶活性调节的重要方式	132	(三) 重复序列	163
本章小结	134	(四) 回文结构和镜像结构	163
习题	134	第四节 RNA 的结构特征	164
第五章 核酸	137	一、信使 RNA 的结构特征	164
第一节 核苷酸是核酸的构件单位	137	(一) 多顺反子 mRNA	164
一、核苷酸是由碱基、戊糖和磷酸组成	137	(二) 非翻译区和 Shine-Dalgarno 序列	164
(一) 含氮碱	138	(三) 真核生物 mRNA 的末端修饰结构	164
(二) 核苷	138	二、转移 RNA 的结构特征	165
二、DNA 和 RNA 中的核苷酸	139	(一) tRNA 的二级结构	166
(一) RNA 和 DNA 中的核苷酸类别	139	(二) tRNA 的三级结构	166
(二) 细胞内游离的核苷酸及核苷酸衍 生物	140	三、核糖体 RNA	167
三、紫外吸收特性	141	(一) 核糖体的组成	167
四、核苷酸的解离性质	142	(二) rRNA 的结构	168
五、多聚核苷酸是核苷酸的聚合体	143	第五节 核酸的性质	169
第二节 DNA 的结构	146	一、核酸的黏性	169
一、DNA 分子的碱基组成特征	146	二、核酸的溶解性质	169
二、DNA 双螺旋结构	146	三、核酸的紫外吸收特性	170
(一) Watson-Crick 双螺旋结构模型	146	四、核酸的沉降特性和密度特征	170
(二) 维持 DNA 双螺旋结构稳定的作用力	148	五、DNA 的变性与复性	171
(三) DNA 其他形式的螺旋结构	148	(一) DNA 的变性	171
(四) DNA 分子的线形或环形结构	148	(二) DNA 的复性	173
三、DNA 的构象柔性	149	(三) 分子杂交与 DNA 印迹	175
四、DNA 的超螺旋结构	150	第六节 核酸的水解	176
(一) DNA 的拓扑异构体	150	一、核酸的酸水解	176
(二) 拓扑异构酶能改变 DNA 的连环数	152	二、核酸的碱水解	176
五、DNA 结构与功能的关系	154	三、核酸的酶水解	177
(一) DNA 是遗传物质	154	(一) 核酸酶的专一性	177
(二) 基因是 DNA 分子上的一段序列	154	(二) 核糖核酸酶	177
(三) DNA 双螺旋结构提供了遗传信息 传递的基础	155	(三) 脱氧核糖核酸酶	179
		(四) 核酸外切酶	179
		本章小结	179
		习题	180

第六章 糖类的结构和生物学功能	181	二、糖蛋白的组成、结构和功能	204
第一节 糖类概述	181	三、糖共接物的寡糖链含有重要的信息	205
一、糖类的化学本质	181	(一) 糖链在糖蛋白新生肽链折叠和缔合中的作用	205
二、糖类的命名和分类	181	(二) 糖链影响糖蛋白的分泌和稳定性	205
三、糖类的生物学功能	182	(三) 糖链参与分子识别和细胞识别	206
第二节 单糖的种类、结构和性质	182	(四) 糖链对于糖蛋白的生物活性至关重要	206
一、单糖结构及构型	182	本章小结	206
(一) 单糖直链结构	182	习题	206
(二) 单糖的 D-构型及 L-构型	183	第七章 脂质	208
(三) 单糖环状结构	184	第一节 三酰甘油	208
(四) 单糖构象	187	一、脂肪酸	208
二、单糖的物理性质	187	二、三酰甘油的结构和类型	209
三、单糖的化学性质	188	三、三酰甘油的性质	210
(一) 单糖的氧化	188	(一) 三酰甘油的物理性质	210
(二) 单糖与溴水、稀硝酸的反应	189	(二) 三酰甘油的化学性质	210
(三) 单糖的还原	190	四、三酰甘油的功能	211
(四) 单糖的成脎作用	190	(一) 贮存能量	211
