

生物化学

赵文恩 主编



化学工业出版社
化学与应用化学出版中心

生 物 化 学

赵文恩 主编

化 学 工 业 出 版 社

化学与应用化学出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

生物化学/赵文恩主编. —北京:化学工业出版社,
2003.12

ISBN 7-5025-5066-6

I. 生… II. 赵… III. 生物化学 IV. Q5

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第125144号

生 物 化 学

赵文恩 主编

责任编辑:杜进祥

文字编辑:陈 蕾

责任校对:吴桂萍

封面设计:蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
化学与应用化学出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 19 字数 462 千字

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5066-6/O · 39

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

生物化学是生命科学和生物技术的基础。随着现代科学技术的迅速发展和学科领域的不断扩展、相互渗透和交叉,生物化学已是或正在变为化学、化学工程、轻工、食品、制药、材料、环保等学科的主要基础之一,因此也为这些部门的广大工作者所关注,希望了解其基本内容或设置相关的课程。另外,作为生物学及其相关学科如农学和医学的基础,生物化学方面的知识更是这些专业领域的学生、教师和科技工作者学习、教授、研究及从业所必需的。然而当前非生化专业的生物化学教学课时都不是很多,从业者也难以保证有很多的时间系统地学习生物化学,了解本学科的基本知识和发展。如何用尽可能精练的内容介绍生物化学基本知识和主要的进展,使学习者花较少的时间了解掌握更多的知识内容,是许多同类书所面临的问题。本书就是为适应这方面的学习需求而做的尝试,以期读者在读完本书后在学习生物化学方面能有大的收获。本书可供以上专业及相关专业的教师、研究生和本科生以及有关科研工作者和从业者使用参考。

生物化学的进展十分迅速,许多方面的知识内容已有了重大变化,作为教材或重要的参考书,既要考虑基本知识的传授,又要力求反映当前本学科所取得的重要理论成果与进展,要求我们在编写本书时要明确对象,精练内容,照顾全面,对基本知识应着重提供,力求做到概念清楚,重点突出,条理清晰,内容丰富,配合较好的图表说明,力争编出一本有较高水准的、面向 21 世纪的生物化学教材和有影响的参考书。考虑到学科长期积累形成的知识结构体系、逻辑顺序,以及便于人们理解掌握的需要,本书编写时仍采用先静态后动态,最后是分子生物学方面有关内容的提纲思路来组织内容。由于选用动物与人方面的内容和例子较多,为了顾及植物方面学习者的需要,最后一章介绍植物的光合作用。

参加编写本书的生物化学教师有:赵文恩(第七、十、十一、十四章)、吴鸣建(第三、五、十、十四章)、王章存(第三、五、七、十二章)、王永芬(第九、十二、十三、十五章)、李华(第一、四、八、十一、十六章)、韩志慧(第二、六、七、九、十三章)、熊卫东(第四、八、九、十四章)、刘家永(第五、六、十二、十五章)、王宇(第一、二、三、十六章)。赵文恩负责全书编写大纲的制定和统编、修改定稿,徐春和审改第十六章。

本书编写和出版过程中得到郑州大学、郑州轻工业学院、郑州牧业工程高等专科学校、信阳教育学院有关领导的支持,化学工业出版社责任编辑在本书出版中做了大量工作,编者特此表示衷心感谢。

虽然抱有很好的愿望去努力,由于编者水平有限,难免有缺点、疏漏之处,诚恳欢迎读者批评指正。

编者

2003 年 10 月

内 容 提 要

生物化学是生命科学和生物技术的基础。本书重点阐述生物化学的基本知识和主要进展,包括生物物质的化学组成和结构、理化性质、生物功能及其在生命活动中的化学变化规律和生理功能的联系等;并对生命化学在医学和动植物学领域所取得的主要应用成果和进展作了有关介绍。全书共分为 16 章,主要介绍了糖、脂类、蛋白质、核酸、酶、维生素和辅酶的性质、组成结构、功能及应用;新陈代谢和糖类、脂类、氨基酸、核苷酸等的代谢;遗传信息、基因工程与基因技术;植物光合作用等多方面的内容。

