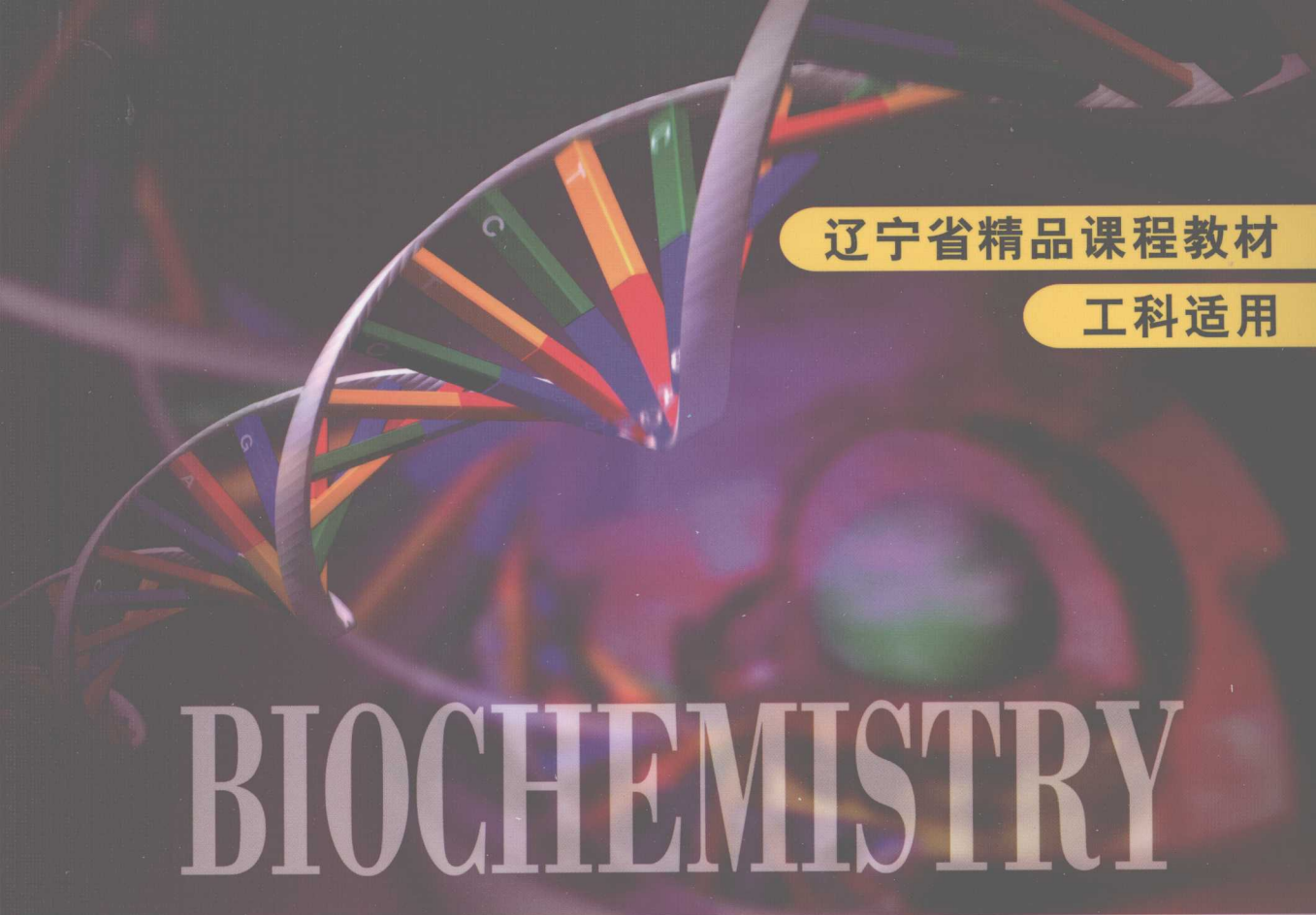




辽宁省精品课程教材

工科适用

BIOCHEMISTRY

生物化学

● 修志龙 主 编

● 李晓晖 金礼吉 副主编

适应现代工程教育的革新！

应教育部高校工程专业资格认证工作的要求编写！



化学工业出版社



BIOCHEMISTRY

生物化学

- 修志龙 主 编
- 李晓晖 金礼吉 副主编



化学工业出版社

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

生物化学/修志龙主编. —北京: 化学工业出版社, 2008.5

ISBN 978-7-122-02669-9

I. 生… II. 修… III. 生物化学 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 056905 号

BIOCHEMISTRY

生物化学

责任编辑: 傅四周 孟 嘉
责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 反反工作室

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 459 千字 2008 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

