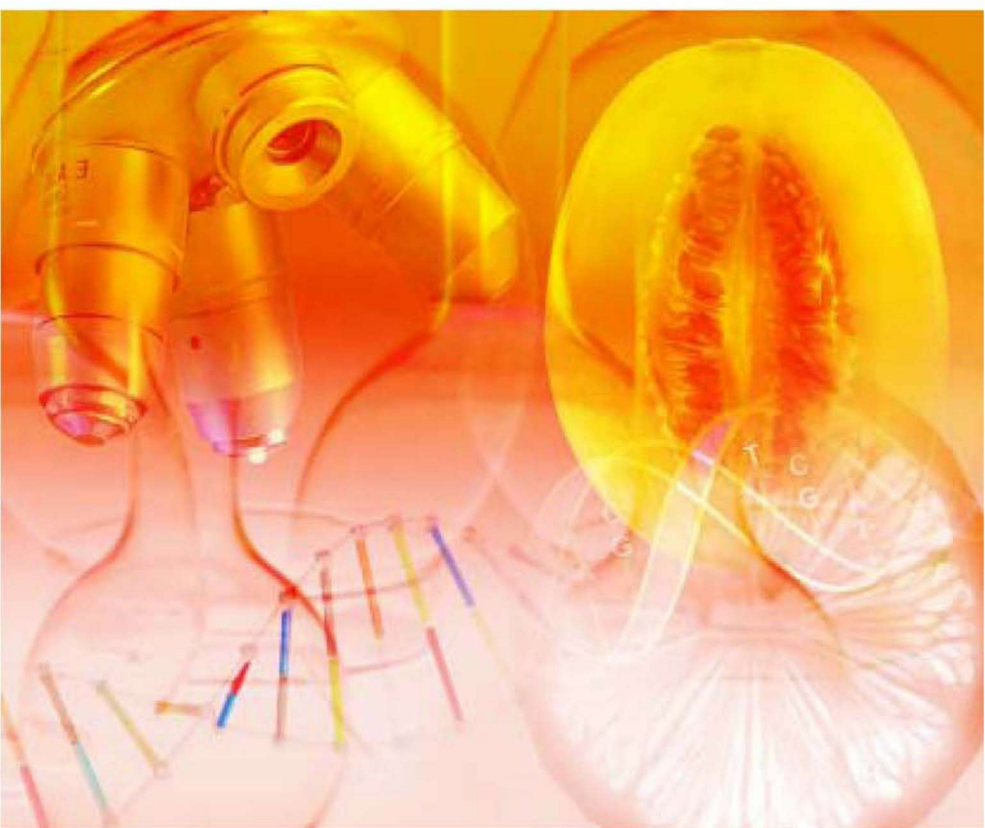


高等学校专业教材

# 食品生物化学

天津轻工业学院 合编  
无锡轻工业学院



中国轻工业出版社

中等专业学校教材

# 食品生物化学

石保金 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品生物化学/石保金主编. —北京: 中国轻工业出版社,  
2006.9 重印

中等专业学校教材

ISBN 7-5019-1063-4

I. 食… II. 石… III. 食品-生物化学-中等专业  
学校-教材 IV. TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 01603 号

责任编辑: 白 洁

版式设计: 马金路 责任校对: 李 靖 责任监印: 胡 兵

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2006 年 9 月第 1 版第 9 次印刷

开 本: 850×1168 1/32 印张: 10.875

字 数: 263 千字

书 号: ISBN 7-5019-1063-4/TS·0721 定价: 18.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010—65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010—85119817 65128898 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: [club@chlip.com.cn](mailto:club@chlip.com.cn)

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

60689J4C109ZBW

## 编者说明

本教材可供中等专业学校食品工艺专业教学使用，也可供有关科技人员参考。

编写分工如下：绪言、第二章、第四章、第八章和第十章由石保金编写；第一章和第九章由刘振中编写；第三章、第五章、第六章和实验由李莲编写；第七章由刘振中、石保金编写。由石保金主编，天津科技大学姚国雄主审。