本书可供生物工程、制药工程、食品工程、精细化工及相关专业科技人员参考,也可供大专院校相关专业师生参考使用。

目 录

绪论	1
1 糖的化学	3
1.1 糖的分类及主要生物学作用	3
1.2 单糖的构型、结构和构象	3
1.2.1 单糖的构型	3
1.2.2 单糖的结构和构象	4
1.3 自然界存在的重要单糖和寡糖	4
1.3.1 自然界存在的重要单糖及其衍生物	4
1.3.2 寡糖	5
1.4 多糖的化学	7
1.4.1 多糖的分类	7
1.4.2 重要的多糖	7
2 脂类与生物膜	15
2.1 脂类的分类和生物学功能	15
2.1.1 脂类的分类	15
2.1.2 脂类在体内的分布和生物学功能	15
2.2 脂肪酸	15
2.2.1 天然脂肪酸的结构和特性	16
2.2.2 重要的天然脂肪酸	16
2.3 脂类	17
2.3.1 脂酰甘油	17
2.3.2 甘油磷酸酯类	17
2.3.3 鞘脂类	19
2.3.4 萜类和固醇类	20
2.3.5 蜡	22
2.4 生物膜	23
2.4.1 细胞中的膜系统	23
2.4.2 生物膜的化学组成	23
2.4.3 生物膜的结构	24
2.4.4 生物膜的功能	24
3 蛋白质化学	26
3.1 蛋白质的作用	26
3.2 蛋白质元素组成	26
3.3 氨基酸	27
3.3.1 氨基酸的结构	27

3.3.2 氨基酸的分类	27
3.3.3 氨基酸的主要理化性质	29
3.4 蛋白质的分子结构	34
3.4.1 蛋白质的一级结构	34
3.4.2 蛋白质的空间结构	36
3.4.3 蛋白质和多肽的化学合成	46
3.5 蛋白质分子结构与功能的关系	48
3.5.1 蛋白质一级结构与高级结构的关系	48
3.5.2 蛋白质分子一级结构与功能的关系	48
3.5.3 蛋白质空间构象与功能的关系	49
3.5.4 蛋白质的结构与生物进化	51
3.6 蛋白质的性质	51
3.6.1 蛋白质分子大小及分子量	51
3.6.2 蛋白质的紫外吸收	52
3.6.3 蛋白质的旋光性	52
3.6.4 两性解离与等电点	52
3.6.5 胶体性质	53
3.6.6 沉淀作用	54
3.6.7 变性作用	54
3.6.8 蛋白质的颜色反应	55
3.6.9 蛋白质的免疫学性质	56
3.6.10 蛋白质含量与纯度的测定方法	56
3.7 蛋白质的分类	57
3.7.1 简单蛋白质	57
3.7.2 结合蛋白	58
4 核酸的化学	59
4.1 核酸的概念和重要性	59
4.1.1 DNA 是遗传变异的物质基础	59
4.1.2 核酸与遗传信息的传递	59
4.2 单核苷酸	60
4.2.1 核糖和脱氧核糖	60
4.2.2 嘌呤碱和嘧啶碱	60
4.2.3 核苷	61
4.2.4 核苷酸	61
4.3 核酸的分子结构	63
4.3.1 核苷酸的连接方式	63
4.3.2 DNA 的分子结构	63
4.3.3 RNA 的分子结构	69
4.4 核酸的性质	73
4.4.1 一般理化性质	73

4.4.2	核酸的紫外吸收性质·····	74
4.4.3	核酸的变性和复性·····	74
5	酶·····	77
5.1	酶的分类和命名·····	77
5.1.1	酶的分类·····	77
5.1.2	酶的命名·····	78
5.2	酶的结构与功能·····	78
5.2.1	酶的化学本质·····	78
5.2.2	酶的辅助因子·····	79
5.2.3	单体酶、寡聚酶和多酶复合物·····	80
5.2.4	酶的活性中心和必需基团·····	81
5.2.5	酶原的激活·····	81
5.3	酶作用的专一性·····	82
5.3.1	绝对专一性·····	82
5.3.2	相对专一性·····	82
5.3.3	立体异构专一性·····	83
5.4	酶的作用原理·····	83
5.4.1	酶的催化作用与分子活化能·····	83
5.4.2	中间复合物学说与酶作用的过渡态·····	84
5.4.3	酶作用高效率的机理·····	84
5.5	酶促反应的动力学·····	86
5.5.1	酶浓度对反应速度的影响·····	87
5.5.2	底物浓度对酶反应速度的影响·····	87
5.5.3	pH 值对酶作用的影响·····	90
5.5.4	温度对酶作用的影响·····	90
5.5.5	激活剂的影响·····	91
5.5.6	抑制剂的影响·····	91
5.5.7	酶的变构效应·····	94
5.5.8	多底物酶促反应动力学·····	96
5.5.9	酶活力的测定·····	97
5.6	几种特殊的酶·····	98
5.6.1	同工酶·····	98
5.6.2	诱导酶·····	98
5.6.3	核糖酶·····	99
5.6.4	抗体酶·····	100
5.6.5	杂化酶·····	101
5.7	酶的制备·····	101
5.8	酶的应用·····	104
5.8.1	酶在工业上的应用·····	104
5.8.2	酶在临床医学和药学领域中的应用·····	105

