

# 動物分類学

動物分類学は、動物界の多様性を理解し、その系統関係を明らかにするための学問である。この分野では、形態学、生態学、分子生物学などの多岐にわたる手法が用いられる。動物の分類は、古くは形態学的特徴に基づいて行われてきたが、近年では分子遺伝学的データが重要な役割を果たしている。動物界の多様性を理解し、その系統関係を明らかにするための学問である。この分野では、形態学、生態学、分子生物学などの多岐にわたる手法が用いられる。動物の分類は、古くは形態学的特徴に基づいて行われてきたが、近年では分子遺伝学的データが重要な役割を果たしている。



责任编辑 张舒普  
赵 畅  
封面设计 阎金良  
版式设计 周凤华

书 名 生物化学教程  
作 者 王运坤 吕显禄 主编  
出 版 行 青岛出版社 (青岛市徐州路77号)  
印 刷 曲阜师大印刷厂  
版 次 1988年10月 第1版  
1988年10月第1次印刷  
规 格 16开 (787×1092毫米)  
20.25印张 466 千字  
印 数 1—6000册  
标准书号 ISBN 7—5436—0287—3Q·1  
定 价 5.90元

## 前 言

生物化学作为生命的化学，自本世纪中期以来，取得了前所未有的飞速发展，许多复杂的生命现象，开始能够用物理学、化学和控制论的严格定律加以说明。生物化学开始成为“生命科学”中发展最迅速的边缘学科之一。这种进展，开辟了一条从分子水平上探索生命现象，揭示生命奥秘的重要途径。

生物化学发展迅猛，内容浩瀚、繁杂，这对于广大初学生物化学的学生来讲，无疑是个难题。如何在有限的篇幅内，由浅入深，既介绍生物化学的概要，又能使读者领略现代生物化学知识前沿的某些领域，便成了作者致力追求的目标。为了满足大专院校生物化学教学的需要，我们收集国内外最新资料，并总结了自己多年的教学经验，编写了这本《生物化学教程》。

本书共分四个部分十二章，分别讲述了生物分子的糖类、脂质类、蛋白质化学及酶、核酸化学；物质与能量代谢，包括氧化磷酸化、糖、脂质类代谢、蛋白质的分解代谢；核酸和蛋白质的合成以及物质代谢的调节等内容。本教程具有内容新颖、结构合理、通俗易懂、便于自学及适应性强等特点；每章有内容提要、正文、例题、习题、答案等部分构成，并用不同字体、字号排印，可供各大专院校生物学专业使用。各校院可根据各自教学计划的要求，灵活掌握授课内容。

本教程在编排内容和形式方面，尚属初次尝试，难免存在某些缺点和不妥之处，敬请同行专家及广大读者提出宝贵意见，以便再版时修订。

编 者

1988年7月

# 目 录

## 绪论

### 第一部分 生物分子

第一章 糖类化学	3
第一节 单糖	4
一、单糖的结构	4
二、单糖的化学性质	11
第二节 双糖	17
一、还原性双糖	18
二、非还原性双糖	18
第三节 多糖	21
一、淀粉	21
二、糖元	23
三、纤维素	23
四、葡聚糖凝胶	24
五、杂聚多糖	25
第二章 脂质类化学	32
第一节 单脂	32
一、三脂酰甘油类	32
二、蜡	37
第二节 复脂	38
一、磷脂和糖脂	38
二、生物膜	44
第三节 衍生脂类	47
第三章 蛋白质化学	50
第一节 蛋白质概述	50
一、蛋白质的结构与功能	50
二、蛋白质的分类	51
三、蛋白质的组成	53
第二节 氨基酸	53
一、氨基酸的结构通式	53
二、氨基酸的分类	54
三、氨基酸的理化性质	56