编者名单

主 编 修志龙

副主编 李晓晖 金礼吉

编写人员 黄丽萍 姜 波 柳丽芬 孙亚琴

戴建英 李世荣

编者序

生物学是 21 世纪研究最活跃的领域之一, 生物技术与生物产业也是世界各国竞相发展的高新技术与产业, 人们热切期待着生物技术能在解决全球面临的能源、食品、健康、环境等危机方面发挥更大的作用, 并且有助于社会和经济的持续、和谐、健康地发展。随着生物科学与技术的不断深入发展, 其他传统学科, 如数学、物理、化学、工程学、信息学、材料学、能源学等, 越来越多地介入到生物领域的研究与开发中。来自非生物学科的学生迫切需要增加生物学的知识, 了解生物学的一些最新研究成果。生物化学是生命学科的基础学科, 目前国内生物化学教材都是针对生物专业的学生编写的, 因此我们编写了针对非生物专业, 尤其是具有一定化学基础知识的工科学生的生物化学教材。

本书除了介绍生物化学的基础知识外, 还介绍了一些前沿研究工作以及生物技术的应用, 如第 2 章蛋白质中介绍了蛋白质药物研究, 第 3 章酶中介绍了酶在医疗、有机相催化、手性化合物拆分、环境保护、生物修复等方面的应用, 第 4 章核酸介绍了基因组学、重组 DNA 技术、PCR 技术、生物芯片、生物信息学等现代生物技术, 第 5 章细胞着重介绍了细胞膜的研究进展及其相关的疾病, 第 6 章生物氧化中有生物能的利用 (燃料乙醇、微生物燃料电池), 第 7~10 章新陈代谢介绍了一些与代谢相关的疾病, 第 11 章生物调控中介绍了基因调控, 第 12 章增加了工业生物技术的全面介绍, 尤其在生物质能源和生物基化学品的生产方面。

参加本书编写的人员: 第 1 章绪论为戴建英博士, 第 2 章蛋白质为李晓晖副教授, 第 3 章酶为柳丽芬教授和李晓晖副教授, 第 4 章核酸为姜波副教授, 第 5 章细胞和第 6 章生物能为黄丽萍副教授, 第 7、8、9、10 章糖代谢、脂类代谢、蛋白质降解和氨基酸代谢、核苷酸代谢为金礼吉副教授, 第 11 章生物调控为孙亚琴讲师, 第 12 章工业生物技术为修志龙教授、孙亚琴讲师、任剑刚讲师, 生物化学实验为金礼吉副教授, 另外李世荣博士、张乐同学参与第 5、6 章部分内容的补充, 闫春丽、马成伟、赵俊伟等同学帮助修改了部分图。修志龙教授和李晓晖副教授对全书进行了校订和修改。

由于我们水平有限, 编写教材又是新的尝试, 因此难免存在一些问题和不足, 希望读者能够提出宝贵意见, 以便再版补充、修改。

编者

2008 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 生物化学研究范畴	1
1.2 生物化学与其他学科的关系	2
1.3 生命中的化学元素	3
1.3.1 生命体的元素组成	3
1.3.2 生物大分子	4
1.4 生命中的水环境	5
1.4.1 水的性质	5
1.4.2 水分子对生物大分子的结构和性质的影响	7
1.4.3 缓冲溶液和生物体的缓冲体系	7
1.5 生物化学的发展前景	9
1.5.1 生命大分子物质的合成、结构与功能的研究	9
1.5.2 生物膜的研究	10
1.5.3 物质代谢调控的研究	10
1.5.4 生物工程的研究	10
小结	11
思考题	11
第 2 章 生命执行者——蛋白质	12
2.1 氨基酸	12
2.1.1 氨基酸概述	12
2.1.2 氨基酸的分类	13
2.1.3 氨基酸的性质	17
2.1.4 氨基酸的特征化学反应	19
2.1.5 非标准氨基酸	22
2.1.6 生物活性氨基酸	22
2.2 肽	23
2.2.1 肽和肽键	23
2.2.2 肽的性质	24
2.2.3 肽的化学合成	24
2.2.4 生物活性肽	25
2.3 蛋白质	27
2.3.1 蛋白质分类	27
2.3.2 蛋白质功能	28
2.3.3 蛋白质性质	29
2.4 蛋白质的结构	30
2.4.1 蛋白质的一级结构	31

