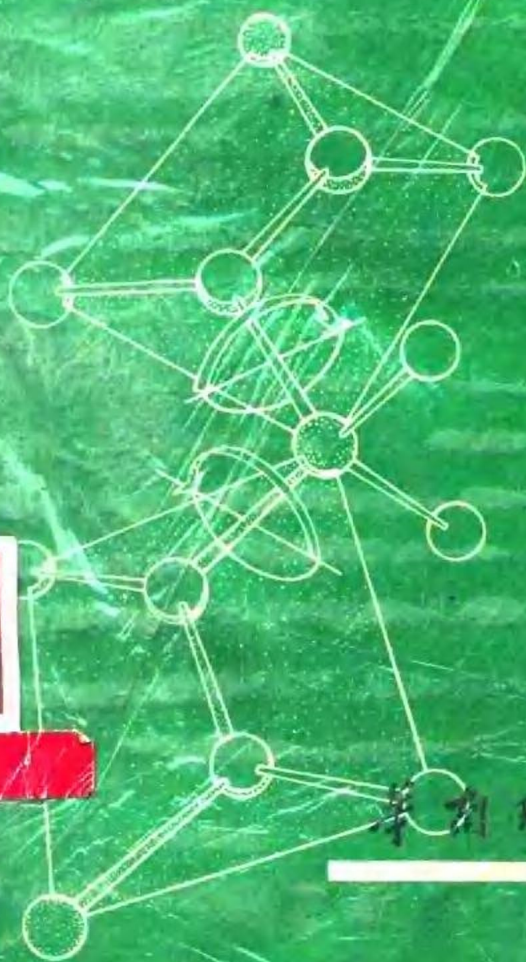


食品系列教材

食品

生物化学

宁正祥 编著
赵谋明



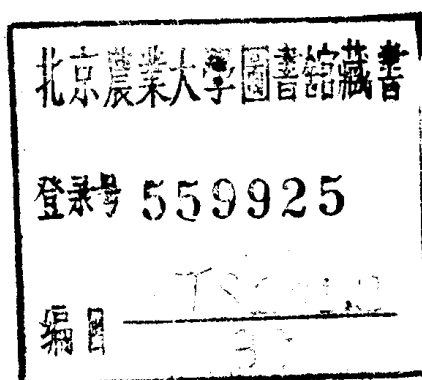
华南理工大学出版社

ND 021 16

食 品 系 列 教 材

食 品 生 物 化 学

宁正祥 赵谋明 编著
彭志英 刘婉乔 主审



华南理工大学出版社
• 广州 •

内 容 提 要

本书以人和食物的关系为中心,对食品生物化学的基础理论知识进行了全面和系统的介绍,主要内容有:静态生物化学,动态生物化学,细胞生物化学,食物组织生物化学,食品加工生物化学,食品风味化学,食品添加剂化学,食品量子生物化学等。

本书可供各类大专院校食品科学与工程专业的学生使用,也可供其他专业的学生、研究生和科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

食品生物化学/宁正祥 赵谋明编著. —广州:华南理工大学出版社,1995.6
(食品系列教材)

ISBN 7-5623-0675-3

I. 食…

II. 宁…

III. 食品—化学

IV. Q1

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山 邮码 510641)

责任编辑:潘宜玲 张巧巧

各地新华书店经销

华南理工大学出版社电脑室排版

广东省封开县人民印刷厂印装

1995年6月第1版 1995年6月第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:25.75 字数:626千

印数:1—5 000

定价:19.00元

前 言

本书是专为食品科学与工程的学生编写的教科书。可供各类大专院校食品科学与工程专业学生作试用教材,也可供其他专业学生及研究生、教师和科技工作者参考。

本书以人和食物的关系为中心,对食品生物化学的基础理论知识进行了全面和系统的介绍,讲述问题主要包括八个方面:

一、静态生物化学 生物分子糖类、脂类、核酸、蛋白质、酶、维生素和激素的结构、性质与功能。

二、动态生物化学 生物大分子糖类、脂类、蛋白质、核酸的生物合成与降解,生物能量(ATP)的产生以及生物代谢的调节与控制。

三、细胞生物化学 生物细胞及细胞器、生物膜的结构与功能。

四、食物组织生物化学 新鲜食用动、植物组织的代谢特点及风味物质的形成。

五、食品加工生物化学 糖类、脂类、蛋白质、维生素及食品无机成分的食品功能特性和在食品加工过程中的物理化学变化。

六、食品风味化学 食品中存在的各种与色、香、味有关的化学成分及在加工、烹调 and 贮藏过程中的化学变化。

七、食品添加剂化学 食品防腐保鲜剂、抗氧剂、漂白剂、乳化剂、膨松剂、增稠剂等各种常用添加剂的来源、制法、性能、应用方法及毒理学资料等,并着重阐述各类添加剂的化学结构与生理生化效应之间的关系,以及与食品改性变化的关系。

八、食品量子生物化学 量子生物化学的基本理论、计算程序及在食品科学中的应用。

本书第一至十七章和二十一至二十四章以及第二十六章由宁正祥编写,第十八、十九、二十和二十五章由赵谋明编写,第二十七章食品量子生物化学由张德聪编写。各章内容自成体系,力求在阐述基本理论知识的基础上,尽可能反映现代食品科学的新进展。