第三节 肽·····	66
一、谷胱甘肽·····	66
二、催产素和加压素·····	67
三、脑啡肽·····	67
第四节 蛋白质的结构·····	68
一、蛋白质的一级结构·····	68
二、蛋白质的空间结构·····	70
三、蛋白质结构与功能的关系·····	78
第五节 蛋白质的理化性质·····	81
一、蛋白质的胶体性质·····	82
二、两性解离及等电点·····	82
三、变性与凝固·····	83
四、沉淀·····	84
五、颜色反应·····	85
第六节 蛋白质分子量的测定·····	86
第四章 酶·····	92
第一节 酶的化学结构与活性部位·····	93
一、酶的化学组成·····	93
二、酶的分子结构·····	94
三、酶的活性部位·····	95
第二节 酶的催化作用·····	98
一、酶的催化本质——降低活化能·····	98
二、酶的催化机制·····	99
三、以溶菌酶为例说明酶的作用机制·····	101
第三节 酶催化反应的动力学·····	102
一、底物浓度对酶反应速度的影响·····	103
二、酶浓度对酶反应速度的影响·····	106
三、pH对酶反应速度的影响·····	107
四、温度对酶反应速度的影响·····	108
五、激活剂对酶反应速度的影响·····	108
六、抑制剂对酶反应速度的影响·····	108
第四节 同工酶、别构酶、诱导酶、固定化酶、工具酶简介·····	111
一、同工酶·····	111
二、别构酶·····	111
三、诱导酶·····	112
四、固定化酶·····	113
五、工具酶·····	113
第五节 维生素与辅酶·····	114

一、水溶性维生素	114
二、脂溶性维生素	118
第五章 核酸化学	123
第一节 核苷酸	123
一、核苷酸的组成和结构	123
二、重要的其它核苷酸	127
第二节 核酸的结构	128
一、脱氧核糖核酸的结构	128
二、RNA的结构	135
第三节 核酸的性质	139
一、一般性质	139
二、核酸的紫外吸收	139
三、核酸的变性, 复性及杂交	139
四、核酸的降解	141
<b>第二部分 物质代谢与能量代谢</b>	
第六章 氧化磷酸化	146
第一节 自由能	146
一、自由能的概念	147
二、化学反应自由能的计算	148
三、化学反应偶联时的自由能	
四、高能化合物	151
五、氧化还原反应中的自由能	153
第二节 呼吸链	156
一、呼吸链的概念	156
二、呼吸链的组成部分	157
三、呼吸链电子传递顺序	160
第三节 ATP的生成	163
一、ATP形成的几种方式	163
二、ATP合成与呼吸链偶联的部位	164
三、与ATP合成有关的转运	165
四、ATP的利用	167
五、呼吸的控制	167
第四节 氧化磷酸化作用机理	168
一、偶联假说简介	168
二、质子跨膜梯度	169
三、ATP酶复合体(或复合物V)	171
四、构象偶联假说	173
第七章 糖代谢	176

第一节 糖的酶促水解	176
一、淀粉(或糖元)的水解	176
二、双糖的水解	177
第二节 糖酵解	177
一、发酵和酵解的概念	177
二、糖酵解反应过程(EMP途径)	177
三、糖酵解能量的产生	184
四、糖酵解的生理意义	184
第三节 糖的有氧氧化	186
一、有氧氧化反应过程	186
二、葡萄糖在有氧分解过程中所产生的能量	192
三、有氧氧化的生理意义	192
四、乙醛酸循环途径	192
五、磷酸戊糖途径	194
第四节 糖的合成代谢	199
一、糖元、淀粉的合成	199
二、蔗糖的合成	199
三、糖异生	200
第八章 脂质类代谢	205
第一节 脂质类的酶促水解	205
一、三脂酰甘油(脂肪)的酶水解	205
二、磷脂的酶水解	206
三、其他脂质类的酶水解	206
四、脂质类的吸收运转和储存	207
第二节 脂肪的分解代谢	208
一、甘油的氧化	208
二、脂肪酸的分解代谢	209
第三节 脂肪的合成代谢	216
一、脂肪酸的合成	216
二、 $\alpha$ -磷酸甘油的来源	222
三、脂肪的合成	222
第四节 磷脂的生物合成	223
一、磷脂酰胆碱的合成	223
二、植物及微生物体内磷脂合成途径	225
三、神经鞘磷脂的生物合成	226
第五节 胆固醇	227
一、胆固醇的生物合成	227
二、胆固醇的降解和转变	228