2.4.2	蛋白质的二级结构	32
2.4.3	超二级结构和结构域	36
2.4.4	蛋白质的三级结构	37
2.4.5	蛋白质的四级结构	37
2.4.6	蛋白质一级结构的测定	38
2.4.7	蛋白质折叠和结构预测	40
2.5	蛋白质的功能	42
2.5.1	肌红蛋白	42
2.5.2	血红蛋白	44
2.5.3	抗体	47
2.5.4	蛋白质的序列同源性与进化关系	48
2.6	蛋白质的分离和纯化	49
2.6.1	根据分子大小不同的分离纯化方法	50
2.6.2	根据溶解度不同的分离纯化方法	51
2.6.3	根据带电性质不同的分离纯化方法	51
2.6.4	根据吸附性质不同的分离纯化方法	53
2.6.5	蛋白质含量与纯度的测定	53
2.7	蛋白质药物研究	54
	小结	55
	思考题	56
第3章	生物催化剂——酶	57
3.1	酶的命名、分类及组成	57
3.1.1	酶的命名	57
3.1.2	酶的分类及编号	58
3.1.3	酶的组成	59
3.1.4	辅因子	59
3.1.5	核酶	64
3.1.6	同工酶	64
3.2	酶的结构及催化特点	65
3.2.1	酶的结构	65
3.2.2	研究酶活性中心的方法	65
3.2.3	酶的催化特点	66
3.3	酶的催化机制	67
3.3.1	底物与酶的作用方式	67
3.3.2	酶催化作用机制	68
3.3.3	酶催化反应机制举例	69
3.4	酶的分离纯化及活力测定	72
3.4.1	酶的分离纯化	72
3.4.2	酶活性测定	72
3.4.3	酶活表征	73
3.5	酶催化动力学	73
3.5.1	米氏方程	73
3.5.2	酶催化反应的影响因素	75

3.6 酶的抑制作用	77
3.6.1 酶催化反应的抑制作用和类型	77
3.6.2 可逆抑制作用动力学	78
3.7 酶工程	81
3.7.1 人工酶和模拟酶	82
3.7.2 酶工程	83
3.8 酶的应用	86
小结	88
思考题	89
第4章 生命密码——核酸	90
4.1 核酸的分类和组成	90
4.1.1 核酸的分类	90
4.1.2 核酸的组成	91
4.2 核酸的结构	93
4.2.1 DNA 的结构	94
4.2.2 RNA 的结构	97
4.3 核酸的物理化学性质	99
4.3.1 核酸的理化性质	99
4.3.2 核酸的水解	100
4.3.3 核酸的紫外吸收	100
4.3.4 核酸的变性、复性和杂交	100
4.4 核酸的研究方法	102
4.4.1 核酸的分离纯化	102
4.4.2 核酸含量的测定	103
4.5 核酸序列的测定及化学合成	103
4.5.1 末端终止法	104
4.5.2 化学降解法	104
4.5.3 核酸的化学合成	105
4.6 核酸的生物功能	105
4.6.1 复制	106
4.6.2 转录	107
4.6.3 翻译	108
4.6.4 加工与修饰	109
4.7 核酸的应用技术	110
4.7.1 重组 DNA 技术	110
4.7.2 聚合酶链反应	111
4.7.3 16S rRNA 技术	112
4.7.4 分子杂交技术	112
4.7.5 核糖核酸干扰技术	112
4.7.6 反义核酸技术	113
4.7.7 核酸疫苗	113
4.7.8 基因芯片技术	113
4.7.9 生物信息学	114

