



# 生物化学原理

张楚富 主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

# 生物化学原理

主 编 张楚富

编写人员(以汉语拼音字母顺序为序)

陈 芳 何之常 洪嘉玲

彭芳芳 汪炳华 王鄂生

张楚富

高等教育出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

生物化学原理 /张楚富主编. —北京:高等教育出版社,2003.9

ISBN 7-04-012189-1

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(2003)第 056881 号

---

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 100011  
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 850×1168 1/16  
印 张 43  
字 数 108 000

版 次 2003 年 9 月第 1 版  
印 次 2003 年 9 月第 1 次印刷  
定 价 52.00 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**

# 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,在现代生命科学的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

策划编辑	吴雪梅
责任编辑	田 军
封面设计	张 楠
责任绘图	朱 静
版式设计	胡志萍
责任校对	杨雪莲
责任印制	宋克学

## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581698/58581879/58581877

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn 或 chenrong@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)64014089 64054601 64054588

# 目 录

<b>第一章 导论</b> .....	1
<b>第一节 生命、细胞和生物分子</b> .....	1
一、生物分子 .....	1
(一) 生物分子是含碳的化合物 .....	1
(二) 生物分子是分级的 .....	1
二、细胞是生命的基本单位 .....	2
三、生物分子的特性反映它们对生命状态的适应 .....	3
(一) 生物大分子和它们的构件具有方向性 .....	3
(二) 某些生物大分子是信息分子 .....	4
(三) 生物大分子具有特征性结构 .....	4
(四) 非共价作用力维持生物大分子的结构 .....	4
(五) 结构互补性影响着生物分子的相互作用和生命状态 .....	4
(六) 生命活动限制在一个窄小的环境范围内 .....	4
<b>第二节 水是生命的介质</b> .....	5
一、水分子的结构 .....	5
二、水参与了许多生物化学过程 .....	6
三、水的溶剂特性 .....	6
四、疏水相互作用 .....	6
五、中极两性化合物 .....	7
六、水的离子化和 pH .....	7
七、酸碱化学 .....	8
(一) 酸是质子的供体 .....	9
(二) 酸的强度可用它的解离常数来表示 .....	9
(三) 溶液的 pH 由酸和碱的相对浓度决定 .....	9
八、缓冲系统 .....	10
<b>第三节 生物化学与其他学科的关系</b> .....	11
一、生物化学与化学、物理学和数学的关系 .....	11
二、生物化学与生物学其他学科的关系 .....	12
<b>第二章 氨基酸与蛋白质的一级结构</b> .....	13
<b>第一节 氨基酸</b> .....	13
一、氨基酸的种类和结构 .....	13
(一) 氨基酸的结构共性 .....	13
(二) 氨基酸侧链的性质与分类 .....	14
(三) 氨基酸名称的缩写符号 .....	16
二、“非标准”氨基酸 .....	17
三、氨基酸的旋光性和构型 .....	17



四、氨基酸的酸碱性质 .....	19
(一) 氨基酸的两性电离性质 .....	19
(二) 氨基酸的酸碱滴定曲线 .....	21
(三) 滴定曲线可以预示氨基酸的电荷变化 .....	22
第二节 氨基酸分离和分析 .....	24
一、氨基酸的电泳分离 .....	25
二、离子交换层析是分离氨基酸的有效方法 .....	26
第三节 肽 .....	28
一、肽、肽键和肽链 .....	28
二、肽的性质 .....	30
三、生物活性肽 .....	30
第四节 蛋白质的分离与鉴定 .....	32
一、蛋白质的溶解性质与盐析分离 .....	32
二、离子交换柱层析 .....	34
三、疏水(相互作用)层析 .....	35
四、凝胶过滤层析 .....	35
五、蛋白质的配体专一性与亲和层析分离 .....	36
六、蛋白质电泳 .....	37
(一) 非变性聚丙烯酰胺凝胶电泳 .....	38
(二) SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳 .....	38
(三) 双向电泳 .....	39
(四) 毛细管电泳 .....	40
(五) 电泳后的蛋白质检测 .....	40
第五节 蛋白质一级结构的测定 .....	41
一、蛋白质结构概述 .....	41
二、蛋白质一级结构测定 .....	42
(一) 末端分析 .....	43
(二) 二硫键的拆开 .....	44
(三) 氨基酸组成分析 .....	45
(四) 肽链的部分水解 .....	45
(五) 肽碎片的氨基酸顺序分析 .....	47
(六) 片段重叠重构完整肽链的氨基酸顺序 .....	48
(七) 测定蛋白质基因的顺序可推测蛋白质的一级结构 .....	49
(八) 数据库可提供不同蛋白质顺序的信息 .....	49
三、蛋白质与生物进化 .....	49
(一) 蛋白质氨基酸的顺序与生物进化 .....	50
(二) 基因复制和蛋白质家族 .....	50
四、完全不同的蛋白质也可能来自同一个祖先 .....	53
五、蛋白质一级结构的个体差异 .....	54
<b>第三章 蛋白质的结构与功能 .....</b>	<b>55</b>
第一节 研究蛋白质空间结构的方法 .....	55
一、X 射线晶体衍射法是研究蛋白质空间结构的主要方法 .....	55