第九章 蛋白质的分解代谢	237
第一节 蛋白质的营养作用	237
一、氮平衡	237
二、蛋白质的生理需要量	237
三、蛋白质的营养价值	238
第二节 蛋白质的酶促降解	238
第三节 氨基酸的一般代谢	239
一、氨基酸的分解代谢	240
二、氨基酸的合成代谢	240
第四节 一碳单位的代谢	254
一、一碳单位的概念	254
二、一碳单位的来源及与四氢叶酸的结合方式	254
三、一碳单位的生成和互变	255
四、一碳单位代谢的意义	260
第五节 糖, 脂质类和蛋白质代谢的相互关系	260
一、糖代谢与脂质类代谢的相互关系	261
二、糖代谢与蛋白质代谢的相互关系	261
三、脂质类代谢与蛋白质代谢的相互关系	261
<b>第三部分 遗传信息的储存与传递</b>	
第十章 核酸的生物合成	264
第一节 DNA的生物合成	265
一、原核生物的DNA复制	265
二、真核生物的DNA复制	268
三、逆转录	270
四、DNA的损伤与修复	271
第二节 RNA的生物合成	273
一、原核生物的转录	273
二、真核生物的转录	277
三、RNA指导的RNA合成 (RNA复制)	279
第三节 核苷酸的分解与合成	280
一、核苷酸的分解	280
二、核苷酸的生物合成	280
第十一章 蛋白质的生物合成	283
第一节 三种核糖核酸在蛋白质合成过程中的作用机理	283
一、mRNA在蛋白质生物合成过程中的作用机理	283
二、tRNA在蛋白质生物合成过程中的作用机理	284
三、核蛋白体在蛋白质生物合成过程中的作用机理	285
第二节 蛋白质的生物合成	285



一、氨基酸的活化与转运.....	286
二、核蛋白体循环.....	286
三、肽链合成后的加工处理.....	291
<b>第四部分 代谢调节</b>	
第十二章 物质代谢的调节.....	294
第一节 细胞水平的调节.....	295
一、代谢途径中的酶与酶体系在调节中的基本规律.....	295
二、酶结构的调节.....	302
三、酶含量的调节.....	306
第二节 激素对物质代谢的调节.....	308
一、蛋白质及肽类激素的作用机理.....	310
二、类固醇激素的作用机制.....	312
第三节 神经系统对物质代谢的调节.....	312

# 绪 论

## 一、何谓生物化学

生物化学 (Biochemistry) 即生命的化学,它是研究生物体的化学组成及生命现象的化学变化规律的一门学科,也可以说是在分子水平上研究生命现象,探讨生命的奥秘的学科。

生物有多种,根据研究对象的不同,生物化学可分为动物生化、植物生化、医用生化、农业生化等等,而我们讲的是普通生物化学,其基本内容包括四大部分:生物分子;物质代谢与能量代谢;遗传信息的储存与传递;代谢的调节控制。

## 二、生物化学的重要性

现代生物化学的发展,雄辩地说明了生物化学有着非常重要的意义,可简要的从以下两方面加以说明。

### (一) 生物化学在生命科学中的地位

生物化学既是生命科学的基础学科,又是边缘、带头学科。可以毫不夸张地说:学习生物化学,是学习生命科学的重要基础,人们要深入了解生命现象的本质,揭示生命的奥秘,就势必涉及到它的分子基础,就必须从分子水平上来加以研究。特别是遗传学,微生物学、生理学、细胞学等,一句话,生命科学离不开生物化学。同时,只有生物化学的发展才能带动和促进现代生命科学的进展;又能推动分子生物学、分子遗传学等新兴学科的产生和发展。没有现代生物化学,就没有现代生命科学。有人曾这样说过:生物化学是学好生命科学的一把钥匙。

### (二) 生物化学与人生的关系

生物化学与人类生活关系极为密切。

工业:发酵工业,食品工业,抗菌素工业,生物制品工业,皮革工业等等。

农业:新品种的培育,病虫害的防治,除草剂和植物激素的应用,畜牧业的营养,光合作用及氮素固定,水果蔬菜的贮藏等等。

医药:临床的生化诊断与防治,新的药物的生产,疑难病症的攻克,健康与长寿等等。

上述各类问题的研究与发展,均离不开生物化学。

另外,有关航天、海洋等方面的一些学科,也离不开生物化学。

### 三、我国对生物化学发展所作出的重要贡献

生物化学是一门年轻学科，20世纪初才成为一门独立的学科。但在我国，生化的萌芽可追溯到很早的时候。4000多年前，我国已能用粮食酿酒。商周时期（公元前12世纪）已能制酱醋。春秋战国时期，用曲治疗消化道疾病；晋朝（4世纪）用海藻（含碘）治疗瘰疬（甲状腺肿）。而欧洲直到公元1170年才开始应用。