(五) 单糖的异构化作用	191	(二) 抵御低温的屏障	211
(六) 由半缩醛羟基和醇羟基产生的反应	191	第二节 磷脂	211
四、生物体内重要的单糖衍生物	193	一、甘油磷脂	212
(一) 氨基糖	193	(一) 甘油磷脂的种类和结构	212
(二) 醛糖酸、糖二酸和糖醛酸	193	(二) 细胞内重要的甘油磷脂及其功能	213
(三) 单糖氨基还原物——糖醇	194	二、神经鞘磷脂	215
(四) 单糖其他衍生物	194	(一) 神经鞘磷脂的结构	215
第三节 双糖	194	(二) 神经鞘磷脂的功能	215
一、双糖的结构及命名	194	三、磷脂的性质	216
(一) 双糖的结构	194	(一) 甘油磷脂的性质	216
(二) 双糖的命名	195	(二) 鞘磷脂的性质	216
二、几种常见的双糖	196	第三节 糖脂	217
(一) 还原性双糖	196	一、鞘糖脂	217
(二) 非还原性双糖	196	(一) 鞘糖脂的结构和分类	217
第四节 多糖	197	(二) 鞘糖脂的功能	219
一、淀粉的结构和功能	197	二、甘油糖脂	219
(一) 淀粉的组成和结构	197	第四节 甾醇类化合物	220
(二) 淀粉的酸水解和酶水解	198	一、胆固醇	220
二、糖原的结构和功能	199	(一) 胆固醇的结构和性质	220
(一) 糖原的组成和结构	199	(二) 胆固醇在生物体内的转化	221
(二) 糖原的功能	199	(三) 食物中的胆固醇	223
三、纤维素和几丁质的结构	199	二、麦角甾醇	223
四、杂多糖	200	(一) 麦角甾醇的结构和性质	223
(一) 肽聚糖	200	(二) 麦角甾醇的功能	223
(二) 糖胺聚糖	201	本章小结	224
第五节 蛋白聚糖、糖蛋白和糖脂	203		
一、蛋白聚糖的组成、结构和功能	203		

习题	224	一、环腺苷酸是多种信号分子的第二信使	245
第八章 生物膜与物质转运	225	(一) cAMP 的发现及第二信使学说的提出	245
第一节 生物膜的结构与特点	225	(二) G _s 蛋白与腺苷酸环化酶的激活和 cAMP 的产生	245
一、膜的组成	226	(三) 蛋白激酶 A 在信号转导中的作用	246
(一) 膜脂的种类	226	二、肌醇三磷酸(IP ₃)和 1,2-二酰甘油 (DAG)——双信使系统	247
(二) 膜脂的多态性	226	三、钙离子也是多种信号转导中的第二信使	248
(三) 膜蛋白	227	(一) 钙信号的产生与终止	248
(四) 糖	227	(二) 钙结合蛋白	248
二、膜结构的特点	228	(三) Ca ²⁺ /CaM 介导的信号转导过程	249
(一) 膜组分的不对称性	228	第四节 酪氨酸蛋白激酶受体及其信号 转导	249
(二) 膜的流动性	228	一、胰岛素受体是酪氨酸专一的蛋白激酶	250
第二节 物质的跨膜转运	230	二、受体鸟苷酸环化酶催化 cGMP 的产生	250
一、被动运输	230	(一) cGMP 也是细胞内的第二信使	250
(一) 简单扩散	230	(二) 鸟苷酸环化酶的受体和环化酶的 双重身份	251
(二) 膜蛋白参与的协助扩散	230	第五节 激素信号转导	252
二、主动运输	234	一、激素分泌是受到控制的	253
(一) 由 ATP 直接提供能量的初级主动 转运	234	二、激素作用的特征	253
(二) 次级主动转运	236	(一) 激素作用的一般特征	253
(三) 其他一些独特的运输方式	237	(二) 激素的作用方式和在生物体中的 功能	253
本章小结	238	三、含氮激素的信号转导	253
习题	238	四、甾醇类激素信号转导的基本程序	254
第九章 信号转导	239	第六节 微生物和植物的信号系统	255
第一节 信号受体	239	一、细菌双组分信号转导系统	255
