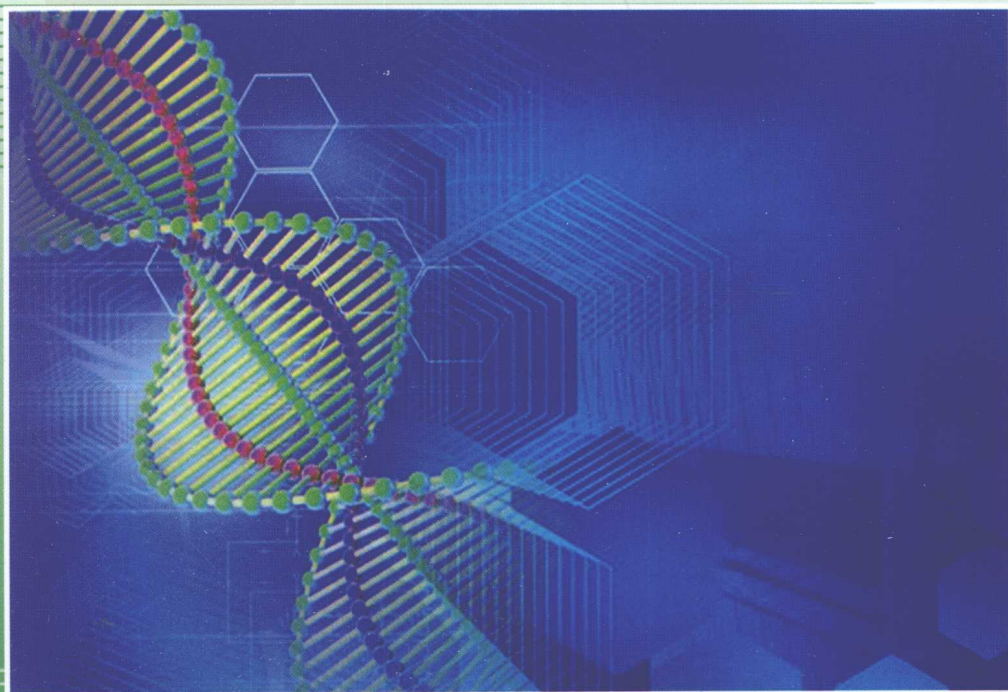


全国高等农林院校十一五规划教材

基础生物化学

杜金友 杨晓玲 主编



中国农业科学技术出版社

全国高等农林院校十一五规划教材

基础生物化学

杜金友 杨晓玲 主编

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

基础生物化学/杜金友, 杨晓玲主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2010. 3
ISBN 978-7-5116-0112-4

I. ①基… II. ①杜…②杨… III. ①生物化学 IV. ①Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 022915 号

责任编辑 邬震珅

责任校对 贾晓红

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82106626 (编辑室) (010) 82109704 (发行部)

(010) 82109703 (读者服务部)

传 真 (010) 82106626

网 址 [http:// www. castp. cn](http://www.castp.cn)

经销者 新华书店北京发行所

印刷者 秦皇岛市昌黎文苑印刷有限公司

开 本 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张 20.25

字 数 510 千字

版 次 2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

定 价 26.60 元

《基础生物化学》编委会

主 编	杜金友	杨晓玲	
副主编	于凤鸣	邹亚学	秦 玲
编 者	杜利强	蔡爱军	关学敏
	耿立英	杨 晴	齐艳玲

前 言

生物技术是 20 世纪末人类科技史中最令人瞩目的高新技术，为人类解决疾病防治、人口膨胀、食物短缺、能源匮乏、环境污染等一系列问题带来了希望。国际上科学家和企业家公认，信息技术和生物技术是 21 世纪关系到国家命运的关键技术和作为创新产业的经济增长增长点。

生物技术在农业现代化中起到重要的作用，生物化学为农学类各专业的主要基础课。基于我校“培养符合社会、经济发展需要的具有‘双师’素质的职教师资和应用型高级专门人才为主要任务”的办学理念，针对农学类专业特色，结合生物化学教材新进展，我们组织有关教师，在之前生理生化系列教材的基础上，重新加以修订、删减，编写了本教材。

