



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

食品生物化学

(第二版)

宁正祥 主编

华南理工大学出版社

食品生物化学

FOOD BIO-CHEMISTRY

(第二版)

主 编 宁正祥

副 主 编 赵谋明 曹劲松

编写人员 黄志良 战 宇 高建华 张爱媛 向智男 于 辉
李 妍 李 卫 刘胜国 黄 鑫 Naveed Ahmad Raan

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、系统的介绍,主要内容包括:静态生物化学、动态生物化学、细胞生物化学、人体生物学、食物生物化学、食品加工化学、食品风味化学、食品添加剂化学等。

本书可供各类大专院校食品科学与工程专业的学生使用,也可供相关专业的学生、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/宁正祥主编. —2版. —广州:华南理工大学出版社, 2006.7
ISBN 7-5623-2368-2

I. 食… II. 宁… III. 食品化学:生物化学-教材-汉、英 IV. TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 063174 号

总 发 行: 华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

发行部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

E-mail: scutcl3@scut.edu.cn http: //www. scutpress. com. cn

责任编辑: 张 颖

印 刷 者: 广东省农垦总局印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印张: 30.75 字数: 843 千

版 次: 2006 年 7 月第 2 版第 8 次印刷

定 价: 42.00 元

版权所有 盗版必究

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教材，也可供其他专业学生以及研究生、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，所讲述的问题主要包括八个方面：

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

二、动态生物化学 包括生物大分子糖类、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 包括生物细胞及细胞器、生物膜的结构与功能。

四、食物组织生物化学 包括新鲜食用动、植物组织的代谢特点及风味物质的形成。

五、食品加工化学 包括糖类、脂类、蛋白质、维生素及食品无机成分的食品营养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 包括食品中存在的各种与色、香、味有关的化学成分及在加工、烹调和贮藏过程中的生物化学变化。

七、食品添加剂化学 包括食品防腐保鲜剂、抗氧化剂、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，以及与食品改性及质构变化的关系。

八、人体生物学 包括人体基本组织、系统的结构和功能。

本书各章内容自成体系，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。

编 者

修订说明

《食品生物化学》是食品与生物工程系列重点教材，第一版于1995年6月正式出版发行，至2005年6月共重印7次，发行量达2万余册，受到广大食品科学与工程专业学生和科技工作者的欢迎。本次修订在保持第一版简明、系统、精练的基础上，尽量揉进最新的研究进展，力求理论联系实际，深入浅出，重点培养学生解决实际问题的能力，并精选部分内容试行汉英双语教学，以提高学生阅读专业文献的能力。

修订的主要内容为：

1. 对一些重要章节推出英文版，以培养学生查阅外国科技文献的能力。
2. 将食品科学近十年来最新的研究成果揉合到经典的基础理论中，让读者更全面系统地掌握基础知识，把握学科发展动态，以培养基础牢固、富于创新的人才。
3. 突出食品“以人为本”的原则，增加了第九章人体生物学。详尽地阐述了人体运动、消化、呼吸、泌尿、生殖、循环、内分泌、感觉和神经九大系统。从人体生物学的角度阐述食品生物化学的基础理论。

编者
2005年10月

目 录

第一章 糖	(1)
第一节 单糖	(1)
一、单糖的结构	(1)
二、单糖的物理性质和化学性质	(3)
三、重要的单糖	(9)
四、单糖的重要衍生物	(10)
第二节 寡糖	(11)
一、双糖	(11)
二、三糖	(12)
三、四糖	(13)
第三节 多糖	(13)
一、淀粉	(13)
二、糖原	(14)
三、菊糖	(15)
四、纤维素	(15)
五、半纤维素	(16)
六、果胶物质	(16)
七、甲壳质	(17)
八、肽聚糖	(17)
九、菌壁酸(磷壁酸质)	(19)
十、脂多糖	(20)
十一、粘多糖类	(21)
CHAPTER 1 SACCHARIDES	(23)
1.1 Classification of Saccharides	(23)
1.2 The Asymmetric (chiral) Carbon Atom <i>D</i> and <i>L</i> -monosaccharides	(25)
1.3 Some Important Monosaccharides	(26)
1.4 Disaccharides	(28)
1.5 Polysaccharides	(30)
1.6 Special Roles of Saccharides (Summary)	(34)
第二章 脂类	(36)
第一节 三脂酰甘油类	(36)
一、脂肪酸	(37)
二、三脂酰甘油的类型	(39)
三、三脂酰甘油的理化性质	(40)
第二节 磷脂类	(41)

一、磷酸甘油酯	(41)
二、鞘氨醇磷脂类	(45)
第三节 结合脂类	(46)
一、糖脂类	(46)
二、脂蛋白类	(46)
第四节 简单脂类	(48)
一、萜类	(48)
二、类固醇类	(49)
CHAPTER 2 LIPIDS	(52)
2.1 Classification of Lipids	(52)
2.2 Fatty Acids	(53)
2.3 Neutral Fats or Triglycerides	(56)
2.4 Compound or Complex Lipids	(58)
2.5 Steroids and Sterols	(62)
2.6 Terpenes	(63)
2.7 Functions of Lipids	(64)
第三章 核酸	(65)
第一节 核苷酸	(65)
一、核苷酸的结构	(65)
二、核苷酸的性质	(69)
三、核苷酸类物质的制备及应用	(70)
第二节 脱氧核糖核酸(DNA)	(71)
一、DNA的碱基组成	(71)
二、DNA的一级结构	(71)
三、DNA的二级结构	(72)
四、DNA的三级结构	(74)
第三节 核糖核酸(RNA)	(74)
一、RNA的类型	(74)
二、RNA的碱基组成	(75)
三、RNA的结构	(75)
第四节 核酸的理化性质	(77)
第五节 核蛋白体	(77)
一、病毒	(78)
二、染色质	(78)
CHAPTER 3 NUCLEIC ACID	(79)
3.1 Nucleic Acid Parts List	(80)
3.2 Nucleotides	(80)
3.3 DNA-Double Helix Structure	(81)

3.4 RNA-transcription	(82)	第五章 酶	(126)
3.5 Types of RNA	(83)	第一节 酶的催化性质	(126)
第四章 蛋白质	(85)	一、酶是生物催化剂	(126)
第一节 蛋白质的化学组成与分类	(85)	二、酶的化学本质	(127)
一、蛋白质的化学组成	(85)	第二节 酶的分类	(128)
二、蛋白质的分类	(85)	第三节 酶的专一性	(130)
第二节 氨基酸	(86)	第四节 影响酶反应速度的因素	(131)
一、氨基酸的分类	(87)	一、底物浓度的影响	(131)
二、蛋白质的稀有氨基酸	(90)	二、酶浓度的影响	(134)
三、非蛋白质氨基酸	(90)	三、温度的影响	(134)
四、氨基酸的酸碱性质	(91)	四、pH 值的影响	(134)
五、氨基酸的吸收光谱	(92)	五、酶原的激活和激活剂	(135)
六、氨基酸的溶解度、旋光性和 味感	(92)	六、酶的抑制作用和抑制剂	(135)
七、氨基酸的化学反应	(92)	第五节 酶的作用原理	(137)
第三节 肽	(97)	第六节 多酶体系和调节酶	(138)
第四节 蛋白质的结构	(98)	一、多酶体系	(138)
一、蛋白质的一级结构	(98)	二、多酶体系的自我调节	(139)
二、蛋白质的二级结构	(98)	三、别构酶	(139)
三、蛋白质的三级结构	(102)	四、共价调节酶	(140)
四、蛋白质的四级结构	(104)	第七节 同功酶和诱导酶	(140)
第五节 蛋白质的性质	(104)	一、同功酶	(140)
一、蛋白质的胶体性质	(104)	二、结构酶和诱导酶	(141)
二、蛋白质的沉淀	(104)	第八节 抗体酶和核糖酶	(141)
三、蛋白质的两性解离及等 电点	(105)	一、抗体酶	(141)
四、蛋白质的变性	(105)	二、核糖酶	(142)
五、蛋白质的颜色反应	(106)	第九节 酶工程	(143)
第六节 蛋白质的生物功能	(106)	一、化学酶工程	(143)
CHAPTER 4 PROTEINS	(108)	二、生物酶工程	(143)
4.1 Amino Acids Occurring in Protein Molecules (Standard Amino Acids)	(108)	第十节 酶的分离提纯及活力测定	(144)
4.2 Nonstandard Amino Acids	(112)	一、酶的分离提纯	(144)
4.3 The Peptide Linkage or the Peptide Bond	(113)	二、酶活力的测定	(145)
4.4 Important of Proteins	(114)	第十一节 酶在食品工业中的应用	(146)
4.5 Classification of Proteins	(115)	一、酶对食品感观质量的影响	(146)
4.6 Other Classifications of Proteins	(119)	二、酶活性的控制	(148)
4.7 Amphoteric Proteins of Amino Acids and Proteins	(119)	三、酶在食品分析和加工中的 应用	(148)
4.8 The Three Dimensional Structure of Proteins	(121)	CHAPTER 5 ENZYMES	(152)
		5.1 The Mechanism of Enzyme Reactions	(152)
		5.2 Classification of Enzymes	(153)
		5.3 Factors Affecting Enzyme Activity	(154)
		5.4 Properties of Enzymes	(154)
		5.5 Use of Enzymes in food	

Industry	(155)	四、神经组织	(207)
第六章 维生素和辅酶	(157)	第二节 人体骨骼生物学	(209)
第一节 水溶性维生素	(157)	第三节 人体消化系统	(210)
第二节 脂溶性维生素	(164)	一、口腔和咽	(211)
第三节 维生素在食品贮存和 加工过程中的变化	(168)	二、胃消化	(212)
一、贮存过程中维生素的损失	(168)	三、小肠	(215)
二、加工过程中维生素的损失	(169)	四、大肠	(220)
CHAPTER 6 VITAMINS	(170)	五、肝	(221)
6.1 Fat-soluble Vitamins	(170)	第四节 体液循环系统	(223)
6.2 Water-soluble Vitamins	(172)	一、心血管系统	(224)
第七章 激素	(177)	二、淋巴系统	(226)
第一节 动物激素	(177)	第五节 神经系统	(227)
一、内分泌腺	(177)	一、神经系统分类	(227)
二、内分泌腺激素	(179)	二、反射和反射弧	(228)
第二节 植物激素	(180)	三、神经	(228)
第三节 激素的作用原理	(182)	四、脑	(228)
第四节 细胞内信使	(184)	五、脑神经	(231)
一、磷酸肌醇级联放大作用的 细胞内信使 IP_3 和 DAG	(184)	第六节 血液生物学	(233)
二、细胞内信使钙调蛋白 (CaM) 和 Ca^{2+}	(186)	一、血液的生理功能	(234)
第八章 细胞生物化学	(187)	二、血浆	(234)
第一节 细胞的一般结构	(187)	三、血细胞	(236)
第二节 细胞的化学组成	(189)	四、血液凝固	(240)
第三节 细胞壁	(190)	五、血型	(241)
第四节 生物膜	(191)	第七节 血液循环系统	(242)
一、生物膜的组分与结构	(191)	一、心脏的泵血功能	(243)
二、生物膜的功能	(193)	二、血管的功能	(243)
第五节 细胞液	(194)	三、心血管活动的调节	(247)
第六节 细胞核	(195)	第八节 呼吸循环系统	(247)
第七节 细胞器	(195)	一、呼吸气体的运输	(248)
一、内质网	(195)	二、呼吸运动的调节	(250)
二、核糖体	(195)	三、肺的非呼吸功能	(250)
三、线粒体	(195)	第九节 泌尿系统	(251)
四、质体	(196)	一、肾的构造	(251)
五、液泡系	(197)	二、尿的生成过程	(253)
六、高尔基体	(199)	三、排尿及其调节	(256)
七、微管与微丝	(199)	第十章 糖类代谢	(257)
第九章 人体生物学	(201)	第一节 糖类的膳食利用	(257)
第一节 人体基本组织	(201)	第二节 糖类的合成与降解	(258)
一、上皮和皮肤组织	(201)	一、光合作用	(258)
二、结缔组织	(203)	二、蔗糖的生物合成与降解	(258)
三、肌组织	(203)	三、淀粉、糖原的生物合成与 降解	(259)
		四、纤维素等的生物合成与 降解	(262)

第三节 糖类的中间代谢	(262)	一、氨基酸的脱氨基作用	(295)
一、糖酵解和发酵	(262)	二、氨基酸的转氨基作用	(297)
二、三羧酸循环	(264)	三、联合脱氨基作用	(298)
三、磷酸己糖旁路	(267)	四、氨基酸的脱羧基作用	(299)
四、糖醛酸途径	(268)	五、氨基酸碳骨架的氧化途径	(299)
五、乙醛酸循环	(268)	六、含氮排泄物的形成	(300)
六、糖异生作用	(269)	第五节 蛋白质代谢的调节	(302)
第四节 糖代谢的调节	(271)	一、遗传的控制	(302)
一、调节血糖水平的细胞		二、酶的控制	(302)
化学机制	(271)	三、激素的调节	(302)
二、神经系统对血糖浓度的		第十三章 核酸代谢	(303)
直接控制	(271)	第一节 核酸的合成代谢	(303)
三、激素对血糖浓度调节的		一、核苷酸的生物合成	(303)
间接控制	(271)	二、核酸的生物合成	(306)
第十一章 脂类代谢	(273)	第二节 核酸的分解代谢	(308)
第一节 脂类在机体内的消化、		一、核酸的分解	(308)
吸收和储存	(273)	二、核苷酸的降解代谢	(308)
第二节 脂类的生物合成	(273)	第三节 遗传工程	(310)
一、甘油的生物合成	(273)	一、DNA 的限制酶图谱	(310)
二、脂肪酸的生物合成	(274)	二、基因载体	(311)
三、三酰甘油的生物合成	(277)	三、DNA 重组技术	(312)
四、磷脂的生物合成	(277)	第十四章 生物氧化	(313)
五、胆固醇的生物合成	(278)	第一节 高能磷酸化合物	(313)
第三节 脂类的降解	(279)	一、高能磷酸化化合物的类型	(313)
一、脂肪的水解	(279)	二、ATP 的特殊作用	(315)
二、脂肪酸的氧化分解	(279)	三、磷酸肌酸和磷酸精氨酸的	
三、磷脂的降解	(282)	储能作用	(316)
四、胆固醇的降解和转变	(282)	第二节 呼吸链	(316)
第四节 脂代谢的调节	(283)	一、呼吸链的概念	(316)
第十二章 蛋白质代谢	(285)	二、呼吸链电子传递的顺序	(317)
第一节 氨基酸的生物合成	(285)	三、电子传递抑制剂	(317)
一、还原性氨基化作用	(285)	四、呼吸链的多型性	(318)
二、氨基转移作用	(285)	第三节 氧化磷酸化作用	(320)
三、氨基酸的相互转化作用	(286)	一、磷酸化的部位	(320)
第二节 蛋白质的生物合成	(286)	二、解偶联作用	(321)
一、蛋白质合成体系的组成	(286)	三、氧化磷酸化作用的机理	(321)
二、蛋白质的合成过程	(288)	第十五章 物质代谢的相互关系和	
三、蛋白质合成后的定向输送		调节控制	(322)
与修饰	(289)	第一节 物质代谢的相互关系	(322)
第三节 蛋白质的生物降解	(290)	第二节 物质代谢的调节和控制	(323)
一、蛋白酶类	(290)	一、细胞内调节	(323)
二、蛋白质的消化吸收	(291)	二、激素的调节	(325)
三、食品蛋白质的营养价值	(292)	三、神经的调节	(326)
第四节 氨基酸的分解	(295)	四、环境条件对代谢过程的影响	

..... (326)	第二节 食品中的蛋白质 (386)
第十六章 新鲜食物组织的生物化学 ... (327)	一、肉类蛋白质 (386)
第一节 新鲜食用植物组织的生物化学 (327)	二、胶原和明胶 (387)
一、新鲜食用植物组织的类别及特点 (327)	三、乳蛋白质 (387)
二、采收后水果、蔬菜组织呼吸的生物化学 (327)	四、种子蛋白质 (388)
三、成熟与衰老及其生物化学变化 (330)	五、单细胞蛋白 (389)
四、成熟与衰老过程中的形态变化 (334)	第三节 蛋白质的分离制备及改性 ... (389)
五、水果、蔬菜的成熟机理 (334)	一、蛋白质的分离制备 (389)
第二节 新鲜动物组织的生物化学 ... (335)	二、蛋白质的改性 (390)
一、活体肌肉的代谢 (336)	第四节 食品加工对蛋白质的影响 ... (392)
二、屠宰后肌肉的代谢 (337)	第二十章 矿物质及其营养功能 (394)
第十七章 糖类的食品性质与功能 (340)	第一节 矿物质营养元素的分类及其存在形式 (394)
第一节 单糖与低聚糖的食品性质与功能 (340)	一、矿物质营养元素的分类 (394)
一、物理性质与功能 (340)	二、矿物质的存在形式 (395)
二、化学性质与功能 (344)	三、食品中的矿物质 (395)
三、取代蔗糖 (347)	第二节 人体对矿物质的吸收与代谢 (396)
四、保健低聚糖类 (348)	 (396)
第二节 多糖的食品性质与功能 (353)	第三节 食物中矿物质成分的生物有效性 (398)
一、多糖的结构与功能 (353)	一、影响生物有效性的因素 (398)
二、淀粉 (355)	二、矿物质成分的生理功能及生物有效性 (400)
三、果胶物质 (361)	三、加工方法对微量元素的影响 (404)
四、纤维素 (363)	第二十一章 水和冰 (405)
五、半纤维素 (364)	第一节 水和冰的物理常数与性质 ... (405)
六、食品胶 (365)	一、物理常数及其在食品中的重要性质 (405)
七、功能性多糖 (368)	二、分子结构 (406)
第十八章 油脂加工化学 (370)	三、水的生理功用 (408)
第一节 食用油脂的生产与加工 (370)	第二节 食品中的水分状态 (408)
一、油脂的提取 (370)	第三节 水分活度 (409)
二、油脂的精制 (371)	一、水分活度概念 (409)
三、油脂的改性 (372)	二、水分活度与食品含水量的关系 (409)
第二节 食用油脂在加工和贮存过程中的变化 (373)	三、水分活度的实际应用 (410)
一、油脂的水解 (373)	CHAPTER 21 WATER (412)
二、油脂的酸败 (373)	21.1 Properties of Water (412)
三、油脂在高温下的化学变化 (377)	21.2 Water Activity of Foods (413)
第三节 常见食用油脂 (379)	第二十二章 褐变作用 (415)
第十九章 蛋白质的加工化学 (382)	第一节 非酶褐变 (415)
第一节 蛋白质的功能性质 (382)	一、羰氨反应 (415)
	二、焦糖化褐变作用 (417)

三、抗坏血酸褐变作用	(417)	一、嗅觉及影响因素	(446)
四、非酶褐变对食品质量的影响 ...	(418)	二、植物性食物的香气	(447)
五、非酶褐变的控制	(418)	三、动物性食物的气味成分	(447)
第二节 酶促褐变	(420)	四、焙烤食物的香气	(449)
一、酶促褐变的机理	(420)	五、发酵食品的香气	(449)
二、酶促褐变的控制	(422)	六、香味增强剂	(450)
第二十三章 色素和着色剂	(424)	第二十五章 食品添加剂	(451)
第一节 食品中的天然色素	(424)	第一节 食品添加剂的毒性	(451)
一、吡咯色素	(424)	一、毒性试验	(451)
二、多烯色素	(426)	二、食品添加剂的使用标准	(453)
三、酚类色素	(427)	第二节 常用食品添加剂	(454)
四、酮类衍生物	(432)	一、防腐剂及杀菌剂	(454)
五、醌类衍生物	(433)	二、抗氧化剂	(456)
六、甜菜红	(434)	三、漂白剂	(456)
七、紫草色素	(434)	四、乳化剂	(457)
八、焦糖色素	(435)	五、膨松剂	(458)
第二节 合成色素	(435)	第二十六章 食品中的有害成分	(461)
第三节 食品调色	(438)	第一节 食品中的天然毒素	(461)
第二十四章 食品风味	(439)	一、植物性和蕈类食品中的毒素 ...	(461)
第一节 食品的滋味和呈味物质	(439)	二、动物性食品中的毒素	(468)
一、食品味感	(439)	第二节 微生物毒素	(469)
二、甜味与甜味物质	(440)	一、霉菌毒素	(469)
三、酸味与酸味物质	(443)	二、细菌毒素	(473)
四、苦味及苦味物质	(443)	第三节 化学毒素	(474)
五、咸味理论	(445)	一、环境染毒	(474)
六、其他味感和呈味物质	(445)	二、加工化学染毒	(476)
第二节 嗅觉及嗅感物质	(446)	参考文献	(479)

第一章 糖

糖 糖类物质是含多羟基的醛类或酮类化合物及其缩聚物和某些衍生物的总称。

单糖 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的多少来分类，在自然界分布广、作用大的是五碳糖和六碳糖，分别称为戊糖和己糖。核糖、脱氧核糖属戊糖；葡萄糖、果糖和半乳糖为己糖。

寡糖 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。

单糖和寡糖都能溶于水，多有甜味。

多糖 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。

糖类的存在 糖是生物界中分布极广、含量较多的一类有机物质，几乎所有动物、植物、微生物体内都含有糖，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%。微生物体内含糖占菌体干重的 10%～30%，它们以糖或与蛋白质、脂类结合成复合糖存在。

糖类的作用 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他物质，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

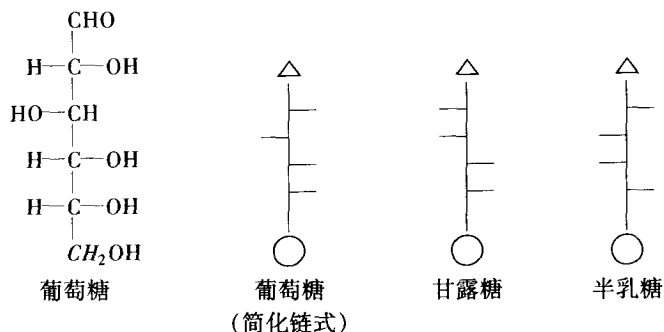
单糖的种类虽然很多，但在结构及性质上均有共同之处，现以葡萄糖为例来阐述单糖的结构。

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、淀粉、纤维素、糖原及其他葡萄糖衍生物中。

1. 葡萄糖的化学组成和链状结构

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分别为：

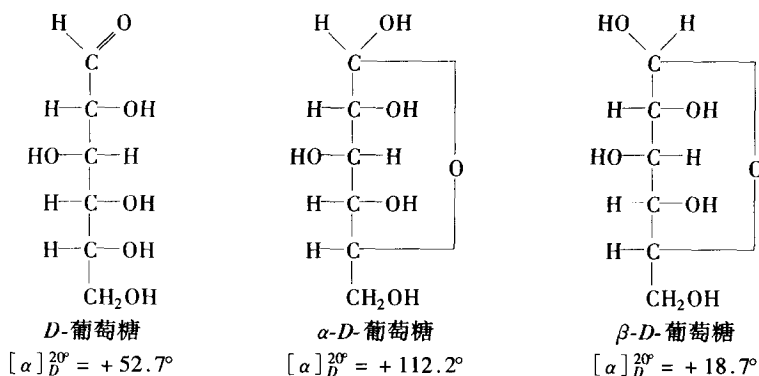


在糖的简化链状结构式中,用“┆”表示碳链及不对称碳原子羟基的位置,“△”表示醛基“—CHO”,“—”表示羟基“—OH”,“○”表示第一醇基。

2. 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。

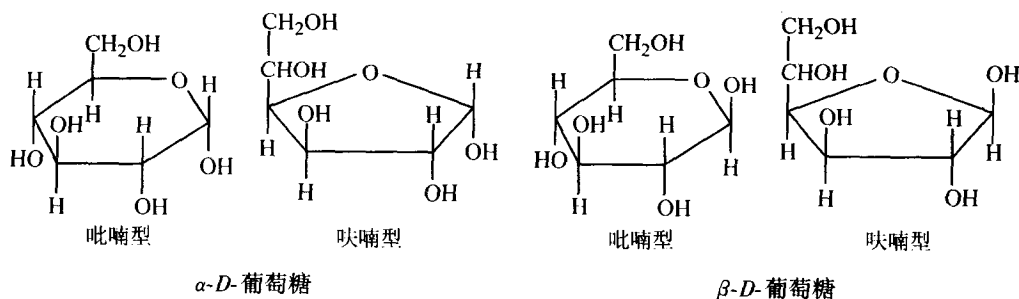
葡萄糖溶液有变旋现象。当将新的葡萄糖溶解于水中时,最初的比旋是 $+112.2^\circ$ 。经放置后,比旋逐渐下降至 $+52.7^\circ$,并不再改变。这个现象并不是葡萄糖在水中分解所引起的。因为把溶液蒸干后,仍然得到 $+112.2^\circ$ 的 D -葡萄糖。这种旋光度改变的现象叫做变旋现象。很多糖都有此现象。若把比旋为 $+112.2^\circ$ 的葡萄糖的浓溶液在 110°C 时结晶,则得到另一种比旋为 $+18.7^\circ$ 的葡萄糖。这两种葡萄糖溶液放置一定时间后,比旋各有改变,前者降低,后者升高,但最后都变为 $+52.7^\circ$ 。为了区别这两种不同比旋的葡萄糖,将比旋为 $+112.2^\circ$ 的叫做 α - D (+)-葡萄糖,比旋为 $+18.7^\circ$ 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 ^5C 上的羟基作用形成六元环的半缩醛。这样,原来羰基的 ^1C 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 $-\text{OH}$ (称为半缩醛羟基)与决定单糖构型的 ^5C 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 ^5C 上的羟基缩合形成六元环以外,还可以与 ^4C 上的羟基缩合形

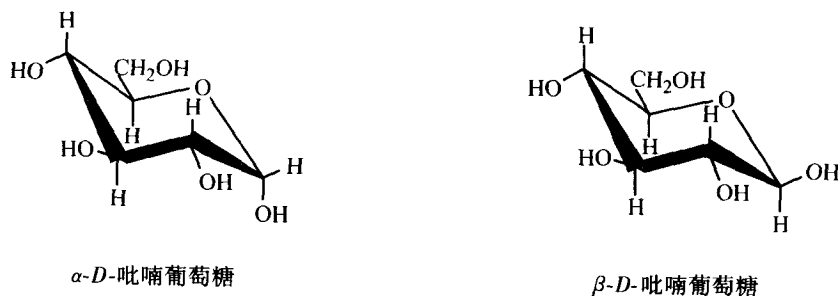
成五元环。五元环化合物不甚稳定，天然的糖多以六元环的形式存在。五元环化合物可以看成是呋喃的衍生物，叫呋喃糖；六元环化合物可以看成是吡喃的衍生物，叫吡喃糖。因此，葡萄糖的全名应为 α -D(+)- 或 β -D(+)- 吡喃葡萄糖。



以上各透视式均省略了构成环的碳原子。对于 D-葡萄糖来说，投影式中向后的羟基在透视式中处于平面之下的位置；投影式中向左的羟基在透视式中处于平面之上的位置。当直链葡萄糖⁵C上的羟基与¹C上的醛基连成1-5型氧桥、形成环形的時候，为了使⁵C上的羟基与¹C上的醛基接近，依照单链自由旋转不改变构型的原理，将⁵C旋转 109°28′，D-葡萄糖的末端羟甲基就在平面之上。在透视式中，D、L 和 α 、 β 的确定是以⁵C上的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，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。

3. 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。吡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。几种重要的单糖、寡糖及多糖的比旋光度如表 1-1 所示。许多单糖在水溶液中都有变旋现象。

2. 甜度

甜味的高低称为甜度，甜度是甜味剂的重要指标。目前甜度的测定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% 或者 10% 的蔗糖溶液在 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

单 糖	比旋光度	寡糖及多糖	比旋光度
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

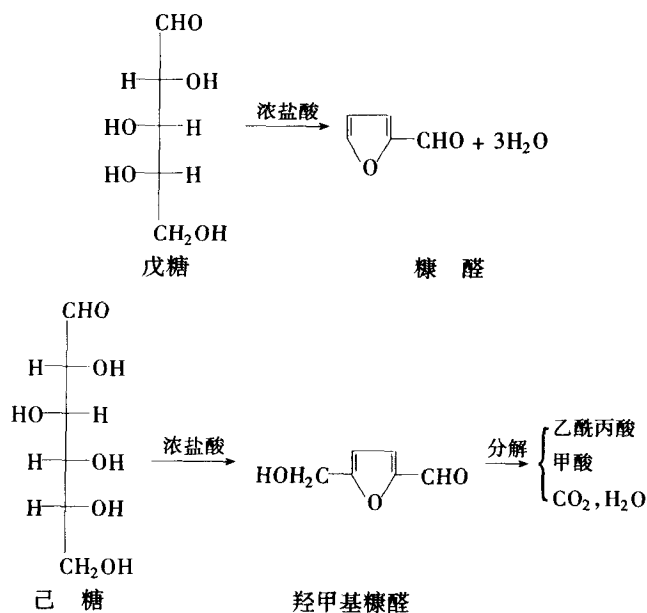
单糖分子中有多个羟基,增加了它的水溶性,尤其在热水中溶解度极大。但单糖不溶于乙醚、丙酮等有机溶剂(参见表 17-3)。

(二) 化学性质

单糖的结构都是由多羟基醛或多羟基酮组成,因此它们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

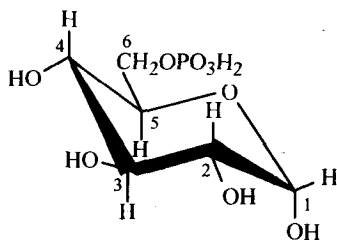
戊糖与强酸共热,因脱水而生成糠醛。己糖与强酸共热分解成甲酸、CO₂、乙酰丙酸以及少量羟甲基糠醛:



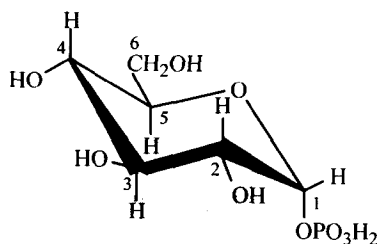
糠醛与羟甲基糠醛能与某些酚类作用生成有色的缩合物，利用这一性质可以鉴定糖。如 α -萘酚遇糠醛或羟甲基糠醛呈紫色，这一反应用来鉴定糖的存在，叫莫利西（Molisch）试验。间苯二酚与盐酸遇酮糖呈红色，遇醛糖呈很浅的颜色，根据这一特性可鉴别酮糖与醛糖。这一反应叫西利万诺夫（Seliwanoff）试验。

2. 酯化作用

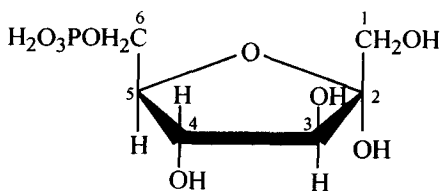
单糖为多元醇，当与酸作用时生成酯。生物化学上较重要的糖脂是磷酸脂，它们是糖代谢的中间产物。



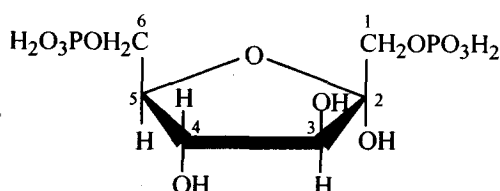
α -D-葡萄糖-6-磷酸



α -D-葡萄糖-1-磷酸



α -D-果糖-6-磷酸



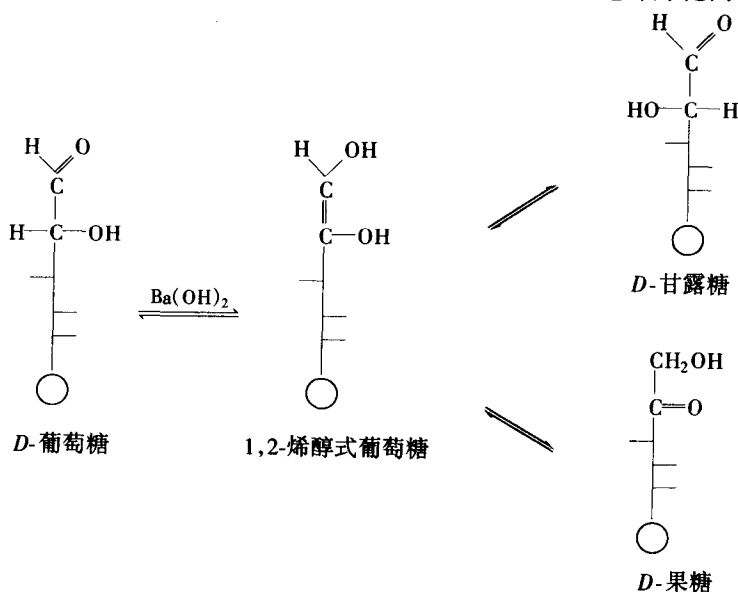
α -D-果糖-1,6-二磷酸

3. 碱的作用

单糖好像弱酸，它在18℃时的解离常数与弱酸的解离常数比较如下：

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

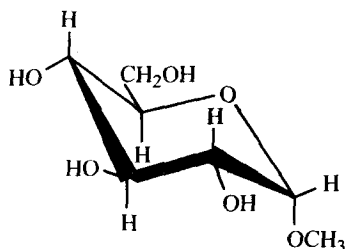
体内在酶或弱碱作用下，葡萄糖、果糖和甘露糖三者都可通过烯醇化而相互转化。



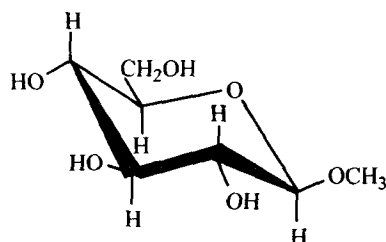
单糖在强碱溶液中很不稳定，可分解成各种不同的物质。

4. 形成糖苷

单糖的半缩醛羟基很容易与醇及酚的羟基反应，失水而形成缩醛式衍生物，通称为糖苷。非糖部分叫配糖体。如果配糖体也是单糖，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。



α -甲基-D-葡萄糖苷

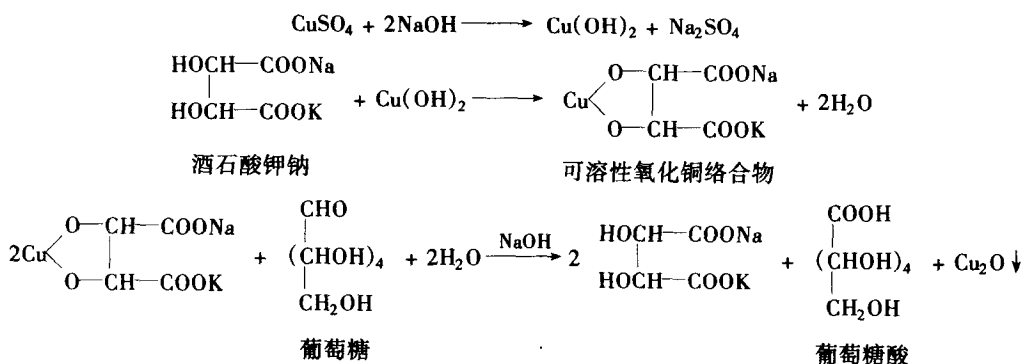


β -甲基-D-葡萄糖苷

糖苷与糖的化学性质完全不同。糖苷是缩醛，糖是半缩醛。半缩醛容易变为醛，因此糖可显示醛的多种反应。糖苷需水解才能分解为糖与配糖体，所以糖苷比较稳定，不与苯肼发生反应，不易被氧化，也无变旋现象。

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（如铜氧化物的碱性溶液）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，测定氧化亚铜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。单糖与费林试剂作用的反应如下：



除了羰基之外，单糖分子中的羟基也能被氧化。因氧化条件不同，单糖可被氧化成不同的产物。

醛糖可以三种不同的方式进行氧化而产生与原来糖含有相同碳原子数的酸：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，这样就形成了糖醛酸。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