一、受体的类型与结构特征	239	二、植物信号系统	256
(一) 离子通道型受体	239	(一) 植物中的乙烯信号转导途径	256
(二) 酶偶联型受体	239	(二) 植物中的光信号转导途径	258
(三) G 蛋白偶联型受体	239	本章小结	261
(四) 与靶基因作用的激素受体及效应 元件	240	习题	261
二、信号与受体的相互作用	241	第十章 代谢总论	262
第二节 G 蛋白在信号转导中的作用	241	第一节 生物圈构筑了生物间的依存 关系	262
一、G 蛋白的结构及其类型	241	一、代谢的多样性反映生物的多样性	262
(一) G 蛋白的结构	241	二、生物圈中的代谢循环	262
(二) G 蛋白的种类	242	(一) 能量的流动与碳和氧循环	262
二、G 蛋白与信号转导	243	(二) 氮循环	263
(一) G 蛋白的激活	243	第二节 代谢由分解代谢和合成代谢 组成	263
(二) G 蛋白与第二信使的产生	243	一、分解代谢	263
三、蛋白激酶	243	二、合成代谢	264
(一) 蛋白激酶 A	243		
(二) 蛋白激酶 G	244		
(三) 蛋白激酶 C	244		
四、小 G 蛋白家族在信号转导中的作用	244		
第三节 细胞内的信号转导	244		

三、合成代谢和分解代谢不是相互排他的	265	一、代谢组学的研究方法和研究程序	283
四、代谢途径是受到控制的	265	(一) 样品制备	283
(一) 代谢反应速度的热力学考虑	265	(二) 数据采集	284
(二) 限速反应步骤控制代谢物的流量	266	(三) 数据的分析及解释	284
(三) 控制代谢反应速度的几种方式	266	二、代谢组学的应用	285
第三节 代谢与生物能学	267	(一) 代谢组学在疾病诊断中的应用	285
一、生物能学的热力学定律	267	(二) 代谢组学在生理和病理中的应用	285
(一) 细胞需要自由能	267	(三) 代谢组学在新药的毒理研究及安	
(二) 生物能的转换服从热力学定律	267	全性评价中的应用	286
二、化学反应中自由能的变化	268	(四) 代谢组学在微生物领域中的应用	286
(一) 化学反应中的标准自由能的变化与		(五) 代谢组学在研究基因功能中的应用	286
平衡常数	268	本章小结	286
(二) 标准自由能的变化可以预示化学反应		习题	287
的方向	269	第十一章 糖酵解和磷酸戊糖途径	289
(三) 实际的自由能的变化取决于反应物和		第一节 糖酵解	290
产物的浓度	270	一、糖酵解的反应历程	290
(四) 化学反应中标准自由能的变化是		(一) 葡萄糖(六碳糖)转变成磷酸丙糖	
可以相加的	270	(三碳糖)	290
第四节 有机物氧化是细胞重要的能量		(二) 甘油醛-3-磷酸转变成丙酮酸	294
来源	271	二、糖酵解反应的化学计量	298
一、氧化还原反应与氧化还原电势	272	三、丙酮酸在无氧下的代谢去向	298
(一) 氧化还原反应	272	(一) 乳酸的生成	299
(二) 标准氧化还原电势	272	(二) 酒精发酵	299
(三) 非标准氧化还原电势	274	四、2,3-二磷酸甘油酸的代谢	301
二、氧化还原电势与自由能变化的关系	274	五、果糖、甘露糖、半乳糖等己糖可转变成糖	
三、脱氢反应是生物氧化的主要形式	275	酵解中间物	302
(一) 电子转移的形式	275	(一) 果糖有两种不同的途径进入糖酵	
(二) 脱氢反应是体内氧化还原反应的		解途径	302
主要形式	275	(二) 甘露糖进入糖酵解途径	302
四、生物氧化还原反应的电子载体	276	(三) 半乳糖进入糖酵解途径	302
(一) NAD ⁺ 是生物氧化反应中的主要		第二节 糖酵解的调节	303
电子载体	276	一、磷酸果糖激酶处在糖酵解的最关键	