二、核磁共振光谱法研究液态蛋白质的构象 .....	57
第二节 蛋白质的二级结构 .....	57
一、肽基的结构 .....	57
二、多肽链主链的构象可以用它们的扭角来描述 .....	57
三、多肽允许的构象可以用拉式图预测 .....	59
四、 $\alpha$ -螺旋是有规律的主链构象 .....	60
五、 $\beta$ -结构 .....	62
六、非重复结构 .....	63
(一) $\beta$ -转角 .....	64
(二) 环形构象 .....	64
(三) 无序结构 .....	64
第三节 纤维状蛋白质——细胞和组织的结构物质 .....	65
一、 $\alpha$ -角蛋白——螺旋的螺旋 .....	65
二、丝心蛋白 .....	66
三、胶原蛋白 .....	67
第四节 球状蛋白质和三级结构 .....	70
一、三级结构的某些特征 .....	70
(一) 球状蛋白质通常含有 $\alpha$ -螺旋和 $\beta$ -折叠两种结构要素 .....	70
(二) 侧链基团的定位随它们的极性而变化 .....	71
(三) 球状蛋白质具有紧密堆砌的核心 .....	71
(四) 超二级结构 .....	71
(五) 域结构 .....	72
二、蛋白质空间结构稳定的因素 .....	73
(一) 静电相互作用 .....	73
(二) 氢键 .....	75
(三) 疏水作用 .....	75
(四) 二硫键 .....	77
三、蛋白质的变性与复性 .....	78
(一) 蛋白质的变性导致空间构象的破坏 .....	78
(二) 蛋白质的复性实验 .....	79
四、蛋白质折叠途径 .....	80
(一) 多肽链的折叠是一个有序的过程 .....	80
(二) 分子伴侣 .....	81
五、蛋白质结构预测 .....	82
第五节 寡聚体蛋白质和四级结构 .....	83
一、四级结构研究的内容 .....	83
二、寡聚体蛋白质亚基的对称性 .....	83
(一) 环状对称 .....	84
(二) 二面体对称 .....	84
(三) 其他类型的旋转对称 .....	85
三、亚基组成的测定 .....	85
(一) 杂交法提供四级结构的信息 .....	85

(二) 交联法 .....	85
四、寡聚体蛋白质存在的意义 .....	85
(一) 提高蛋白质的稳定性 .....	85
(二) 遗传上的经济性和有效性 .....	86
(三) 亚基汇聚形成酶的活性部位 .....	86
(四) 协同性 .....	86
第六节 蛋白质空间结构与功能的关系 .....	86
一、血红蛋白与肌红蛋白的生理作用 .....	86
二、肌红蛋白和血红蛋白的结构 .....	87
(一) 肌红蛋白的结构 .....	87
(二) 血红蛋白的结构 .....	88
三、血红蛋白与肌红蛋白的氧合曲线 .....	89
(一) 氧合曲线的比较 .....	89
(二) 氧合曲线的不同反映出生理环境的差异 .....	92
四、协同效应的机制 .....	92
(一) 氧合和脱氧血红蛋白有不同的四级结构 .....	92
(二) 协同效应的机制 .....	93
五、 $H^+$ 和 $CO_2$ 能促进血红蛋白与氧的解离 .....	95
(一) 波尔效应促进氧的转运 .....	95
(二) 波尔效应产生的原因 .....	96
(三) $CO_2$ 影响血红蛋白对氧亲和力的机制 .....	97
六、二磷酸甘油酸对血红蛋白与 $O_2$ 结合的影响 .....	97
<b>第四章 酶</b> .....	100
<b>第一节 酶的基本性质</b> .....	100
一、酶是生物催化剂 .....	100
二、酶加快细胞内的化学反应速率 .....	100
三、酶不能改变化学反应的平衡 .....	101
四、酶的催化反应具有专一性 .....	101
五、酶的组成 .....	101
(一) 酶是蛋白质 .....	101
(二) 酶的组成 .....	102
(三) 酶的活性部位 .....	103
六、某些 RNA 具有催化活性 .....	103
七、催化抗体——抗体酶 .....	104
<b>第二节 酶的命名与分类</b> .....	105
一、酶的命名 .....	105
二、酶的分类 .....	106
<b>第三节 酶反应动力学</b> .....	107
一、化学反应动力学 .....	108
(一) 化学反应级数与速率方程 .....	108
(二) 活化能与速率常数的关系 .....	109
二、酶促反应动力学 .....	109

