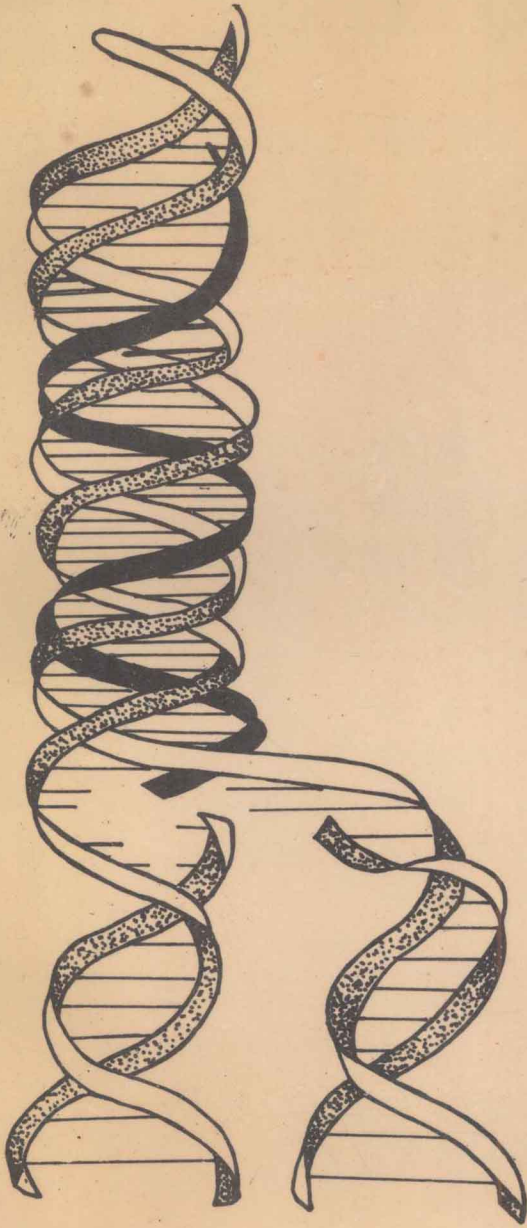


应用生物学专业系列教材



# 应用生物化学

袁均林 梅星元 梅尚筠 主编

湖北科学技术出版社

应用生物学专业系列教材

# 应用生物化学

袁均林  
梅星元 主 编  
梅尚筠

湖北科学技术出版社

鄂新登字 03 号

应用生物化学

◎袁均林 梅星元 梅尚筠 主编

湖北科学技术出版社出版发行

湖北省农业科学院印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 11.125 印张 300 千字

1994 年 1 月第 1 版 1994 年 1 月第 1 次印刷

ISBN7-5352-1401-0/Q·4

印数:1-5000 定价:8.50 元

# 前 言

随着社会主义经济的蓬勃发展和改革开放的深入,社会上急需应用生物方面的人才,为此很多大专院校开设了应用生物专业,而生物化学是应用生物专业的一门极为重要的学科。目前国内虽然出版了各种不同类型的生物化学教材,但远远不能适应应用生物专业的要求。所以我们从1988年开始着手编写了“应用生物化学”教材初稿,并将此初稿在华中师范大学应用生物专业中试用过四届,后经不断修改,才正式编写而成。在编写过程中我们力求做到以下几点:

一、在内容上力求做到“少而精”、由浅入深、循序渐进。既要强调基础知识,也要突出应用的特点,同时还要适当反映本学科的新动向,新进展。为此我们在实验内容上进行了较大的改革,删去了验证理论的一些定性实验,而增加了实验应用如农副产品开发的实验,以及一些与实际有关的定量实验。

二、在编写次序上注意层次分明,知识的连贯性和整体性。

三、在文字上力求简明通顺、流畅、便于自学

湖北科学技术出版社对此书出版给予了大力支持。武汉华生生物技术开发研究所书刊部给予了大力协助。王运波同志参加了本书插图的绘制工作。在此,我们一并表示感谢。

此书由华中师范大学生物系资助出版,我们表示衷心感谢。

此书在编写过程中由于时间仓促,编者水平有限,难免会出现一些缺点和错误,希望广大读者和同仁批评指正。

作 者  
一九九四年元月

主 编 袁均林 梅星元 梅尚筠(以下按姓氏笔划为序)  
副主编 王心宽 陈可夫 肖用森 林水洲  
周建军 潘继承 戴必胜  
编 委 王雪枫 王宪泽 卢 军 卢元芳  
刘 闻 刘学群 况启生 陈 昆  
郑世英 周晓燕 胡乾镇 侯振建  
高 兵 涂 岩 萧惠连

