

基础生物化学

JICHU SHENGWU HUAXUE

薛 崧 主编

陕西科学技术出版社

基础生物化学

JICHU SHENGWU HUAXUE

第 2 版

人民卫生出版社

高等农业院校教材

基础生物化学

薛 崧 主 编

陕西科学技术出版社

(陕)新登字第 002 号

高等农业院校教材

基础生物化学

薛 崧 主编

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街 131 号)

西北农业大学印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 11 印张 24 万字

1997 年 8 月第 1 版 1997 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—2,000

ISBN 7—5369—2747—9/O·89

定 价: 12.50 元

主 编	薛 崧	(西北农业大学)
副主编	刘卫群	(河南农业大学)
编 者	(按姓氏笔划)	
	王小纯	(河南农业大学)
	王 倩	(西北林学院)
	刘卫群	(河南农业大学)
	吴小平	(西北农业大学)
	范三红	(西北农业大学)
	赵 丽	(西北农业大学)
	雷建菊	(西北农业大学)
	薛 崧	(西北农业大学)
主 审	文树基	郭蔼光

前 言

随着教育的不断深入,我校高等农业教育有了长足发展。由于培养目标、学制和课程设置等方面的差异,急需编写一本即全面反映生物化学学科内容,又不致因内容过多过杂,使师生难以在有限的学时内完成教学任务的生物化学教材,本教材就是为了适应这种需要而编写的。

本教材在编写过程中注意选材,尽量作到文字叙述简明扼要,重点突出图表,以求生物化学简明化。全书共十一章,另外,为了配合课堂教学,根据多年来的教学经验,增编了十五个实验,附在书后。本教材适用于教学时数50—80学时的农学、园艺、植保、农化、林学、食品、蚕桑等专业使用。各任课教师可根据所教专业情况作增删补充。

在整个编写过程中得到汪沛洪教授,文树基副教授,郭蔼光教授始终如一的关心与帮助,他们对教材内容与章节的编排都给予了具体的指导,文树基副教授还为本教材编写了绪论。同时还得到高俊凤教授、张继澍教授多次鼓励与关心。文中图表处理得到西北农业大学胡小平、张宏亮的大力帮助。西北农业大学基础科学系、教材科和印刷厂在出版与印刷方面也给予了大力支持与帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平所限,而且时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,敬请批评指正。

编 者

1997年8月

目 录

绪论	1
第一章 糖化学	4
一、糖类物质的分类	4
二、糖类物质的结构和立体化学	4
(一)构型	5
(二)环状结构	5
(三)葡萄糖分子的构象	8
三、糖类物质的物理、化学性质	8
四、生物学上重要的糖类物质	13
习题	16
②第二章 脂和生物膜化学	17
一、脂肪	17
(一)甘油	18
(二)脂肪酸	18
(三)三脂酰(基)甘油的物理、化学性质	20
二、类脂	20
(一)磷脂	20
(二)糖脂	22
(三)非皂化物	22
三、生物膜	23
(一)膜的化学组成	23
(二)膜的化学结构	24
习题	25
③第三章 核酸化学	26
一、核酸的分类	26
二、核酸的化学组成	26
三、核酸的分子结构	29
(一)核酸的一级结构	29
(二)核酸的空间结构	29
四、核酸的性质	32
(一)一般性质	32
(二)核酸的紫外吸收	33
(三)核酸的变性与复性	33

习题	34
② 第四章 蛋白质化学	35
一、蛋白质的元素组成	35
二、蛋白质的基本组成单位——氨基酸	35
(一)氨基酸分类	36
(二)氨基酸的重要理化性质	38
三、蛋白质的分子结构	41
(一)肽	41
(二)蛋白质的分子结构	42
四、蛋白质结构与功能的关系	46
(一)一级结构与功能的关系	47
(二)三维结构与功能的关系	48
五、蛋白质的理化性质	49
(一)蛋白质的两性解离,等电点和电泳	49
(二)蛋白质的胶体性质与蛋白质的沉淀	50
(三)蛋白质的变性与复性	50
(四)蛋白质的颜色反应	50
六、蛋白质的分类	51
习题	52
③ 第五章 酶	53
一、酶是生物催化剂	53
(一)酶的催化特点	53
(二)酶作用的专一性	53
(三)酶的组成分类	54
二、酶的分类和命名	55
三、酶的作用机理	56
(一)分子活化能与中间产物学说	56
(二)诱导契合学说	56
(三)酶的活性中心	57
(四)酶原的激活	57
四、影响酶促反应速度的因素	58
(一)底物浓度对酶促反应速度的影响	58
(二)酶浓度对酶促反应速度的影响	59
(三)pH 对酶促反应速度的影响	59
(四)温度对酶促反应速度的影响	60
(五)激活剂对酶促反应速度的影响	60
(六)抑制剂对酶促反应速度的影响	60
五、变构酶与同工酶	61