(二) FMN 和 FAD 也是重要的电子载体	277	控制部位	304
第五节 ATP 与磷酸基的转移	278	二、己糖激酶的活性调节	305
一、生物体内的高能磷酸化合物	278	三、丙酮酸激酶的活性调节	306
二、ATP 水解时标准自由能变化	279	四、转运载体对葡萄糖进出组织细胞的控制	307
(一) ATP 能量循环联系着细胞产能反应和		五、肿瘤细胞糖酵解与肿瘤细胞的定位	307
需能反应	279	第三节 磷酸戊糖途径	308
(二) ATP 水解释放很高的自由能	279	一、磷酸戊糖途径的基本过程	308
三、ATP 具有较高的磷酸基转移势	281	(一) 葡萄糖-6-磷酸的氧化以及 NADPH	
第六节 研究代谢的方法	282	和 5-磷酸核酮糖的生成	309
一、追踪代谢物去向	282	(二) 戊糖磷酸酯的相互转变和碳链的裂解	
二、代谢系统的扰乱	283	与形成	309
第七节 代谢组学的研究	283	(三) 磷酸戊糖途径的化学计量	310

二、磷酸戊糖途径存在的意义	311	二、乙醛酸途径存在的意义	334
三、转酮醇酶和转醛醇酶使磷酸戊糖途径与糖酵解途径相联系	312	本章小结	335
四、葡萄糖-6-磷酸脱氢酶控制着磷酸戊糖途径运转	312	习题	335
五、葡萄糖-6-磷酸代谢去向取决于细胞的需要	313	第十三章 电子传递与氧化磷酸化	337
本章小结	314	第一节 线粒体的结构与功能	337
习题	315	一、线粒体的形态和结构	337
第十二章 柠檬酸循环	317	二、线粒体的跨膜转运系统	338
第一节 丙酮酸的氧化	318	(一) 细胞溶质(胞液)还原辅酶的跨膜转运	338
一、丙酮酸脱氢酶复合物的结构	318	(二) ADP-ATP 转运载体	339
二、丙酮酸脱氢酶复合物催化的反应	318	第二节 电子传递链	340
三、辅酶 A 是重要的酰基载体	320	一、电子传递链及其组成	340
第二节 柠檬酸循环的反应与调节	321	(一) 烟酰胺腺嘌呤核苷酸	341
一、柠檬酸循环的发现	321	(二) 黄素蛋白	341
二、柠檬酸循环的酶促反应	321	(三) 铁-硫蛋白	342
(一) 柠檬酸的生成	321	(四) 辅酶 Q	342
(二) 异柠檬酸的形成	323	(五) 细胞色素	342
(三) 异柠檬酸的氧化脱羧	324	二、电子传递链的组织结构及其电子传递	344
(四) α -酮戊二酸的氧化脱羧反应	324	(一) 复合物 I 催化电子从 NADH 转移到辅酶 Q	344
(五) 琥珀酰 CoA 转变成琥珀酸	325	(二) 复合物 II 催化电子从琥珀酸向 CoQ 转移	346
(六) 琥珀酸氧化形成延胡索酸	325	(三) 复合物 III 催化电子从 CoQH_2 向细胞色素 c 转移	347
(七) 延胡索酸的水合反应	326	(四) 复合物 IV 催化电子从细胞色素 c 转移至氧分子	348
(八) 草酰乙酸的生成	327	三、电子传递抑制剂揭示电子传递的顺序	349
三、柠檬酸循环是二碳单位氧化和还原型辅酶产生的主要途径	327	四、电子传递复合物联合形成呼吸体	350
四、柠檬酸循环为细胞活动提供了有效的能量保障	327	五、电子的传递存在产生活性氧的危险	351
(一) 柠檬酸循环是产生能量的主要途径	327	第三节 氧化磷酸化	351
(二) 柠檬酸循环也是其他有机物完全氧化的主要途径	328	一、化学渗透学说	352
五、柠檬酸循环的双向功能	329	二、解偶联实验证实 ATP 的合成需要跨膜的质子梯度	353
六、柠檬酸循环中间物的回补	330	三、ATP 合酶催化 ATP 的合成	353
(一) 丙酮酸羧化成草酰乙酸	330	(一) ATP 合酶的结构	353
(二) 磷酸烯醇式丙酮酸转变成草酰乙酸	330	(二) ATP 合成的机制	355