5.8.3 酶在其他方面的应用	105
6 维生素和辅酶	107
6.1 脂溶性维生素	108
6.1.1 维生素 A	108
6.1.2 维生素 D	109
6.1.3 维生素 E	110
6.1.4 维生素 K	110
6.2 水溶性维生素	111
6.2.1 维生素 B ₁ 和羧化辅酶	111
6.2.2 维生素 B ₂ 和黄素辅酶	112
6.2.3 维生素 PP 和辅酶 I、辅酶 II	113
6.2.4 维生素 B ₆ 和磷酸吡哆醛、磷酸吡哆胺	114
6.2.5 泛酸和辅酶 A	114
6.2.6 生物素与羧基生物素	115
6.2.7 叶酸和叶酸辅酶	115
6.2.8 维生素 B ₁₂ 和 B ₁₂ 辅酶	116
6.2.9 维生素 C	117
7 新陈代谢与氧代谢	119
7.1 新陈代谢	119
7.1.1 新陈代谢的研究方法	119
7.1.2 自由能与高能化合物	121
7.2 生物氧代谢途径	123
7.2.1 线粒体氧代谢	123
7.2.2 高能磷酸化合物的合成	128
7.2.3 氧化磷酸化作用机制	130
7.2.4 微粒体的氧代谢	131
7.2.5 活性氧代谢	133
8 糖代谢	141
8.1 多糖和低聚糖的酶促降解	141
8.1.1 淀粉的酶促水解	141
8.1.2 纤维素的酶促水解	141
8.2 糖的分解代谢	141
8.2.1 糖的无氧分解	142
8.2.2 糖的有氧分解	146
8.2.3 乙醛酸循环——三羧酸循环支路	151
8.2.4 戊糖磷酸途径	153
8.3 糖的合成代谢	155
8.3.1 蔗糖的合成	156
8.3.2 淀粉的合成	156
8.3.3 糖原的合成	157

8.3.4	糖的异生作用	158
8.4	血糖与糖代谢紊乱	161
8.4.1	血糖及其调节	161
8.4.2	糖代谢的紊乱	162
9	脂类代谢	164
9.1	脂类的酶促水解	164
9.1.1	脂肪的消化和吸收	164
9.1.2	类脂在体内的消化和吸收	165
9.2	脂肪的分解代谢	165
9.2.1	甘油的氧化分解	166
9.2.2	脂肪酸的 β -氧化作用	166
9.2.3	脂肪酸氧化的其他途径	169
9.2.4	酮体的生成和利用	170
9.3	脂肪的合成代谢	171
9.3.1	α -磷酸甘油的合成	171
9.3.2	脂肪酸的生物合成	171
9.3.3	脂肪的生物合成	174
9.4	磷脂的代谢	175
9.4.1	磷脂的分解代谢	175
9.4.2	磷脂的生物合成	175
9.5	胆固醇的代谢	176
9.5.1	胆固醇的生物合成	176
9.5.2	胆固醇在体内的代谢转化	178
9.5.3	胆固醇的排泄	178
9.6	血脂与脂代谢紊乱	178
9.6.1	血脂及其调节	178
9.6.2	脂类代谢的紊乱	179
10	氨基酸代谢	181
10.1	蛋白质的酶促降解作用	181
10.1.1	蛋白质的消化和吸收	181
10.1.2	蛋白质水解酶类及其作用特点	182
10.2	氨基酸的一般代谢	182
10.2.1	氨基酸的来源和去路	182
10.2.2	脱氨基作用	182
10.2.3	脱羧基作用	186
10.2.4	氨的代谢	186
10.2.5	α -酮酸的代谢	189
10.3	氨基酸合成代谢概要	190
10.3.1	氨基酸生物合成代谢相互联系	191
10.3.2	氨基酸与一碳单位	192