4.8 基因、基因组及基因组学	114
4.9 DNA 畸变与遗传病	115
小结	116
思考题	116
第 5 章 生命单元——细胞	118
5.1 细胞的结构与功能	118
5.1.1 细胞的发现	118
5.1.2 细胞的分类	118
5.1.3 细胞的结构与功能	119
5.2 生物膜的组成与结构	121
5.2.1 生物膜的组成	121
5.2.2 生物膜的结构	124
5.3 生物膜的功能	125
5.3.1 生物膜功能简介	125
5.3.2 膜蛋白与膜脂的相互作用	127
5.4 生物膜与疾病	127
5.4.1 生物膜与恶性肿瘤	128
5.4.2 高血压病	128
5.5 生物膜的研究热点	128
5.5.1 信号转导途径	128
5.5.2 由膜蛋白介导的跨膜转运和能量转换	128
5.5.3 膜脂和膜蛋白的动力学组成和更新	129
5.5.4 膜的生物力学	129
5.5.5 发展基于膜的各种技术	129
小结	129
思考题	130
第 6 章 生物能	131
6.1 概述	131
6.1.1 生物氧化的方式	131
6.1.2 生物氧化反应与体外氧化反应的区别	131
6.1.3 线粒体的膜相结构	132
6.1.4 参与生物氧化的酶类	132
6.2 线粒体呼吸链的电子传递与非线粒体氧化代谢	134
6.2.1 生物氧化还原与自由能变化	134
6.2.2 NADH 氧化呼吸链	136
6.2.3 FADH ₂ 呼吸链	137
6.2.4 电子传递体复合物的组成与特性	137
6.2.5 ATP 的生成机制	138
6.2.6 线粒体的穿梭系统	140
6.2.7 氧化磷酸化的解偶联和抑制	142
6.2.8 非线粒体氧化代谢	143
6.3 活性氧代谢物的产生及意义	144
6.3.1 活性氧代谢物的生成	144

6.3.2	活性氧代谢物的作用及伤害	145
6.3.3	体内活性氧代谢物的清除机制	147
6.3.4	体内活性氧代谢物增加的原因与防止过量产生的措施	148
6.4	生物能与生物质能的利用	148
6.4.1	能量的储存与转换	149
6.4.2	能荷	149
6.4.3	光合作用	150
6.4.4	生物质能的开发利用	156
小结		159
思考题		160
第7章	糖代谢	161
7.1	糖的概念及其分类	161
7.1.1	单糖	161
7.1.2	低聚糖	163
7.1.3	多糖	164
7.2	糖的消化与吸收	164
7.2.1	糖的消化	165
7.2.2	糖的吸收和转运	165
7.3	糖的分解代谢	165
7.3.1	糖酵解途径	166
7.3.2	糖的有氧氧化	169
7.3.3	磷酸戊糖途径	173
7.4	糖原的合成与分解	174
7.4.1	糖原的合成	174
7.4.2	糖原的分解代谢	176
7.5	糖异生作用	177
7.5.1	糖异生途径	177
7.5.2	糖异生的生理意义	178
7.6	血糖	178
7.6.1	血糖的来源和去路	179
7.6.2	血糖浓度的调节	179
7.7	糖代谢途径之间的联系	180
小结		180
思考题		181
第8章	脂类代谢	182
8.1	脂类的消化和吸收	182
8.2	脂肪的分解代谢	183
8.2.1	甘油三酯的分解代谢	183
8.2.2	甘油的分解代谢	184
8.2.3	脂肪酸的分解代谢	184
8.2.4	酮体的代谢	187
8.3	甘油三酯的合成代谢	189
8.3.1	磷酸甘油的合成	189

8.3.2	脂肪酸的合成代谢	189
8.3.3	甘油三酯的合成	191
8.4	其他脂类的代谢	191
8.4.1	磷脂的代谢	191
8.4.2	胆固醇的代谢	192
8.5	血脂	194
	小结	195
	思考题	196
第9章	蛋白质降解和氨基酸代谢	197
9.1	蛋白质的消化、吸收	197
9.1.1	蛋白质的消化与氮平衡	197
9.1.2	氨基酸的吸收和转运	198
9.1.3	蛋白质的腐败	199
9.2	氨基酸的代谢	199
9.2.1	氨基酸的分解代谢	199
9.2.2	氨的代谢	201
9.2.3	α -酮酸的代谢	204
9.3	氨基酸的生物合成	206
	小结	206
	思考题	207
第10章	核苷酸代谢	208
10.1	核酸和核苷酸的分解代谢	208
10.2	核苷酸的生物合成	209
10.2.1	嘌呤核苷酸的合成	209
10.2.2	嘧啶核苷酸的合成	212
10.2.3	脱氧核苷酸的合成	213
10.2.4	辅酶核苷酸的生物合成	215
10.3	抗核苷酸代谢的物质	216
	小结	216
	思考题	217
第11章	生物调控	218
11.1	概述	218
11.2	生物调控的基本物质	219
11.2.1	生物调控的信号物质	219
11.2.2	激素及激素的调控作用机制	221
11.3	细胞-酶水平的调控	225
11.3.1	细胞结构的调控作用	226
11.3.2	酶的调控	227
11.4	化学调控与生物活性分子的设计	236
11.4.1	酶的化学激活和抑制	237
11.4.2	酶活性的化学调控与生物活性分子的设计	237
	小结	238