六、酶的分离提纯与活力测定	62
七、维生素与辅酶	62
习题	68
5.7 第六章 糖类代谢	69
一、新陈代谢概念	69
二、蔗糖和淀粉的酶促降解	69
三、糖酵解	70
(一)糖酵解的生化历程	71
(二)糖酵解的调控	75
(三)糖酵解的化学计量	75
(四)糖酵解的生物学意义	76
四、三羧酸循环	76
(一)糖的有氧氧化的一般过程	76
(二)丙酮酸形成乙酰 CoA	77
(三)三羧酸循环	77
五、磷酸戊糖途径	80
六、单糖的生物合成	82
(一)还原的戊糖途径	82
(二)糖异生作用	82
七、蔗糖与淀粉(或糖原)的生物合成	85
(一)糖核苷酸的作用	85
(二)蔗糖的合成	85
(三)淀粉(或糖原)的合成	85
八、生物氧化	86
(一)线粒体	86
(二)呼吸链	87
(三)氧化磷酸化作用	87
习题	90
8 第七章 脂类代谢	91
一、脂肪的降解	91
(一)脂肪的酶促水解	91
(二)甘油的降解及转化	91
(三)脂肪酸的氧化分解	91
二、脂肪的生物合成	94
(一)甘油的生物合成	94
(二)脂肪酸的生物合成	94
(三)三酰甘油的生物合成	96
习题	96

⑧	第八章 蛋白质的酶促降解和氨基酸代谢	97
	一、蛋白质的酶促降解	97
	二、氨基酸的分解与转化	97
	(一)脱氨基作用	97
	(二)脱羧基作用	99
	(三)氨基酸分解产物的去向	100
	三、氨及氨基酸的生物合成	101
	(一)氮素循环	101
	(二)生物固氮	102
	(三)硝酸还原作用	102
	(四)氨基酸的生物合成	103
	习题	105
⑩	第九章 核酸代谢	106
	X 、核酸的分解代谢	106
	二、单核苷酸的合成	106
	(一)嘌呤核苷酸的“从头合成”途径	109
	(二)嘧啶核苷酸的“从头合成”途径	109
	(三)脱氧核糖核苷酸的合成	111
	三、核酸的生物合成	111
	(一)DNA 的生物合成	112
	(二)RNA 的生物合成	117
	习题	119
	第十章 蛋白质的生物合成	120
	一、蛋白质合成体系的组成	120
	(一)mRNA: 蛋白质合成的模板	120
	(二)tRNA: 蛋白质合成的运载工具	121
	(三)核糖体: 蛋白质合成的场所	121
	二、蛋白质合成过程	123
	(一)氨基酸的激活	123
	(二)肽链合成的起始	123
	(三)肽链的延长	123
	(四)肽链合成的终止和释放	124
	(五)蛋白质的翻译后加工	125
	习题	125
	第十一章 代谢调节	126
	一、物质代谢的相互联系	126
	(一)糖代谢与脂类代谢的相互联系	126
	(二)糖代谢与蛋白质代谢的相互联系	126

(三)脂类代谢与蛋白质代谢的相互联系	126
(四)核酸代谢与糖、脂肪、蛋白质代谢的相互联系	126
二、代谢调节	127
(一)酶的定位	127
(二)酶水平的调节	128
习题	130