10.3.3 含硫氨基酸和芳香族氨基酸的代谢	195
11 核苷酸代谢	197
11.1 核酸的酶促降解	197
11.2 嘌呤和嘧啶的分解	197
11.2.1 嘌呤的分解	197
11.2.2 嘧啶的分解	198
11.3 核苷酸的生物合成	198
11.3.1 嘌呤核苷酸的合成	199
11.3.2 嘧啶核苷酸的合成	199
11.3.3 脱氧核糖核苷酸的合成	201
11.3.4 核苷酸从头合成的抗代谢物	202
12 遗传信息的传递与表达	204
12.1 DNA 的生物合成	204
12.1.1 DNA 的复制	204
12.1.2 DNA 的损伤(突变)与修复	214
12.2 多聚酶链式反应(PCR)	217
12.3 DNA 测序	217
12.4 RNA 的合成与加工	219
12.4.1 DNA 指导下的 RNA 生物合成	219
12.4.2 其他的 RNA 生物合成	223
12.4.3 转录本的转录后加工	224
12.5 蛋白质的生物合成	227
12.5.1 遗传信息传递的中心法则	227
12.5.2 遗传密码	228
12.5.3 转运 RNA 的功能	229
12.5.4 核糖体	230
12.5.5 蛋白质生物合成过程	231
13 基因表达的调节	239
13.1 原核生物基因表达的调节	239
13.1.1 操纵子模型	239
13.1.2 生长速度的调节	242
13.1.3 时序调控	243
13.2 真核生物基因表达的调节	244
13.2.1 真核基因表达调控的水平	244
13.2.2 转录水平的调节	244
14 物质代谢的相互联系与代谢调控	249
14.1 物质代谢的相互联系	249
14.1.1 糖与脂类代谢的相互联系	249
14.1.2 蛋白质与糖代谢的相互联系	249
14.1.3 蛋白质与脂类代谢的相互关系	250

14.1.4	核酸与其他物质代谢的相互关系	251
14.2	代谢调控	251
14.2.1	细胞或酶水平的调节	251
14.2.2	激素对代谢的调节	256
14.2.3	神经系统对代谢的调节	264
15	基因工程与基因技术	265
15.1	DNA 重组	265
15.1.1	目的基因的获得	265
15.1.2	DNA 重组的载体	266
15.1.3	DNA 重组的实现	266
15.1.4	重组 DNA 导入受体	267
15.1.5	重组体的筛选	268
15.2	DNA 克隆	269
15.3	DNA 文库的构建	270
15.3.1	DNA 文库的概念	270
15.3.2	构建 DNA 文库的技术路线	271
15.4	DNA 突变	271
15.5	人类基因组计划和水稻基因组	273
15.5.1	人类基因组计划	273
15.5.2	水稻基因组	273
15.5.3	后基因组研究	273
15.6	DNA 分子多态性标记技术	274
15.6.1	RFLP 标记技术	274
15.6.2	AFLP 标记技术	275
15.6.3	RAPD 标记技术	275
16	光合作用	277
16.1	光反应	277
16.1.1	光合色素	277
16.1.2	叶绿体	279
16.1.3	光反应系统	279
16.1.4	光反应的电子传递链 (光合链)	280
16.1.5	光合磷酸化	282
16.2	暗反应	283
16.2.1	三碳循环 (Calvin 循环)	283
16.2.2	暗反应代谢调控	286
16.2.3	光呼吸	286
16.2.4	C ₄ 循环	287
	主要参考文献	289

绪 论

生物化学是生命的化学，即运用化学的原理和方法研究生物的一门科学。具体一点讲，生物化学主要研究生物物质的化学组成、结构、理化性质、生物功能，及其在生命活动中化学变化规律及与生理功能的联系，从而揭示生命现象的本质。尽管也采用物理学与生物学的方法，但它总是着眼于搞清维持生命活动的一切化学变化。