(三) 苹果酸酶催化丙酮酸羧化为苹果酸	330	四、P/O 比	356
第三节 柠檬酸循环的调节	331	第四节 氧化磷酸化的控制	357
一、丙酮酸脱氢酶复合物活性的调节	331	一、氧化磷酸化的速度取决于细胞对 ATP 的需要	357
(一) 别构调节	331	二、ATP 的合成与物质分解代谢是共调节的	357
(二) 共价修饰调节	332	三、解偶联蛋白调节热量的产生	357
二、柠檬酸循环的活性控制	332	本章小结	359
第四节 乙醛酸途径	333	习题	360
一、乙醛酸途径代谢过程	333		

第十四章 糖异生作用和糖原代谢	362	(二) 磷蛋白磷酸酶 1 逆转蛋白激酶对 糖原代谢的调节效应	382
第一节 糖异生作用	362	(三) 磷蛋白磷酸酶 1 和糖原合酶激酶介 导胰岛素的效应	383
一、糖异生作用的前体	362	本章小结	385
二、动物的肝和肾是糖异生作用的主要场所.....	362	习题	385
三、糖异生作用的途径	363	第十五章 光合作用	387
(一) 丙酮酸转变成磷酸烯醇式丙酮酸	364	第一节 叶绿体是光合作用的部位	387
(二) 糖异生作用的代谢物跨膜转运	365	一、叶绿体的结构和功能	387
(三) 糖异生作用需要果糖-1,6-二磷酸 酶和葡萄糖-6-磷酸酶	365	二、光的吸收	388
四、糖异生作用的能量消耗	366	(一) 叶绿素为光合作用吸收光能	389
五、Cori 循环	367	(二) 辅助色素扩大了光吸收的范围	389
第二节 糖异生作用的调节	368	第二节 光反应	391
一、细胞能量水平决定糖异生和糖酵解的 活性	368	一、光合单位、光化学反应中心与光系统	391
(一) 丙酮酸羧化酶和丙酮酸激酶是交互 调节的重要控制点	368	二、光推动电子从 H ₂ O 流向 PS II	392
(二) 果糖-1,6-二磷酸酶和磷酸果糖激 酶也是糖异生的重要控制点	369	(一) P680 的激发与电荷分离形成 P680 ⁺ ...	393
(三) 果糖-2,6-二磷酸对糖异生和糖酵 解的控制	369	(二) P680 ⁺ 接收电子后恢复到基态 P680 ...	393
(四) 葡萄糖-6-磷酸酶和葡萄糖激酶 的控制	371	(三) 酪氨酸自由基从水裂解复合物的 锰簇中获取电子	393
二、底物循环提供了代谢控制的机制	371	(四) 氧化态的 Mn 复合物使 H ₂ O 裂解	393
第三节 糖原的降解	371	三、细胞色素 b ₆ /f 复合物连接 PS II 和 PS I	395
一、糖原磷酸化酶催化糖原的磷酸解	372	四、PS I 的电子传递与 NADPH 的合成	395
二、糖原磷酸化酶的结构和作用机制	373	五、非循环式光合电子传递的“Z”通路	396
三、糖原脱支酶是一种双功能酶	373	六、光合磷酸化反应	397
四、葡萄糖-1-磷酸转变成葡萄糖-6-磷酸 ...	374	(一) 质子梯度将电子流动与磷酸化偶联	397
五、葡萄糖-6-磷酸的去向	375	(二) 光合磷酸化的化学计量	398
第四节 糖原的合成	376	(三) 叶绿体 ATP 合酶催化 ATP 的合成	399
一、UDP-葡萄糖是糖基转移的活泼形式.....	376	第三节 暗反应——固定 CO₂ 的卡尔 文循环	400
二、糖原合酶催化的反应需要引物	377	一、CO ₂ 的固定和还原反应	400
(一) 糖原合酶是催化糖原合成的主要 的酶	377	(一) Rubisco 催化 CO ₂ 同化成 3-磷酸 甘油酸	400
(二) 糖原蛋白能催化新引物的合成	377	(二) 3-磷酸甘油酸还原成 3-磷酸甘油醛 ...	401
三、糖原分支酶催化分支的产生	378	(三) 核酮糖-1,5-二磷酸的重新生成	402
第五节 糖原代谢的调节	378	二、CO ₂ 同化的化学计量	402