由于编者水平有限，书中错误、不妥之处请读者批评指正。

编者

# 目 录

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 绪言 .....              | ( 1 )  |
| 第一章 糖类化学 .....        | ( 2 )  |
| 第一节 单糖 .....          | ( 2 )  |
| 一、单糖的结构 .....         | ( 2 )  |
| 二、单糖的构象 .....         | ( 3 )  |
| 三、单糖的性质 .....         | ( 4 )  |
| 四、食品中重要的单糖及其衍生物 ..... | ( 7 )  |
| 第二节 低聚糖 .....         | ( 9 )  |
| 一、双糖 .....            | ( 9 )  |
| 二、其他低聚糖 .....         | ( 10 ) |
| 第三节 多糖 .....          | ( 10 ) |
| 一、淀粉 .....            | ( 11 ) |
| 二、糖原 .....            | ( 18 ) |
| 三、纤维素 .....           | ( 18 ) |
| 四、果胶物质 .....          | ( 20 ) |
| 五、琼胶 .....            | ( 21 ) |
| 第二章 脂类化学 .....        | ( 22 ) |
| 第一节 脂类的概念和类别 .....    | ( 22 ) |
| 一、脂类的一般概念 .....       | ( 22 ) |
| 二、脂类的分类 .....         | ( 22 ) |
| 第二节 脂肪 .....          | ( 23 ) |
| 一、脂肪的结构和组成 .....      | ( 23 ) |
| 二、甘油 .....            | ( 24 ) |
| 三、脂肪酸 .....           | ( 25 ) |
| 四、脂肪的性质 .....         | ( 27 ) |

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 五、油脂的乳化 .....         | ( 33 ) |
| 第三节 类脂 .....          | ( 35 ) |
| 一、磷脂 .....            | ( 36 ) |
| 二、固醇 .....            | ( 37 ) |
| 三、蜡 .....             | ( 38 ) |
| 第四节 油脂的自动氧化与热变化 ..... | ( 38 ) |
| 一、油脂的自动氧化 .....       | ( 38 ) |
| 二、油脂的热变化 .....        | ( 43 ) |
| 第三章 蛋白质化学 .....       | ( 46 ) |
| 第一节 蛋白质的化学组成 .....    | ( 47 ) |
| 一、蛋白质的元素组成 .....      | ( 47 ) |
| 二、蛋白质的分子组成 .....      | ( 47 ) |
| 第二节 氨基酸化学 .....       | ( 47 ) |
| 一、氨基酸的结构特点 .....      | ( 47 ) |
| 二、氨基酸的分类 .....        | ( 48 ) |
| 三、氨基酸的理化性质 .....      | ( 53 ) |
| 第三节 蛋白质的结构 .....      | ( 61 ) |
| 一、蛋白质的一级结构 .....      | ( 61 ) |
| 二、蛋白质的二级结构 .....      | ( 65 ) |
| 三、蛋白质的三级结构 .....      | ( 69 ) |
| 四、蛋白质的四级结构 .....      | ( 70 ) |
| 五、维持蛋白质构象的作用力 .....   | ( 71 ) |
| 第四节 蛋白质的理化性质 .....    | ( 71 ) |
| 一、蛋白质的两性解离和等电点 .....  | ( 71 ) |
| 二、蛋白质的胶体性质 .....      | ( 73 ) |
| 三、蛋白质的沉淀作用 .....      | ( 75 ) |
| 四、蛋白质的变性作用 .....      | ( 76 ) |
| 五、蛋白质的颜色反应 .....      | ( 78 ) |
| 第五节 蛋白质的分类 .....      | ( 79 ) |