# 目 录

第一章 糖类化学..... (1)	二、蛋白质的组成单位—氨基酸..... (22)
第一节 糖类的概念与分类 ..... (1)	..... (22)
一、糖类的概念 ..... (1)	第二节 蛋白质的结构及功能 ..... (28)
二、糖类化合物的分类 ..... (1)	一、蛋白质的结构..... (28)
第二节 单糖的结构及性质 ..... (2)	二、稳定蛋白质分子结构的化学键..... (33)
一、单糖的构型和立体异构体 ..... (2)	三、蛋白质结构与功能的关系..... (33)
二、葡萄糖的环状结构 ..... (4)	第三节 蛋白质的性质 ..... (35)
三、葡萄糖的构象 ..... (5)	一、蛋白质的分子量..... (35)
四、重要的单糖及其衍生物 ..... (5)	二、蛋白质的两性解离及等电点..... (35)
五、单糖的性质 ..... (6)	三、蛋白质的胶体性质..... (35)
第三节 寡糖的结构及性质 ..... (8)	四、蛋白质的沉淀反应..... (36)
一、二糖的结构 ..... (8)	五、蛋白质的变性作用..... (36)
二、二糖的性质 ..... (9)	六、紫外吸收性质..... (36)
第四节 多糖 ..... (9)	七、蛋白质的颜色反应..... (37)
一、均一多糖 ..... (9)	第四节 蛋白质的分类 ..... (37)
二、不均一多糖..... (11)	一、简单蛋白质..... (37)
三、几种层析用试剂的多糖..... (12)	二、结合蛋白质..... (38)
第五节 壳聚糖的应用 ..... (12)	第五节 氨基酸的制备、纯化及鉴定 ... (38)
一、概述..... (12)	一、水解前处理..... (38)
二、壳聚糖在农业上的应用..... (13)	二、蛋白质水解..... (38)
三、壳聚糖在化妆品工业上的应用..... (13)	三、沉淀氨基酸..... (39)
四、壳聚糖在医学上的应用..... (13)	四、离子交换法纯化氨基酸..... (39)
五、污水处理中的沉清剂..... (13)	五、氨基酸的鉴定及纯度测定..... (39)
第二章 脂类化学 ..... (14)	第四章 核酸化学 ..... (40)
第一节 脂类的概念、分类及功能 ..... (14)	第一节 核酸的化学组成 ..... (40)
第二节 脂肪 ..... (14)	一、核酸的元素组成..... (40)
一、脂肪的结构和组成..... (14)	二、核酸的组成成分..... (40)
二、脂肪酸..... (15)	第二节 核酸的结构 ..... (43)
三、脂肪的理化性质..... (16)	一、核酸的一级结构..... (43)
第三节 磷脂 ..... (16)	二、DNA 的空间结构 ..... (43)
一、甘油磷脂..... (16)	三、RNA 的空间结构 ..... (47)
二、鞘氨醇磷脂..... (17)	第三节 核酸的性质 ..... (48)
三、磷脂的性质..... (18)	一、溶解性..... (48)
第四节 萜类和类固醇类 ..... (18)	二、紫外吸收..... (49)
一、萜类..... (18)	三、核酸的变性与复性..... (50)
二、类固醇类..... (19)	第四节 核酸的提取、分离和测定 ..... (51)
第五节 油料下脚料的开发利用... (20)	一、核酸的提取..... (51)
一、制取脱毒饲料..... (20)	二、核酸及其组分含量的测定..... (52)
二、提取脂肪酸..... (21)	第五章 酶化学 ..... (53)
第三章 蛋白质化学 ..... (22)	第一节 酶的概念、命名和分类 ... (53)
第一节 蛋白质的化学组成 ..... (22)	
一、元素组成..... (22)	

一、酶的概念	(53)
二、酶的命名	(53)
三、酶的分类	(54)
第二节 酶的专一性	(55)
一、结构专一性	(55)
二、立体化学专一性	(55)
第三节 酶的化学组成与结构	(56)
一、酶的化学本质及其组成	(56)
二、酶蛋白的结构	(56)
三、酶原的激活	(57)
四、同工酶	(57)
第四节 酶作用的基本原理	(58)
一、酶作用与分子活化能	(58)
二、酶的作用原理	(59)
三、酶的高催化效能与结构的关系	(60)
第五节 酶促反应动力学	(61)
一、底物浓度对酶反应速度的影响	(61)
二、酶浓度对反应速度的影响	(64)
三、pH 对酶反应速度的影响	(64)
四、温度对酶反应速度的影响	(65)
五、激活剂对酶反应速度的影响	(65)
六、抑制剂对酶反应速度的影响	(65)
第六节 酶的制备	(67)
一、酶的活力测定	(67)
二、酶的提取和纯化	(68)
第六章 维生素和辅酶	(70)
第一节 概述	(70)
一、维生素的概念	(70)
二、维生素的命名与分类	(70)
第二节 辅酶与水溶性维生素	(70)
一、辅酶 I 和辅酶 II 与维生素 PP	(70)
二、脱羧辅酶与维生素 B <sub>1</sub>	(71)
三、黄素辅酶与维生素 B <sub>2</sub>	(72)
四、辅酶 A 和泛酸	(73)
五、磷酸吡哆醛与维生素 B <sub>6</sub>	(74)
六、叶酸辅酶与叶酸	(74)
七、维生素 B <sub>12</sub> 辅酶与维生素 B <sub>12</sub>	(75)
八、生物素	(75)
九、维生素 C	(75)
第三节 脂溶性维生素	(77)
一、维生素 A	(77)
二、维生素 D	(77)
三、维生素 E	(78)

四、维生素 K	(78)
第七章 三羧酸循环与氧化磷酸化	(79)
第一节 新陈代谢	(79)
第二节 ATP 及其它高能化合物	(79)
一、自由能的概念与 ATP 循环	(79)
二、高能磷酸键和高能化合物	(80)
三、能量和磷酸基的转移	(80)
第三节 三羧酸循环	(81)
一、三羧酸循环的反应过程	(81)
二、三羧酸循环的生理意义	(83)
第四节 氧化磷酸化	(84)
一、ATP 的生成方式	(84)
二、电子传递链的主要组成成分	(84)
三、电子传递链的顺序	(85)
四、电子传递链中产生 ATP 的部位	(86)
五、氧化磷酸化的机制	(87)
六、氧化磷酸化的调节	(87)
第八章 糖代谢	(89)
第一节 多糖的酶促降解	(89)
第二节 糖的分解代谢	(90)
一、糖的无氧分解	(90)
二、糖的有氧分解	(91)
三、磷酸戊糖途径	(93)
第三节 糖的合成代谢	(95)
一、蔗糖的合成	(95)
二、淀粉的合成	(96)
三、糖原的合成与糖原的异生作用	(96)
第四节 糖代谢紊乱	(96)
一、先天性糖代谢酶的缺陷病	(96)
二、糖尿病	(97)
三、低血糖症	(97)
第九章 脂代谢	(98)
第一节 脂类的酶促降解	(98)
第二节 脂肪的分解代谢	(98)
一、甘油的去路	(98)
二、脂肪酸的 $\beta$ -氧化	(98)
三、酮体的生成和利用	(100)
第三节 脂肪的合成代谢	(101)
一、磷酸甘油的来源	(101)
二、脂肪酸的合成	(101)
三、脂肪的合成	(102)
第四节 脂类代谢紊乱	(103)
一、酮体和酮血症、酮尿症	(103)
二、脂肪肝	(103)