生物化学是一门新兴的边缘学科，它是随着社会生产力发展水平的提高而建立起来的，是以相关学科如物理学、化学、生物学及医学、农业科学的发展水平为前提的。19 世纪末，能量转化与守恒定律的发展，达尔文进化论与细胞学说的建立，有机化学的发展，使得物理学、化学和生物学有了长足的发展，促进了生物化学学科的创立。1877 年德国学者 Hoppe-Seyler 首次提出“Biochemie”这个名词，英译为“Biochemistry”或“Biological Chemistry”，汉译为“生物化学”，至今生物化学发展近两百年历史，其发展速度很快，尤其是 20 世纪 50 年代以来，生物化学更是出现飞跃式发展，知识更新的时间越来越短。就其本身发展史而言，经历了生物化学发生前时期、描述生物化学或有机生物化学发展时期、动态的或生理生物化学发展时期和分子的或综合生物化学发展时期四个时期。当今，生物化学与分子生物学已经融为一体，两者没有明显的界限。人类基因组工程计划的实施和将近完成，不少特殊生物基因组测序的完成，生物化学及分子生物学进入后基因时代，功能基因组学、蛋白质组学的研究将为解决困扰人类健康的主要疾病，如心脑血管疾病、糖尿病、肝脏疾病、癌症，甚至延缓人的衰老，延长寿命等问题提供了切实可行的途径和有效的解决方法与手段，也带来了更多更大的希望。水稻基因组研究取得的重大进展和其他农业经济作物基因组研究的不断深化，将给人类的食物安全提供保障。

生物化学是在其他学科发展的基础上建立发展的。随着不同学科领域的科学家不断加入到生物化学家的行列，他们为生物化学发展带来新思想、新观念、新技术、新方法，极大地推动着生物化学发展。例如，遗传学家 Watson 和物理学家 Crick 提出 DNA 双螺旋结构，开创了分子生物学发展的新时代。化学家 Sanger 建立了蛋白质氨基酸序列的测定方法，他还与化学家 Gilbert 发明了 DNA 中核苷酸序列的测定方法。物理化学家 Mitchell 提出化学渗透假说来阐述氧化磷酸化的机制等。另一方面，生物化学的突飞猛进不仅促进了遗传学、细胞生物学、发育生物学、神经生物学等生物学科的发展，同时它包括的领域也在不断扩大。例如，扩展到生物学的其他领域，它可分为动物生物化学、植物生物化学和微生物生物化学，扩展到其他学科领域又可分为无机生物化学、有机生物化学、物理生物化学、生理生物化学、临床生物化学、农业生物化学、食品生物化学等，为包括物理学、化学、数学、计算机与信息科学、材料学、环境科学等学科发展带来勃勃生机，推动着自然科学的全面发展，它已成为生物学时代的 21 世纪领军学科之一。生物化学已不仅仅是生物学及其相关学科的一门基础性科学，而且是其他许多行业领域从业者必备的知识技术基础。

生物化学研究的成果对工、农、医、卫、环境保护等行业领域的发展产生深刻影响，起着巨大的推动作用，发酵工业、食品工业、轻化工、石油化工、制药、试剂生产、采矿等或是围绕生物化学技术与产品进行工业生产的，或是利用生物化学的理论与方法进行生产运营

的。农业上新农业经济作物品种选育和改良创新、畜禽品种的培育和品质的提高、农产品质量检验与安全保障体系的建立、农产品深加工等都离不开生物化学的理论指导和技术的应用。在医学上，临床诊断、治疗护理、药物的研制开发、营养卫生、疾病预防、增强体质、延缓衰老等方面都与生物化学密不可分。此外，生物化学在环境保护与治理中也发挥着很大的作用。总之，人们的生产活动与生活与生物化学有着千丝万缕的联系。

尽管生物化学在我国的发展历史较短，但我国的生化工作者在许多方面做出了一系列为世界所公认的重大贡献，我国的生物化学事业得到了巨大发展。1949年前在蛋白质变性、血液分析、临床生化、营养学和免疫化学等方面做出了有益的贡献。1949年后，在生物化学教育、科研和应用方面都取得了很大的成绩。不少院校建立了生物化学及其相关专业，为我国的生物化学事业培养出大量的优秀人才；成立了专门的研究机构，创办发行了一些在国内外有影响高水平的学术刊物。尤其是科研上，1965年在世界上首次人工合成有生物活性的蛋白质——牛胰岛素；1971年对猪胰岛素晶体进行的X射线衍射分辨率达到0.25nm及0.18nm；1981年又首次人工合成包括稀有碱基有生物活性的酵母丙氨酸转移核糖核酸；作为参加人类基因组计划中惟一的发展中国家，我国在半年内基本完成承担的1%测序任务；在水稻基因组和生物工程药物研究等领域都取得了领先的成果。