彭志英、刘婉乔负责本书的主审,对本书各章提出了许多宝贵的修改意见。

编者
于华南理工大学

目 录

第一章 糖	1
第一节 单糖	1
第二节 寡糖	10
第三节 多糖	12
第二章 脂类	22
第一节 三脂酰甘油类	23
第二节 磷脂类	27
第三节 结合脂类	32
第四节 简单脂类	34
第三章 核酸	38
第一节 核苷酸	38
第二节 脱氧核糖核酸(DNA)	44
第三节 核糖核酸(RNA)	47
第四节 核酸的理化性质	50
第五节 核酸与蛋白质的复合体	51
第四章 蛋白质	52
第一节 蛋白质的化学组成与分类	52
第二节 氨基酸	53
第三节 肽	63
第四节 蛋白质的结构	64
第五节 蛋白质的重要性质	70
第六节 蛋白质的生物功能	73
第五章 酶	74
第一节 酶的催化性质	74
第二节 酶的分类	75
第三节 酶的专一性	78
第四节 影响酶反应速度的因素	79
第五节 酶的作用机理	84
第六节 多酶体系和调节酶	85
第七节 同功酶和诱导酶	88
第八节 抗体酶和核糖酶	88
第九节 酶工程	91
第十节 酶的分离提纯及活力测定	92
第十一节 酶在食品工业中的应用	94
第六章 维生素和辅酶	100
第一节 水溶性维生素	100

第二节	脂溶性维生素	108
第三节	维生素在食品贮存和加工过程中的变化	112
第七章	激素	114
第一节	动物激素	114
第二节	植物激素	115
第三节	激素的作用原理	118
第四节	细胞内信使	120
第八章	细胞的生物化学	124
第一节	细胞的一般结构	124
第二节	细胞的化学组成	127
第三节	细胞壁	128
第四节	生物膜	129
第五节	细胞液	132
第六节	细胞核	133
第七节	细胞器	133
第九章	糖代谢	140
第一节	糖类的膳食利用	140
第二节	糖类的合成与降解	141
第三节	糖类的中间代谢	145
第四节	糖代谢的调节	154
第十章	脂类代谢	156
第一节	脂类在机体内的消化、吸收和储存	156
第二节	脂类的生物合成	156
第三节	脂类的降解	161
第四节	脂代谢的调节	166
第十一章	蛋白质代谢	167
第一节	氨基酸的生物合成	167
第二节	蛋白质的生物合成	168
第三节	蛋白质的生物降解	172
第四节	氨基酸的分解	178
第五节	蛋白质代谢的调节	184
第十二章	核酸代谢	186
第一节	核酸的合成代谢	186
第二节	核酸的分解代谢	191
第三节	遗传工程	193
第十三章	生物氧化	196
第一节	高能磷酸化合物	196
第二节	呼吸链	199
第三节	氧化磷酸化作用	203
第十四章	物质代谢的相互关系和调节控制	206
第一节	物质代谢的相互关系	206
第二节	代谢的调节和控制	206

第十五章 新鲜食用植物组织的生物化学	212
第一节 新鲜食用植物组织的类别及特点	212
第二节 采收后水果、蔬菜组织呼吸的生物化学	212
第三节 成熟与衰老及其生物化学变化	215
第四节 成熟与衰老过程中的形态变化	219
第五节 水果、蔬菜的成熟机理	220
第十六章 新鲜动物组织的生物化学	222
第一节 肌肉的结构	222
第二节 活体肌肉的代谢	225
第三节 屠宰后肌肉的代谢	226
第十七章 糖类的食品性质与功能	231
第一节 单糖与低聚糖的食品性质与功能	231
第二节 多糖的食品性质与功能	240
第十八章 油脂加工化学	254
第一节 食用油脂的生产与加工	254
第二节 食用油脂在加工和贮存过程中的变化	256
第三节 常见食用油脂	262
第十九章 蛋白质的加工化学	263
第一节 蛋白质的功能性质	263
第二节 食品中的蛋白质	268
第三节 蛋白质的分离制备及改性	271
第四节 食品加工对蛋白质的影响	272
第二十章 矿物质及其营养功能	275
第一节 矿物质营养元素的分类及其存在形式	275
第二节 人体对矿物质的吸收与代谢	277
第三节 食物中矿物质成分的生物有效性	279
第四节 加工方法对微量元素的影响	284
第二十一章 水和冰	285
第一节 水和冰的物理常数与性质	285
第二节 食品中的水分状态	288
第三节 水分活度	289
第二十二章 褐变作用	293
第一节 非酶褐变	293
第二节 酶促褐变	298
第二十三章 色素和着色剂	302
第一节 食品中的天然色素	302
第二节 合成色素	312
第三节 食品调色	316
第二十四章 食品风味	317
第一节 食品的滋味和呈味物质	317
第二节 嗅感及嗅感物质	324
第二十五章 食品添加剂	329

第一节 食品添加剂的毒性	329
第二节 常用食品添加剂	330
第二十六章 食品中的有害成分	337
第一节 食品中的天然毒素	337
第二节 微生物毒素	344
第三节 化学毒素	348
第二十七章 食品量子生物化学	353
第一节 电子运动状态函数及量子力学的基本假设	353
第二节 休克尔分子轨道理论	356
第三节 EHMO 扩展的休克尔法	361
第四节 自洽场理论和全略微分重叠(CNDO)法	364
参考文献	403

第一章 糖

糖类物质是含多羟基的醛类或多羟基的酮类化合物及其缩聚物和某些衍生物的总称。

糖类物质以它们水解的情况分类,凡不能被水解成更小分子的糖为单糖。单糖又可根据糖分子含碳原子数多少分类,在自然界分布广、意义大的是五碳糖和六碳糖,它们分别叫做戊糖和己糖。核糖、脱氧核糖属戊糖,葡萄糖、果糖和半乳糖为己糖。凡能水解成少数(2~6个)单糖分子的为寡糖,其中以双糖存在最为广泛,蔗糖、麦芽糖和乳糖是其重要代表。单糖和寡糖能溶于水,多有甜味。凡能水解为多个单糖分子的糖为多糖,其中以淀粉、糖原、纤维素等最为重要。