思考题	238
第 12 章 工业生物技术	240
12.1 生物质能源	242
12.1.1 燃料乙醇	242
12.1.2 沼气	244
12.1.3 生物柴油	246
12.1.4 生物制氢	248
12.2 生物基化工产品	249
12.2.1 1,3-丙二醇	250
12.2.2 2,3-丁二醇	253
12.2.3 乳酸	255
12.2.4 丙烯酰胺	256
12.2.5 甘油	257
12.2.6 柠檬酸	257
12.2.7 生物可降解高分子材料	257
小结	259
思考题	259
附录 生物化学实验	260
实验 1 大肠杆菌质粒 DNA 的提取——碱裂解法	260
实验 2 质粒 DNA 的琼脂糖凝胶电泳	261
实验 3 核酸的定量分析	263
实验 4 小牛肠碱性磷酸酶的提取及酶活测定	265
实验 5 考马斯亮蓝法测定蛋白质含量	266
实验 6 SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳测定蛋白质相对分子质量	268
参考文献	271

第 1 章 绪 论

1.1 生物化学研究范畴

人们生存的星球遍布着形态各异的生物，它们的外表和功能千差万别。那么，这些千姿百态的生物有没有共同的特征，科学家们又是如何揭示生命现象本质的呢？

生物化学，顾名思义，就是生命的化学，生命体是它的研究对象。生物化学主要是应用化学的理论和方法、从分子水平研究生命体内各物质的化学组成和生命过程中的化学变化，阐明生命中的化学本质、物质统一性、物质和能量的转化规律等。

生物化学是一门年轻的学科，其历史仅有一百多年。生物化学发展的萌芽时期可以追溯到 18 世纪的欧洲，1775 年前后，舍勒 (Carl Wilhelm Scheele) 研究生物体各种组织的化学组成，奠定了生物化学的基础。1785 年拉瓦锡 (Antoine-Laurent de Lavoisier) 和拉普拉斯 (Pierre-Simon Laplace) 首先证明在呼吸过程中吸入的氧被消耗，呼出的是二氧化碳，同时产生热能，阐明了呼吸过程的本质，这是生物化学中生物氧化与能量代谢的开端。接着，伯尔纳 (Claude Bernard) 在消化方面、巴斯德 (Louis Pasteur) 在微生物发酵方面、李比希 (Justus von Liebig) 在生物物质的定量分析方面都做出了显著的贡献。特别值得一提的是，1828 年沃勒 (Friedrich Wöhler) 首次用无机化合物合成生物体内发现的有机物——尿素，彻底地推翻了有机化合物只能在生物体内合成的错误观点。科学家们普遍认为尿素的人工合成是生物化学的开端，尽管此时离第一个生物化学系在大学的建立还有 75 年。自此以后，生物体内的糖类、脂类及氨基酸等物质被详尽地研究，核酸的发现、多肽的合成相继成功。

从 20 世纪初至 50 年代近半个世纪中生物化学迅速发展，科学家们在已有的研究基础上，运用多种实验方法进一步研究生物体内各种组成物质的代谢变化及相互转换。从营养的角度研究了生物对蛋白质的需要，发现了必需氨基酸、必需脂肪酸、各种维生素及生物生命活动不可缺少的微量元素；在酶学方面，确定了酶的蛋白质本质，并研究了一些酶的功能。在酶促化学反应研究的基础上，又深入地研究了酶、维生素、激素等生物活性物质在代谢中的作用，尤其建立了有关发酵和三羧酸循环等生化途径。对糖、脂肪、蛋白质及其代谢中间产物在体内代谢的变化研究以及它们之间的相互联系和转换的研究，已经构成一幅较为完整的代谢图。从 20 世纪 50 年代开始，生物化学的进展可谓突飞猛进，从分子水平上探讨生物分子的结构与功能之间的关系。生物化学研究技术得到极大改进，如同位素示踪法研究代谢途径，层析法、电泳法和超速离心法等分离与鉴定各种化合物，还应用各种自动分析仪（如氨基酸自动分析仪等）、近代物理方法和分析仪器（红外线、紫外线、X 射线等）测定生物分子的结构和功能。近几十年来，生物化学研究成果日新月异，生化科学家对生物大分子的分解代谢、生物合成途径以及相互之间的关系了解得更加清楚，如“中心法则”的完善，能够在 DNA 位点进行切割的限制性内切酶的发现，遗传密码的破译以及生物工程的诞生和迅速发展，核酸分子结构的测定，具有生物化学活性的蛋白质和基因的人工合成；人类基因组计划的实施、克隆技术的成功、代谢调控和生物膜研究的纵深推进使生物化学发展到一个崭新的时代。