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 一、根据分子形状分类 .....       | ( 79 ) |
| 二、根据分子组成分类 .....       | ( 79 ) |
| 第六节 蛋白质的提取、分离与测定 ..... | ( 81 ) |
| 第七节 食物体系中的蛋白质 .....    | ( 85 ) |
| 一、肌肉蛋白质 .....          | ( 85 ) |
| 二、胶原和明胶 .....          | ( 87 ) |
| 三、乳蛋白质 .....           | ( 87 ) |
| 四、种子蛋白质 .....          | ( 89 ) |
| 五、叶蛋白 .....            | ( 91 ) |
| 六、单细胞蛋白 .....          | ( 91 ) |
| <b>第四章 核酸化学</b> .....  | ( 93 ) |
| 第一节 核酸的一般概念 .....      | ( 93 ) |
| 一、脱氧核糖核酸 .....         | ( 93 ) |
| 二、核糖核酸 .....           | ( 93 ) |
| 第二节 核酸的化学组成 .....      | ( 94 ) |
| 一、核酸的元素组成 .....        | ( 94 ) |
| 二、核酸的水解产物 .....        | ( 94 ) |
| 三、核酸水解产物的化学结构 .....    | ( 95 ) |
| 第三节 核酸的结构 .....        | ( 98 ) |
| 一、核酸的一级结构 .....        | ( 99 ) |
| 二、DNA 的空间结构 .....      | (100)  |
| 三、RNA 的空间结构 .....      | (102)  |
| 第四节 核酸的性质 .....        | (103)  |
| 一、一般性质 .....           | (103)  |
| 二、核酸的紫外吸收性质 .....      | (104)  |
| 三、核酸的变性作用 .....        | (104)  |
| 第五节 核苷酸及其衍生物 .....     | (105)  |
| 一、三磷酸腺苷 .....          | (105)  |
| 二、环腺苷酸 .....           | (107)  |

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| 三、次黄嘌呤核苷酸 .....          | (107)        |
| <b>第五章 酶 .....</b>       | <b>(109)</b> |
| 第一节 酶的化学本质、组成及作用特点 ..... | (110)        |
| 一、酶是蛋白质 .....            | (110)        |
| 二、酶的组成 .....             | (110)        |
| 三、酶的催化作用特点 .....         | (112)        |
| 第二节 酶的命名与分类 .....        | (114)        |
| 一、酶的命名 .....             | (114)        |
| 二、酶的分类 .....             | (115)        |
| 第三节 酶的作用机理 .....         | (117)        |
| 一、酶的催化作用与活化能 .....       | (117)        |
| 二、中间产物学说 .....           | (118)        |
| 三、酶的活性中心 .....           | (118)        |
| 四、诱导契合学说 .....           | (119)        |
| 五、酶原的激活 .....            | (120)        |
| 第四节 酶促反应的速度及其影响因素 .....  | (121)        |
| 一、酶促反应速度的测定 .....        | (121)        |
| 二、酶浓度对酶促反应速度的影响 .....    | (121)        |
| 三、底物浓度对酶促反应速度的影响 .....   | (122)        |
| 四、pH 对酶促反应速度的影响 .....    | (125)        |
| 五、温度对酶促反应速度的影响 .....     | (127)        |
| 六、激活剂对酶促反应速度的影响 .....    | (128)        |
| 七、抑制剂对酶促反应速度的影响 .....    | (128)        |
| 第五节 食品加工中重要的酶 .....      | (131)        |
| 一、淀粉酶 .....              | (131)        |
| 二、果胶酶 .....              | (135)        |
| 三、蛋白酶 .....              | (137)        |
| 四、脂肪酶 .....              | (139)        |
| 五、脂氧合酶 .....             | (140)        |