## 第十章 含氮化合物代谢 I—氨基酸代谢

.....	(104)
第一节 蛋白质的营养作用 .....	(104)
一、蛋白质的生理功能 .....	(104)
二、氮平衡 .....	(104)
三、必需氨基酸 .....	(104)
第二节 蛋白质酶促降解 .....	(105)
第三节 氨基酸分解代谢的共同途径 .....	(105)
一、氨基酸的脱氨基作用 .....	(105)
二、氨基酸脱羧基作用 .....	(108)
第四节 氨的代谢转变 .....	(109)
一、尿素的生成 .....	(109)
二、谷氨酰胺的运氨作用 .....	(110)
第五节 $\alpha$ -酮酸的代谢转变 .....	(111)
一、氨基酸碳链的氧化途径 .....	(111)
二、生糖氨基酸和生酮氨基酸 .....	(112)
第六节 氨基酸的合成代谢 .....	(112)
第七节 谷氨酸的发酵 .....	(114)
一、谷氨酸产生菌的生物化学特征 .....	(114)
二、谷氨酸生物合成途径 .....	(115)

## 第十一章 含氮化合物代谢 II—核苷酸代谢

.....	(116)
第一节 核苷酸的分解代谢 .....	(116)
一、核酸的酶促降解 .....	(116)
二、碱基的分解 .....	(116)
第二节 核苷酸的合成 .....	(117)
一、核苷酸的从头合成途径 .....	(118)
二、核苷酸合成的补救途径 .....	(120)
三、脱氧核糖核苷酸的合成 .....	(121)

## 第十二章 基因信息的传递

第一节 DNA 的复制 .....	(122)
一、半保留复制 .....	(122)
二、参与 DNA 复制的酶类 .....	(123)
三、DNA 复制过程 .....	(126)
四、DNA 复制的特殊规律 .....	(127)
五、DNA 的损伤与修复 .....	(128)
第二节 RNA 的转录 .....	(129)
一、催化 RNA 合成的酶 .....	(129)
二、转录的过程 .....	(130)
三、RNA 转录后的加工修饰 .....	(132)
第三节 翻译—蛋白质生物合成 .....	(134)
一、参与蛋白质生物合成的物质 .....	(134)

## 二、蛋白质生物合成的机制 .....

## 第十三章 代谢调节 .....

第一节 概述 .....	(143)
一、细胞水平的调节 .....	(143)
二、激素水平的调节 .....	(143)
三、神经水平的调节 .....	(145)
第二节 酶活性的调节 .....	(146)
一、反馈抑制的调节 .....	(146)
二、酶促化学修饰的调节 .....	(148)
第三节 酶数量的调节 .....	(149)
一、诱导酶合成的机制 .....	(149)
二、阻遏酶合成的机制 .....	(150)
第四节 代谢调节在生产实践中的应用 .....	(150)
一、降低最终产物的浓度 .....	(150)
二、添加诱导物类似物以增加酶的产量 .....	(151)
三、选育抗代谢产物类似物的变异株,提高代谢产物的产量 .....	(151)

## 第十四章 DNA 重组与基因工程 .....

第一节 DNA 重组的步骤 .....	(152)
一、目的基因和载体的分离 .....	(152)
二、重组 DNA 的形成 .....	(153)
三、重组 DNA 导入受体细胞 .....	(155)
四、DNA 重组体的筛选与鉴定 .....	(156)
第二节 基因工程的应用 .....	(157)
一、在工业上的应用 .....	(157)
二、在农业上的应用 .....	(157)
三、在医学上的应用 .....	(157)

实验一 .....	(159)
实验二 .....	(160)
实验三 .....	(160)
实验四 .....	(161)
实验五 .....	(161)
实验六 .....	(162)
实验七 .....	(163)
实验八 .....	(164)
实验九 .....	(164)
实验十 .....	(165)
实验十一 .....	(166)
实验十二 .....	(167)
实验十三 .....	(168)



# 第一章 糖类化学

## 第一节 糖类的概念与分类

### 一、糖类的概念

自然界中分布最广、数量最多、并且具有广谱的化学结构和生物学功能的一类有机化合物就是糖类化合物,从低等的细菌到高等的动、植物均含有糖类化合物,它主要由绿色植物经光合作用形成,故其植物体中含量最为丰富,约占其干重的 85%~90%,而其它生物则以糖类为营养物质。

糖类化合物主要是由碳、氢和氧所组成,其中氢和氧的比例往往又是 2:1,恰与水分子中氢和氧的比例相同,因此最初用  $C_n(H_2O)_m$  通式来表示,统称为碳水化合物。后来发现有许多糖类化合物的结构不符合  $C_n(H_2O)_m$  的结构通式,例如(鼠李糖) $C_6H_{12}O_5$ , (脱氧核糖) $C_5H_{10}O_4$  等。而有些非糖物质,如(甲醛) $CH_2O$ , (乳酸) $C_3H_6O_3$  和(乙酸) $C_2H_4O_2$  等,它们分子中氢和氧原子数的比例恰好又是 2:1。此外还发现有些糖类化合物中除含有 C、H、O 外还含有 N、S 和 P 等其它元素,因此碳水化合物的这一名称显然对糖类化合物已不恰当,但因沿用已久,至今还在引用这一名称。但实际上糖类物质对其基团组成来看均含有醛基( $-CHO$ )或酮基( $-CO-$ )以及羟基,故现在将糖类化合物命名为多羟基醛或酮及其缩聚物和某些衍生物。

长期以来,糖类化合物一直是一切生命活动所需能量的主要来源,是生物体合成其化合物的主要的基本原料,以及充当生物体内的结构物质。糖类化学的研究是生物体内有机物较早的物质,18 世纪到 19 世纪 20 年代,C. S. Hudson 建立了糖的结构、立体构型与光学性质关系的法则,W. N. Haworth 提出了糖的环状结构式等,取得了光辉的成就,但在 20 年代以后,较长一段时期内不为化学家、生物学家们所重视,其原因是从事淀粉、纤维素等的研究后,认为糖类化合物结构简单,功能单调,多糖主要是作为支持组织及能源贮存之用,另一方面,因糖类化合物中相同羟基的异构体较多,在糖类结构或合成的研究中困难很大。但 80 年代以后,由于新的技术在生物化学上的应用,发现糖类化合物远不止以上简单的生物学功能,目前发现许多新的生物合成反应与酶调节机理,细胞与环境,细胞识别,细胞的生长与分化,免疫,先天缺陷遗传病,药物作用等均与糖类化合物有关。因此,继蛋白质、核酸的研究之后又一次掀起糖类化合物研究的热潮,并列列为生命现象中三大重要的生物高分子化合物,倍受生化学家的亲睐。