全书共分十四章，包括糖类、脂类、蛋白质、酶、维生素与辅酶、核酸化学、糖代谢、生物氧化与氧化磷酸化、脂类代谢、蛋白质的酶促降解和氨基酸代谢、核酸的酶促降解和核苷酸代谢、核酸的生物合成、蛋白质的生物合成及转运、代谢调节等内容。

在教材的内容上我们尽可能将生物化学的最新进展写进有关章节。本教材可供普通农业院校生物技术专业、生物工程专业作为教材使用，也可作为硕士研究生、生物技术科技人员、农业技术人员参考书使用。

全书最后由杜金友、杨晓玲负责组稿和统稿，并根据出版社的意见对全书进行了修改和补充。

本教材各方面尚存需改进之处，希望读者不吝指正。

编 者
2009 年 9 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 生物体内的糖类	(3)
第一节 单糖及其衍生物	(3)
第二节 寡糖	(8)
第三节 多糖	(10)
第三章 脂类	(15)
第一节 脂肪酸	(15)
第二节 三酰甘油	(18)
第三节 磷脂类	(20)
第四节 萜和类固醇	(22)
第四章 蛋白质化学	(26)
第一节 蛋白质概述	(26)
第二节 氨基酸	(28)
第三节 肽	(36)
第四节 蛋白质的分子结构	(38)
第五节 蛋白质结构与功能的关系	(47)
第六节 蛋白质的重要性质	(49)
第七节 蛋白质的分离提纯及应用	(54)
第五章 核酸化学	(58)
第一节 核酸的种类、分布与化学组成	(58)
第二节 核酸的分子结构	(62)
第三节 核酸的某些理化性质及分离提纯	(70)
第四节 病毒和核蛋白	(74)
第六章 酶	(77)
第一节 酶的催化性质	(77)
第二节 酶促反应特点与机制	(84)
第三节 酶的命名与分类	(91)
第四节 影响酶促反应速度的因素	(94)
第五节 别构酶、同工酶、诱导酶、抗体酶	(103)
第六节 酶的分离提纯与活力测定	(106)

第七章 糖代谢	(108)
第一节 新陈代谢概论.....	(108)
第二节 双糖和多糖的酶促降解.....	(109)
第三节 糖酵解.....	(112)
第四节 三羧酸循环.....	(120)
第五节 磷酸戊糖途径.....	(127)
第六节 单糖的生物合成.....	(131)
第七节 蔗糖和多糖的生物合成.....	(135)
第八章 生物氧化与氧化磷酸化	(140)
第一节 生物氧化概述.....	(140)
第二节 生物氧化过程中的某些能量问题.....	(141)
第三节 电子传递链.....	(148)
第四节 氧化磷酸化作用.....	(153)
第九章 脂类代谢	(161)
第一节 概述.....	(161)
第二节 脂肪的分解代谢.....	(166)
第三节 脂肪的合成代谢.....	(176)
第四节 类脂的代谢.....	(186)
第五节 脂类在体内运转的概况.....	(195)
第十章 蛋白质的酶促降解和氨基酸代谢	(199)
第一节 蛋白质的酶促降解.....	(199)
第二节 氨基酸的分解与转化.....	(201)
第三节 氨及氨基酸的生物合成.....	(208)
第四节 由氨基酸衍生的其他化合物.....	(219)
第十一章 核酸的酶促降解和核苷酸代谢	(226)
第一节 核酸的酶促降解.....	(226)
第二节 核苷酸的降解.....	(227)
第三节 核苷酸的合成代谢.....	(229)
第十二章 核酸的生物合成	(237)
第一节 DNA 的生物合成-复制.....	(238)
第二节 在 DNA 指导下 RNA 的合成-转录.....	(250)
第三节 RNA 的复制.....	(255)
第四节 基因工程.....	(257)
第十三章 蛋白质的生物合成及转运	(262)
第一节 遗传密码.....	(262)
第二节 蛋白质合成的分子基础.....	(267)
第三节 翻译的步骤.....	(276)
第四节 真核生物的蛋白质翻译的特点.....	(284)
第五节 蛋白质的翻译后加工.....	(286)

第六节	蛋白质合成后的靶向运输	(288)
第七节	蛋白质合成抑制剂	(290)
第十四章	代谢调节	(291)
第一节	代谢途径的相互联系	(291)
第二节	细胞调节体系的概况	(294)
第三节	酶量的调节	(295)
第四节	酶分子的活性调节	(301)
第五节	能荷对代谢的调节	(308)
第六节	代谢的区域化	(309)
主要参考文献		(311)