在现代生物化学的发展中，我国生化工作者也做出了应有的贡献。20世纪20年代后期，在血液的制备及血糖的测定方面的研究成果，迄今还被人们采用。在蛋白质变性学说，营养学等方面，均作出过有影响的成就。特别值得提出的是在我国解放以后，中国科学院生化所、有机所、北京大学等科学工作者，于1965年首先用人工方法，合成了具有生物学活性的蛋白质——结晶牛胰岛素；1981年，由中国科学院生化所的科学工作者，在世界上第一次合成了有携带氨基酸活性的酵母丙氨酸tRNA全分子，开辟了人工合成生物分子的途径；1982年，我国生化学者洪国藩创立了DNA序列的连续测定法，在世界上具领先地位。

（王运坤）

# 第一部分 生物分子

生物细胞内，含有数量不同的糖类、脂质类、氨基酸与蛋白质，以及核苷酸与核酸、酶等化合物，这些物质统称为生物分子 (Biological molecules)，这是构成生物体的重要有机成分，其中蛋白质、核酸、多糖等特称作生物大分子 (Biological macromolecules)，这些物质分子量都很大，一般在 1 万以上；它们是由许多小分子的结构单元按一定方式聚合而成；有特定的空间结构与研究方法等等。

组成大分子的小分子，也可称作构件分子，它们是构成大分子的结构单元。如氨基酸、核苷酸、葡萄糖等，分别是构成蛋白质、核酸、多糖的结构单元。另外，生物体内还有许多低分子量的化合物。

学习这一部分，应注意各种生物分子在结构与功能方面的共同点与不同点，分析比较，归纳总结，便于掌握。

## 第一章 糖类化学

### 提 要

糖类物质是重要的生物物质，它是生物体内代谢的中间产物，是生物体的结构物质、组成成分，也是生物体内重要的能源物质。通过本章内容的学习，重点要掌握单糖的化学结构和性质，在此基础上，进而掌握一些重要的双糖及多糖的化学结构和性质。同时，还应注意一些重要的糖类衍生物，如糖苷、糖酯等的结构特点及其生物学意义。

糖类物质是多羟基醛、多羟基酮以及它们的缩聚物的总称。有时也包括它们的一些衍生物。糖类物质由 C、H、O 三种元素组成。由于人们最初发现的糖类物质，其分子式均符合  $C_n(H_2O)_m$  的通式，所以曾将糖类物质称为“碳水化合物”。这类化合物有其独特的化学结构和性质。然而，随着科学的发展，人们发现有一些化合物，如鼠李糖 ( $C_6H_{12}O_5$ )、脱氧核糖 ( $C_5H_{10}O_4$ ) 其分子组成并不符合  $C_n(H_2O)_m$  的通式，其性质却完全符合所谓“碳水化合物”的性质；反之，另一些物质，如甲醛 ( $CH_2O$ )、乙酸 ( $C_2H_4O_2$ ) 等，从其组成看，应属于“碳水化合物”之列，但从其结构特点及性质看，却与“碳水化合物”相去甚远。因此，“碳水化合物”这个名称对于这类物质是不恰当的，以称“糖类物质”为宜。

糖类物质在自然界分布很广，含量也较多。几乎所有的生物体内都含有糖类物质，其中以植物含糖类物质最多，约占其干重的 80%，人体内含糖量不超过体重的 2%。糖类物质对于生物的生命过程是极其重要的，它可以通过氧化，产生大量的能量，来满足生物体生命过

程的需要；它们能在生物体内转化为其他生物分子；它们还是生物体内重要的结构物质，如纤维素就是植物的支撑物质；糖类物质还可以与脂类、蛋白质形成复合物糖脂、糖蛋白，是生物膜的重要组成成分。

糖类物质按其组成及水解情况可以分为单糖、低聚糖（也称寡糖）和多糖。单糖不能再被水解成更小分子的糖，通常是结晶形的，可溶于水，并有甜味，如葡萄糖、果糖、核糖、脱氧核糖等。低聚糖和多糖都是单糖的缩聚物。低聚糖可以被水解得到2~8个单糖分子，其中麦芽糖、蔗糖、乳糖均为常见的重要的聚糖。多糖如淀粉、糖元、纤维素等，均能水解产生许多单糖分子，它们一般无明显的晶形，无甜味，不溶于水，或溶于水形成胶体溶液。