### 二、糖类化合物的分类

糖类化合物按其组成分为单糖、寡糖和多糖三大类。

单糖即一个糖分子不能再被水解为更小单位的糖,也就是最简单的糖。单糖根据其碳原子组成的数目又分为:丙糖、丁糖、戊糖、己糖、庚糖等。在单糖结构中根据其羰基的特点又分为醛糖和酮糖两类。同数碳原子的醛糖和酮糖常互为异构体,如葡萄糖、果糖。

寡糖一般由 2~10 个单糖分子缩合失去水分子而形成的糖,它是单糖的低聚物。水解后产生单糖。如蔗糖,麦芽糖等。

多糖即由多个单糖分子通过缩合失去若干个水分子而形成的糖,是单糖的高聚物,其分子彻底水解后也产生单糖。多糖中根据其分子中单糖的组成常又分为两类,同一单糖分子组成的多糖称为同多糖,如淀粉、纤维素等;而由不同单糖分子组成的多糖称为杂多糖,如肝素等。多糖中根据其分子有无支链则又分为直链多糖(如直链淀粉)和支链多糖(如糖原)。按其功能分为结构多糖(如纤维素)、贮存多糖(如淀粉)和抗原多糖。按其分布又分为胞外多糖、胞内多糖和胞壁多糖等。

如果糖类化合物中尚含有非糖物质部分,则此糖类称为糖缀合物或复合糖类,如糖肽、糖脂和糖蛋白。

## 第二节 单糖的结构及性质

### 一、单糖的构型和立体异构体

构型是指一个分子由于其中各原子特有的固定的空间排列,而使该分子所具有的特定的立体化学形式。当某一物质由一种构型转变为另一种构型时,要求其价键的断裂和重新形成。天然产物的单糖大多数只存在一种构型,例如葡萄糖、果糖、核糖等都是D型,而阿拉伯糖,山梨糖等为L型。

现以最简单的单糖—甘油醛为例。甘油醛分子中只有一个不对称碳原子,不对称碳原子即连接四个不同原子或基团的碳原子。

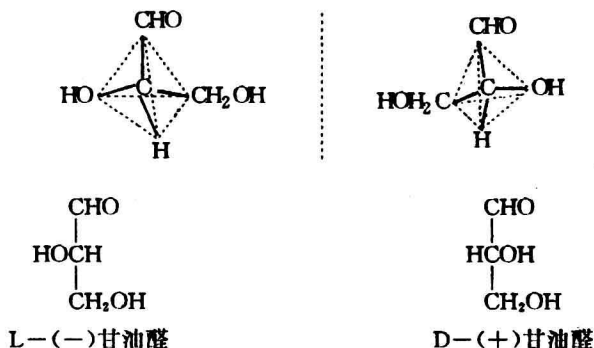
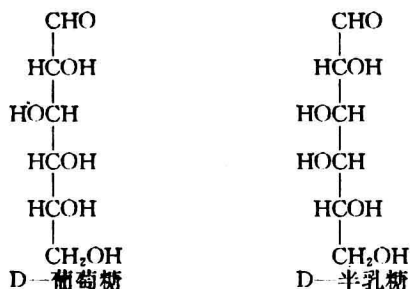


图 1-1 甘油醛的对映体

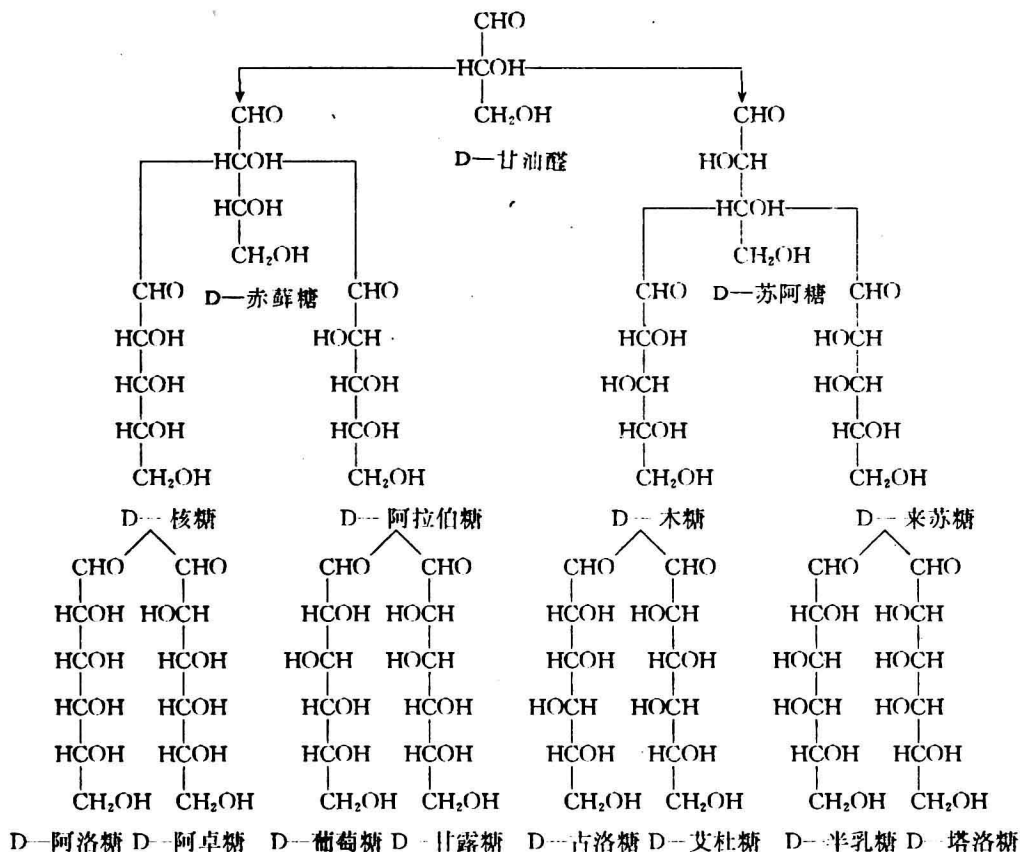
构型上的不同则是产生立体异构体的原因,甘油醛 2 号位碳原子为不对称碳原子,其 2 位羟基写在右边定义为 D 型,羟基写在左边的为 L 型,D 型和 L 型因互成镜象,不能重叠。故这两类化合物称为一对“对映体”,其两种构型一个为 D 型,一个为 L 型。