实验部分

实验一 还原糖和总糖的测定(3,5—二硝基水杨酸比色法)	131
实验二 植物组织中可溶性糖含量的测定(蒽酮法)	133
实验三 粗脂肪含量的测定(索氏抽提法)	135
实验四 氨基酸的纸层析	136
实验五 植物组织中游离氨基酸总量的测定	137
实验六 蛋白质的两性解离与等电点	139
实验七 可溶性蛋白质含量的测定	140
实验八 SDS—聚丙烯酰胺凝胶电泳法测定蛋白质分子量	144
实验九 酶的基本性质	146
实验十 淀粉酶活力的测定	149
实验十一 硝酸还原酶活性测定	152
实验十二 过氧化氢酶活性测定(碘量法)	154
实验十三 过氧化物酶同工酶聚丙烯酰胺凝胶电泳	155
实验十四 植物中抗坏血酸含量的测定	162
实验十五 植物体中的转氨基作用	165
主要参考文献	167

绪 论

生物化学即生命的化学,是一门研究生物机体的化学组成、结构、性质及生命活动过程化学变化规律的科学,其最终目的是要揭示生命的化学本质,并利用这些知识为人类服务。

地球上现存 150 万种以上的生物,包括微生物、植物和动物,种类繁多,性状各异,但是作为生物,它们有共同的分子基础。几乎所有的生物,甚至包括连细胞结构也不具备的病毒,都含有核酸和蛋白质这两类最基本的化学组分。其中核酸(DNA 和 RNA)在规定生命活动的特征和发展方向方面起着决定性的作用,被称为“信息大分子”;蛋白质则活跃地参与各种生命活动过程,例如生物体内的化学反应几乎都离不开酶的催化,激素等信号分子是代谢调节、生长发育和细胞的分裂、增殖、凋亡控制中的关键因素,免疫球蛋白等具有保卫功能。此外,大多数生物体还包含糖类、脂类以及水、无机盐、氨基酸、核苷酸、维生素、葡萄糖等小分子。这些生物大分子和极性脂进一步相互作用,形成更高级的复合物,再组装成各种亚细胞结构和细胞,从而保证生命活动高效地进行,推动生物的进化和分化。

生物体还必须不断地从外界环境摄取营养,排出废物,进行物质交换和能量交换,称为新陈代谢。新陈代谢是生长发育、遗传变异、运动、应激性等生命活动的物质基础或推动力。新陈代谢一旦停止,生命也随之停止。新陈代谢要通过大量的生物化学反应才得以实现,这些反应相互联系、协同制约,组成许多代谢途径和代谢网络,在严密精致的调控下有条不紊地进行。

生物化学作为一门新兴的边缘学科,仅有 200 年的历史。虽然从远古时代起,人类在农牧业生产、食品加工、医药等方面累积了不少知识,但直到 18 世纪 70 年代以后,随着近代化学的发展,生物化学才开始逐步形成。例如,1770—1774 年英国人 J. Priestly 发现了氧气,并指出动物消耗氧而植物产生氧;1770—1786 年瑞典人 C. W. Scheele 分离出甘油、柠檬酸、苹果酸、乳酸、尿酸等;1779—1796 年荷兰人 J. Ingenhousz 证明绿色植物在光照下利用 CO_2 放出 O_2 ;1780—1789 年法国著名化学家 A. L. Lavoisier 证明动物呼吸需要氧气,并最先测定了人的耗氧量。进入 19 世纪后,化学、物理学、生物学有极大的进展,也推动了生物化学的发展。尤其是法国著名生理学家 C. Bernard(1813—1887)、法国著名微生物学家 L. Pasteur(1822—1895)、德国化学家 J. von Liebig(1803—1873)等人开拓性的研究工作,为现代生物化学的发展奠定了基础。1903 年 Neuberg 首先使用“Biochemistry”这个词,生物化学作为一门新兴科学宣告诞生。在这个阶段,生物化学的工作主要是从生物材料中分离各种氨基酸、甘油、羧酸、糖;发现了核酸;开始了酶学研究,基本上解决了酶的催化特性、作用条件和作用机理。

从 19 世纪中叶到本世纪 40 年代,生物化学进入了动态生物化学发展时期,基本上阐

明了与能量代谢有关的物质代谢途径。例如,德国生物化学家 O. H. Warburg 和 H. Wieland 等对呼吸作用的研究;美国化学家 J. B. Sumner 和 J. Northrop 证明酶的化学本质是蛋白质;德国生物化学家 Embden 和 Meyerhof 对糖酵解反应途径的阐明;英国生物化学家 Kribs 证明了尿素循环和三羧酸循环;美国生物化学家 F. A. Lipmann 发现 ATP 在能量传递循环中的中心作用;Calvin 等对光合碳代谢途径的工作;以及维生素、激素的发现,极大地丰富了生物化学的知识,确立了生物化学作为生命科学重要基础的地位。