(一) 米-曼氏方程 .....	110
(二) 米氏常数的涵义 .....	111
(三) $V_{\max}$ 、 $K_m$ 和反应级数的关系 .....	112
(四) 酶单位 .....	113
(五) 转换数 .....	113
(六) $k_{\text{cat}}/K_m$ .....	114
(七) $K_m$ 和 $V_{\max}$ 可从直线方程图求解 .....	114
(八) pH 对酶活性的影响 .....	117
(九) 温度对酶活性的影响 .....	118
三、多底物酶促动力学 .....	118
(一) 顺次反应 .....	118
(二) 乒乓反应 .....	119
第四节 酶的抑制作用 .....	122
一、可逆抑制剂同酶的结合都是非共价的 .....	122
(一) 竞争性抑制剂只同自由酶结合 .....	122
(二) 反竞争性抑制剂只能同 ES 结合 .....	123
(三) 非竞争性抑制剂既能同酶结合又能同 ES 结合 .....	123
二、可逆抑制剂在实验室和临床上的应用 .....	125
三、不可逆抑制剂与酶共价结合 .....	127
第五节 酶的作用机制 .....	128
一、酶的底物专一性 .....	129
(一) 酶的底物立体专一性 .....	129
(二) 酶的几何专一性 .....	130
二、专一性是分子识别的结果 .....	131
(一) “锁-钥”模型 .....	131
(二) “诱导契合”模型 .....	131
三、酶和底物间的相互作用力是催化作用的关键 .....	132
(一) 底物与酶的邻近极大地有利于酶促反应 .....	132
(二) 酶-底物复合物的形成伴随着熵减和去稳定 .....	132
四、酶能使转换态稳定 .....	134
五、酸-碱催化 .....	135
六、共价催化 .....	135
七、金属离子催化 .....	138
八、溶菌酶的作用机制 .....	139
(一) 溶菌酶的结构及与底物的结合 .....	140
(二) 溶菌酶的催化机制 .....	141
九、丝氨酸蛋白酶的结构特点与作用机制 .....	142
(一) 丝氨酸蛋白酶的结构特点 .....	142
(二) 丝氨酸蛋白酶的作用机制 .....	144
(三) 丝氨酸蛋白酶进化上的关系 .....	144
十、天冬氨酸蛋白酶类的结构特点与作用机制 .....	145
(一) 天冬氨酸蛋白酶类的结构特点 .....	145
(二) 天冬氨酸蛋白酶的作用机制 .....	146

(三) AIDS 病毒 HIV 蛋白酶是一种天冬氨酸蛋白酶 .....	146
第六节 酶活性的调节 .....	148
一、酶原的激活 .....	148
二、同工酶 .....	149
三、多酶复合物和多功能酶 .....	150
(一) 多酶复合物 .....	150
(二) 多功能酶 .....	150
四、别构酶 .....	151
(一) 别构酶的结构特点 .....	151
(二) 别构效应 .....	151
(三) 调节物 .....	151
(四) 别构酶的动力学特征 .....	152
(五) 别构酶亚基之间的通讯联系 .....	153
五、共价修饰 .....	154
第五章 核酸 .....	157
第一节 核苷酸与核酸的共价结构 .....	157
一、核苷酸由碱基、戊糖和磷酸组成 .....	157
(一) 含氮碱 .....	157
(二) 核苷 .....	159
二、DNA 和 RNA 中的核苷酸 .....	159
(一) 核酸中的核苷酸类别 .....	159
(二) 细胞内游离的核苷酸及核苷酸衍生物 .....	161
三、紫外吸收特性 .....	162
四、核苷酸的解离性质 .....	164
五、磷酸二酯键与多聚核苷酸链 .....	165
第二节 DNA 的结构 .....	168
一、DNA 分子的碱基组成特征 .....	168
二、DNA 的二级结构 .....	168
(一) Watson - Crick 双螺旋结构 .....	168
(二) 维持 DNA 双螺旋结构稳定的作用力 .....	169
(三) DNA 二级结构的其他形式 .....	171
(四) DNA 结构的多样性 .....	171
三、DNA 的柔性 .....	171
(一) DNA 的构象柔性是受到限制的 .....	172
(二) 糖 - 磷酸骨架存在结构张力 .....	173
四、DNA 的超螺旋结构 .....	173
(一) DNA 超螺旋 .....	173
(二) DNA 拓扑学性质 .....	175
五、DNA 结构与功能的关系 .....	176
(一) DNA 是遗传物质 .....	176
(二) 基因是 DNA 分子上的一段序列 .....	176
(三) DNA 双螺旋结构提供了遗传信息传递的基础 .....	177