在多个不对称碳原子的化合物当中,除一个不对称碳原子有所不同外,其余结构部分完全相同,这种仅一个不对称碳原子构型不同,两镜象非对映异构物称为差向异构体。如葡萄糖与半乳糖互为差向异构体。



单糖分子中除羟基乙醛(HO-CH<sub>2</sub>-CHO)和二羟丙酮(HOCH<sub>2</sub>-CO-CH<sub>2</sub>OH)外都含有不对称碳原子,含有n个不对称碳原子的化合物可以有2<sup>n</sup>种立体异构体(见表1-1)。

表 1-1 D-型醛糖(开键)



当光波通过尼克棱镜时,由于棱镜的结构,通过的只是沿某一平面振动的光波,其他都被遮断,这种光称为“平面偏振光”。分子不对称的化合物,具有使平面偏振光的振动方向发生旋转的能力。使偏振光振动面右旋的物质(顺时针方向)称为右旋光物质,以“+”表示;使偏振光振动面左旋的物质(反时针方向)称为左旋光物质,以“-”表示。旋光度的大小在一定的条件下是一个常数,但温度、浓度和光的波长、旋光管的长度对旋光度均有影响。旋光度的表示法常用旋光率的大小表示,即:

$$[\alpha]_D^t = \frac{\alpha_D^t \times 100}{L \times c}$$

式,中: L—管的长度,以 cm 表示;C—浓度,以 100ml 溶液中所含溶质的克数表示;

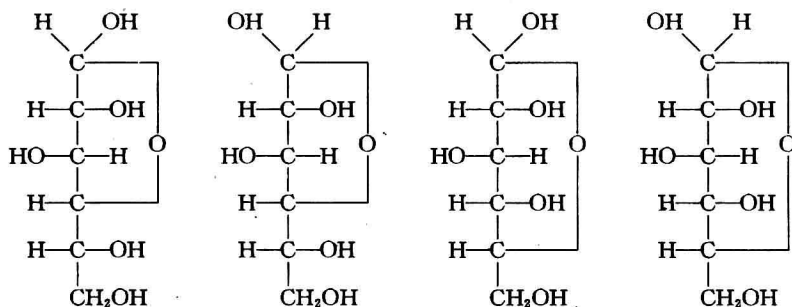
$\alpha_D$ —标准旋光率(即钠灯 D 线,  $\lambda$  为 589.6 和 589.0nm 为光源,温度为 20°C)。

D、L 是指构型,而“+”、“-”是指旋光方向,二者并无必然联系,是两个不同的概念。

## 二、葡萄糖的环状结构

早已证实葡萄糖有链状结构存在,但后来发现葡萄糖的某些物理、化学性质不能用糖的链状结构来解释,从而提出葡萄糖还有另一种结构即环状结构的可能。1893 年, Fischer 正式提出葡萄糖分子环状结构学说。

葡萄糖中的醛基是葡萄糖分子中唯一的还原性基团,但葡萄糖又与醛类物质不同,不能与两分子醇起缩合反应,而只能与一分子醇形成半缩醛物质。葡萄糖分子中其羟基与醛基自身缩合而形成环状的半缩醛物质,醛基缩合后以半缩醛羟基的形式存在。即:



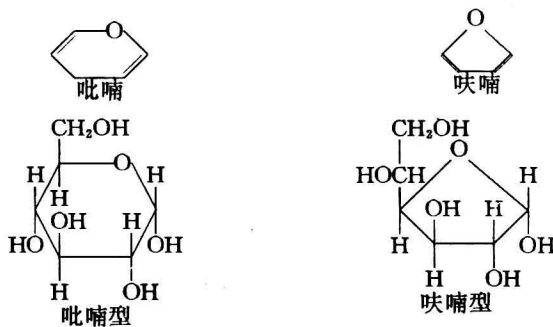
五元环(呋喃型)

六元环(吡喃型)

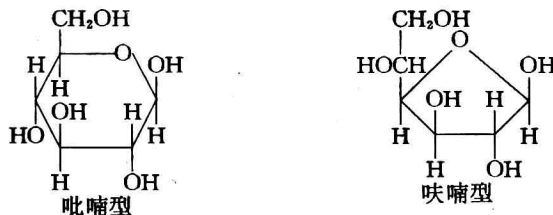
$\alpha$ -D(+)-呋喃型  $\beta$ -D(+)-呋喃型

$\alpha$ -D(+)-吡喃型  $\beta$ -D(+)-吡喃型

以上结构为投影式,1926 年, W. N. Haworth 提出用透视式表达糖的环状结构。



$\alpha$ -D(+)-葡萄糖

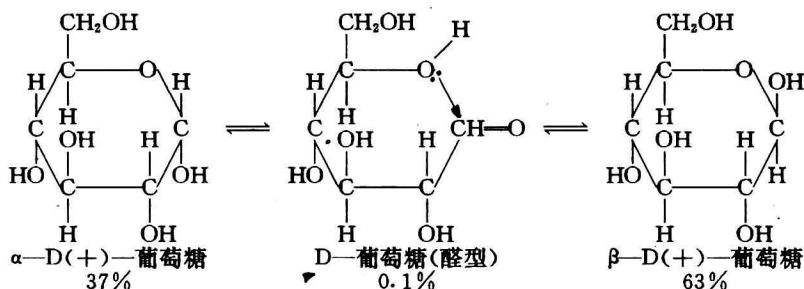


$\beta$ -D(+)-葡萄糖

根据环状结构中环的张力的大小,则五元环和六元环张力最小,其中吡喃型(六元环)比呋喃型的葡萄糖更稳定,因此天然葡萄糖多以六元环即吡喃型的形式存在。

$\alpha$ -D(+)-葡萄糖与 $\beta$ -D(+)-葡萄糖分子在构型上,仅头部不同,即半缩醛羟基所处的位置不同,它们互为异头物。投影式中半缩醛羟基向右,则在透视式中处于平面之下,为 $\alpha$ -型,反之为 $\beta$ -型。