## 第一节 单 糖

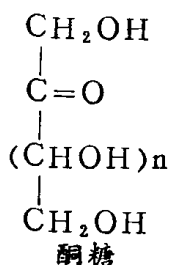
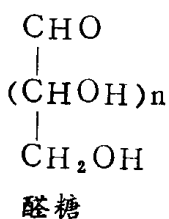
单糖包括含3~6个碳原子的多羟基醛和多羟基酮。天然产的单糖多为五碳糖或六碳糖。一些三碳糖如甘油醛、二羟丙酮等是重要的代谢中间产物。

### 一、单 糖 的 结 构

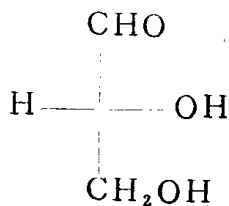
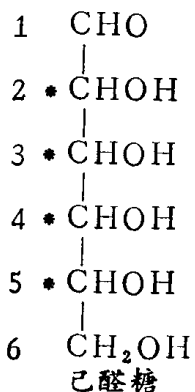
#### (一) 单糖的链状结构及构型表示法

通过大量实验工作，人们测得了各种单糖的组成，并由一系列的实验，弄清了它们的结构。

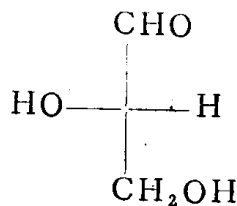
单糖分为醛糖和酮糖：



五碳糖常称戊糖，六碳糖常称己糖。以己醛糖为例，它们的分子式均为 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ，均含一个醛基和五个羟基，五个羟基分别连在醛基以外的五个碳原子上。



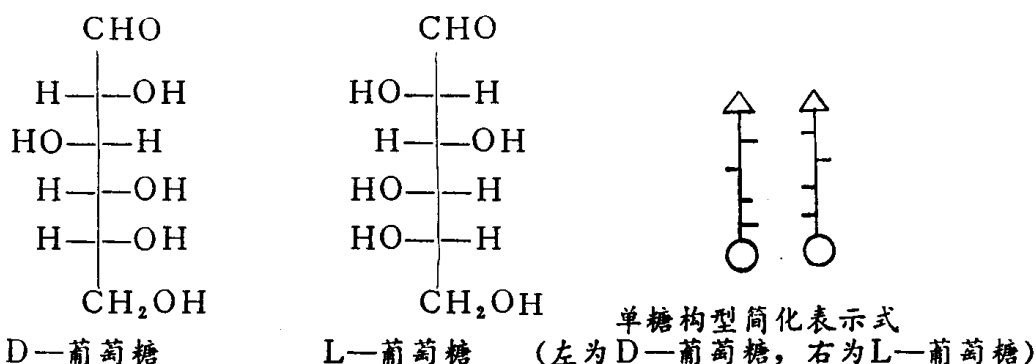
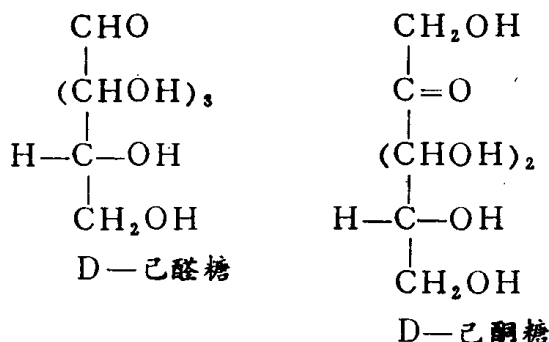
D-(+)-甘油醛



L-(-)-甘油醛

从己醛糖结构式中可以看到， $\text{C}_2$ 、 $\text{C}_3$ 、 $\text{C}_4$ 、 $\text{C}_5$ 是手性碳原子，己醛糖最多可以有 $2^4 = 16$ 个立体异构体。现在，己醛糖的16个立体异构体均已得到并分离出来。这16个立体异构体是八对对映异构体。