一、糖原磷酸化酶的活性调节	379	三、磷酸丙糖与无机磷酸的对向转运	404
(一) 肌糖原磷酸化酶的别构调节	379	四、卡尔文循环的调节	404
(二) 肌糖原磷酸化酶的共价修饰调节	379	(一) Rubisco 是卡尔文循环调节的重要点 ...	404
(三) 肝糖原磷酸化酶的别构调节	380	(二) 卡尔文循环酶光激活的其他调 节机制	405
二、糖原合酶的活性调节	380	第四节 光呼吸作用	406
三、糖原磷酸化和糖原合酶的级联调节	381	一、Rubisco 的加氧酶活性	407
(一) 依赖于 cAMP 的蛋白激酶系统	381	二、光呼吸作用涉及三种不同的亚细胞结构.....	407
		三、C ₄ 与 CAM 植物的碳同化	407

(一) CO ₂ 同化的 C ₄ 途径	407	(一) 乙酰 CoA 的来源	430
(二) CO ₂ 同化的景天酸代谢(CAM)途径	409	(二) NADPH 的来源	430
本章小结	410	(三) ATP 的来源	430
习题	410	六、糖转变成软脂酸	430
第十六章 脂质代谢	412	(一) 糖转变成软脂酸的化学计量	430
第一节 脂质的消化、吸收、动员与转运	412	(二) 糖转变成脂肪酸的途径	431
一、食物性脂质的消化、吸收	412	七、脂肪酸碳链延长途径	431
二、脂质的转运由载脂蛋白完成	413	(一) 线粒体脂肪酸碳链延长反应	431
(一) 载脂蛋白的种类和它们的结构特征	414	(二) 内质网脂肪酸碳链延长反应	432
(二) 载脂蛋白的功能	414	八、不饱和脂肪酸的合成	432
三、激素与储脂的动员	416	(一) 单不饱和脂肪酸的合成	432
第二节 脂肪酸氧化	417	(二) 多不饱和脂肪酸的合成	433
一、 β -氧化途径是脂肪酸降解的基本途径	417	九、脂肪酸合成的调节	433
(一) 脂肪酸的活化	417	(一) 脂肪酸合成限速酶的调节	433
(二) 脂肪酸的跨膜转运	417	(二) 代谢物的调节作用	434
(三) 脂肪酸的 β -氧化过程	418	(三) 激素的调节作用	434
二、脂肪酸氧化产生的能量	419	第五节 三酰甘油的合成	435
三、奇数碳原子脂肪酸的氧化	419	一、三酰甘油的合成需要脂肪酸和磷酸甘油	435
四、不饱和脂肪酸的氧化	419	二、三酰甘油合成途径	435
(一) 不饱和脂肪酸的氧化需要额外		三、三酰甘油合成的调节	436
的酶参与	419	第六节 膜脂类的合成	436
(二) 维生素 B ₁₂ 及其辅酶在脂肪酸氧化中		一、磷酸甘油是磷脂酰甘油合成的前体	436
的作用	420	(一) 磷脂酰乙醇胺和磷脂酰胆碱的合成	437
五、脂肪酸氧化的调节	421	(二) 磷脂酰丝氨酸的合成	437
六、脂肪酸氧化的其他途径	422	二、鞘脂类的合成	438
(一) 脂肪酸的 α -氧化	422	(一) 鞘磷脂的合成	438
(二) 脂肪酸的 ω -氧化	423	(二) 鞘糖脂的合成	438
第三节 酮体的代谢	423	第七节 胆甾醇的代谢	440
一、酮体的形成发生在肝组织中	423	一、胆甾醇的生物合成需要乙酰 CoA	440
二、酮体是肝外组织重要的燃料分子	424	(一) 甲羟戊酸的合成	440
三、酮体生成的生理和病理意义	424	(二) 鲨烯的合成	441
第四节 脂肪酸的生物合成	425	(三) 胆甾醇的合成	441
一、脂肪酸的从头合成发生在细胞溶质		二、胆甾醇在体内的代谢转变	441
(胞质溶胶)中	425	三、胆甾醇代谢的调节	442
二、脂肪酸合成需要乙酰 CoA	425	本章小结	444
三、丙二酸单酰 CoA 是二碳单位的供体形式	425	习题	445
(一) 乙酰 CoA 羧化酶催化丙二酸单酰		第十七章 氨基酸代谢	446