自从 1950 年以来,由于电镜技术、超速离心技术、各种色谱技术和电泳技术、X-射线晶体衍射技术等现代化技术和设备的发明和发展,生物化学进入了突飞猛进大发展的新时期。对蛋白质、酶、核酸等生物大分子的研究,从分离提纯发展到确定其化学组成、序列、空间结构及其与生物学功能的联系,进而发展到人工合成、人工模拟。据不完全的统计,在这个时期因在生物化学及相关领域的贡献而获得诺贝尔奖金的占了生理医学奖的一半和化学奖的三分之一以上,从而证明了生物化学在当代科学发展中的领先地位。1953 年 J. D. Watson 和 F. H. C. Crick 提出 DNA 双螺旋结构模型,1958 年 F. H. C. Crick 又提出了“中心法则”,为分子生物学奠定了基础;F. Sanger 在蛋白质氨基酸序列测定和 DNA 核苷酸序列测定方面的开拓性工作;W. Nirenberg 和 H. G. Khorana 在破译遗传密码方面的贡献;F. Jacob 和 J. Monod 提出的操纵子模型;W. Arber、D. Nathans 和 H. O. Smith 在限制性内切酶方面的贡献以及 H. M. Temin、D. Baltimore 发现逆转录酶,是这个时期最重要的进展。

随着研究领域的不断扩大和研究工作的继续深入,生物化学已建立起完整的理论和应用体系以及实验技术体系,同时根据不同的研究对象和应用范围形成了许多新的分支,如动物生化、植物生化、微生物生化、无机生化、地球生化、生理生化、病理生化、工业生化、农业生化、食品生化、分析生化、临床生化等。当前,人们尤其关注分子生物学和生物工程的发展。

分子生物学是在分子水平上研究生命过程的科学。具体地说,它要从核酸、蛋白质、酶等生物大分子和生物膜的结构、性质与功能的关系来阐明生物学的一些基本问题,如遗传变异、细胞分化、转化、生物进化、免疫等。这些问题都十分复杂,需要多种学科、多种技术的协同配合,生物化学是其基础和核心。由于遗传是生物界的普遍现象,遗传特征决定了生命活动的模式和进程,上述生物学基本问题的解决最终都与遗传相联系,因此研究生物体繁殖、遗传的生物化学机理成了分子生物学的核心。这种将生物化学与遗传学相结合的边缘科学也被称为分子遗传学或狭义的分子生物学,主要研究遗传物质(核酸)的复制、转录、表达、调控及其与其它生命现象的关系。

生物工程是在分子生物学的基础上发展起来的新兴技术学科,其最终目的就是要定向设计组建具有特定性状的新物种、新品系,结合发酵和生化工程的原理和技术,生产和加工新的生物材料,以期满足人类生产和生活的需求。生物工程包括基因工程、细胞工程、酶工程、发酵工程和生化工程,其中基因工程是整个生物工程的核心。生物工程的发展将给人类的生产和生活带来巨大而深远的影响,是下一代新兴产业的基础技术之一。正因为如此,作为 21 世纪的科技工作者,学习生物化学的基础理论、基础知识和基础技能,了解分子生物学的基本原理,是十分必要的。

如上所述,生物化学的产生与发展源于生产实践,它的迅速进步又反过来有力地推动着生产实践的发展。生物化学在生产实践中的作用体现在以下三个方面。

首先是生化知识的应用。生物化学揭示了各种生命活动的分子机制,使人们对各种生理和病理过程的认识不断深化,并将这些知识用于医学和工农业生产。在工业生产,尤其是发酵工业上,人们根据某种产物的代谢规律,特别是它的代谢调节规律,通过控制反应条件,或通过遗传手段改造生物,突破其限制环节的调控,生产出大量所需要的产品。氨基酸和维生素 C 的发酵生产就有许多出色的例证。在医学上,人们根据疾病的发病机理以及病原体与人体在代谢上和调控上的差异,筛选或设计出各种高效低毒的药物。在农业上,对光合作用机制的深刻认识,有助于提高辐射能的利用和 CO_2 的同化。人们还根据病虫害和杂草与正常家禽家畜和作物在代谢和调控上的差异,设计各种农药和除草剂。此外,农产品的贮藏、保鲜、加工也广泛地利用有关的生化知识。