第一章 绪 论

一、生物化学研究的内容

1. 生物化学

生物化学 (biochemistry) 是研究生物机体 (微生物、植物、动物) 的化学组成和生命现象中的化学变化规律的一门科学, 即研究生命活动化学本质的学科。所以生物化学可以认为就是生命的化学。

生物化学利用化学的原理与方法去探讨生命, 是生命科学的基础。它是介于化学、生物学及物理学之间的一门边缘学科。

2. 生物化学研究的主要方面

(1) 生物体的物质组成 高等生物体主要由蛋白质、核酸、糖类、脂类以及水、无机盐等组成, 此外还含有一些低分子物质, 如维生素、激素、氨基酸、多肽、核苷酸及一些分解产物。

(2) 物质代谢 生物体与其外环境之间的物质交换过程就称为物质代谢或新陈代谢。物质代谢的基本过程主要包括三大步骤: 消化、吸收→中间代谢→排泄。其中, 中间代谢过程是在细胞内进行的, 最为复杂的化学变化过程, 它包括合成代谢, 分解代谢, 物质代谢调控, 能量代谢几方面的内容。

(3) 生物分子的结构与功能 根据现代生物化学及分子生物学研究还原论的观点, 要了解细胞及亚细胞的结构和功能, 必先了解构成细胞及亚细胞的生物分子的结构和功能。因此, 研究生物分子的结构和功能之间的关系, 代表了现代生物化学与分子生物学发展的方向。

二、生物学的发展

(一) 静态生物化学阶段

大约从 18 世纪中叶到 20 世纪初。主要完成了各种生物体化学组成的分析研究, 发现了生物体主要由糖、脂、蛋白质和核酸四大类有机物质组成。

(二) 动态生物化学阶段

大约从 20 世纪初到 20 世纪 50 年代。此阶段对各种化学物质的代谢途径有了一定的了解。其中主要有: 1932 年英国科学家 Krebs 建立了尿素合成的鸟氨酸循环; 1937 年

Krebs 又提出了各种化学物质的中心环节——三羧酸循环的基本代谢途径；1940 年德国科学家 Embden 和 Meyerhof 提出了糖酵解代谢途径。

(三) 分子生物学阶段

从 1953 年至今。以 1953 年 Watson 和 Crick 提出 DNA 的双螺旋结构模型为标志，生物化学的发展进入分子生物学阶段。这一阶段的主要研究工作就是探讨各种生物大分子的结构与其功能之间的关系。

三、生物化学与其他学科的关系

生物化学是介乎生物学与化学的一门边缘科学，它与生物科学的许多分支学科均有密切关系。

首先，它与生理学是特别密切的姊妹学科。例如植物生理学，它是研究植物生命活动原理的一门科学。植物的生命活动包括许多方面，其中有机物代谢是重要的方面，这本身也属于生物化学的内容。因此，在植物生理学的教科书中也包括部分生物化学内容。

生物化学与遗传学也有密切关系，现已知核酸是一切生物遗传信息载体，而遗传信息的表达，则是通过核酸所携带的遗传信息翻译为蛋白质以实现的。因此，核酸和蛋白质的结构、代谢与功能，同时是生物化学与遗传学的内容。

生物化学也与微生物学有关，目前所积累的生物化学知识，有相当部分是用微生物为研究材料获得的，如大肠杆菌是被生物化学广泛应用的材料。

生物化学与分类学也有关系，由于蛋白质在进化上是较少变化的，因此，近代利用某些蛋白质结构的研究，可以作为分类的依据。此外，农业科学、生物技术、食品科学、医药卫生及生态环境等科学，都需要生物化学的基础。

四、生物化学的应用与发展

21 世纪是以信息科学和生命科学为前沿科学的时代。其中，生命科学已经呈现出惊人的发展速度，引起了学术界的极大关注。生命科学之所以成为带头学科，其核心是生物化学的引人瞩目的发展。生物科学和生物技术的进步和发展与基础领域生物化学的发展密不可分。