(四) 基因指导蛋白质合成 .....	177
第三节 DNA 的序列分析 .....	178
一、DNA 限制性内切酶 .....	178
(一) DNA 的限制与修饰 .....	178
(二) 限制性内切酶和限制性图谱 .....	178
二、DNA 片段的核苷酸顺序测定 .....	181
(一) 链终止法 .....	181
(二) 测序的自动化为大规模 DNA 测序提供了技术保障 .....	181
三、DNA 分子组织结构的某些特点 .....	183
(一) 基因重叠 .....	183
(二) 基因中的插入序列 .....	184
(三) 重复序列(repetitive sequences) .....	185
(四) 回文结构 .....	185
第四节 RNA 的结构特征 .....	186
一、信使 RNA 的结构特征 .....	186
(一) 非翻译区和 Shine - Dalgarno 序列 .....	187
(二) 5'端甲基化“帽”结构 .....	187
(三) 3'端多聚腺苷酸结构 .....	187
二、转移 RNA 的结构 .....	188
(一) tRNA 的二级结构 .....	188
(二) tRNA 的三级结构 .....	189
三、核糖体 RNA .....	190
四、核内小分子 RNA .....	193
第五节 核酸的性质 .....	193
一、核酸的溶解性质 .....	193
二、核酸的紫外吸收特性 .....	193
三、核酸的沉降特性和浮力密度 .....	194
四、DNA 的变性与复性 .....	195
(一) DNA 的变性 .....	195
(二) DNA 的复性 .....	197
(三) DNA 印迹 .....	200
第六节 核酸的水解 .....	201
一、核酸的酸水解和碱水解 .....	201
(一) 酸水解 .....	201
(二) 碱水解 .....	201
二、核酸的酶水解 .....	201
(一) 核酸酶的专一性 .....	202
(二) 核糖核酸酶 .....	203
(三) 脱氧核糖核酸酶 .....	205
(四) 蛇毒磷酸二酯酶和脾磷酸二酯酶 .....	205
第六章 糖类 .....	206
第一节 单糖 .....	206

一、单糖的直链结构及构型 .....	206
(一) 单糖的直链结构 .....	206
(二) 单糖的 D- 及 L- 构型 .....	207
二、单糖的环状结构 .....	209
(一) 单糖的 $\alpha$ 和 $\beta$ 型 .....	209
(二) 单糖的 Haworth 式结构 .....	209
三、单糖的构象 .....	211
四、单糖的性质 .....	211
(一) 物理性质 .....	211
(二) 化学性质 .....	212
五、单糖的衍生物 .....	217
第二节 寡糖 .....	218
一、双糖 .....	218
(一) 蔗糖(sucrose) .....	218
(二) 麦芽糖(maltose) .....	219
(三) 乳糖(lactose) .....	219
二、三糖 .....	219
第三节 多糖 .....	220
一、同多糖 .....	220
(一) 淀粉 .....	220
(二) 糖原 .....	222
(三) 纤维素 .....	222
(四) 其他同多糖 .....	223
二、杂多糖 .....	224
(一) 透明质酸 .....	224
(二) 硫酸软骨素 .....	224
(三) 硫酸皮肤素 .....	225
(四) 肝素和硫酸肝素 .....	225
(五) 硫酸角质素 .....	225
三、细菌多糖 .....	225
(一) 肽聚糖 .....	225
(二) 磷壁酸 .....	226
(三) 脂多糖 .....	227
四、细胞表面多糖 .....	227
第四节 糖蛋白和蛋白聚糖 .....	229
一、糖蛋白 .....	229
(一) O- 连接糖蛋白 .....	229
(二) N- 连接糖蛋白 .....	230
(三) 糖蛋白的生物学功能 .....	230
二、蛋白聚糖 .....	230
<b>第七章 脂质和生物膜 .....</b>	<b>233</b>
第一节 三酰甘油 .....	233