D-葡萄糖在不同的溶液中结晶出来时有不同的旋光率。水中结晶出的D-葡萄糖 $[\alpha]_D^{20} = +112^\circ$ ,称为 $\alpha$ -D(+)-葡萄糖,而在吡啶溶液中结晶出的D-葡萄糖 $[\alpha]_D^{20} = +18.7^\circ$ ,称为 $\beta$ -D(+)-葡萄糖。如果把两者分别在水中放置一段时间后,它们的旋光率都变成 $[\alpha]_D^{20} = +52.5^\circ$ ,这种旋光率发生变化的现象称为“变旋现象”。变旋现象的存在说明了不同结构形式的葡萄糖发生了互变,各种形式最后达到一定的平衡,其旋光率不再发生改变。



### 三、葡萄糖的构象

构象是指一个分子中,不改变共价键结构,仅单键周围的原子围绕单键旋转而产生的分子在空间的不同排列形式。从一种构象改变成为另一构象时而不需共价键的断裂和重新形成。吡喃型葡萄糖的构象与环己烷的构象相似,环己烷的C-C键都保持正常四面体价键方面,不是一个真正的平面,折成椅式和船式两种无张力环,故吡喃型葡萄糖也有船式和椅式两种构象,其中由于椅式构象比船式更稳定,因此椅式的构象占的比例比船式构象大得多。

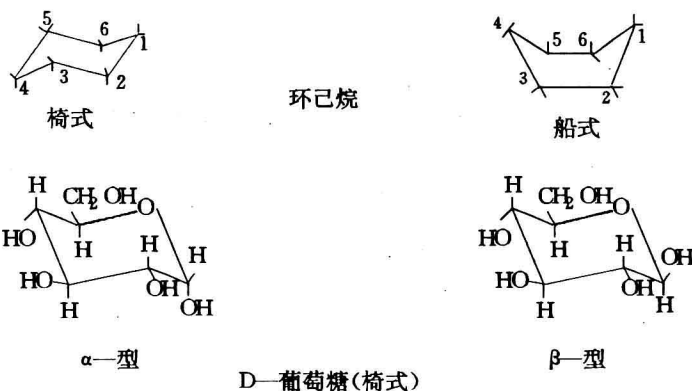


图1-2 吡喃型己糖和环己烷构象

在 $\beta$ -D-吡喃葡萄糖与 $\alpha$ -D-吡喃葡萄糖椅式构象中,-OH,-CH<sub>2</sub>OH大型基团对通过环的轴线来说均处于平伏方向而不是直立的(即不处于同一平面,距离较远,斥力较小),从热力学上来说是比较稳定的,其中 $\beta$ -D-吡喃糖椅式构象(全部为平伏键)较 $\alpha$ -D-吡喃糖椅式构象(半缩醛羟基为直立键)更为稳定,因此在溶液中 $\beta$ 型异构体较占优势。

### 四、重要的单糖及其衍生物

#### 1. 重要的单糖

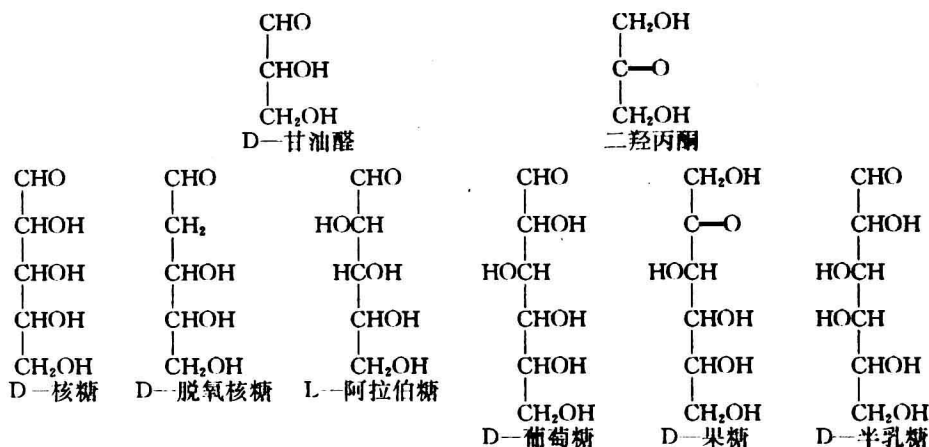


表 1-2 一些重要的单糖

糖名	MP <sup>o</sup> C	[d] <sub>D</sub> <sup>o</sup>	存 在
D-甘油醛			存在于动、植物细胞中,糖分解的中间产物。
二羟丙酮			存在于动、植物细胞中,糖分解的中间产物。
D-核糖	87	-29.7°	RNA 的成分及一些 Vit、辅酶成分,广泛存在于细胞中。
D-脱氧核糖	92.5	-58°	DNA 的成分,广泛存在于细胞中。
L-阿拉伯糖	160	105°	多以结合态存在于纤维素、树胶、果胶、细菌多糖中
D-葡萄糖	146	52.7°	广泛分布于生物界,同时也是糖苷、寡糖、多糖的组成成分
D-果糖	162	-92.4°	游离存在为吡喃型,结合态为呋喃型,是蔗糖、果聚糖的成分。
D-半乳糖	167	80°	是乳糖、琼胶、粘质等的组成成分。

2. 单糖衍生物 单糖的重要衍生物有单糖磷酸酯、糖醇、氨基糖、糖苷和糖醛酸等。

**单糖磷酸酯:**即单糖上的羟基与磷酸作用缩去 1 分子水所形成的磷酸化的产物。生物体内的一些单糖往往以磷酸酯的形式参加代谢,常见的有磷酸葡萄糖、磷酸果糖等。它们的磷酸基在糖碳原子上的 1 位或 6 位上;核糖的磷酸基主要是在 5 位或 3 位碳原子上。