糖是生物界中分布极广、含量较多的一类有机物质,几乎所有的动物、植物、微生物体内都含有它。其中以存在于植物界最多,约占其干重的80%。生物细胞内、血液里也有葡萄糖或由葡萄糖等单糖物质组成的多糖(如肝糖原、肌糖原)存在。人和动物的器官组织中含糖量不超过体内干重的2%。微生物体内含糖约占菌体干重的10%~30%,它们或以糖或与蛋白质、脂类结合成复合糖存在。

糖类物质的主要生物学作用是通过氧化而放出大量的能量,以满足生命活动的需要。淀粉、糖原是重要的生物能源;它也能转化为生命必需的其它物质,如蛋白质和脂类物质。纤维素是植物结构糖。

第一节 单 糖

一、单糖的结构

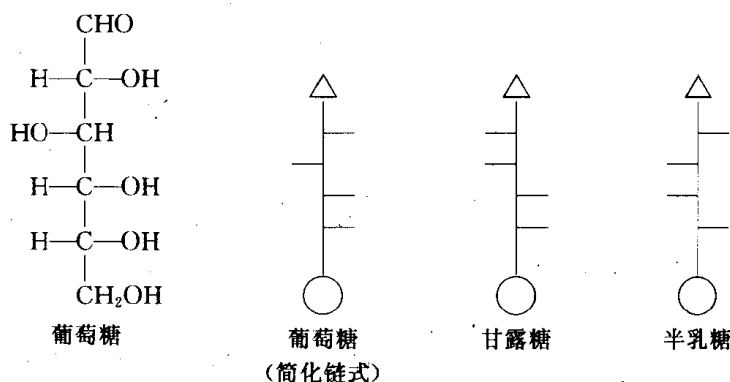
单糖的种类虽然很多,但在结构及性质上均有共同之处,因此,可以葡萄糖为例来阐述单糖的结构。

葡萄糖是最常见的单糖之一,又是许多寡糖和多糖的组成成分。它可以游离形式存在于水果、谷类、蔬菜和血液中,也可以结合形式存在于麦芽糖、蔗糖、淀粉、纤维素、糖原及其它葡萄糖衍生物中。

(一)葡萄糖的化学组成和链状结构

分析纯净的葡萄糖,其成分是碳、氢和氧,相对分子质量180,分子式为 $C_6H_{12}O_6$ 。

葡萄糖及与葡萄糖同属己醛糖的甘露糖和半乳糖的链状结构式是:

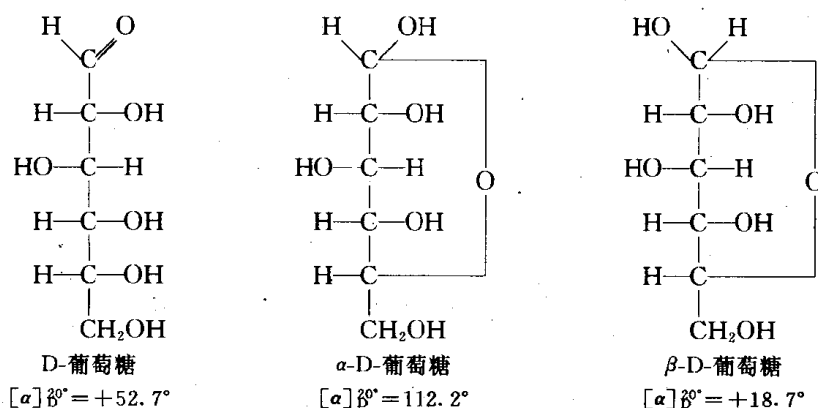


在糖的简化链状结构式中,用“—”表示碳链及不对称碳原子羟基的位置,“△”表示醛基“—CHO”,“—”表示羟基“—OH”,“○”表示第一醇基。

(二) 葡萄糖的环状结构

葡萄糖不仅以直链结构存在,还以环状形式存在,因为葡萄糖的某些物理性质和化学性质不能用糖的直链结构来解释,例如:葡萄糖不能发生醛的 NaHSO_3 加成反应。葡萄糖不能和醛一样与两分子的醇形成缩醛。只能和一分子醇形成半缩醛。例如,葡萄糖在无水甲醇溶液内受到氯化氢的催化作用,即生成两种各含有一个甲基的所谓 α - 或 β - 甲基葡萄糖苷。

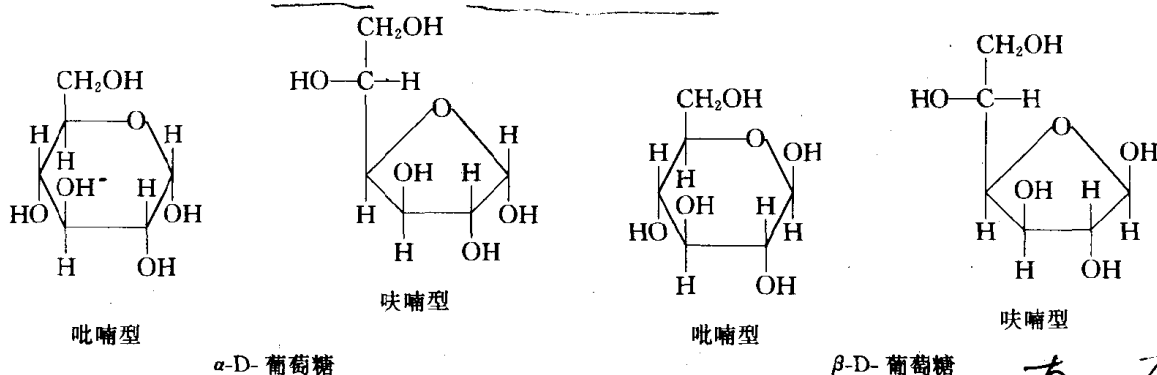
葡萄糖溶液有变旋现象。当将新制的葡萄糖溶解于水中时,最初的比旋是 $+112.2^\circ$ 。经放置后,比旋逐渐下降至 $+52.7^\circ$; 并不再改变。这个现象并不是因为葡萄糖在水中分解所引起的。因为把溶液蒸干后,仍然得到 $+112.2^\circ$ 的 D-葡萄糖。这种旋光度改变的现象叫做变旋现象。很多糖都有此现象。若把比旋为 $+112.2^\circ$ 的葡萄糖的浓溶液在 110°C 时结晶,则得到另一种葡萄糖,比旋为 $+18.7^\circ$ 。这两种葡萄糖溶液放置一定时间后,比旋各有改变,前者降低,后者升高,但最后都变为 $+52.7^\circ$ 。为了区别这两种糖,将比旋为 $+112.2^\circ$ 的叫做 α -D(+)-葡萄糖, $+18.7^\circ$ 的叫做 β -D(+)-葡萄糖。