|                                         |       |
|-----------------------------------------|-------|
| 六、葡萄糖氧化酶 .....                          | (141) |
| 第六节 酶制剂工业 .....                         | (142) |
| 第六章 维生素和辅酶 .....                        | (145) |
| 第一节 脂溶性维生素 .....                        | (145) |
| 一、维生素 A .....                           | (146) |
| 二、维生素 D .....                           | (148) |
| 三、维生素 E .....                           | (149) |
| 四、维生素 K .....                           | (150) |
| 第二节 水溶性维生素 .....                        | (151) |
| 一、维生素 B <sub>1</sub> 和 TPP .....        | (151) |
| 二、维生素 B <sub>2</sub> 和黄素辅酶 .....        | (152) |
| 三、维生素 PP 与辅酶 I、辅酶 II .....              | (154) |
| 四、泛酸和辅酶 A .....                         | (155) |
| 五、维生素 B <sub>6</sub> 和磷酸吡哆醛、磷酸吡哆胺 ..... | (156) |
| 六、生物素 .....                             | (157) |
| 七、叶酸和叶酸辅酶 .....                         | (158) |
| 八、维生素 B <sub>12</sub> .....             | (159) |
| 九、维生素 C .....                           | (160) |
| 第七章 新陈代谢 .....                          | (163) |
| 第一节 新陈代谢概论 .....                        | (163) |
| 一、新陈代谢概念 .....                          | (163) |
| 二、新陈代谢的特点 .....                         | (163) |
| 第二节 生物氧化 .....                          | (164) |
| 一、概述 .....                              | (164) |
| 二、生物氧化过程中二氧化碳和水的形成 .....                | (166) |
| 第三节 糖代谢 .....                           | (173) |
| 一、糖的分解代谢 .....                          | (173) |
| 二、糖的合成代谢 .....                          | (191) |
| 第四节 脂代谢 .....                           | (193) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 一、脂肪的分解代谢 .....            | (193) |
| 二、脂肪的合成代谢 .....            | (196) |
| 第五节 氨基酸和蛋白质代谢 .....        | (197) |
| 一、氨基酸的降解 .....             | (197) |
| 二、氨基酸分解产物的代谢 .....         | (200) |
| 三、蛋白质的合成 .....             | (201) |
| 第六节 生物代谢途径之间的联系及其调节 .....  | (202) |
| 一、代谢之间的联系 .....            | (202) |
| 二、物质代谢的调节 .....            | (203) |
| 三、环境条件对代谢过程的影响 .....       | (206) |
| 第七节 新鲜天然食品组织中代谢活动的特点 ..... | (206) |
| 一、新鲜水果蔬菜组织中的代谢活动 .....     | (207) |
| 二、动物屠宰后的组织代谢 .....         | (217) |
| 第八章 营养学 .....              | (221) |
| 第一节 消化 .....               | (221) |
| 一、消化的概念 .....              | (221) |
| 二、消化作用的一般过程 .....          | (221) |
| 三、几种重要物质的消化 .....          | (222) |
| 第二节 吸收 .....               | (224) |
| 一、吸收的概念 .....              | (224) |
| 二、几种重要物质的吸收 .....          | (225) |
| 第三节 能量 .....               | (226) |
| 一、人体需要能量的因素 .....          | (226) |
| 二、确定人体能量需要量的方法 .....       | (228) |
| 三、人体能量的来源 .....            | (230) |
| 第四节 人体需要的营养素 .....         | (231) |
| 一、糖类 .....                 | (231) |
| 二、脂类 .....                 | (233) |
| 三、蛋白质 .....                | (235) |