在生物化学的发展史上，里程碑式的研究成果有：

1828年，Friedrich Wöhler 从无机化合物氰化铵合成有机化合物尿素；

1833年，Anselme Payen 发现第一个酶（酵素）——淀粉酶；

1869年，Friedrich Miescher 发现遗传物质核素；

1896年，Eduard Buchner 发现无细胞发酵；

1926年，Otto Heinrich Warburg 发现呼吸作用关键酶——细胞色素氧化酶；

1929年，Gustav Embden、Otto Meyerhof 和 Jakub Parnas 解释糖酵解作用机理；

1932年，Hans Adolf Krebs 解释柠檬酸循环；

1953年，James D. Watson 和 Francis H. C. Crick 解释 DNA 三维结构。

其中，两个突破性的进展特别值得关注——生物催化剂酶的发现和核酸作为遗传信息的载体的发现。1896年，Buchner 发现酵母细胞破碎后的溶液仍能够使葡萄糖发酵生成乙醇和二氧化碳，而在这之前人们认为只有活细胞才能催化生化反应。对于酶的生物催化剂的性质，与 Buchner 同时代的科学家 Emil Fischer 作了大量的研究，对酶与底物的关系提出了锁-钥匙理论，这一理论仍是现代酶学的一个中心原则。本书中将有专门的篇章介绍酶的结构与机理。

第二个突破——核酸作为遗传信息的载体，晚于 Buchner 和 Fischer 的实验半个世纪。1944年 Oswald Avery、Colin Macleod、Maclyn McCarty 将从有毒和无毒的肺炎球菌 (*Streptococcus pneumoniae*) 中提取的脱氧核糖核酸 (DNA) 混合，发现来自无毒菌株的 DNA 可被永久性地转移到有毒的菌株中，证明 DNA 可作为遗传物质。1953年，James D. Watson 和 Francis H. C. Crick 推导出了 DNA 的三维结构，这个结构显示 DNA 可自我复制、转移遗传信息给下一代。随后的研究发现，DNA 编码的遗传信息是通过转录成核糖核酸 (RNA)，再翻译成蛋白质的。1958年，Crick 提出著名的“DNA → RNA → 蛋白质”中心法则。为此，他们获得了 1962 年的诺贝尔医学和生理学奖。

核酸分子水平的基因研究是分子生物学的一部分，而分子生物学又是在生物化学基础上发展起来的。想要很好地理解核酸是如何储存、传递遗传信息，就必须理解核酸的结构和它们编码的酶蛋白是如何催化生物分子的合成和降解。通过生物化学的学习，你会发现一个生命中多姿多彩的酶和核酸的世界正向你展开。

1.2 生物化学与其他学科的关系

通常，数学（数）、物理学（理）、化学（化）、天文学（天）、地理学（地）、生物学（生）等学科被称为自然科学的基础学科或一级学科。而基础学科交叉产生的新学科，称为边缘学科或二级学科。生物化学是生物学与化学交叉而产生的一个二级学科。

从不同角度进行研究，生物化学又产生许多分支。根据研究对象的不同，可分为动物生物化学、植物生物化学、微生物生物化学及普通生物化学（对象包括整个生物界）；根据应用领域的不同，可分为工业生物化学、农业生物化学、医学生物化学、食品生物化学等；还有根据生命科学研究领域的不同，在分子水平上的研究拓展而出现的新分支，如免疫生物化学（从分子水平研究机体与免疫的关系）、进化生物化学或比较生物化学（以生物不同进化阶段的特征为研究对象）、分化生物化学（以细胞和组织器官分化的分子基础为研究对象）等。

生物化学是在分子水平上进行研究的。从出现开始，它就展现出旺盛的生命力，对其他学科的影响与日俱增。20 世纪 40 年代末、50 年代初，构成生物体的基础物质——蛋白质和

核酸的分子结构得到初步探索，促进了生物化学的蓬勃发展。生物化学的成就，又带动和促进了生命科学向分子水平发展，生物学的各分支学科又衍化出若干分子水平的新学科，如分子分类学、分子遗传学、分子免疫学、分子生理学、分子病理学、分子细胞生物学，终于又独立产生一门崭新的学科——分子生物学，从而使人们对生命的本质和生物进化的认识向前大大迈进了一步。