当今生命科学发展进入后基因时代，随着对包括人类在内的多种生物基因组序列的分析完成，分析研究各种基因及其功能、表达调控便成为主要面临解决的问题，由此发展建立了基因组学、蛋白质组学。另外以核酸、蛋白质等生物大分子为对象研究其结构与功能的结构生物学已成为生命科学的基础学科之一。当今生命科学的研究特征是在多水平上全方位地对分子、细胞、组织、器官、整体的生化过程进行研究，微观与宏观相结合，综合地认识生命现象。此外，发育生物学、神经生物学已成为生命活动的最基础问题，它们的生化过程也是现代生物化学研究的热点。现代生物化学研究发展的另一个特点是应用更加广泛，领域不断拓宽，多学科相互渗透、交叉。生物化学的基础研究成果在不断地实现产业化，创造出更多的利润，促进社会经济的发展，生物化学成为现代科学技术发展的基础与支柱。医学、农业等学科的发展不断向生物化学和分子生物学提出问题和挑战，随着研究的不断深入，新成果的涌现和应用，生物化学将成为人类战胜多种疾病、征服和改造自然为人类服务的有力武器。

1 糖的化学

1.1 糖的分类及主要生物学作用

糖是一类多羟醛或多羟酮及其缩合物和衍生物的总称，主要由 C、H、O 三种元素组成，常以 $C_m(H_2O)_n$ 表示，曾被称为碳水化合物。实际上有些糖如鼠李糖和脱氧核糖中 H、O 原子数之比并非 2:1。糖是自然界分布广泛、数量最多的有机化合物。从细菌到高等动物的有机体都含有糖类，植物体中含量最丰富，如根茎中的纤维素，种子及块茎中的淀粉，水果中的葡萄糖和果糖等，平均含量约占植物体干重的 80%。

糖是生物体内重要的物质，糖类是一切生物体生命活动所需能量的主要来源，糖在体内代谢氧化为二氧化碳和水，并放出能量，供生物体维持生命活动所需。糖在生物体内可转化成其他化合物，如蛋白质和脂类等。有些糖具有结构功用，如植物茎秆的主要成分纤维素起机械支持作用，人和动物细胞间质中的黏多糖也是结构物质。此外糖还有着特殊的生理功能，如它是细胞膜上“受体”分子的重要组成部分，参与细胞识别和信息传递等过程。因此，研究糖类对于免疫学、肿瘤学、药理学及神经科学有着重要意义。

糖类化合物的分类有不同的方法，按其组成可分为单糖、寡糖、多糖。

单糖 (monosaccharide) 是最简单的糖，不能再分解为更小的糖单位。根据单糖所含碳原子的数目可分为丙糖、丁糖、戊糖和己糖等，含有羟基的单糖称醛糖，含酮基的称为酮糖。在自然界中分布最广、最重要的是戊糖和己糖。D-核糖、D-2-脱氧核糖是最重要的戊糖，它们是核酸的组成成分；D-葡萄糖、D-半乳糖、D-甘露糖是生物体中普遍存在的己糖。在生物体内重要的单糖还有甘油醛、二羟丙酮、D-核糖、D-2-脱氧核糖、葡萄糖、半乳糖、甘露糖。

寡糖 (oligosaccharide) 是由 2~10 个分子单糖缩合而成，水解后产生单糖。在生物化学上重要的寡糖有蔗糖、麦芽糖、乳糖。

多糖 (polysaccharide) 是由多个单糖分子缩合而成。按其结构特点分为同多糖和杂多糖。同多糖由若干相同的单糖分子缩合而成，如纤维素、淀粉和糖原；杂多糖则由不同的单糖或单糖的衍生物缩合而成，如黏多糖类。