**糖醇:**即糖中的醛基或酮基被还原成羟基的化合物,糖醇较稳定,有甜味,如甘露醇、山梨醇,它们可被氧化成相应的糖,山梨醇还可以被氧化生成葡萄糖、果糖。肌醇为环己六醇,六磷酸肌醇为高能化合物。

**氨基糖:**即糖中的羟基被氨基所取代生成的化合物,常见的有 D-氨基葡萄糖和氨基半乳糖,是糖蛋白和软骨的组成成分。

**糖苷:**单糖的半缩醛羟基与非糖物质缩合形成的化合物。糖苷中的非糖物质称配基或非糖体。糖苷键 C-O-C 在形式上似醚键,性质上接近缩醛。易被水解。

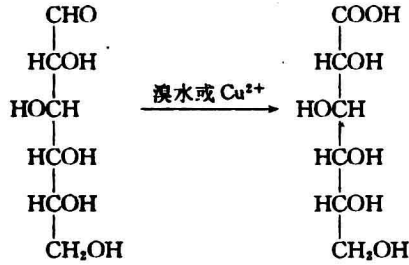
**糖醛酸:**即单糖的伯醇基被氧化成羧基而形成的化合物。其中最常见的是葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸等。

### 五、单糖的性质

1. 单糖的一般性质 单糖均为白色晶体。均有甜味,其中果糖最甜。单糖分子中由于含有多个羟基,亲水能力很强,故单糖均易溶于水,其中在热水中溶解度极大,但均不溶于有机溶剂如丙酮等中,许多单糖在水溶液中都有变旋现象。由于单糖为晶体,故熔点均较高。一切糖类

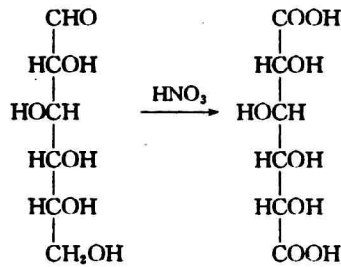
都有不对称碳原子(二羟丙酮除外),都具有旋光性,旋光性是鉴定糖的一个重要指标。

2. 单糖的还原性 单糖分子中含有游离的羰基,因此具有还原性。某些弱氧化剂如溴水,碱性硫酸铜等与单糖作用时,则葡萄糖被氧化成葡萄糖酸。

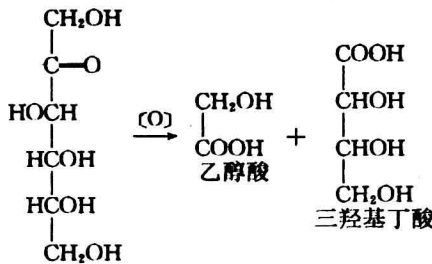


如与碱性硫酸铜作用,则两价铜离子被还原成氧化亚铜砖红色沉淀,测定氧化亚铜的生成量即可测知溶液中的含糖量,实验室常用的 Fehling 试剂和 Benedict 试剂就是硫酸铜的碱性溶液。

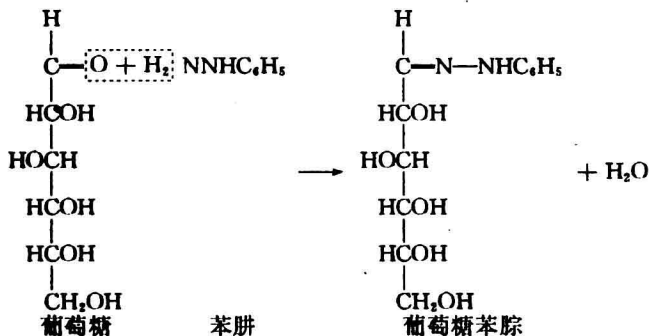
如果遇上较强的氧化剂如硝酸,除单糖的醛基被氧化外,伯醇基也被氧化成羧基生成 1,6-葡萄糖二酸。

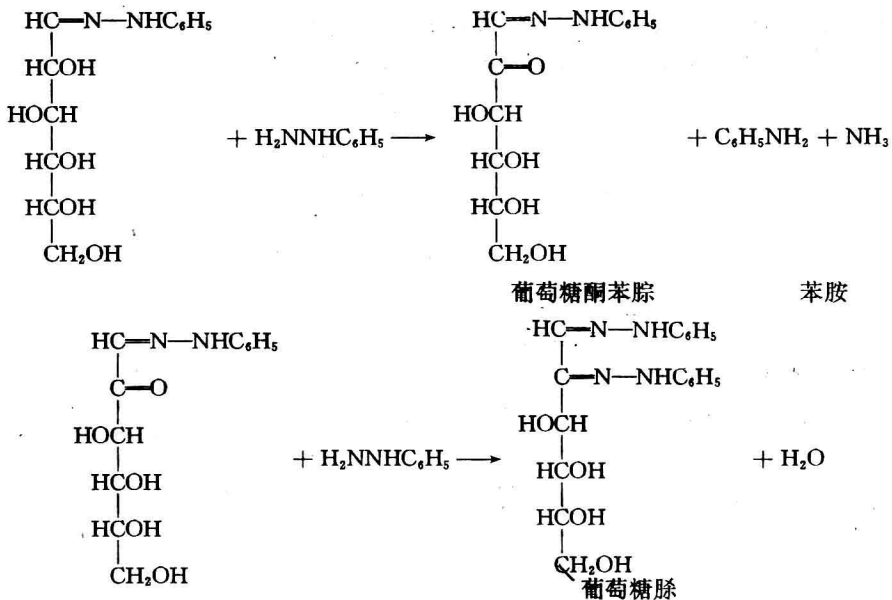


溴的氧化作用对酮糖无效,因此可将酮糖与醛糖分开。在强氧化剂作用下,酮糖将在羰基处断裂,形成两个酸,如果糖。



3. 糖脎的生成 单糖游离羰基能与 3 分子苯肼作用生成糖脎,如葡萄糖。





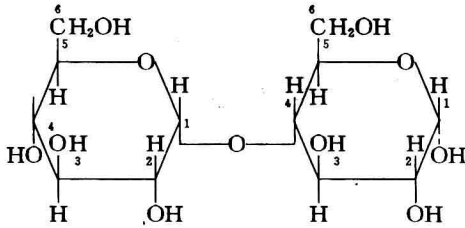
糖脒为黄色结晶,难溶于水,各种糖生成的糖脒结晶形状与熔点都不相同,因此,常用糖脒的生成来鉴定是否是糖及糖的类型。