生物化学既是现代各门生物学科的基础，又是其发展的前沿。一方面，生物科学发展到分子水平，必须借助生物化学的理论和方法来探讨各种生命现象，包括生长、繁殖、遗传、变异、生理、病理、生命起源和进化等；另一方面，各生物学科的发展要取得更大的进展或突破，在很大程度上依赖于生物化学研究取得的进展和突破。事实上，没有生物化学对生物大分子（蛋白质和核酸）的结构和功能的阐明，没有遗传密码及信息传递途径的发现，就没有今天的分子生物学和分子遗传学；没有生物化学对限制性核酸内切酶的发现和纯化，就没有今天的生物工程。可见，生物化学和各生物学科的关系是密不可分的，在生物学科的发展中起着非常重要的作用。

1.3 生命中的化学元素

1.3.1 生命体的元素组成

自然界中的生物，从大肠杆菌到人类，从藻类到高等植物，外观和功能千差万别。然而所有生物在细胞和化学水平却很相似，都由糖、脂、核酸和蛋白质四类生物大分子及水和无机离子等组成。水约占生物体质量的 2/3，生物分子约占 1/3，无机离子约占 1%，如大肠杆菌的组成（表 1.1）。

表 1.1 大肠杆菌（E. coli）的组成

化 学 成 分	质量分数 /%	所含不同类型 分子或离子数目	化 学 成 分	质量分数 /%	所含不同类型 分子或离子数目
水	70	1	糖	3	5
蛋白质	15	3000	脂	2	20
核酸			氨基酸、核苷酸和维生素等	2	500
脱氧核糖核酸(DNA)	1	1	无机离子	1	20
核糖核酸(RNA)	6	>3000			

生物体的物质组成复杂多变，但它们的元素组成则比较简单。在地球上存在的 92 种天然元素中，只有 28 种元素在生命体中被发现。根据各种元素的重要性及存在情况，可分成四类（表 1.2）。

表 1.2 生物体的元素组成

类 别	元 素	存 在 于
第一类	碳、氢、氧、氮 (C、H、O、N)	所有生物组织
第二类	硫、磷、氯、钙、钾、钠、镁 (S、P、Cl、Ca、K、Na、Mg)	所有生物组织
第三类	铁、铜、钴、锰、锌 (Fe、Cu、Co、Mn、Zn)	所有生物组织
第四类	铝、砷、硼、溴、铬、氟、镓、碘、钼、铈、硅、钒 (Al、As、B、Br、Cr、F、Ga、I、Mo、Se、Si、V)	某些生物组织

第一类元素是组成生命体的基本元素，包括 C、H、N、O 四种，约占生物体总质量的 97%。不同的生物体，元素的质量含量略有差异。总的说来，由于水是细胞的主要成分，所以 O 是生物体内含量最多的元素，其次是 C。这些元素之间能形成稳定的共价键，如 C—C、C=C、C≡C、C—N、C=N、C—O、C=O、C—H、N—H 等。生物分子的大部分都由与其他碳原子和与氢原子、氧原子或氮原子共价连接的碳原子组成。碳原子这种特异的成键性质使它能参与形成大量不同类型的分子。这些特性对于形成复杂的生物体结构和功能的多样性具有重要意义。

第二类元素包括 S、P、Cl、Ca、K、Na、Mg，也是组成生物体的基本元素。S 是蛋白质的重要组成元素之一，一些氨基酸含有 S，如甲硫氨酸、半胱氨酸等。P 是核酸和高能磷酸酯类化合物（如 ATP、磷酸烯醇式丙酮酸）的基本组成元素，在生命遗传和生物能量转化中起着重要作用。Ca²⁺、K⁺、Na⁺ 和 Mg²⁺ 是生物体内存在的主要无机离子。

第三类元素包括 Fe、Cu、Co、Mn、Zn，是生物体内存在的主要微量元素。它们均为过渡金属元素，主要功能是作为酶的辅助成分稳定酶的结构或起催化活性中心作用。

第四类元素包括 Al、As、B、Br、Cr、F、Ga、I、Mo、Se、Si、V，是生物体内存在的微量元素，功能复杂多样，有的还不完全清楚。

1.3.2 生物大分子

生物分子包括糖、脂、核酸和蛋白质四类生物大分子以及维生素、辅酶、激素、核苷酸和氨基酸等。它们都是有机化合物，常见的基团有羟基、酮基、羧基、氨基等（表 1.3），通过不同的方式（如酯键、酰胺键、磷酸酯键等）连接形成不同的化合物（表 1.4）。生物分子含有不同的基团，不同的基团具有不同的性质，可发生不同的反应，基团之间相互影响又可产生某些新的特性。生物分子结构的多样性是它具有复杂生理功能的基础。