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| 四、水 .....                | (241)        |
| 五、无机盐及微量元素 .....         | (242)        |
| <b>第九章 食品色香味化学 .....</b> | <b>(249)</b> |
| 第一节 食品的色素化学 .....        | (249)        |
| 一、食品中的天然色素 .....         | (249)        |
| 二、人工合成色素 .....           | (261)        |
| 三、食品在加工和贮藏中的褐变现象 .....   | (263)        |
| 第二节 食品中的味感物质 .....       | (274)        |
| 一、味觉生理学 .....            | (274)        |
| 二、甜味及甜味物质 .....          | (275)        |
| 三、酸味及酸味物质 .....          | (279)        |
| 四、咸味及咸味物质 .....          | (281)        |
| 五、苦味及苦味物质 .....          | (282)        |
| 六、辣味及辣味物质 .....          | (283)        |
| 七、涩味及涩味物质 .....          | (284)        |
| 八、鲜味及鲜味物质 .....          | (284)        |
| 第三节 食品中的香气物质 .....       | (285)        |
| 一、植物性食物的香气 .....         | (286)        |
| 二、动物性食物的气味 .....         | (288)        |
| 三、发酵食品的香气 .....          | (289)        |
| 第四节 食品添加剂 .....          | (291)        |
| <b>第十章 嫌忌成分 .....</b>    | <b>(297)</b> |
| 第一节 微生物毒素 .....          | (297)        |
| 一、细菌毒素 .....             | (297)        |
| 二、霉菌毒素 .....             | (299)        |
| 第二节 植物性食物中的毒素 .....      | (301)        |
| 一、生物碱类毒素 .....           | (301)        |
| 二、氰苷类毒素 .....            | (301)        |
| 三、皂苷类毒素 .....            | (302)        |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 四、蛋白类毒素 .....             | (302) |
| 五、亚硝酸盐 .....              | (303) |
| 第三节 动物性食物中的毒素 .....       | (303) |
| 一、贝类麻痹毒素 .....            | (303) |
| 二、河豚鱼毒素 .....             | (304) |
| 三、鱼体组胺 .....              | (304) |
| 第四节 食品加工中所产生的毒素 .....     | (304) |
| 一、 <i>N</i> -亚硝基化合物 ..... | (305) |
| 二、多环芳烃 .....              | (305) |
| 三、添加剂引起的毒害 .....          | (306) |
| 第五节 环境中有害物质对食品的污染 .....   | (307) |
| 一、农药对食品的污染 .....          | (307) |
| 二、工业有害物质对食品的污染 .....      | (308) |
| 附录 实验指导 .....             | (311) |
| 实验一 总糖和还原糖的测定——费林氏法 ..... | (311) |
| 实验二 食品中粗脂肪的定量测定 .....     | (314) |
| 实验三 氨基酸双向纸层析 .....        | (315) |
| 实验四 食品中蛋白质的测定方法 .....     | (317) |
| 实验五 血清蛋白醋酸纤维薄膜电泳 .....    | (319) |
| 实验六 酶的性质实验 .....          | (322) |
| 实验七 蛋白酶活力测定 .....         | (326) |
| 实验八 维生素 C 的定量测定 .....     | (329) |
| 实验九 氨基移换反应 .....          | (332) |
| 实验十 胡萝卜素柱层析 .....         | (335) |
| 主要参考资料 .....              | (337) |

## 绪 言

生物化学是关于生命的化学。它主要是运用化学的原理和方法研究生命基础现象的一门科学。

生物化学的主要内容可以概括以下三个方面：

- (1) 研究构成生物体的基本物质的结构和性质。
- (2) 研究生物活动的各种化学变化过程。
- (3) 研究机体的各种化学变化与生理机能的相互关系。

近二十年来，生物化学在理论和技术上都有很大进展，它已渗透到生物科学的各个领域，对食品科学也具有重要的指导意义。

食品生物化学是应用生物化学之一。它不仅概述了生物化学的基本内容，而且还包括与食品营养质量和感官质量有关的化学及生物化学知识。

食品生物化学虽然与化学，特别是有机化学密切相关，但性质毕竟有所不同。其主要特点是它所研究的化学反应是在生物体内，于常温下由酶的作用进行的，在体外发生的化学反应不一定在体内照样进行。所以不能简单地根据体外的化学反应去理解它。