1.2 单糖的构型、结构和构象

1.2.1 单糖的构型

单糖多为不对称分子，具有旋光性。以甘油醛为例，分子中的第 2 个碳原子是不对称碳原子，这个碳上的羟基有两种安排，羟基在左面的为 L 构型，羟基在右面的为 D 构型，所以就有两种不同的立体异构体：D-甘油醛和 L-甘油醛（见图 1-1）。D 型和 L 型互为镜影，称为对映体。D-甘油醛是右旋的，用“+”或“d”表示，L-甘油醛是左旋的，用“-”或“l”表示。除甘油醛外，其他糖的构型和旋光方向两者关系却不尽一致。以醛基碳原子为 C_1 ，以下顺数，凡倒数第 2 个碳原子上羟基与 D-甘油醛相应羟基方向一致的糖均为 D-构型糖，与 L-甘油醛相应羟基一致的糖均为 L-构型糖。旋光方向及度数由旋光仪测定结果来确定。

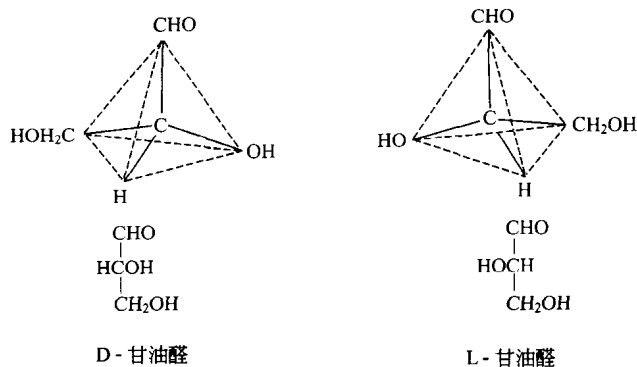


图 1-1 甘油醛的对映体

1.2.2 单糖的结构和构象

戊糖、己糖可以两种形式存在：一种为链状形式；另一种为分子中羰基和其他碳原子上羟基形成环式半缩醛。如果是羰基与 C_5 上的羟基形成六元环，称为吡喃糖；羰基与 C_4 上羟基形成五元环，则称为呋喃糖。在环式结构中环的投影式画法称为 Haworth 式。在形成环状结构时， C_1 变为不对称碳原子，则有 α 型和 β 型两种异构体，羟基朝下，被指定为 α 构型，羟基朝上，被指定为 β 构型。 α 型和 β 型可以通过直链式相互转变（见图 1-2）。

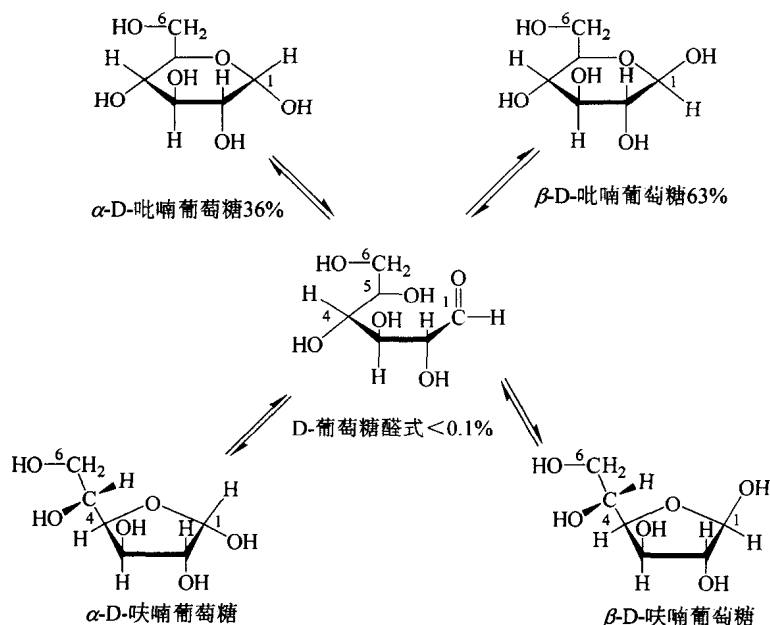


图 1-2 葡萄糖开链形式与环状形式的互变

根据 X 射线衍射法测定，葡萄糖的吡喃环和环己烷的椅式构象相似，环上的原子不在一个平面内。对每个吡喃糖，都存在着 6 种不同的船式构象和 2 种不同的椅式构象，其中椅式构象可使环内原子的立体排斥减到最低，因而比船式构象更稳定。