CoA 的形成	425	第一节 氨基酸生物合成的氮源、碳源	
(二) 乙酰 CoA 羧化酶的组织结构	425	以及氮的同化	446
四、脂肪酸合酶催化软脂酸的合成	426	一、氨基酸合成氮的来源	446
(一) 脂肪酸合酶的组织结构	426	(一) 硝酸盐还原酶和亚硝酸盐还原酶	
(二) 软脂酸生物合成的化学反应	427	催化硝酸盐的还原	446
(三) 软脂酸合成的化学计量	428	(二) 固氮酶系统将大气中的氮气固定	
五、乙酰 CoA、NADPH 以及 ATP 的来源	430	还原成铵	447

二、 α -酮酸是氨基酸生物合成的直接碳骨架	448	一、氨的代谢去向	472
三、氨的同化途径	449	二、尿素的合成——鸟氨酸循环	472
(一) 谷氨酸脱氢酶催化氨掺入 α -酮戊二酸合成谷氨酸	449	(一) 尿素合成的反应历程	472
(二) 谷氨酰胺合成酶催化谷氨酰胺的合成	450	(二) 尿素合成的氨供体与能量消耗	474
(三) 谷氨酰胺合成酶-谷氨酸合酶循环	450	(三) 尿素循环与三羧酸循环的联系	475
四、谷氨酰胺合成酶是氮素代谢的主要控制点	451	(四) 尿素合成的调节	476
五、碳、氮代谢的关系	452	(五) 高血氨症与氨中毒	477
第二节 氨基酸的合成代谢	453	三、氨的转运	477
一、必需氨基酸与非必需氨基酸	454	(一) 丙氨酸-葡萄糖循环	477
二、非必需氨基酸的合成	454	(二) 谷氨酰胺是重要的氨转运形式	477
(一) 丙氨酸、天冬氨酸、天冬酰胺、谷氨酸与谷氨酰胺的合成	454	第六节 氨基酸的分解代谢	478
(二) 谷氨酸是脯氨酸和精氨酸合成的前体	455	一、丙氨酸、半胱氨酸、丝氨酸、甘氨酸、苏氨酸和色氨酸转变成丙酮酸	479
(三) 3-磷酸甘油酸是丝氨酸和甘氨酸合成的前体	457	二、精氨酸、脯氨酸、组氨酸、谷氨酸和谷氨酰胺转变成 α -酮戊二酸	480
(四) 半胱氨酸由丝氨酸和甲硫氨酸合成	457	三、甲硫氨酸、缬氨酸和异亮氨酸转变成琥珀酰 CoA	481
(五) 酪氨酸由苯丙氨酸合成	459	四、苯丙氨酸和酪氨酸降解产生延胡索酸和乙酰乙酸	482
三、必需氨基酸的合成	459	五、亮氨酸和赖氨酸降解产生乙酰 CoA 和乙酰乙酸	483
(一) 天冬氨酸族氨基酸的合成	459	六、天冬酰胺和天冬氨酸降解成草酰乙酸	483
(二) 丙酮酸族氨基酸的合成	459	第七节 氨基酸与生物活性物质	484
(三) 芳香族氨基酸的合成	460	一、氨基酸脱羧产生胺类	484
(四) 组氨酸的合成	461	(一) 儿茶酚胺类	484
四、氨基酸合成代谢的调节	462	(二) 组胺和 5-羟色胺的合成	485
(一) 产物反馈抑制——控制酶活性的方式	462	(三) 多胺	486
(二) 酶合成量的调节	464	二、氨基酸与一碳单位	486
第三节 蛋白质在体内的降解	465	(一) 四氢叶酸是一碳单位的载体	486
一、细胞外途径	466	(二) 氨基酸与一碳单位	486
二、细胞内途径	466	(三) 一碳单位的生理功能	487
(一) 溶酶体途径	466	三、氨基酸参与其他生物活性物质的合成	487
(二) 泛素途径	466	(一) 肌酸与磷酸肌酸	487
三、细胞程序性死亡	467	(二) 一氧化氮	489
第四节 氨基酸的脱氨基作用	468	(三) 谷胱甘肽	489
一、氧化脱氨基作用	468	(四) 原卟啉与血红素	489
(一) L-氨基酸氧化酶与 D-氨基酸氧化酶	468	本章小结	490
(二) L-谷氨酸脱氢酶	468	习题	491
二、转氨基作用	469	第十八章 核苷酸代谢	492
三、联合脱氨基作用	470	第一节 嘌呤核苷酸的生物合成	492
四、其他脱氨基反应	471	一、嘌呤环的原子来源	492
第五节 鸟氨酸循环	472	二、嘌呤核苷酸的从头合成	492