第二是生化技术的应用。生化分析已成为现代工农业生产和医学实践中常规的工作内容。利用生化分析检验产品质量,监测生产流程,指导工艺过程的改造。生化分析有助于临床诊断,跟踪和指导治疗过程,还为探讨疾病产生机制和药物作用机制提供某些线索。特别是酶法分析,精度高,专一性强,有广阔的应用前景。生化分离纯化技术和生物合成技术不仅极大地推动了近代生物化学,特别是分子生物学和生物工程的发展,而且必将为许多传统的生产领域带来一场深刻的变革。

第三是生化产品的广泛应用。这一方面最主要的无疑是酶制剂的应用,例如蛋白酶制剂被用来帮助消化,溶解血栓;淀粉酶和葡萄糖异构酶用以生产高果糖糖浆;纤维素酶用作饲料添加剂;某些固定化酶被用来治疗相应的酶缺陷疾病;一些酶制剂已在工农业产品的加工和改造、工艺流程的革新和三废治理中得到应用。各种疫苗、血液制品、激素、维生素、氨基酸、核苷酸及其衍生物、抗菌素和抗代谢药物等,已经广泛应用于医疗实践。此外,各种食品添加剂、营养补剂和某些饲料添加剂也是生化制品。

本书共 11 章,大体分为四部分:1—5 章介绍构成生物体的几类主要物质,重点是蛋白质、核酸和酶等生物大分子的结构、性质及功能。6—8 章讨论物质代谢和能量代谢,重点是糖和脂肪酸的分解与生物合成途径,生物氧化和氧化磷酸化的基本知识。9—10 章介绍信息代谢,重点是 DNA 和 RNA 的生物合成以及蛋白质的生物合成。最后一章讨论代谢的调控机制,重点介绍酶活性和酶合成的调节机制。

生物化学反应是在生物体内进行的,在极其有限的空间内许多复杂的生化反应在酶的催化下有条不紊地进行,与体外发生的一般化学反应有显著的区别。学习生物化学时,要根据本学科的特点,联系先修课程(如有机化学)的知识,在教师指导下全面了解教材内容,以核酸、蛋白质等生物大分子的结构、性质、代谢及功能为重点,刻苦学习,加强记忆,促进理解,认真完成各种练习,重视实验工作,提高分析解决问题的能力。

第一章 糖化学

糖类物质(也叫碳水化合物),是含多羟基的醛类或多羟基的酮类化合物。它主要由C、H和O三种元素组成,其分子通式常以 $C_n(H_2O)_n$ 表示。

糖类物质是生物界分布极广,含量较多的一类有机物质。几乎存在于所有的生命机体中。糖类的绝大部分由无机碳素通过植物的光合作用合成,少部分由细菌的光合作用和化能合成作用产生。而动物只能直接或间接地利用现成的糖类。糖类除了提供维持生命过程和繁殖所需要的能量外,还对植物、动物和微生物等的机体构成起着巨大作用。人类所需热量的一半以上是由糖类,主要以粮食的形式提供。

糖类的非热学性质也很重要。人和动物皆依赖不消化性的糖类作为粗糙食物的来源。因为粗糙食物与消化性食物的营养成分一道通过消化系统使之保证肠道蠕动正常。此外,不消化性的糖类为消化道内菌丛提供生长的基质,使许多食物营养素的利用率得以提高。

生物体内的糖类以糖或以与蛋白质、脂类结合成结合糖的形式存在。

一、糖类物质的分类

可将糖类物质分为四类:

1. 单糖类 它是构成复杂糖类物质的单体。根据它含碳原子数的多少,分为丙糖、丁糖、戊糖、己糖和庚糖。它们各自又有醛糖和酮糖两种类型。它们的重要代表有:

丙糖:甘油醛和二羟丙酮。

戊糖:核糖、核酮糖、阿拉伯糖和木糖等。

己糖:葡萄糖、果糖、半乳糖和甘露糖等。

庚糖:景天庚酮糖。

2. 寡糖类 它们一般是由2—3个单糖分子组成的。自然界存在的寡糖有:

双糖:麦芽糖(葡萄糖—葡萄糖)、蔗糖(葡萄糖—果糖)和乳糖(半乳糖—葡萄糖)。

叁糖:棉子糖(半乳糖—葡萄糖—果糖)。

3. 多糖类 它是由多个单糖分子缩合,失水而成。水解后产生单一形式的单糖的叫均一多糖,水解后产生葡萄糖的有淀粉、糖原和纤维素,它们在自然界存在最为广泛;水解后产生果糖的有菊粉。水解后产生多于一种形式的单糖或单糖衍生物的叫不均一多糖,如植物产物中的半纤维素和树胶、动物产物中的粘多糖(含透明质酸、硫酸软骨素和肝素)。

4. 结合糖 指糖与非糖物质的结合物,它分布广泛,功能多种多样,常见重要的结合糖是糖蛋白,蛋白多糖和糖脂。

二、糖类物质的结构和立体化学

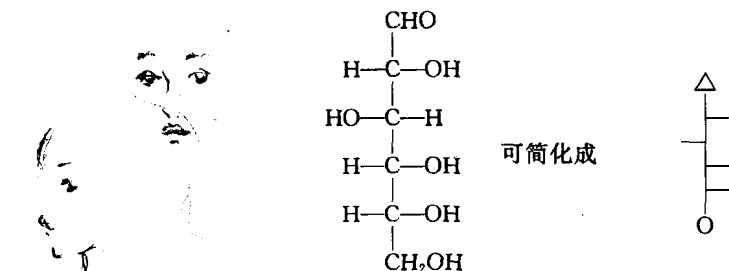
以最常见且最重要的单糖——葡萄糖为例分析其结构组成,推论其他糖的分子结构。

(一) 构型

所谓构型是指静态有机分子中的原子或基团在空间的排列方法。除了二羟丙酮外，所有的单糖都含有一个或更多的手性碳原子(亦称不对称碳原子，为连接四个不同原子或基团的碳原子)，所以均有其旋光异构体。旋光异构体彼此不能重叠，互为镜象，称为对映体。单糖旋光异构体的构型，按照它们与D-甘油醛或L-甘油醛的关系分为D-型和L-型两大类。可根据公式 2^n (n 为手性碳原子数目) 计算单糖的旋光异构体的数目。

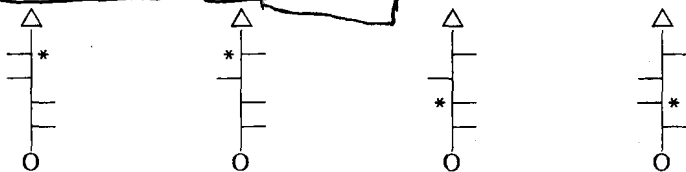
分析纯净葡萄糖元素组成，根据所得比例，知其实验式为 $(\text{CH}_2\text{O})_6$ 。用冰点降低法或沸点升高法测得其分子量为 180，从而断定葡萄糖分子式为 $(\text{CH}_2\text{O})_6$ 即 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 。

葡萄糖分子的元素组成、比例和分子式既定，那么，这些元素之间按什么方式结合的？即其分子结构式如何？大量的科学实验证明其链状结构式是：



由于它有 4 个不对称碳原子(C^*)，其异构体总数为 2^4 ，即 16 种。

在这些异构体中，存在一定的特殊情况，即某两个糖分子结构间，仅围绕着一个不对称碳原子，呈现构型彼此不同，称之为差向异构体。举例如下：



两者互为差向异构体。两者相互转化叫差向异构化作用。催化这种反应的酶叫差向异构酶，简称差向酶。



D-型醛糖和 D-型酮糖分别列于图 1-1 和图 1-2。

(二) 环状结构

葡萄糖不仅以链状结构存在，还以环状结构存在，因为葡萄糖的某些物理性质和化学性质不能用糖的链状结构来解释。

具有羰基和羟基的 D(+)-葡萄糖，能在分子内的 C_1 和 C_5 之间作用，使分子封闭成环，产生一个六员环的半缩醛，结果 C_1 变成了一个新的手性碳原子，因而可以形成两个非