所有这些特性都是由葡萄糖分子结构本身的变化所引起的。糖分子中既有醛基又有羟基,它们彼此相互作用可以形成半缩醛。事实证明葡萄糖分子中的醛基与 C_5 上的羟基作用形成六元环的半缩醛。这样原来羰基的 C_1 就变成不对称碳原子。并形成一对非对映旋光异构体。一般规定半缩醛碳原子上的 $-\text{OH}$ (称半缩醛羟基)与决定单糖构型的 C_5 上的羟基在同一侧称为 α -型葡萄糖;不在同一侧的称为 β -型葡萄糖。半缩醛羟基较其余羟基活泼。糖的许多重要特性都与它有关。

葡萄糖的醛基除了可以与 C_5 上的羟基缩合形成六元环以外,还可以与 C_4 上的羟基缩合形成五元环。五元环化合物不甚稳定。天然的糖多以六元环的形式存在。五元环化合物

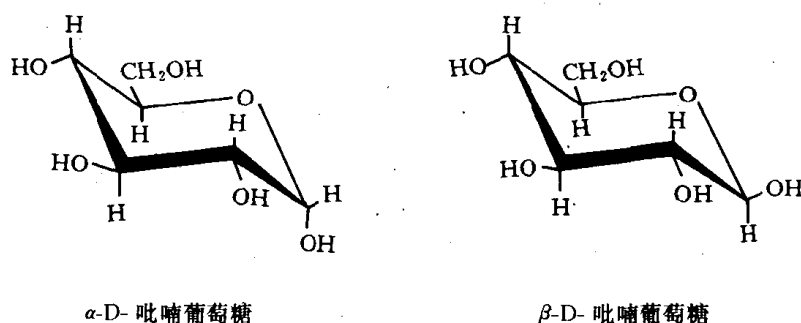
可以看成是呋喃的衍生物,叫呋喃糖;六元环化合物可以看成是吡喃的衍生物,叫吡喃糖。因此,葡萄糖的全名应为 α -D(+)- 或 β -D(+)- 吡喃葡萄糖。



上列各透视式中省略了构成环的碳原子。对于D-葡萄糖来说,投影式中向下的羟基在透视式中处于平面之下。在投影式中向左的羟基在透视式中处于平面之上的位置。当直链形葡萄糖C₅上的羟基与C₁上的醛基连成1-5型氧桥,形成环形的時候,为了使C₅上的羟基与C₁醛基接近,依照单链自由旋转不改变构型的原理,将C₅旋转109°28',所以D-葡萄糖的尾端羟甲基在平面之上。透视式中,D、L和 α 、 β 的确定是以C₅上羟甲基和半缩醛羟基在含氧环上的排布来决定的。如果氧环上的碳原子按顺时针方向排列时,羟甲基在平面之上为D型,在平面之下为L型。在D型中半缩醛羟基在平面之下为 α 型,在平面之上为 β 型。

(三) 葡萄糖的构象

环己烷等六元环上的碳原子不在一个平面上,因此有船式和椅式两种构象。且椅式构象比船式稳定。呋喃葡萄糖主要是以比较稳定的椅式构象存在。 α -D-吡喃葡萄糖和 β -D-吡喃葡萄糖的构象如下:



二、单糖的物理性质和化学性质

(一) 物理性质

1. 旋光性 一切糖类都有不对称碳原子,所以具有旋光性。旋光性是鉴定糖的一个重要指标。几种重要单糖、寡糖及多糖的比旋光度如表1-1。许多单糖在水溶液中都有变旋现象。

2. 甜度 甜味的高低为甜度,甜度是甜味剂的重要指标。甜度的测定目前只能用人的味觉来品评。通常以蔗糖作为测量甜味剂的基准物质,规定以5%或10%的蔗糖液在20℃时甜度为1或100,用相同浓度的其他糖溶液或甜味剂溶液来比较甜度的高低。各种糖的甜度不一(参见表17-2)。

表 1-1 各种糖在 20℃ (钠光) 时的比旋光度数值 (度)