单糖的构型的标纪，习惯上以甘油醛为标准，采取D/L标记法。在单糖的构型表示式中，如果最远离-CHO（或>C=O）的手性碳原子的构型与D-甘油醛相同，则为D型糖；如果最远离-CHO（或>C=O）的手性碳原子的构型与L-甘油醛相同，则为L型糖。如葡萄糖是己醛糖，它有一对对映异构体，一个为D-葡萄糖，另一个为L-葡萄糖。



可见，单糖均为不对称的化合物，它们都有旋光性。如从实验可知，D-葡萄糖是右旋糖，则L-葡萄糖是左旋糖。

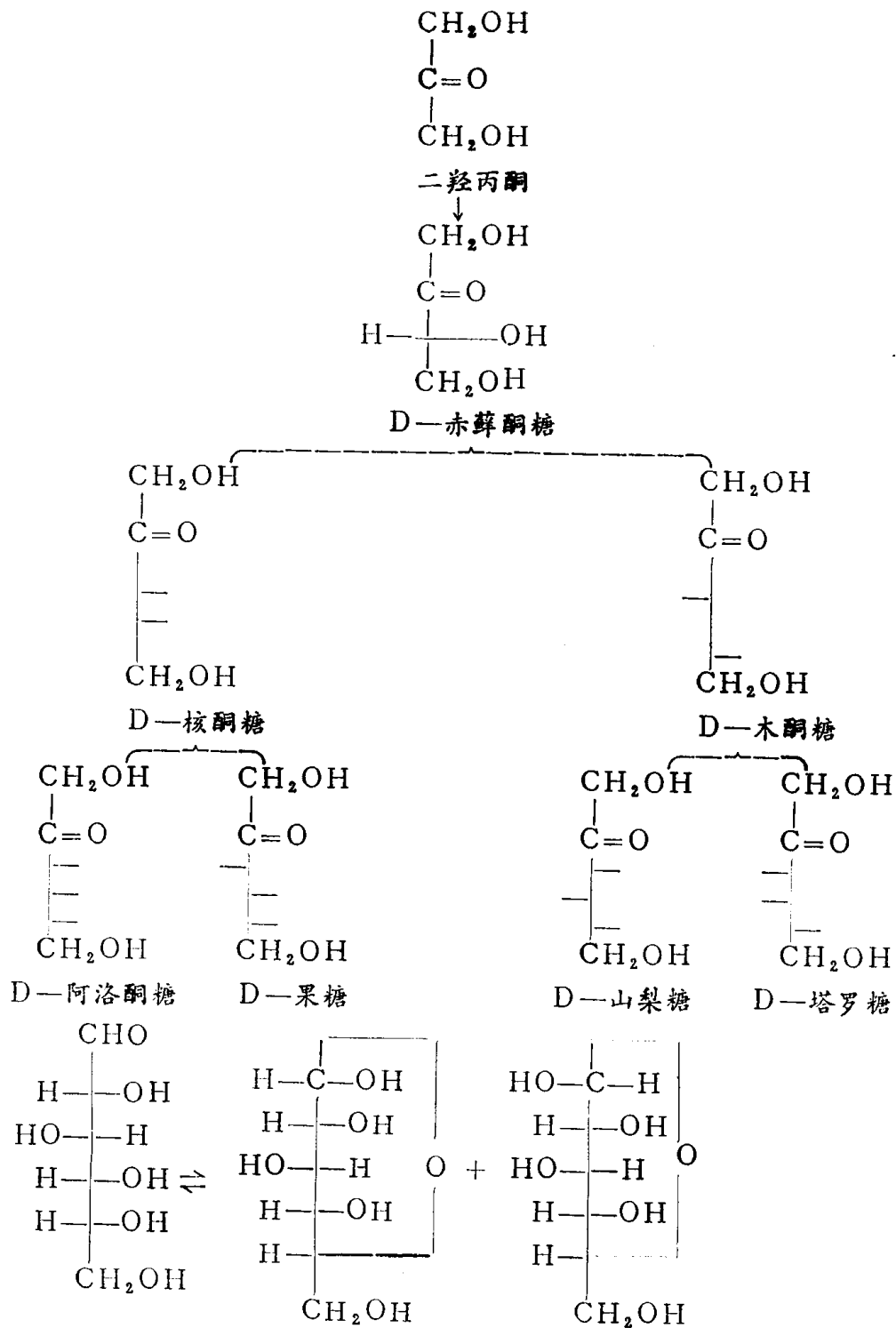
己醛糖的十六个立体异构体中，八个是D型的，称D-系糖，八个是L型的，称L-系糖。在人体代谢过程中起重要作用的己糖是D-(+)-葡萄糖，D-(-)-果糖及D-(+)-半乳糖。糖类物质的一对对映体中，往往只有一个是天然存在的，如葡萄糖的一对对映体中，天然存在的是D-(+)-葡萄糖。