一、脂肪酸	233
二、三酰甘油的结构和类型	236
三、三酰甘油的理化性质	236
(一) 物理性质	236
(二) 化学性质	236
第二节 甘油磷脂	237
一、甘油磷脂的结构和种类	238
(一) 甘油磷脂的结构	238
(二) 重要的甘油磷脂	238
二、甘油磷脂的理化性质	241
(一) 物理性质	241
(二) 化学性质	241
第三节 鞘脂类	241
一、鞘磷脂	241
二、鞘糖脂	242
(一) 中性鞘糖脂	242
(二) 酸性鞘糖脂	243
第四节 胆固醇	243
一、胆固醇的结构和性质	244
(一) 胆固醇的结构	244
(二) 胆固醇的性质	244
二、胆固醇在体内的转化	244
(一) 转化为胆汁酸	244
(二) 转化为类固醇激素	245
(三) 转化为 7-脱氢胆固醇	245
第五节 生物膜	246
一、生物膜的化学组成	247
(一) 脂质	248
(二) 膜蛋白	248
二、脂质双分子层是动态的结构	248
(一) 脂质双分子层的流动性具温度依赖性	248
(二) 胆固醇对膜流动性的调节	249
<b>第八章 生物能学</b>	<b>250</b>
第一节 生物能学和热力学	250
一、生物能的转换服从热力学定律	250
二、细胞需要自由能	251
三、化学反应中自由能的变化	252
(一) 化学反应中标准自由能的变化与平衡常数	252
(二) 标准自由能的变化可以预示化学反应的方向	253
(三) 实际自由能的变化取决于反应物和产物的浓度	253
(四) 化学反应中标准自由能的变化是可以相加的	254
第二节 生物氧化还原反应中的自由能变化	256



一、氧化还原反应与氧化还原电势 .....	256
(一) 氧化还原反应 .....	256
(二) 标准氧化还原电势 .....	256
(三) 非标准氧化还原电势 .....	258
二、氧化还原电势与自由能变化的关系 .....	259
三、生物氧化反应的电子载体 .....	260
(一) $\text{NAD}^+$ 是生物氧化反应中的主要电子载体 .....	260
(二) FMN 和 FAD 也是重要的电子载体 .....	261
第三节 ATP 在生物能学中的作用 .....	262
一、生物体内的高能磷酸化合物 .....	262
二、ATP 水解时标准自由能变化 .....	263
三、ATP 是细胞放能反应和吸能反应的主要化学偶联物 .....	265
四、ATP 具有较高的磷酸基转移势 .....	265
<b>第九章 代谢总论</b> .....	267
第一节 生物圈构筑了生物间的依存关系 .....	267
一、代谢的多样性 .....	267
二、氧在代谢中的作用 .....	267
三、生物圈中能量的流动与碳和氧的循环是密切相关的 .....	267
四、氮循环 .....	268
第二节 分解代谢和合成代谢 .....	269
一、分解代谢 .....	269
二、合成代谢 .....	269
三、合成代谢和分解代谢不是相互排他的 .....	270
第三节 代谢途径的控制 .....	271
一、代谢反应速率的热力学考虑 .....	271
二、代谢流量的控制 .....	272
第四节 研究代谢的方法 .....	273
一、追踪代谢物的去向 .....	273
二、扰乱系统 .....	274
<b>第十章 糖酵解和磷酸戊糖途径</b> .....	275
第一节 糖酵解 .....	275
一、糖酵解的反应顺序 .....	276
(一) 葡萄糖(六碳糖)转变成磷酸丙糖(三碳糖) .....	276
(二) 甘油醛-3-磷酸转变成丙酮酸 .....	279
二、糖酵解反应化学计量 .....	284
三、丙酮酸在无氧条件下的代谢去向 .....	286
(一) 乳酸的生成 .....	287
(二) 酒精发酵 .....	287
四、2,3-二磷酸甘油酸的代谢 .....	290
第二节 糖酵解的调节 .....	291
一、磷酸果糖激酶处在糖酵解的最关键控制部位 .....	291
二、己糖激酶的活性调节 .....	293