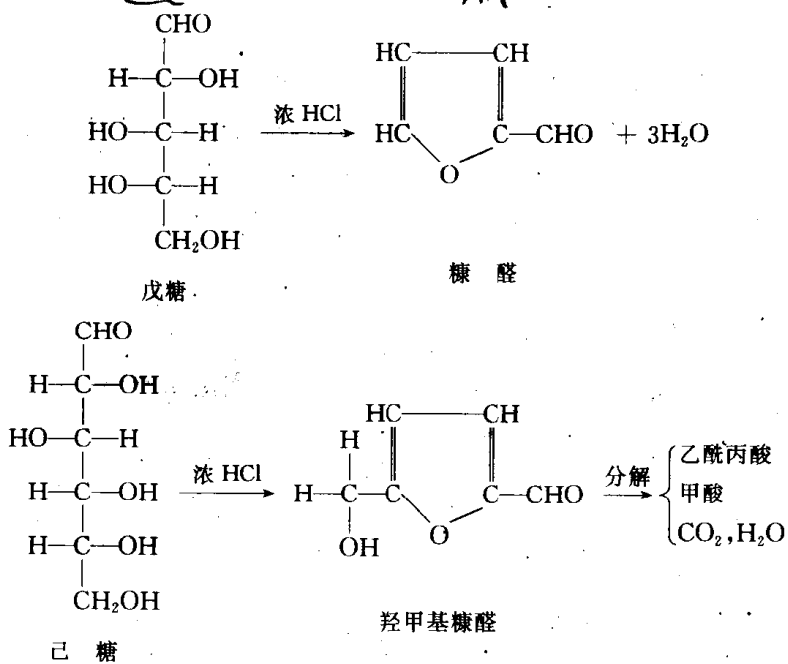
D-葡萄糖	+52.7	乳 糖	+55.4
D-果糖	-92.4	蔗 糖	+66.5
D-半乳糖	+80.2	麦芽糖	+130.4
L-阿拉伯糖	+104.5	转化糖	-19.8
D-甘露糖	+14.2	糊 精	+195
D-阿拉伯糖	-105.0	淀 粉	≥196
D-木糖	+18.8	糖 原	+196~+197

3. 溶解度 单糖分子中有多个羟基,增加了它的水溶性,尤其在热水中溶解度极大。但不溶于乙醚、丙酮等有机溶剂(参见表 17-3)。

(二)化学性质

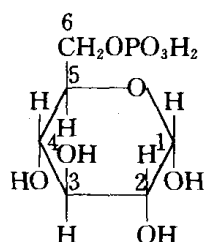
单糖的结构都是由多羟基醛或多羟基酮组成。因此具有醇羟基及羰基的性质,如具有醇羟基的成酯、成醚、成醛等反应和羰基的一些加成反应,又具有由于它们相互影响而产生的一些特殊反应。单糖的主要化学性质如下:

1. 酸的作用 戊糖与强酸共热, 因脱水而生成糠醛。己糖与强酸共热分解成甲酸、CO₂、乙酰丙酸以及少量羟甲基糖醛;

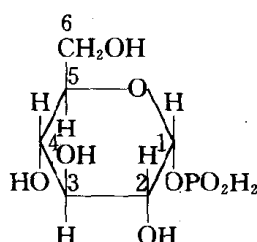


糠醛与羟甲基糠醛能与某些酚类作用生成有色的缩合物。利用这一性质可以鉴定糖。如 α -萘酚与糠醛或羟甲基糠醛生成紫色。这一反应用来鉴定糖的存在, 叫莫利西试验。间苯二酚与盐酸遇酮糖呈红色, 遇醛糖呈很浅的颜色, 根据这一特性可以鉴别酮糖与醛糖。这一反应叫西利万诺夫试验。

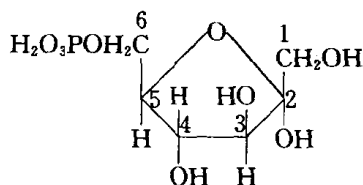
2. 酯化作用 单糖为多元醇。当与酸作用时生成酯, 生物化学上较重要的糖酯是磷酸酯。它们是糖代谢的中间产物。



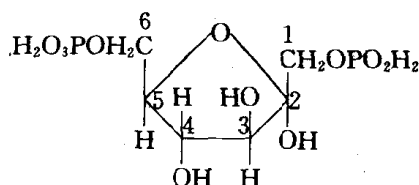
α -D-葡萄糖-6-磷酸



α -D-葡萄糖-1-磷酸



α -D-果糖-6-磷酸

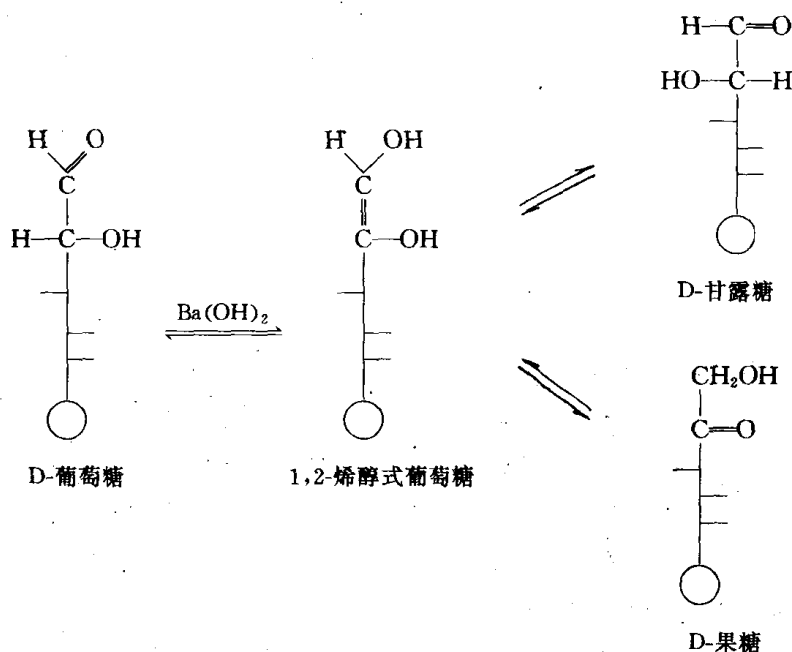


α -D-果糖-1,6-二磷酸

3. 碱的作用 单糖好像弱酸,它在 18°C 时的解离常数与弱酸的解离常数比较如下:

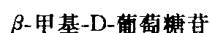
葡萄糖 6.6×10^{-13} 果糖 9.0×10^{-13} 半乳糖 5.2×10^{-13} 甘露糖 10.9×10^{-13} 乙酸 1.8×10^{-5} 乳酸 1.4×10^{-4}

在弱碱作用下,葡萄糖、果糖和甘露糖三者都可通过烯醇化而相互转化。在体内在酶的作用下也能进行类似的转化。

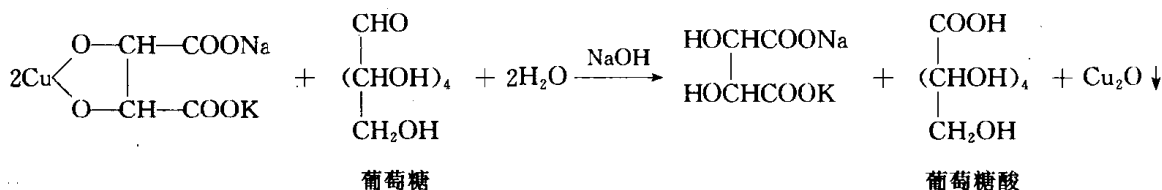


单糖在强碱溶液中很不稳定,分解成各种不同的物质。

4. 形成糖苷 单糖的半缩醛羟基很易与醇及酚的羟基反应,失水而形成缩醛式衍生物,通称糖苷。非糖部分叫配糖体。如果配糖体也是单糖,这就缩合生成二糖,也叫双糖。由于单糖有 α -与 β -之分,生成的糖苷也有 α -与 β -两种型式。核糖和脱氧核糖与嘌呤或嘧啶碱形成的糖苷称核苷或脱氧核苷,在生物学上具有重要意义。 α -与 β -甲基葡萄糖苷是最简单的糖苷。天然存在的糖苷多为 β -型。



5. 糖的氧化作用 单糖含有游离羰基，因此具有还原能力。某些弱氧化剂（如铜的氧化亚碱性溶液）与单糖作用时，单糖的羰基被氧化，而氧化铜被还原成氧化亚铜。测定氧化亚的生成量即可测知溶液中的含糖量。实验室常用的费林试剂就是硫酸铜的碱性溶液。单与费林试剂作用的反应如下：

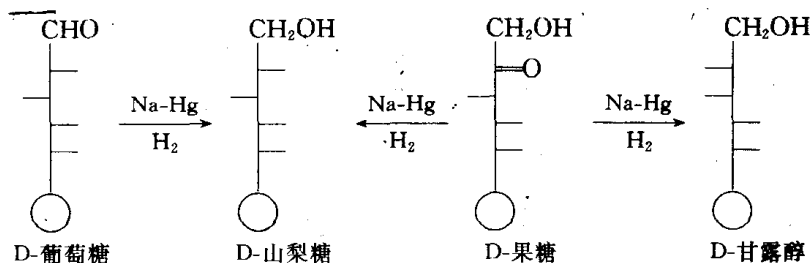


醛糖可以三种不同的方式进行氧化而产生与原来糖含有的碳原子数相同的酸：①在弱氧化剂(如溴水)作用下形成相应的糖酸；②在较强的氧化剂(如硝酸)作用下，除了醛基被氧化外，伯醇基也被氧化成羧基，生成葡萄糖二酸；③有时只有伯醇基氧化成羧基，这样就形成糖醛酸。如在氧化酶作用下，葡萄糖形成具有重要生理意义的葡萄糖醛酸。生物体中一些有毒的物质，可以和D-葡萄糖醛酸结合成苷类随尿排出体外，从而起到解毒作用；人体内过多的激素和芳香物质也能与葡萄糖醛酸生成苷类从体内排除。

[illegible]

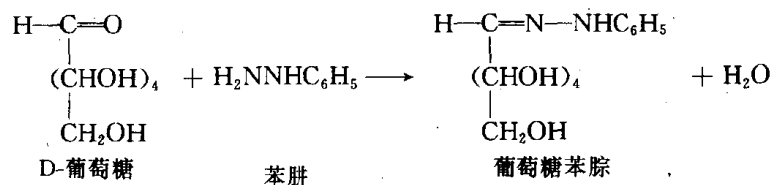
6

下,醛糖还原成糖醇,酮糖还原成两个具有同分异构的羟基醇。

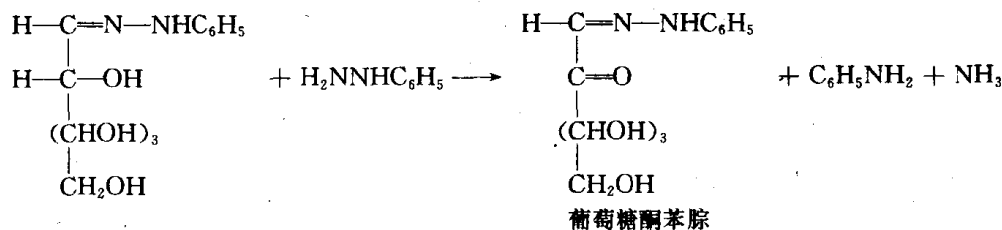


7. 糖脎的生成 单糖具有自由羰基, 能与 3 分子苯肼作用生成糖脎。反应步骤如下:

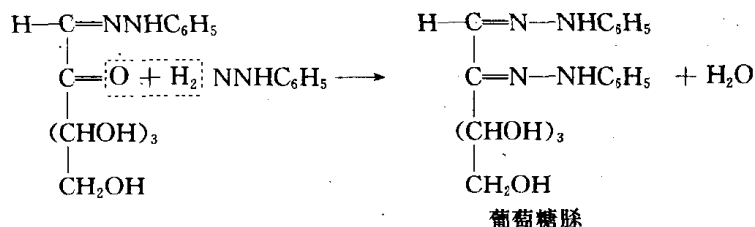
(1) 一分子葡萄糖与一分子苯肼缩合成苯腙。



(2) 葡萄糖苯腙再被一分子苯肼氧化成葡萄糖酮苯腙。

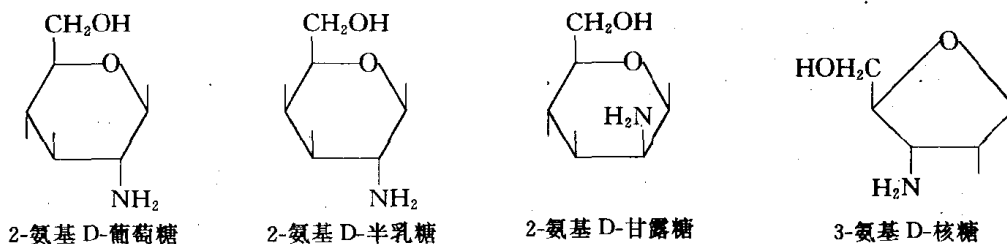


(3)葡萄糖酮苯腙再与另一分子苯肼缩合,生成葡萄糖脒。



糖脎为黄色结晶,难溶于水。各种糖生成的糖脎形状与熔点都不相同,因此常用糖脎的生成以鉴定各种不同的糖。

8. 氨基化作用 单糖分子中的 OH 基 (主要是 C-2、C-3 上的 OH 基) 可被 NH₂ 基 取代而产生 氨基糖, 也称 糖胺。天然存在的氨基糖有 2-氨基 D-葡萄糖 (又称 D-葡糖胺), 2-氨基 D-甘露糖、2-氨基 D-半乳糖和 3-氨基 D-核糖等。



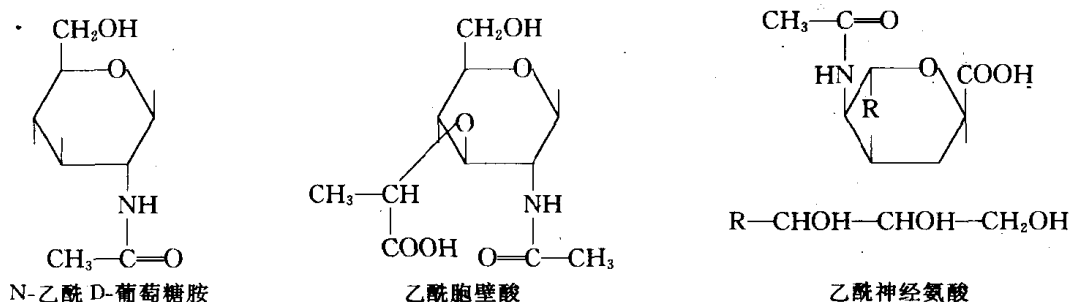
自然界的氨基糖多以乙酰氨基糖的形式存在,其中较重要的有以下几种:

N-乙酰 D-葡萄糖胺(NAG)与 N-乙酰胞壁酸(NAM)^{〔1〕}。

NAG 是乙酰基与葡萄糖胺的氨基结合而成的化合物,广布于自然界,为多种糖肽或糖蛋白的组分,细菌胞壁酸、甘油菌壁酸、肽聚糖和壳多糖等都含有乙酰葡萄糖胺。前三者是构成细菌细胞壁和细菌荚膜的主要成分。壳多糖是甲壳动物外壳和昆虫甲壳的组分。

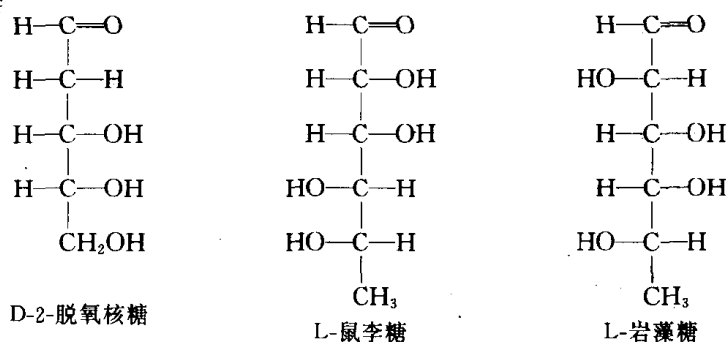
NAM(乙酰胞壁酸)是胞壁酸与乙酰基结合的产物,它同 NAG 都是肽聚糖的成分。

乙酰神经氨酸(NAN)是神经氨酸与乙酰基结合所成化合物,又称唾液酸。神经氨酸是一种 3-脱氧-5-氨基糖酸。



氨基糖除作为 NAG, NAM 和唾液酸的组成成分外,还有不少生物物质也含氨基糖。例如乙酰-2-氨基半乳糖是软骨蛋白质的成分;3-氨基-D-核糖为碳霉素(carbomycin)的成分。苦霉素(picromycin)、红霉素(erythromycin)和粘多糖分子中都含有氨基糖。

9. 脱氧作用 单糖的羟基之一失去氧即成脱氧糖。最普通的是 D-2-脱氧核糖、L-鼠李糖和 L-岩藻糖。D-脱氧核糖是脱氧核糖核酸(DNA)的成分, L-岩藻糖是藻类糖蛋白的成分, L-鼠李糖为植物细胞壁的成分。



三、重要的单糖

单糖根据原子数多少,分别叫丙糖、丁糖、戊糖、己糖等。

1. 丙糖 含三个碳原子的糖称丙糖。比较重要的丙糖有 D-甘油醛和二羟基丙酮。它们的磷酸酯是糖代谢的重要中间产物。

2. 丁糖 含四个碳原子的糖称丁糖。自然界常见的丁糖有 D-赤藓糖及 D-赤藓酮糖。它们的磷酸酯是糖代谢的重要中间产物。

3. 戊糖 自然界存在的戊醛糖主要有 D-核糖、D-2-脱氧核糖、D-木糖和 L-阿拉伯糖。它们大多以多聚戊糖或以糖苷的形式存在。戊酮糖有 D-核酮糖和 D-木酮糖,均是糖代谢的

〔1〕 NAG 是 N-acetyl-glucosamine 的缩写。NAM 或 NAMA 是 N-acetylmuramic acid 的缩写,中文名为乙酰胞壁酸。

中间产物。

L-阿拉伯糖 广泛分布于植物界,是粘质、树胶、果胶物质与半纤维素的组成成分。熔点 160°C ,比旋 $+104.5^{\circ}$ 。酵母不能使其发酵。

D-木糖 是植物粘质、树胶及半纤维素的组成成分。熔点 143°C ,比旋 $+18.8^{\circ}$ 。酵母不能使其发酵。

D-核糖及 D-2-脱氧核糖 是核酸的组成成分。它的衍生物核醇是某些维生素与辅酶的组成成分。核糖与脱氧核糖以呋喃型存在于天然化合物中。D-核糖的比旋为 -23.7° ,D-2-脱氧核糖的比旋为 -60° 。

4. 己糖 重要的己糖 D-葡萄糖、D-半乳糖、D-甘露糖,重要的己酮糖有 D-果糖、D-山梨糖。

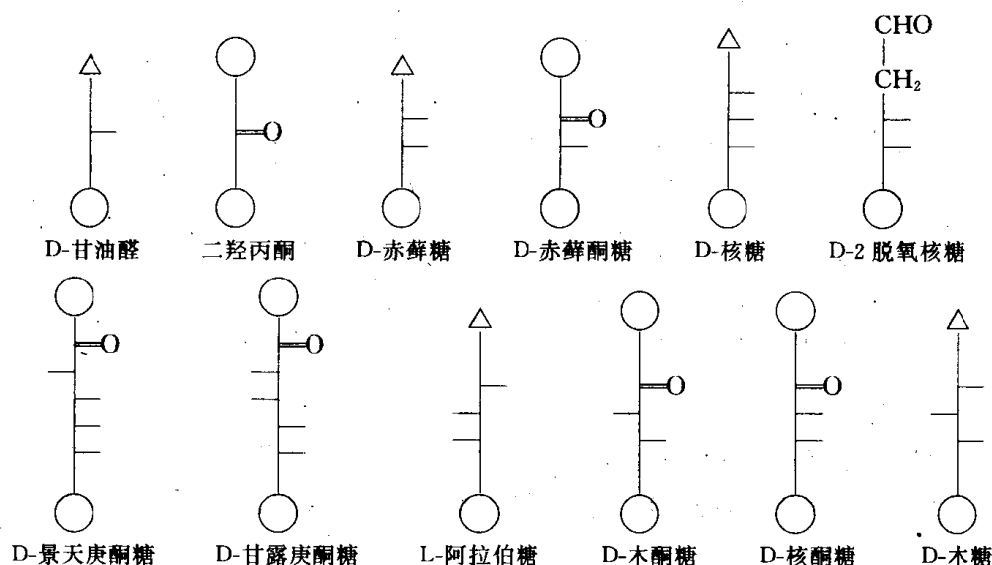
D-果糖(左旋糖) 广泛分布于生物界。果糖的 C_2 上为一酮基,所以是酮糖。果糖也可以形成半缩醛,所以也有环状结构,也有变旋现象。果糖的比旋为 -92.4° ,酵母可使其发酵。果糖是糖类中最甜的糖。

D-半乳糖 是乳糖、密二糖、棉子糖、琼胶、粘质和半纤维素的组成成分。熔点 167°C ,比旋 $+80.2^{\circ}$ 。可被乳糖酵母发酵。

D-甘露糖 是植物粘质与半纤维素的组成成分。比旋 $+14.2^{\circ}$ 。酵母可使其发酵。

D-山梨糖 是维生素 C 合成的重要中间产物。熔点为 $159\sim 160^{\circ}\text{C}$ 。比旋为 -43.4° 。

5. 庚糖 自然界存在的主要有 D-甘露庚酮糖和 D-景天庚酮糖。



四、单糖的重要衍生物

1. 糖醇 溶于水及乙醇中,较稳定,有甜味,不能还原费林试剂。常见的有甘露醇及山梨醇。甘露醇广泛分布于各种植物组织中。熔点 106°C ,比旋 -21° 。海带中的甘露醇含量占干物质的 $5.2\%\sim 20.5\%$,是制作甘露醇的原料。山梨醇在植物界分布也很广。熔点 97.5°C ,比旋 -1.98° 。山梨醇氧化时可形成葡萄糖、果糖或山梨糖。

2. 糖醛酸 由单糖的伯醇基氧化而得。其中最常见的是葡萄糖醛酸。它是肝脏内的一种解毒剂。半乳糖醛酸存在于果胶中。

3. 氨基糖 糖中之 $-\text{OH}$ 为 $-\text{NH}_2$ 所代替。自然界中存在的氨基糖都是氨基己糖。