## (二) 单糖的环状结构

1. 糖苷的形成：以葡萄糖为例。它具有醛基所特有的一些特征反应，如可以被托伦试剂等弱氧化剂所氧化，可以与羰基试剂反应等，但也发现它在一些典型的醛的反应中表现出很大的特异性，如与NaHSO<sub>3</sub>加成极其缓慢，和品红试剂不反应。近年来通过红外光谱和核磁共振谱研究也发现在溶液中葡萄糖的醛基消失。一般的醛在干HCl存在下与甲醇反应，得到半缩醛，再进一步与甲醇反应生成缩醛，1摩尔醛应消耗2摩尔甲醇。但葡萄糖在同一条件下生成缩醛，只消耗1摩尔甲醇。大量实验事实证明，葡萄糖在水溶液中以及晶体状态下，具有半缩醛式的环状结构，即葡萄糖分子中C<sub>5</sub>上的-OH与它的CHO作用。生成环状半缩醛。



表 1—2 D—系酮糖构型式

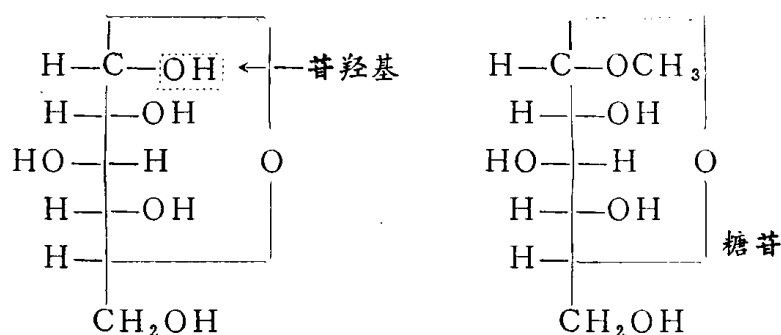


葡萄糖的环状结构与开链式（也称醛式）之间可以互变。当葡萄糖与不同的试剂反应时，葡萄糖可以根据不同反应的需要，以开链式或环状形式参加反应。也正因此，与羟基化合物如甲醇反应生成缩醛时，1摩尔葡萄糖只与1摩尔甲醇反应。

在糖类化合物的化学中，糖与羟基化合物所形成的衍生物叫糖苷。当糖形成环状半缩醛形式时，C<sub>1</sub>上的羟基叫苷羟基；与糖成苷的羟基化合物叫苷元，又称配基或配质。糖和苷元之间所形成的键叫苷键或糖苷键。由于糖苷已失去了苷羟基，所以糖苷分子中糖单位以环



状形式存在，不再与开链式互变。



2. 糖的变旋现象：在大量的实验中，人们发现D—葡萄糖存在二种不同的结晶，它们在水溶液中的比旋光度发生特异的变化。

一般常温下由水溶液中结晶的D—葡萄糖，熔点为147℃（分解），其新配制的溶液的比旋光变 $[\alpha]_D$ 为+113.4°，将此溶液放置一段时间，比旋光度会发生变化， $[\alpha]_D$ 值逐渐下降，最后达到+52.5°维持不变。而在110℃极浓溶液中结晶得到的葡萄糖，其熔点为148~150℃，其新配制的溶液的 $[\alpha]_D$ 为+19°，此溶液放置后，比旋光度上升，至+52.5°也维持不变。

糖溶液这种比旋光度改变的现象称为变旋现象。变旋现象是糖的一种普遍现象，这种现象的存在，说明了同是D—系糖（或L—系糖）应有二种异构体，并且在溶液中存在着一个平衡体系。

当糖形成半缩醛环状结构时， $C_1$ 也就成了手性碳原子，它应有二种构型，当苷羟基与决定构型的羟基在碳链同侧时，我们称之为 $\alpha$ 型，当苷羟基与决定构型的羟基在碳链异侧时，我们称之为 $\beta$ 型。