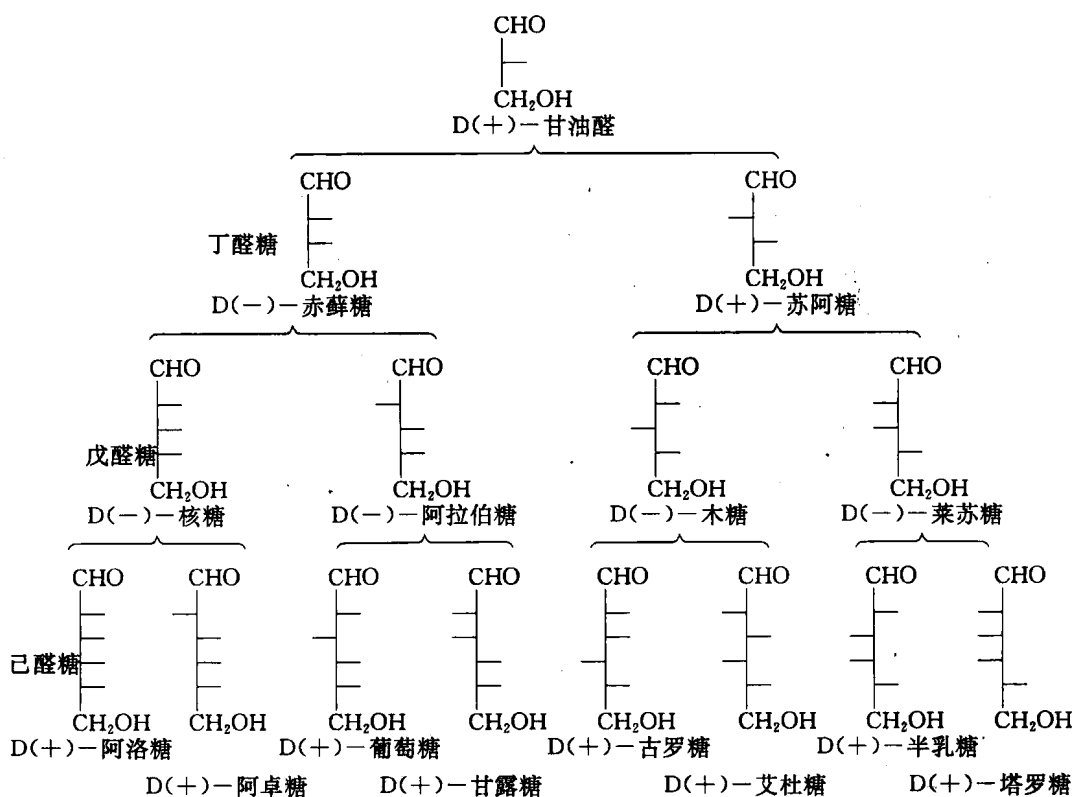
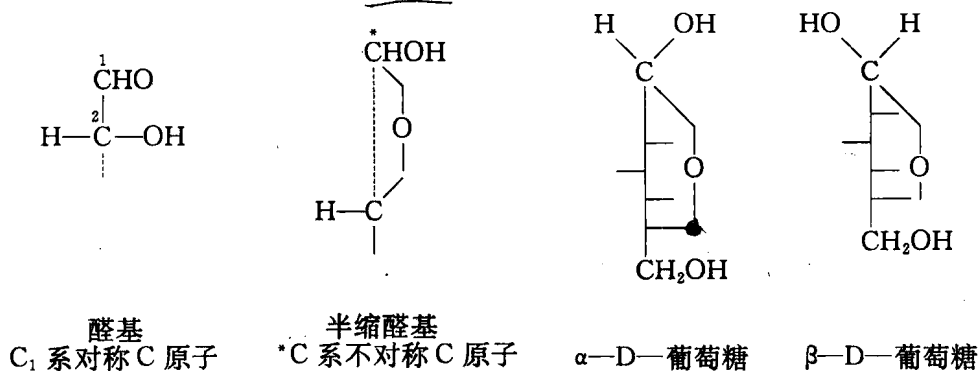


图 1—1 D—型醛糖

对映的旋光异构体：新形成的手性碳原子上的羟基（半缩醛羟基）与决定单糖构型的 C_5 上的羟基位于同一侧的为 α —型葡萄糖；不在同一侧的为 β —型葡萄糖。两者结构间仅头部不同，它们互为异构物， C_1 则称为“异头碳”。



在上述投影式结构中，过长的氧桥是不合理的。1926 年，W · N · Haworth 提出用透视图式表达糖的环状结构。