学习食品生物化学时，应对教材内容作全面了解，分析比较，明确概念；要善于归纳总结，在理解的基础上，下一点记忆功夫，食品生物化学的内容是不难掌握的。

食品生物化学像其他自然科学一样，也是一门实验科学。因此，学生必须对实验课给予高度重视，严肃认真地完成实验课的要求，提高动手能力。

# 第一章 糖 类 化 学

糖类是自然界分布最广的一类有机化合物。糖类也是人体重要的能源之一，在人的生命活动过程中，起着十分重要的作用。人体所需能量的 70% 是由糖氧化分解供给的，1g 葡萄糖在体内完全氧化分解，可释放出约 16kJ 能量。糖也是细胞的组成成分之一，原生质、细胞核、神经组织中均含有糖的复合物。如糖和脂类形成的糖脂是神经组织和细胞膜的成分之一；核糖、脱氧核糖是细胞核中核酸的成分之一；糖与蛋白质形成的糖蛋白质是体内具有重要生理功能的抗体和某些激素的组成物质之一。

糖类一般分为单糖、低聚糖和多糖三类。单糖是指不能再水解为更小分子的糖，例如葡萄糖、果糖、半乳糖、核糖等。低聚糖是指能被水解生成 2~10 个单糖分子的糖，主要有蔗糖、麦芽糖、乳糖、棉子糖、水苏糖等。多糖是指能被水解生成许多单糖或低聚糖的糖，主要有淀粉、糖原、纤维素、果胶等。

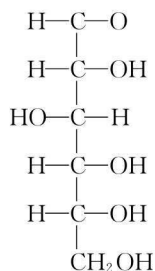
## 第一节 单 糖

### 一、单糖的结构

#### (一) 直链结构

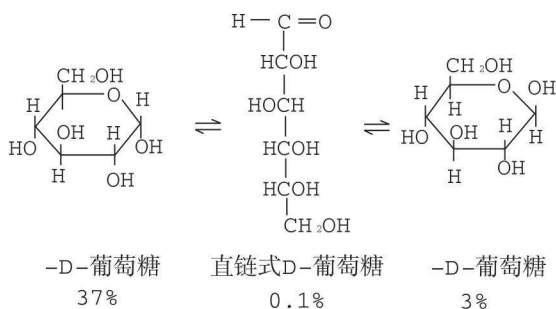
人类很早就知道了葡萄糖，但它的化学结构直到 1900 年才由德国化学家费雪 (Fischer) 确定，其直链结构如右：

由结构式可以看出单糖分子中含有不对称碳原子。例如葡萄糖分子中有 4 个不对称碳原子，因而有 24 个异构体。



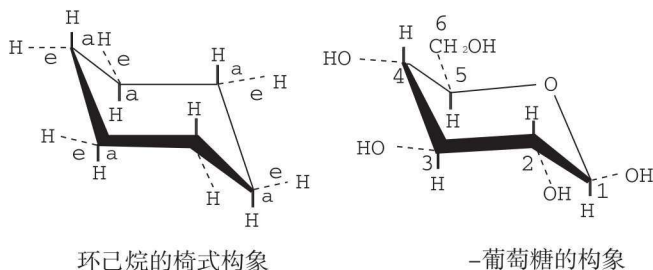
## (二) 环状结构

链状结构不是单糖的唯一结构。科学工作者在研究葡萄糖的性质时,发现葡萄糖有些性质不能用其链状结构来解释。例如,葡萄糖不能发生醛的  $\text{NaHSO}_3$  加成反应;葡萄糖不能和醛一样与两分子醇形成缩醛,只能和一分子醇形成半缩醛等。此外葡萄糖溶液有变旋现象。实验证明葡萄糖这种变旋现象是由于糖在水溶液中的结构发生了变化所引起的,即葡萄糖分子的醛基与  $\text{C}_5$  上的羟基缩合形成六元环。在溶液中有  $\alpha$ -D-葡萄糖、 $\beta$ -D-葡萄糖和直链式葡萄糖三种结构存在,它们在溶液中互相转化,最后达到动态平衡,见下图:



## 二、单糖的构象

透视式也不能真实地反映出环状半缩醛糖的真正空间结构,因为六元环不是水平型的。葡萄糖的空间结构(又称构象)有两种:船式和椅式。椅式构象比船式构象稳定,以下是葡萄糖的椅式结构:



由图可见  $\beta$ -D-葡萄糖中  $C_1$  位置上的羟基与“椅平面”平行,是平伏键(又称 e 键),其与临近的平伏键之间的距离相对远一些,故基团或原子之间的斥力相对较小些。而  $\alpha$ -D-葡萄糖中  $C_1$  位置上的羟基与“椅平面”是垂直的,是直立键(又称 a 键),其与临近直立键之间的距离相对近一些,因此基团或原子之间斥力相对较大些。所以  $\beta$ -D-葡萄糖比较稳定,自然界中  $\beta$ -D-葡萄糖多也就是这一原因。

### 三、单糖的性质

#### (一) 物理性质

##### 1. 旋光性

单糖具有不对称碳原子,所以都具有旋光性。旋光性是鉴定糖的一个指标。

##### 2. 甜度

各种糖的甜度不一,常以蔗糖的甜度为标准进行比较。见表 1-1。

表 1-1 糖的相对甜度

|      |     |     |    |
|------|-----|-----|----|
| 蔗 糖  | 100 | 木 糖 | 40 |
| 果 糖  | 173 | 麦芽糖 | 32 |
| 转化糖* | 130 | 半乳糖 | 32 |
| 葡萄糖  | 74  | 乳 糖 | 13 |

\* 由蔗糖水解生成的葡萄糖与果糖的混合物称转化糖

##### 3. 溶解度

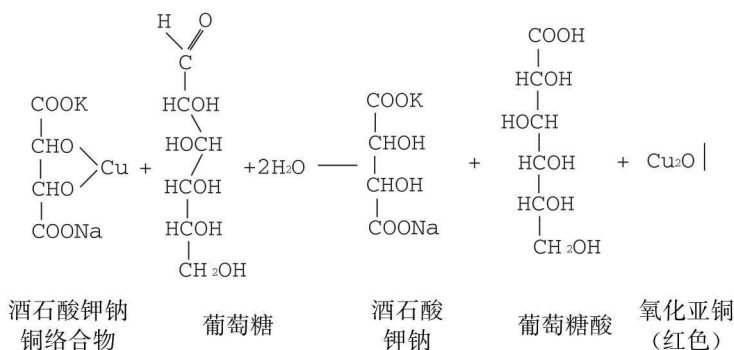
单糖易溶于水,这是由于单糖分子中有许多羟基,增加了它的水溶性,尤其在热水中,糖的溶解度极大。单糖也溶于乙醚、丙酮等有机溶剂。

#### (二) 化学性质

##### 1. 氧化作用

在弱氧化剂的作用下,醛糖能被氧化生成糖酸,而酮糖不被氧化。例如,葡萄糖与斐林试剂的反应,葡萄糖分子中的

醛基被斐林试剂氧化生成葡萄糖酸，而二价铜离子则还原为氧化亚铜。通过测定生成氧化亚铜的量可测定溶液中的糖含量。反应简式为：



在强氧化剂如浓硝酸的作用下，糖分子的醛基和其末端的一级醇基同时被氧化生成糖二酸。在生物体内还可以只氧化一级醇基而保留醛基，生成糖醛酸，这种类型的糖酸结构式为：



## 2. 还原作用

糖分子上的酮基和醛基都能被氢还原生成醇，例如葡萄糖被还原可得到葡萄糖醇，又称为山梨醇。果糖还原时，因糖分子中第二位碳原子的羟基有两种排列方式，故可得到山梨醇和甘露醇两种产物。糖醇是食品工业用的甜味剂和湿润剂，所以具有重要的实用价值。

## 3. 脱水反应

单糖在稀酸中加热或在强酸的作用下，发生脱水环化生成糠醛或糠醛衍生物。例如戊糖、己糖在浓酸或稀酸中加热分别生成