1.3 自然界存在的重要单糖和寡糖

1.3.1 自然界存在的重要单糖及其衍生物

常见的 D-构型和 L-构型的醛式与酮式单糖构型谱系如图 1-3，图 1-4 所示。

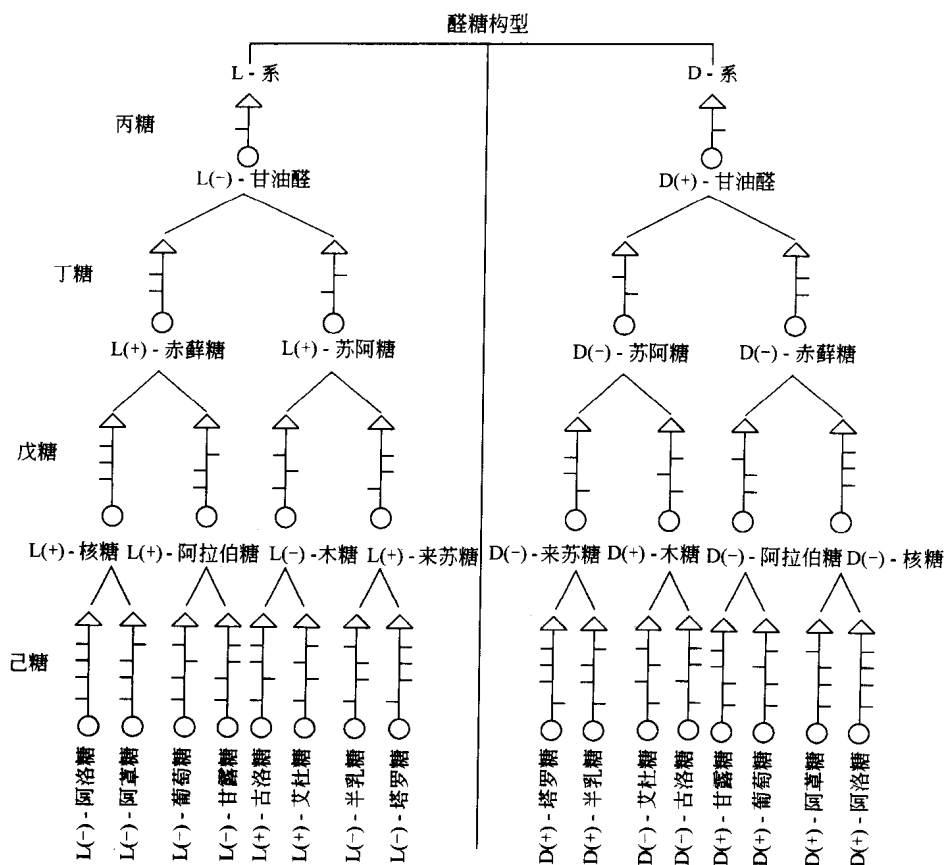


图 1-3 醛式单糖构型谱系

除了单糖外，还存在一些生物学上很重要的单糖衍生物，单糖的重要衍生物有糖醇、糖醛酸、氨基糖及糖苷、糖脂等。

糖醇 是糖分子内的醛基、酮基经还原后的产物。较稳定，有甜味。广泛分布在植物界的有甘露醇、山梨醇，可以从葡萄糖还原制得。

糖醛酸 由单糖的伯醇基氧化而得，其中最常见有葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸等。

氨基糖 糖中的羟基为氨基所取代。常见的有 D-氨基葡萄糖（存在于甲壳质，黏液酸中）和氨基半乳糖（是软骨的组成部分）。

糖苷 单糖的半缩醛上羟基与非糖物质（醇、酚等）的羟基形成的缩醛结构称为糖苷，形成的化学键为糖苷键。糖苷的非糖物质称配基。半缩醛羟基有 α 和 β 两种构象，与半缩醛羟基位置相应，在糖苷分子中，有 α 型和 β 型两个异构体。糖苷的构型是稳定的，异构体在水中不发生变旋作用。

自然界的许多天然糖苷具有重要的生物学作用。糖苷的化学性质和生物功能主要是由非糖体所决定的，例如，花卉的颜色取决于花色糖苷中的花色素。强心毒苷具有强心作用，是其非糖体的功能，有止咳作用的苦杏仁苷也是非糖体起作用的。糖苷中常见的糖基有葡萄糖、半乳糖、鼠李糖，非糖体则为多种类型的化合物。

1.3.2 寡糖

寡糖通常是指 20 个以下的单糖缩合的聚合物。其中二糖最为常见。蔗糖是自然界广泛