表 1.3 生物分子中常见的基团

基团名称	结 构	基团名称	结 构
羟基(hydroxyl)	—OH	氨基(amino)	—NH ₂
酮基(acyl)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—R} \end{array}$	酰氨基(amide)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—NH}_2 \end{array}$
醛基(aldehyde)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—H} \end{array}$	磷酸基(phosphate)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—O—P—O—} \\ \\ \text{O—} \end{array}$
羰基(carbonyl)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—} \end{array}$		
羧基(carboxylate)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—O—} \end{array}$	磷酰基(phosphoryl)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—P—O—} \\ \\ \text{O—} \end{array}$
巯基(sulhydryl, thiol)	—SH		

糖、脂、核酸和蛋白质四类生物大分子是构成生命体和维持生命现象的最基本的物质，它们都由结构比较简单的小分子——单体亚单位（monomeric subunit）组成。一种单一的蛋白分子可能含有 1000 个甚至更多数目的氨基酸，而一种脱氧核糖核酸分子则可能含有数万个核苷酸。这些亚单位按不同的排列组合，形成数目庞大、结构复杂的线形分子或环状分子，即一级结构。在此基础上，通过分子内或分子间的基团（包括带电基团、极性或非极性基团）相互作用，进一步形成复杂的立体结构，可分为二级、三级和四级结构。生物大分子的这种复杂的立体结构，是生物分子具有复杂生理功能的重要原因。

表 1.4 生物分子中基团常见的连接方式

名 称	结 构	名 称	结 构
酯键(ester)		磷酸酯键(phosphate ester)	
醚键(ether)		磷酸酐键(phosphoanhydride)	
酰胺键(amide)			

由于构成生物分子的结构亚单位大多数具有手性特征，因此生物大分子中存在许多手性中心（主要是手性碳原子）。生物分子的手性特性对于生物分子之间的相互识别、酶分子的选择性催化等性质具有重要意义。例如抗体与抗原的结合作用、酶与底物的专一性作用，都是建立在生物分子的相互识别基础上的。近几年来，关于分子识别机制、分子识别与药物分子的选择性关系等的研究已成为生物化学领域的热门课题。

1.4 生命中的水环境

众所周知，生命起源于水溶液。事实上，化石记录显示，原始海中出现的生命直到近代才冒险登上了陆地。尽管如此，这些离开了水生活的生物在它们的体内还保留着海洋：它们体内、胞外和胞内的液体的组成成分与海水类似。这种情况甚至在那些生活在极端环境（如饱和盐水、火山口、石油等）中的生物体内也是如此。

水约占生物体总质量的 65%~90%，它是生物体内含量最丰富的物质。不同的机体或同一机体的不同器官中的水含量也有很大差别。例如，人体骨髓含水量为 22%，肌肉 76%，脑 70%~84%，心脏 79%，肝脏 70%，皮肤 72%，血液 83%。水的含量也随年龄变化，如人类四个月的胎儿含水量为 91%，成人则为 65%。水母含水为 96%~99%，幼嫩植物含水约 70%，细菌孢子含水约 10%等。

1.4.1 水的性质

水的物理和化学性质对生物体具有重要的意义，一方面是营养传输、各种生化反应和生物能量转化的介质，另一方面也影响着生物分子的结构、性质和功能。水的特殊的物理和溶剂性质主要来源于水内部不同寻常的凝聚力。在这一节中，我们将探讨这种现象的物理基础。

1.4.1.1 水分子的结构

水分子（H₂O）的几何构型是弯曲的 V 形（图 1.1），H—O—H 键角为 104.5°，O—H 键长为 0.958Å^①。由于 O 和 H 之间的电负性差别很大，O—H 键是高度极化的，其偶极矩为 6.17×10⁻³⁰C·m(1.85D)。所以水分

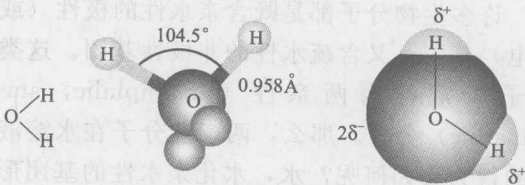


图 1.1 水分子的结构

① 1Å=10⁻¹⁰m=0.1nm.