		(一) 5-磷酸核糖焦磷酸是嘌呤核苷酸从头合成的起始物	492

(二) 次黄嘌呤核苷酸的合成	493	第十九章 DNA 复制、损伤与修复	512
(三) 腺嘌呤核苷酸和鸟嘌呤核苷酸的 合成	494	第一节 DNA 复制概述	512
三、嘌呤核苷酸从头合成的调节	495	一、DNA 的复制是半保留的	512
(一) 磷酸核糖焦磷酸转酰胺酶是主要的 反馈调节部位	495	二、DNA 复制的起点与复制方式	513
(二) 腺苷酸代琥珀酸合成酶和 IMP 脱氢 酶是重要的控制点	495	(一) DNA 的复制是定点起始双向进行的	513
(三) 磷酸核糖焦磷酸激酶的调节	495	(二) 某些 DNA 的复制是定点起始单 向进行的	514
四、嘌呤核苷酸合成的补救途径	496	(三) 复制起点的结构特点	515
(一) 嘌呤碱与 PRPP 反应生成嘌呤核 苷酸	496	三、DNA 冈崎片段与半不连续复制	516
(二) 腺苷激酶催化腺嘌呤核苷磷酸化	496	四、DNA 复制需要 RNA 引物	516
第二节 嘧啶核苷酸的合成	497	第二节 原核生物 DNA 的复制	516
一、嘧啶环的原子来源	497	一、DNA 聚合酶 I	516
二、嘧啶核苷酸的从头合成	497	(一) DNA 聚合酶 I 结构与功能	517
(一) 尿嘧啶核苷酸的合成	497	(二) DNA 聚合酶 I 催化的条件和反应 机制	517
(二) 胞嘧啶核苷三磷酸的合成	498	(三) DNA 聚合酶 I 的 3'→5' 外切酶活性	517
三、嘧啶核苷酸从头合成的调节	498	(四) DNA 聚合酶 I 的 5'→3' 外切酶活性	519
四、嘧啶核苷酸合成的补救途径	499	二、DNA 聚合酶 III 催化 DNA 的复制合成	519
第三节 脱氧核糖核苷酸的合成	500	(一) DNA 聚合酶 II 与 III 的发现	519
一、核糖核苷酸还原酶体系催化脱氧核苷酸 的合成	500	(二) DNA 聚合酶 III 全酶催化 DNA 的 合成	520
(一) 核糖核苷酸还原酶体系	500	(三) DNA 聚合酶 III 的亚基组成	520
(二) 核糖核苷酸还原酶体系催化的反应	501	三、DNA 复制的过程	521
二、脱氧胸嘧啶核苷酸的合成	502	(一) DNA 复制的起始——形成复制叉、 合成引物	521
三、脱氧核苷三磷酸合成与调节	502	(二) DNA 链的延伸	523
第四节 核苷酸的分解代谢	504	(三) RNA 引物的切除和缺口的填补	524
一、嘌呤核苷酸的分解代谢途径	504	(四) DNA 连接酶催化冈崎片段的连接	524
二、嘧啶核苷酸的分解代谢途径	504	(五) 复制的终止	525
第五节 核苷酸代谢异常和抗代谢物	506	四、DNA 复制的保真性	525
一、核苷酸代谢异常产生的疾病	506	(一) Watson-Crick 碱基配对规则提供了 结构保障	525
(一) 痛风	506	(二) DNA 聚合酶催化反应的保真性	526
(二) 自毁容貌症	507	(三) 利用核苷酸代谢库调节系统和体内 多种修复系统	526
(三) 腺苷脱氨酶免疫缺陷症	507	第三节 真核生物 DNA 的复制	526
(四) 乳清酸尿症	507	一、真核生物 DNA 复制的特点	526
二、抑制剂与抗核苷酸代谢药物	508	二、细胞周期控制 DNA 的复制	527
(一) 嘌呤类似物	508	三、真核生物 DNA 聚合酶	528
(二) 嘧啶类似物	508	四、真核生物 DNA 复制叉上的反应	529
(三) 核苷类似物	509	(一) 先导链的合成	529
(四) 谷氨酰胺和天冬氨酸类似物	509	(二) 后随链的合成	529
(五) 叶酸类似物	509	(三) T 抗原的功能通过蛋白质磷酸化 调节	529
本章小结	510		
习题	511		