生物化学是一门基础学科，它是动物学、植物学、遗传学、生理学、医学、药学、农学以及食品科学等众多学科的重要补充。生物化学在生产生活中的应用主要体现在医疗、农业和食品行业等方面。在医学上，人们根据疾病的发病机理以及病原体与人体在代谢和调控上的差异，设计或筛选出各种高效低毒的药物。比如最早的抗生素——磺胺类药物就是竞争性抑制使细菌不能合成叶酸从而死亡。依据免疫学知识人们设计研制出各种疫苗，使人类从传染病中得以幸免。目前市面上流通的豆类制品，近 50% 是转基因作物制造。

现代生命科学技术可以大大加快人类的进化历程并改变某些物种，从而影响到整个自然界的发展历程。科技的每一小步前进都会带来社会的深刻变化。总的来说科技的进步给人类带来的更多是利益，生命科学领域中的工作者们正在努力实现使生命更完美的目标。而这一切的变化必将与生物化学的发展戚戚相关。

第二章 生物体内的糖类

糖类是地球上数量最多的一类有机化合物，其根本来源是绿色植物的光合作用。大多数糖类只由碳、氢、氧所组成。其实验式为 $(\text{CH}_2\text{O})_n$ 或 $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$ 。其中氢和氧的原子数比例是 2:1，犹如水分子中的 H 和 O 之比，过去曾被称之为碳水化合物。实际上有些糖类，如鼠李糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$) 和脱氧核糖 ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$) 等，它们的分子中 H、O 之比并非 2:1，而有些非糖物质，如甲醛 (CH_2O)，乙酸 ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) 等，它们的分子中 H、O 之比却都是 2:1，所以“碳水化合物”这一名称并不恰当。但是，目前“糖类”和“碳水化合物”两词通用。糖类从化学角度看，它们是含多羟基的醛类或酮类化合物。根据水解后产生单糖残基的多少可将糖作如下分类：

单糖：这是一类最简单的多羟基醛或多羟基酮，它不能再进行水解。根据其所含的碳原子数，单糖又可分为丙糖、丁糖、戊糖、己糖、庚糖等。依其带有的基团，又可分为醛糖和酮糖。

寡糖：是由 2~10 个单糖分子聚合而成的糖，如二糖、三糖、四糖……九糖等。

多糖：由多分子单糖及其衍生物所组成，依其组成又可分为两类：

(1) 同聚多糖：由相同单糖结合而成，如戊聚糖、淀粉、纤维素等。

(2) 杂聚多糖：由一种以上单糖或其衍生物所组成，如半纤维素、黏多糖等。

第一节 单糖及其衍生物

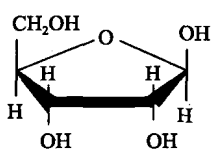
任何单糖的构型都是由甘油醛及二羟丙酮派生的，形成醛糖和酮糖。由于糖的构型有 D-构型与 L-构型，即凡分子中靠近伯醇 ($-\text{CH}_2\text{OH}$) 的仲醇基 ($-\text{CHOH}$) 中的羟基如在分子的右方者称为 D-糖，在左方者称为 L-糖，因此又有 D-醛糖和 L-醛糖、D-酮糖和 L-酮糖之分。它们的关系如图 2-1、图 2-2 所示。

植物体内最重要的单糖有戊糖、己糖和庚糖，现在分别举例说明如下：

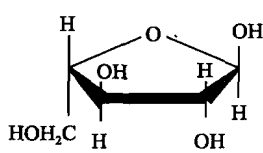
一、戊糖 (pentose)

高等植物中有三种重要的戊糖，即 D-核糖、D-木糖及 L-阿拉伯糖。其环状结构式为：

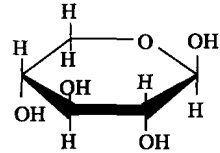
D-核糖 (D-ribose) 是所有生活细胞的普遍成分之一，在细胞质中含量最多。核糖是构成遗传物质——核糖核酸 (RNA) 的主要成分。如果 D-核糖在 C_2 上被还原，则形成 2-脱氧-D-核糖。脱氧核糖是另一类遗传物质——脱氧核糖核酸 (DNA) 的主要成分。