### 第三节 寡糖的结构及性质

#### 一、二糖的结构

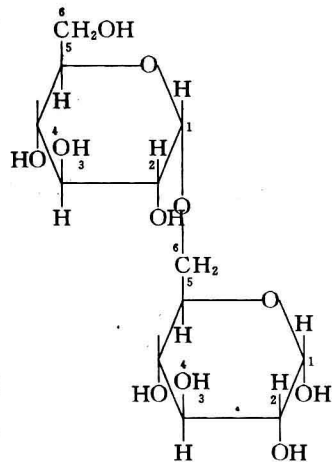
寡糖是由少数几个单糖通过糖苷键连接起来的化合物,一般是多糖的水解产物。与稀酸共热时,可水解成各种单糖。自然界中以游离状态存在的寡糖主要是一些二糖和三糖,其中以二糖分布最为普遍,与日常生活较为密切的二糖有麦芽糖、蔗糖和乳糖等。

1. 麦芽糖 麦芽糖大量存在于发芽的谷粒和麦芽中,是淀粉经麦芽糖酶水解的产物,为两分子葡萄糖缩合失去一分子水而形成,其糖苷键为 $\alpha-1,4$ 糖苷键。



麦芽糖(葡萄糖 $\alpha-1,4$ 葡萄糖苷)

2. 异麦芽糖 由两分子葡萄糖通过 $\alpha-1,6$ 糖苷键缩合失去一分子水而形成,它存在于枝链淀粉和糖原中。

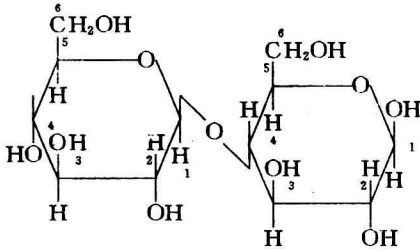


异麦芽糖(葡萄糖 $\alpha-1,6$ 葡萄糖苷)

3. 纤维二糖 它是纤维素的基本结构单位,由两分子葡萄糖通过 $\beta-1,4$ 糖苷键缩合失去一分子水而形成。



4. 蔗糖 蔗糖由 $\alpha$ -葡萄糖与 $\beta$ -果糖通过 $\alpha, \beta$ -1,2糖苷键缩合失去一分子水而形成,它存在于甘蔗、甜菜等有甜味的物质中,日常生活中食用的糖主要是蔗糖。甘蔗中约含20%的蔗糖。



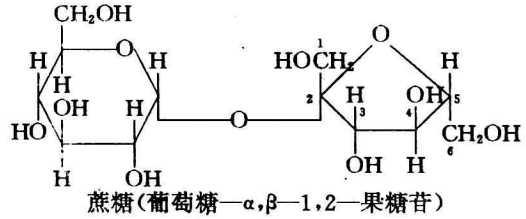
纤维二糖(葡萄糖- $\beta$ -1,4-葡萄糖苷)

5. 乳糖 由 $\alpha$ -葡萄糖与 $\beta$ -半乳糖通过 $\alpha, \beta$ -1,4糖苷键缩合失去一分子水而形成。主要存在于哺乳动物的乳汁中。是乳类食物中唯一的糖,牛乳中含4%,人乳中含5%~7%。

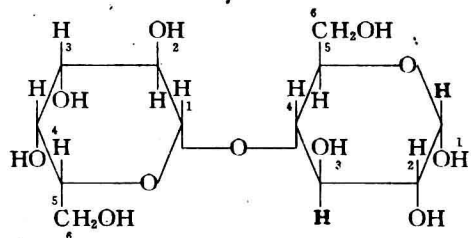
## 二、二糖的性质

二糖的单糖基有两种状态,一种是单糖以它的半缩醛羟基结构成糖苷键,另一种则保留了半缩醛羟基。如果二糖中两个单糖基保留一个单糖基的半缩醛羟基为游离状态,如麦芽糖、乳糖等,则此二糖象单糖一样具有还原性,变旋现象和苯肼作用生成糖脎等性质。此二糖称还原糖。如果二糖中两个单糖基的半缩醛羟基均为结合状态,如蔗糖,则此二糖就无还原性,也不具有单糖的性质,此糖称为非还原糖。

二糖均为白色晶体,易溶于水,有旋光性,熔点较高,均有甜味。



蔗糖(葡萄糖- $\alpha, \beta$ -1,2-果糖苷)



乳糖(葡萄糖- $\beta$ -1,4-半乳糖苷)

## 第四节 多糖

多糖是由多个单糖基以糖苷键相连而形成的高聚物。它是自然界中分子结构复杂且庞大的糖类物质,自然界中植物、动物和微生物均含有多糖。多糖除以游离状态存在外,也常与蛋白质、脂类等物质以结合形式存在。

多糖中有的由一种单糖缩合而成,此多糖称纯多糖,或均一多糖;有的由两种或两种以上的单糖缩合而成的,此多糖称杂多糖,或不均一多糖,前者如淀粉、纤维素等,后者如透明质酸、肝素等。

### 一、均一多糖

1. 直链淀粉 淀粉以大小不同的颗粒大量地存在于植物种子、块茎及干果中。它是植物营养物质的一种贮存形式。各种作物淀粉含量均有所不同。如米含淀粉为70%~80%,小麦含淀粉63%~67%,玉米与小麦差不多,山芋和马铃薯则含淀粉在13%~23%之间。

直链淀粉是由200~300个葡萄糖以 $\alpha$ -1,4糖苷键相连,可用下式表示: