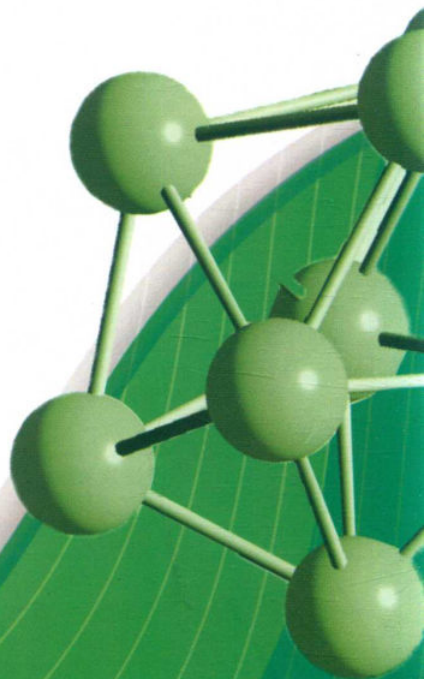
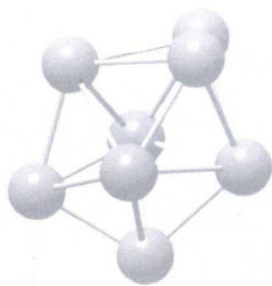


SDCWHY

食品生物化学

Food Biochemistry

王正朝 张正红 朱可彤◎主编



图书在版编目(CIP)数据

王正朝,张正红,朱可彤.食品生物化学. — 成都:电子科技大学出版社,2019.6

食品生物化学

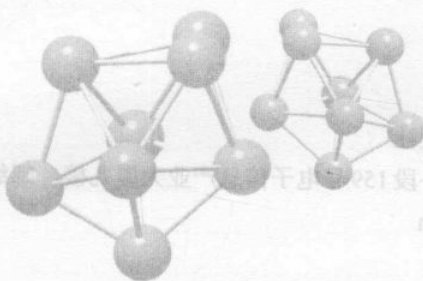
王正朝 张正红 朱可彤◎主编

Food Biochemistry

本书是食品生物化学领域的专业基础课。以适应21世纪科技发展对具有创新意识、基础扎实、知识面广、综合素质高的人才的需求。本书主要介绍糖类、脂类、蛋白质、核酸、酶、维生素和辅酶(基)、生物氧化、糖代谢、脂代谢、物质代谢途径的相互关系与调控等内容。

本教材是高校食品类专业的教学用书,也可供相关专业师生和食品行业各层次、各工种不同岗位的人员阅读、参考。

由于编者水平有限,书中疏漏之处难免存在,敬请读者批评指正。



责任编辑:张正红
封面设计:张正红

出版发行:电子科技大学出版社
成都市一环路北一段15号附1楼
www.uestcpress.com.cn
联系电话:028-83203399
邮购电话:028-83201492

印 刷:成都市火炬印务有限公司
成品尺寸:185mm x 260mm
印 张:11.25
字 数:200千字
版 次:2019年6月第1版
印 次:2019年6月第1次印刷
ISBN 978-7-2647-7500-4
定 价:45.00元

 电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press

· 成都 ·

图书在版编目(CIP)数据

食品生物化学 / 王正朝, 张正红, 朱可彤主编. --
成都: 电子科技大学出版社, 2019.6
ISBN 978-7-5647-7209-3

I. ①食… II. ①王… ②张… ③朱… III. ①食品化
学-生物化学 IV. ①TS201.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第136940号

食品生物化学

SHIPIN SHENGWUHUAXUE

王正朝 张正红 朱可彤 主编

策划编辑 罗 雅

责任编辑 卢 莉

出版发行 电子科技大学出版社
成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 www.uestcp.com.cn

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 成都市火炬印务有限公司

成品尺寸 185mm × 260mm

印 张 11.25

字 数 290千字

版 次 2019年6月第1版

印 次 2019年6月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5647-7209-3

定 价 42.00元

版权所有, 侵权必究

目 录

前 言

本书是为食品科学与工程学科的相关专业本科学学生编写的,食品生物化学是该领域相关学科专业本科学学生必修的专业基础课。以适应21世纪科技发展对具有创新意识、基础扎实、知识面广、综合素质高的人才的需求。本书主要介绍糖类、脂类、蛋白质、核酸、酶、维生素和辅酶(基)、生物氧化、糖代谢、脂代谢、物质代谢途径的相互关系与调控等内容。

本教材是高校食品类专业的教学用书,也可供相关专业师生和食品行业各层次、各工种不同岗位的人员阅读、参考。

由于编者水平有限,书中疏漏之处难免存在,敬请广大读者批评指正。

编 者

第1章 糖类

1.1 概述

1.2 单糖

1.3 双糖

1.4 多糖

第3章 蛋白质

3.1 概述

3.2 蛋白质的化学组成与分类

3.3 蛋白质的结构

3.4 蛋白质的理化性质

3.5 蛋白质的分离纯化

3.6 蛋白质的分离纯化

3.7 蛋白质在食品加工中的变化

3.8 食物体系中的蛋白质

第4章 核酸

4.1 概述

4.2 核酸的结构

4.3 核酸的理化性质

4.4 核酸的研究方法

4.5 核酸类物质制备

第5章 酶

5.1 酶的概念

目 录

第1章 糖类	1
1.1 概述	1
1.2 单糖	2
1.3 寡糖	8
1.4 多糖	10
1.5 食品中糖类的功能	12
1.6 食品中的功能性多糖化合物	13
第2章 脂类	20
2.1 脂类概论	20
2.2 简单脂质	21
2.3 复杂脂质	26
2.4 类脂类	29
2.5 脂类的提取、分离与分析	34
2.6 油脂在食品加工和贮藏过程中的变化	35
2.7 功能性脂质与人类健康	39
第3章 蛋白质	44
3.1 概述	44
3.2 蛋白质的化学组成与分类	45
3.3 蛋白质的结构	50
3.4 蛋白质的理化性质	54
3.5 蛋白质的分离纯化	56
3.6 蛋白质的分离纯化	59
3.7 蛋白质在食品加工中的变化	60
3.8 食物体系中的蛋白质	64
第4章 核酸	70
4.1 概述	70
4.2 核酸的结构	72
4.3 核酸的理化性质	80
4.4 核酸的研究方法	83
4.5 核酸类物质制备	85
第5章 酶	88
5.1 酶的概念	88

5.2	酶催化作用的特性	89
5.3	酶的组成	90
5.4	单体酶、寡聚酶、多酶复合体	91
5.5	酶催化反应的机理	91
5.6	酶的活力测定和分离纯化	94
5.7	酶工程简介	98
5.8	酶与食品生产	98
第6章	维生素和辅酶(基)	102
6.1	概述	102
6.2	脂溶性维生素	102
6.3	维生素构成的辅因子	105
6.4	辅酶与维生素	108
第7章	生物氧化	114
7.1	概述	114
7.2	线粒体氧化体系	115
7.3	高能磷酸键的储存和利用	125
第8章	糖代谢	128
8.1	糖类的消化吸收	128
8.2	糖的无氧分解	129
8.3	糖的异生作用	133
8.4	糖原的合成与分解	135
8.5	糖代谢各途径之间的联系	137
8.6	血糖及其调节	139
第9章	脂代谢	142
9.1	概述	142
9.2	脂肪的分解代谢	143
9.3	脂肪的合成代谢	147
9.4	类脂代谢	151
9.5	血浆脂蛋白代谢	152
9.6	脂类代谢紊乱	153
9.7	与脂类代谢相关的疾病	156
第10章	物质代谢途径的相互关系与调控	159
10.1	物质代谢的相互关系	159
10.2	代谢调节控制	160
10.3	整体水平的代谢调节	169
	参考文献	171

第1章 糖 类

1.1 概述

1.1.1 糖类化合物的概念及分布

糖是多羟醛或多羟酮及其缩聚物和衍生物的总称。主要由C、H、O组成，分子式常用 $C_n(H_2O)_m$ 来表示，其中氢和氧原子的比例是2:1，又称为碳水化合物。后来人们发现符合通式的不一定是糖，如 CH_3COOH （乙酸）， CH_2O （甲醛）， $C_3H_6O_3$ （乳酸）；是糖的也不一定都符合通式，如 $C_5H_{10}O_4$ （脱氧核糖）， $C_6H_{12}O_5$ （鼠李糖），而且有些糖还含有氮、硫、磷等成分。所以碳水化合物这个名称并不确切，但因沿用已久，所以至今在西文中仍广泛使用。

糖在自然界中分布广泛，微生物、植物和高等动物体内都含有糖，其中植物体内含量最为丰富，占植物干重的85%~90%。植物细胞壁、木质部等主要由纤维素构成；我们生活中应用的竹、木、棉、麻制品，也都是由纤维素构成的；甘蔗中含有蔗糖，水果中含有果糖、葡萄糖和果胶；谷物中含有大量的淀粉，这些纤维素、蔗糖、果糖、葡萄糖、果胶和淀粉等都属于糖类。微生物中的糖含量占菌体干重的10%~30%，人体和动物中糖含量较少，不超过干重的2%。人体中，糖主要有以下存在形式：①以糖原形式贮藏在肝脏和肌肉中，糖原代谢速度很快，对维持血糖浓度恒定、满足机体对糖的需求有重要意义。②以葡萄糖形式存在于体液中。细胞外液中的葡萄糖是糖的运输形式，它作为细胞的内环境条件之一，浓度相当恒定。③存在于多种含糖生物分子中，糖作为组成成分直接参与多种生物分子的构成。

1.1.2 糖类化合物的种类

根据能否被水解以及其水解产物的情况，糖主要可分为以下几类。

(1) 单糖：一类结构最简单的糖，是不能用水解方法再降解的糖及其衍生物，根据其所含碳原子的数目可分为丙糖、丁糖、戊糖和己糖，根据官能团的特点分为醛糖和酮糖。

(2) 寡糖：也称低聚糖，指能水解生成2~10个单糖分子的糖，各单糖之间借脱水缩合的糖苷键相连。以双糖存在最为广泛，蔗糖、麦芽糖和乳糖是其重要代表。

(3) 多糖：能水解为多个单糖分子的糖称为多糖，是聚合度很大的高分子物质，以淀粉、糖原、纤维素等最为重要。由相同的单糖基组成的多糖称为同聚多糖，以不相同的单糖基组成的称为杂聚多糖。

(4) 复合糖：糖与蛋白质、脂质等分子聚合而成的化合物称为复合糖或糖复合物，如糖蛋白和糖脂等。

1.2 单糖

1.2.1 单糖的分子结构

单糖是多羟基醛或多羟基酮，分别称为醛糖和酮糖，它们的分子结构通式如图 1-1 所示。

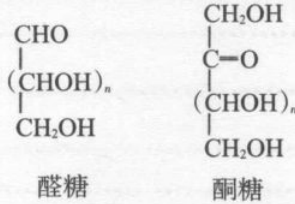


图 1-1 链状醛糖和酮糖的通式

单糖的分子结构有链状结构和环状结构两种。链状结构即单糖的开链结构，其分子构型呈线性，而环状结构是指糖类 C_1 上的醛基与分子中其他碳原子（主要为 C_4 和 C_5 ）上连接的羟基（—OH）之间形成半缩醛基，从而在分子内形成一个环状结构。单糖分子的链状结构和环状结构实际上是同分异构体。

1. 单糖的链状结构

(1) 单糖的链状结构。以常见单糖分子为例，它们的链状结构分别如图 1-2 所示。

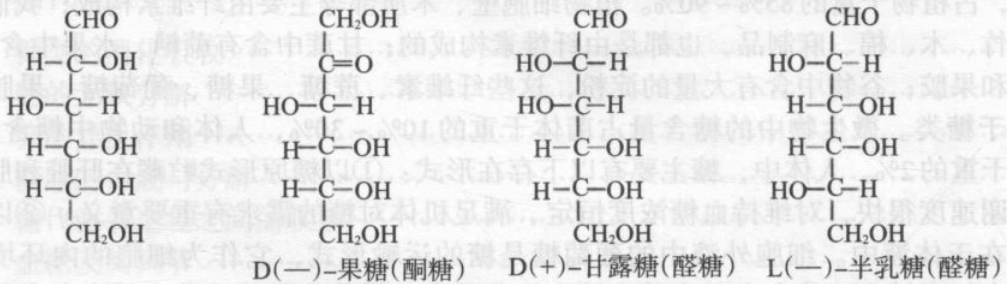


图 1-2 常见单糖分子的链状结构

[(+)表示右旋,(-)表示左旋]

上式可以简化，以 Δ 表示碳链及不对称碳原子上羟基的位置；以 \triangle 表示醛基，即—CHO；以一表示羟基，即—OH；以 \circ 表示第一醇基，即— CH_2OH ，则 D -葡萄糖和 D -果糖分子结构的简化式如图 1-3 所示。

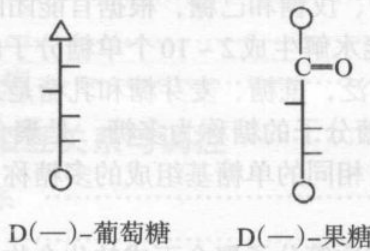


图 1-3 葡萄糖与果糖分子的简化式

(2) 单糖的差向异构体。含有相同碳原子的同构型(醛糖或酮糖)的单糖的分子构象,如己醛糖中的葡萄糖与甘露糖、葡萄糖与半乳糖,除了一个不对称碳原子的构型不同(主要是一OH的位置)外,其余结构完全相同。把这种仅有一个不对称碳原子构型不同的两个非镜像对映异构体单糖称为差向异构体。

(3) 单糖的镜像对映体。构型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。当某物质由一种构型转变为另一种构型时,要求有共价键的断裂和重新形成。

单糖有D型及L型两种异构体,即有两种构型。判断其是D型还是L型的方法是将单糖分子中离羰基最远的不对称碳原子上—OH的空间排布与甘油醛做比较,若与D-甘油醛相同,即—OH在不对称碳原子右边的为D型;若与L-甘油醛相同,即—OH在不对称碳原子左边的为L型。甘油醛的D型或L型是人为规定的。甘油醛是含有一个不对称碳原子的最简单的单糖,与其他单糖一样,含有不对称碳原子。一个不对称碳原子上的一H和—OH有两种可能的排列方法,因而形成两种对映体(antipode)。—OH在甘油醛的不对称碳原子右边,即在与—CH₂OH邻近的不对称碳原子(有*号的)右边,被规定为D型;在左边的规定为L型。

将甘油醛分子做成立体模型,则D-甘油醛及L-甘油醛两个对映体的结构如图1-4所示,它们不能重叠,而是互为镜像,因此称为镜像对映体。

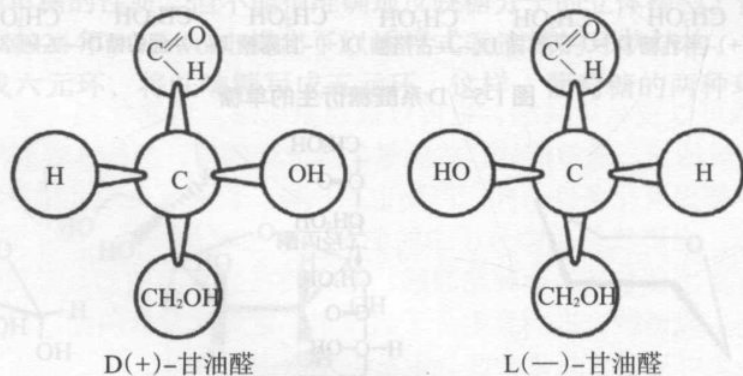


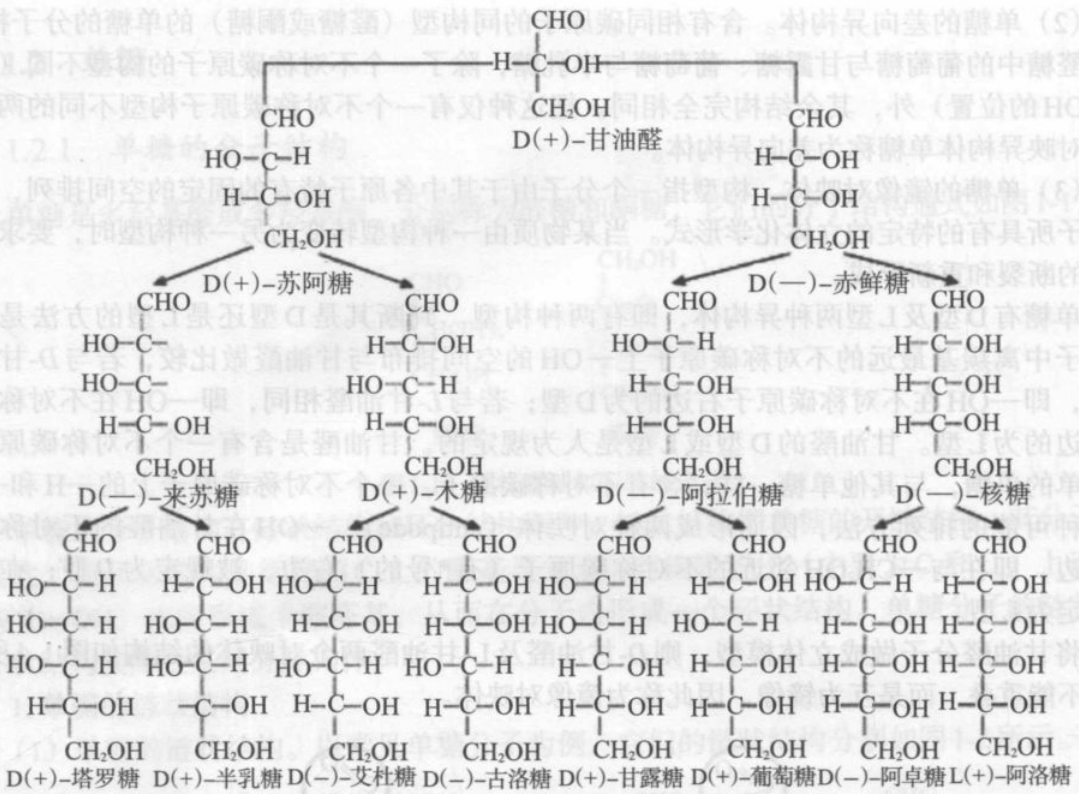
图1-4 甘油醛的镜像对映体

根据这种方法,从D-甘油醛可能衍生出2个D-丁糖,4个D-戊糖,8个D-己糖;从L-甘油醛也可衍生出同样数目的L型单糖。D型单糖与L型单糖互为对映体。故一种具有9个不对称碳原子的单糖,其镜像对映体的数目为 2^n ,图1-5和图1-6分别给出了D系醛糖与酮糖的立体结构。

2. 单糖的环状结构

由于葡萄糖的醛基只能与一分子醇反应生成半缩醛,不同于普通的醛;并且它不能与亚硫酸氢钠反应形成加成物,在红外光谱中没有羰基的伸缩振动,在核磁共振氢谱中也没有醛基质子的吸收峰。实验表明,因为葡萄糖的醛基与分子内的一个羟基形成了环状半缩醛结构,所以只能与一分子醇形成缩醛,又称为糖苷。

E.Fischer 1893年提出单糖的环状结构。在溶液中,含有5个或更多碳原子的醛糖和酮糖的羰基都可以与分子内的一个羟基反应形成环状半缩醛。环状半缩醛可以是五元环或六元环结构,环状结构中的氧来自形成半缩醛的羟基,所以环状半缩醛是个杂环结构。单糖的链状



结构和环状结构，实际上是同分异构体，环状结构更重要。

(1) 单糖的 α 型和 β 型。由于环式第1碳原子是不对称的，与其相连的—H和—OH的位置就有两种可能的排列方式，因而就有了 α 和 β 两种构型的可能。决定 α 型和 β 型的依据与决定D构型和L构型的依据相同，都是以与分子末端—CH₂OH邻近的不对称碳原子的—OH的位置作为依据。凡糖分子的半缩醛羟基（即C₁上的—OH）和分子末端的—CH₂OH基邻近的不对称碳原子的—OH在碳链同侧的称为 α 型，在异侧的称为 β 型。C₁称为异头碳原子（头部碳原子）， α 型和 β 型两种异构体称为异头物。环式醛糖和酮糖都有 α 型和 β 型两种构型。水溶液中，单糖的 α 型和 β 型异构体可通过直链互变而达到平衡。这就是葡萄糖溶液的变旋现象。 α 型和 β 型异构体不是对映体。

(2) 吡喃糖与呋喃糖。葡萄糖在无水甲醇溶液中受氯化氢催化，能产生两种各含一个甲基的甲基葡萄糖苷： α 型甲基葡萄糖苷或者 β 型甲基葡萄糖苷。表明C₁有两种不对称形式，即葡萄糖分子环状结构有两种可能的形式。实验证明，C₁上的醛基在形成半缩醛基时有两种成环形式，一种是半缩醛基的氧桥由C₁和C₅连接，形成六元环（五个碳原子），称为吡喃型；另一种是半缩醛基的氧桥由C₁和C₄连接，形成五元环（四个碳原子），称为呋喃型。从这个角度，单糖又可分为吡喃糖与呋喃糖。葡萄糖的五元环结构（即呋喃糖）不太稳定，天然葡萄糖多以六元环（即吡喃糖）的形式存在。

(3) 单糖环状结构Haworth式。Fischer的环状式虽能表示各个不对称碳原子构型的差异，较圆满地解释单糖的性质，但不能很准确地反映糖分子的立体构型。例如过长的氧桥就不符合实际情况。1926年，Haworth提出了以透视式表达糖的环状结构，即Haworth的透视式。将吡喃糖写成六元环，将呋喃糖写成五元环，这样，葡萄糖的两种环式结构的就如图1-7所示。

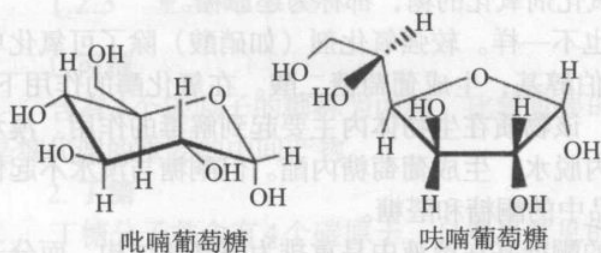


图1-7 葡萄糖的Haworth透视式

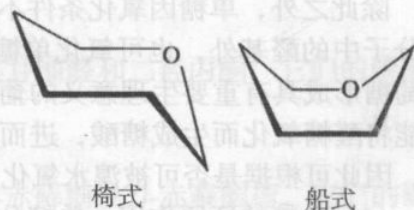


图1-8 己糖的椅式与船式结构

天然存在的糖环结构实际并不像Haworth表示的透视平面图，吡喃糖有如图1-8所示的椅式和船式两种不同的构象。椅式构象相当刚性且热力学上较稳定，很多己糖都以这种构象存在。单糖中的酮糖与醛糖相同，也有环状结构，不过其五元环即呋喃糖更常见。

对于一种构型的糖（如D-葡萄糖），有开链形式，也有环状形式；环状形式又分为 α 型和 β 型，成环的方式不同，又有呋喃式和吡喃式之分。因此一种糖在溶液状态时至少有5种形式的糖分子存在，它们处于平衡之中。其中 α 型和 β 型互变是通过醛式或水化醛式来完成的。

1.2.2 单糖的物理性质和化学性质

1. 单糖的物理性质

(1) 单糖的旋光性。旋光性是指一种物质使偏振光的振动平面发生向左或向右旋转的特性。具有不对称碳原子（又称为手性碳原子）的化合物都具有旋光性。除丙酮糖外，其余单糖

分子中都具有手性碳原子，故都具有旋光性，这也可作为鉴定糖的一个重要指标。值得注意的是，凡在理论上可由D-甘油醛（即D-甘油醛糖）衍生出来的单糖皆为D型糖，由L-甘油醛衍生出来的单糖皆为L型糖。但D及L符号仅表示单糖在构型上与D-甘油醛或L-甘油醛的关系，与旋光性无关。要表示旋光性，则在D或L后加(+)号，表示右旋；加(-)号表示左旋。构型与旋光方向是两个概念。

糖的比旋光度是指1 mL，含有1 g糖的溶液，当其透光层为1 dm时使偏振光旋转的角度，表示为 $[\alpha]_t^\lambda$ ， t 为测定时的温度； λ 为测定时光的波长，一般采用钠光，符号为D。

糖在刚溶于水时，其比旋光度值是处于动态变化中的，一定时间后才趋于稳定，这种由糖发生构象转变而引起的现象称为变旋现象。因此在测定变旋光性糖的旋光度时，必须使糖溶液静置一段时间（24 h）后再测定。

(2) 单糖的甜度。甜味的高低称为甜度，甜度是甜味剂的重要指标。目前，甜度的测定主要通过人的味觉来品评。通常以蔗糖作为测量甜味剂的基准物质，规定以10%或15%的蔗糖溶液在20℃时甜度为1.0，用相同浓度的其他糖溶液或甜味剂来比较甜度的高低。由于这种甜度是相对的，所以又称为比甜度。

(3) 单糖的溶解度。单糖分子中有多个羟基，易溶于水，不溶于乙醚、丙酮等有机溶剂。

2. 单糖的化学性质

单糖是多羟基醛或多羟基酮，因此它们既具有羟基的化学性质（如氧化、酯化、缩醛反应），也具有羰基和醛基的化学性质，以及由于它们相互影响而产生的一些特殊化学性质。

(1) 单糖的氧化作用。单糖分子中的游离羰基，在稀碱溶液中能转化为醛基，因此单糖具有醛的通性，既可以被氧化成酸，也可以被还原成醇。弱氧化剂（如多伦试剂或斐林试剂）可将单糖氧化成糖酸，通常能被这些弱氧化剂氧化的糖，都称为还原糖。

除此之外，单糖因氧化条件不同，产物也不一样。较强氧化剂（如硝酸）除了可氧化单糖分子中的醛基外，也可氧化单糖分子中的伯醇基，生成葡萄糖二酸。在氧化酶的作用下，葡萄糖形成具有重要生理意义的葡萄糖醛酸，该物质在生物体内主要起到解毒的作用。溴水也能将醛糖氧化而生成糖酸，进而发生分子内脱水，生成葡萄糖内酯。但酮糖与溴水不起作用，因此可根据是否可被溴水氧化来区分食品中的酮糖和醛糖。

(2) 单糖的还原作用。单糖分子中游离的酮糖基在溶液中易重排为醛基的结构，而分子中含有自由醛基和半缩醛基的糖都具有还原性，因此单糖又被称为还原糖。游离的羰基在一定压力及催化剂镍的催化下，加氢还原成羟基，从而生成多羟基醇。如D-型葡萄糖可被还原为D-葡萄糖醇（又称为山梨糖醇），果糖还原后可得到葡萄糖醇和甘露醇的混合物，木糖经加氢还原可生成木糖醇。

(3) 酸对单糖的作用。不同酸的种类、浓度和温度对不同种类糖的作用不同。单糖在稀溶液中是稳定的，在强的无机酸的作用下，戊糖和己糖都可被脱水。戊糖与强酸共热，产生糠醛；己糖与强酸共热，得到5-羟甲基糠醛。

糠醛和5-羟甲基糠醛能与某些酚类物质作用生成有色的缩合物。利用这一性质可鉴定糖。如 α -萘酚与糠醛或5-羟甲基糠醛反应生成紫色，这一反应称为莫利西试验，利用该反应可以鉴定糖的存在。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醛糖和酮糖，该反应称为西利万诺夫试验。

(4) 碱对单糖的作用。单糖用稀碱液处理时能发生分子重排，醛糖和酮糖能相互转化



(包括同分异构和差向异构)。例如, *D*-葡萄糖醛基的 α 碳原子上的氢原子被碱夺去, 通过形成烯醇式中间体转化得到 *D*-葡萄糖、*D*-甘露糖和 *D*-果糖 3 种差向异构体的混合物。果葡糖浆生产中的酶解之前即利用此反应处理葡萄糖液。

糖在浓碱作用下很不稳定, 分解为乳酸、甲酸、甲醇、乙醇酸、3-羟基-2-丁酮和各种呋喃衍生物(包括糠醛, 即羟甲基呋喃)。

(4) 单糖的酯化作用。糖中的羟基可以与有机酸或无机酸作用生成酯。天然多糖中存在醋酸酯和其他羧酸酯, 例如马铃薯淀粉中含有少量的磷酸酯基, 卡拉胶中含有硫酸酯基。人工合成的蔗糖脂肪酸酯是一种常用的食品乳化剂。如 6-磷酸葡萄糖、1, 6-二磷酸果糖则是一些生物体中糖代谢的中间产物。

(6) 单糖的成苷作用。单糖的半缩醛羟基很容易与另一分子的羟基、氨基或巯基反应, 失水形成缩醛(或缩酮)式衍生物, 统称为糖苷。其中, 非糖部分称为苷或配基。如果苷是糖分子, 则缩合生成聚糖。糖与配基之间的连接键称为糖苷键。糖苷键可以通过氧、氮、硫、碳原子连接, 分别形成 O 型糖苷、N 型糖苷、S 型糖苷、C 型糖苷。自然界最常见的是 O 型糖苷和 N 型糖苷。O 型糖苷常见于多糖或寡糖的一级结构中, 而 N 型糖苷常见于核苷。单糖有 α 型与 β 型之分, 生成的糖苷也有 α 与 β 两种形式, 如简单的 α -甲基葡萄糖苷和 β -甲基葡萄糖苷。

(7) 单糖的成脎作用。单糖具有自由羰基, 能与 3 分子苯肼($\text{H}_2\text{NNHC}_6\text{H}_5$) 作用生成糖脎。无论是醛糖还是酮糖都能成脎。糖脎为黄色结晶, 不溶于水, 且性质稳定。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来鉴定各种不同的糖。苯肼通常也称为糖的定性试剂。

1.2.3 重要的单糖

1. 丙糖

含有 3 个碳原子的糖称为丙糖。比较重要的丙糖有 *D*-甘油醛和二羟丙酮, 它们的磷酸酯是糖代谢的重要的中间产物。

2. 丁糖

丁糖分子共含有 4 个碳原子, 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中间产物。

3. 戊糖

自然界存在的戊糖主要有 *D*-核糖、*D*-2-脱氧核糖、*D*-木糖和 *D*-阿拉伯糖, 它们大多以多聚戊糖或糖苷的形式存在。戊酮糖中的 *D*-核酮糖和 *D*-木酮糖均是代谢的中间产物。

4. 己糖

重要的己醛糖中有 *D*-葡萄糖、*D*-半乳糖和 *D*-甘露糖, 重要的己酮糖有 *D*-果糖和 *D*-山梨糖。下面主要介绍葡萄糖和果糖。

(1) 葡萄糖。在室温下, 从水溶液中结晶析出的葡萄糖, 是含有一分子结晶水的单斜晶系晶体, 构型为 α -*D*-葡萄糖, 在 50℃ 以上失水变为无水葡萄糖。在 98℃ 以上的水溶液或酒精溶液中析出的葡萄糖, 是无水的斜方晶体, 构型为 β -*D*-葡萄糖。葡萄糖的甜度为蔗糖甜度的 56%~75%, 其甜味有凉爽之感, 适宜食用。葡萄糖加热后逐渐变为褐色, 温度在 170℃ 以上则生成焦糖。葡萄糖液能被多种微生物发酵, 是发酵工业的重要原料。工业上是用淀粉作为原料, 经酸法或酶法水解来生产葡萄糖的。

(2) 果糖。果糖通常与葡萄糖共存于果实及蜂蜜中。果糖易溶于水，在常温下难溶于酒精。果糖吸湿性强，因而从水溶液中结晶困难，但果糖从酒精中析出的是无水结晶，熔点为 $102^{\circ}\text{C} \sim 104^{\circ}\text{C}$ 。果糖为左旋糖。在糖类中，果糖的甜度最高，尤其是 β -果糖的甜度最高，其甜度随温度而变，热的时候为蔗糖的1.03倍，冷的时候为蔗糖的1.73倍。果糖易于消化，适于幼儿和糖尿病患者食用，它不需要胰岛素的作用。在常温常压下用异构化酶可使葡萄糖转化为果糖。

1.2.4 单糖的重要衍生物

1. 糖醇

糖醇可溶于水及乙醇中，较稳定，有甜味，不能还原费林试剂。常见的糖醇有甘露醇及山梨醇。甘露醇广泛分布于各种植物组织中，熔点为 106°C ，比旋光度为 -21° 。海带中的甘露醇含量为干物质量的5.2%~20.5%，是制作甘露醇的良好原料。山梨醇在植物界分布也很广泛，熔点为 97.5°C ，氧化后可形成葡萄糖、果糖和山梨糖。

2. 氨基糖

糖中的一OH为 $-\text{NH}_2$ 所代替，即为氨基糖。自然界存在的氨基糖都是氨基己糖，常见的是D-氨基葡萄糖，存在于几丁质、唾液酸中。氨基半乳糖是软骨组成成分软骨酸的水解产物。

3. 糖醛酸

糖醛酸由单糖的伯醇基氧化而得，其中常见的是葡萄糖醛酸，它是肝脏内的一种解毒剂。半乳糖醛酸也存在于果胶中。

4. 糖苷

糖苷主要存在于植物的种子、叶片及树皮内。天然糖苷中的糖苷配基有醇类、醛类、酚类、固醇、嘌呤等。糖苷大多极毒，但微量糖苷可作为药物。重要的糖苷有能引起溶血的皂角苷、具有强心剂作用的毛地黄苷以及能引起葡萄糖随尿排出的根皮苷。苦杏仁苷是一种毒性物质。

1.3 寡糖

寡糖，又称为低聚糖，是少数单糖(2~10个)缩合成的聚合物，可通过多糖水解得到。自然界重要的寡糖有二糖(双糖)和三糖等。研究寡糖结构涉及3个共性的问题：单糖的种类、糖苷键的类型和糖苷键的连接位置。

1.3.1 双糖

双糖又称为二糖，是最简单的低聚糖，被水解可生成2分子单糖。二糖分为两种：一种是以一个单糖的半缩醛羟基与另一个单糖的非半缩醛羟基形成的糖苷键，这种二糖仍有一个游离的半缩醛羟基，因而具有还原性，为还原糖；另一种二糖的糖苷键由两个半缩醛羟基连接而成，有游离的半缩醛基，为非还原性糖。自然界中存在的重要的二糖有蔗糖、麦芽糖、乳糖等。

1. 蔗糖

蔗糖为日常食用糖，在甘蔗、甜菜、胡萝卜和有甜味的果实(如香蕉、菠萝等)中存在较多。蔗糖是由一分子葡萄糖和一分子果糖缩合、失水而成的。分子中无半缩醛羟基，无还



原性，为非还原性糖。蔗糖很甜，易结晶，易溶于水，但难溶于乙醇。蔗糖为右旋糖，比旋光度为 $+66.5^\circ$ 。蔗糖水解生成等物质的量的D-葡萄糖和D-果糖，果糖的比旋光度为 -92.2° ，葡萄糖的比旋光度为 $+52.6^\circ$ ，所以蔗糖水解液呈左旋性。其水解后的葡萄糖和果糖的混合物称为转化糖（invert sugar）。

2. 麦芽糖

麦芽糖大量存在于发芽的谷粒中，特别是麦芽中。淀粉水解时也可产生少量的麦芽糖。它是由一个葡萄糖分子的C₄和另外一个葡萄糖分子的半缩醛羟基脱水形成的 α -葡萄糖苷。分子内含有一个游离的半缩醛羟基，因此具有还原性，为还原糖。麦芽糖在水溶液中有变旋现象，比旋光度为 $+136^\circ$ ，且能成脎，极易被酵母发酵。

3. 乳糖

乳糖主要存在于哺乳动物的乳汁中，其中，牛乳含乳糖4%，人乳含乳糖5%~7%，这也是乳汁中唯一的糖。乳糖是由一分子半乳糖和一分子葡萄糖缩合、失水而成的。乳糖不易溶解，味道也不是很甜，具有还原性，能成脎，不能被酵母发酵，能被水解生成不同含量的葡萄糖、半乳糖和乳糖的浓缩物糖浆。这类糖浆被提出可用作冰淇淋中蔗糖的合适代用品，亦可作为水果罐头中转化糖的补充，或在啤酒和葡萄酒生产中用作发酵糖浆。乳糖能减缓食品关键组分的晶化作用，改善食品的持水性，还能保持食品对温度的良好稳定性。所以乳糖在食品工业中有扩大应用的趋势。

4. 纤维二糖

纤维二糖是纤维素的基本构成单位。水解纤维素可得到纤维二糖。纤维二糖由两个 β -D-葡萄糖通过1、4糖苷键相连，它与麦芽糖的区别是纤维二糖为 β -葡萄糖苷。

5. 海藻二糖

海藻二糖在动物、植物、微生物中广泛分布，如低等植物、真菌、细菌、酵母等，是由2分子葡萄糖通过它们的C₁结合而成的非还原性糖。

1.3.2 三糖

三糖也分为还原糖和非还原糖。常见的三糖有棉子糖、龙胆三糖和松三糖等。棉子糖与人类关系最密切，常见于很多植物中，甜菜中也有棉子糖。棉子糖又称为蜜三糖，是由葡萄糖、果糖和半乳糖各一分子组成的，它是在蔗糖的葡萄糖侧以 α -1,6糖苷键结合一个半乳糖而成。棉子糖为非还原糖。用甜菜制糖时，蜜糖中含有大量棉子糖。

棉子糖可被蔗糖酶和仅一半乳糖苷酶水解。棉子糖在蔗糖酶的作用下，分解为果糖和蜜二糖；在 α -半乳糖苷酶作用下，分解为半乳糖和蔗糖。人体本身不具有合成 α -半乳糖苷酶的能力，所以人体不能直接分解吸收利用这种低聚糖，但是肠道细菌中含有这种酶，因此棉子糖可通过肠道的作用分解，并能引起双歧杆菌等增殖。

1.3.3 环糊精

环糊精是直链淀粉在有芽孢杆菌产生的环糊精葡萄糖基转移酶作用下生成的一系列环状低聚糖的总称。它是由6~12个D-吡喃葡萄糖残基以 α -1,4糖苷键连接而成，其中研究较多的是含有6个、7个和8个葡萄糖残基的分子，分别称为 α 环糊精、 β 环糊精和 γ 环糊精。环糊精中无游离的半缩醛羟基，是一种非还原糖。 α 环糊精结构特点是C₆上的羟基均在大环的一侧，而C₂、C₃上的羟基在另一侧。当多个环状分子彼此叠加成圆筒形多聚体时，圆筒形外壁

排列着葡萄糖残基的羟甲基，而羟甲基是亲水性的；圆筒内壁由疏水的CH和氧环组成。因此筒外壁呈亲水性，筒内壁呈疏水性。

由于环糊精具有疏水空腔的结构，在水溶液里，形状和大小适合的疏水性物质可被包裹在环糊精形成的空腔里。环糊精常作为稳定剂、乳化剂、增溶剂、抗氧化剂、抗光解剂等，广泛应用于食品、医药、轻工业、农业、化工等方面。例如在医药工业上，环糊精可作为药物载体，将药物分子包裹于其中，类似微型胶囊，可增加药物的溶解性和稳定性，降低药物的刺激性、副作用，还可掩盖苦味等。

1.4 多糖

多糖是一类天然高分子化合物，它是由10个以上乃至几千个单糖以糖苷键相连形成的线性或支链的高聚物。按质量计，约占天然碳水化合物的90%以上。

1.4.1 命名和结构

特定单糖同聚物的英文命名是用单糖的名称作为词头，词尾为an，例如D-葡萄糖的聚合物称为D-葡聚糖。有些多糖的英文命名过去用ose结尾，例如纤维素和直链淀粉。其他多糖的名称现在已经做了修改，如琼脂糖（agarose）改为agaran，有些较老的命名词尾是以in为后缀，例如果胶（pectin）和菊糖（dahlin）。

某些多糖以糖复合物或混合物形式存在，例如糖蛋白、糖肽、糖脂、糖缀合物等糖复合物。几乎所有的淀粉都是直链和支链葡聚糖的混合物，分别称为直链淀粉和支链淀粉。商业果胶主要是含有阿拉伯聚糖和半乳聚糖的聚半乳糖醛酸的混合物。

多糖可以被酸完全水解成单糖，可利用气相色谱法和气-质联用法进行测定。可用化学方法和酶水解法来了解多糖的结构，酶法水解得到低聚糖，分析低聚糖可以知道多糖序列位置和连接类型。

1.4.2 多糖的特性

食品物料中各种多糖分子的结构、大小以及支链相互作用的方式均不相同，这些因素对多糖的特性有着重要影响。膳食中大量的多糖是不溶于水和不能被人体消化的，它们是组成蔬菜、果实和种子中细胞的细胞壁的纤维素和半纤维素。它们可使某些食品具有物理紧密性、松脆性和良好的口感，同时还有利于促进肠道蠕动。食品物料中的多糖除纤维素外，大都是水溶性的，或者是在水中可分散的。这些多糖在食品加工中起着各种不同的作用，例如硬性、松脆性、紧密性、增稠性、黏着性、形成凝胶和产生口感，并且使食品具有一定的结构和形状。

1. 多糖的溶解性

多糖分子链是由己糖和戊糖基单位构成，链中的每个糖基单位大多数平均含有3个羟基，每个羟基均可和1个水分子形成氢键。此外，环上的氧原子以及糖苷键上的氧原子也可与水形成氢键。因此，每个单糖单位能够完全被溶剂化，使之具有较强的持水能力和亲水性，使整个多糖分子成为可溶性的。在食品体系中多糖能控制或改变水的流动性，同时水又是影响多糖物理性质和功能特性的重要因素。因而，食品的许多功能性质，包括质地，都与多糖和水有关。

水与多糖的羟基所形成的氢键，使结构发生了改变，因而自身运动受到限制，通常称这



种水为塑化水，在食品中起着增塑剂的作用。它们仅占凝胶和新鲜食品组织中总含水量的一小部分，这部分水能自由地与其他水分子迅速发生交换。

多糖作为一类高分子化合物，由于自身的属性而不能增加水的渗透性和显著降低水的冰点，因而在低温下仅能作为低温稳定剂，而不具有低温保护剂的效果。例如淀粉溶液冻结时形成了两相体系，其中一相为结晶水（冰），另一相是由大约70%淀粉与30%非冻结水组成的玻璃态。高浓度的多糖溶液由于黏度特别高，因而体系中的非冻结水流动性受到限制。另一方面，多糖在低温时的冷冻浓缩效应不仅使分子的流动性受到了极大的限制，而且使水分子不能被吸附到晶核和结合在晶体生长的活性位置上，从而抑制了冰晶的生长。上述原因使多糖在低温下具有很好的稳定性。因此在冻藏温度（-18℃）以下，无论是高分子量还是低分子量的多糖，均能有效阻止食品的质地和结构受到破坏，有利于提高产品的质量和贮藏稳定性。

高度有序结构线性的多糖，在大分子糖类化合物中只占少数，分子链因相互紧密结合而形成结晶，最大限度地减少了同水接触的机会，因此不溶于水。仅在剧烈条件下，例如在碱或其他适当的溶剂中，使分子链间氢键断裂才能增溶。例如纤维素，由于它的结构中 β -D-吡喃葡萄糖基单位的有序排列和线性伸展，使得纤维素分子的长链和另一个纤维素分子中相同的部分相结合，导致纤维素分子在结晶区平行排列，使得水不能与纤维素的这些部位发生氢键键合，所以纤维素的结晶区不溶于水，而且非常稳定。然而大部分多糖不具有结晶性，因此易在水中溶解或溶胀。水溶性多糖和改性多糖通常以不同粒度在食品工业和其他工业中作为胶或亲水性物质具有广泛的应用前景。

2. 黏度与稳定性

可溶性大分子多糖都可以形成黏稠溶液。在天然多糖中，阿拉伯树胶溶液（按单位体积中同等质量分数计）的黏度最小，而瓜尔豆胶（瓜尔聚糖及魔芋葡甘露聚糖）溶液的黏度最大。多糖（胶或亲水胶体）在食品中的主要功能是增稠作用，此外还可控制液体食品及饮料的流动性与质地，保持半固体食品的形态及O/W乳浊液的稳定性。在食品加工中，多糖的使用量一般在0.25%~0.50%范围。

3. 胶凝作用

胶凝作用是多糖的又一重要特性。在食品加工中，多糖或蛋白质等大分子，可通过氢键、疏水作用以及范德华引力、离子键或共价键等相互作用，在多个分子间形成多个联结区。这些分子与分散的溶剂水分子缔合，最终形成布满水分子的连续的三维空间网络结构。

凝胶兼有固体和液体的某些特性。当大分子链间的相互作用超过分子链长的时候，每个多糖分子可参与两个或多个分子连接区的形成，这种作用的结果使原来流动的液体转变为有弹性的、类似海绵的三维空间网络结构的凝胶。凝胶不像连续液体那样具有完全的流动性，也不像有序固体那样具有明显的刚性，而是一种能保持一定形状、可显著抵抗外界应力作用、具有黏性液体某些特性的黏弹性半固体。凝胶中含有大量的水，有时甚至高达99%，例如带果块的果冻、肉冻、鱼冻等。

4. 水解性

多糖在食品加工和贮藏过程中不如蛋白质稳定。在酸或酶的催化下，多糖的糖苷键易发生水解，并伴随黏度降低。

多糖水解的难易程度，除了同它们的结构有关外，还受pH值、时间、温度和酶活力等因素的影响。在某些食品加工和保藏过程中，碳水化合物的水解问题是不可忽视的，因为它