β-D-核糖



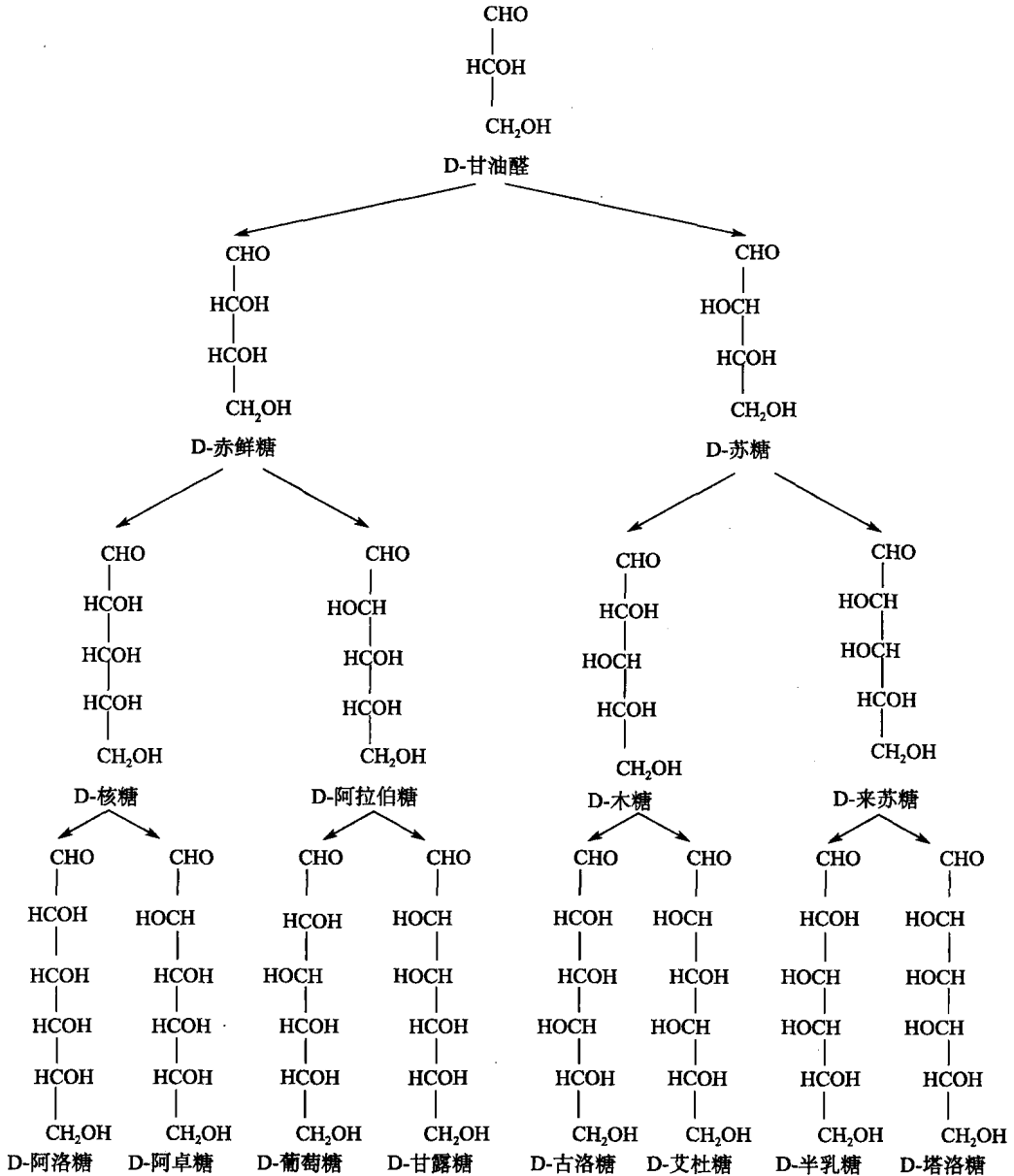
L-阿拉伯糖



D-木糖

L-阿拉伯糖 (L-arabinose) 在植物中分布很广，是黏质、树胶、果胶质与半纤维素的组成成分，在植物体内以结合态存在。

D-木糖 (D-xylose) 是植物黏质、树胶及半纤维素的组成成分，也以结合态存在于植物体内。



CHO
|
HOCH
|
HCOH
|
CH₂OH
D-苏糖

CHO
|
HCOH
|
HOCH
|
HCOH
|
CH₂OH
D-木糖

CHO
|
HCOH
|
HCOH
|
HOCH
|
HCOH
|
CH₂OH
D-古洛糖

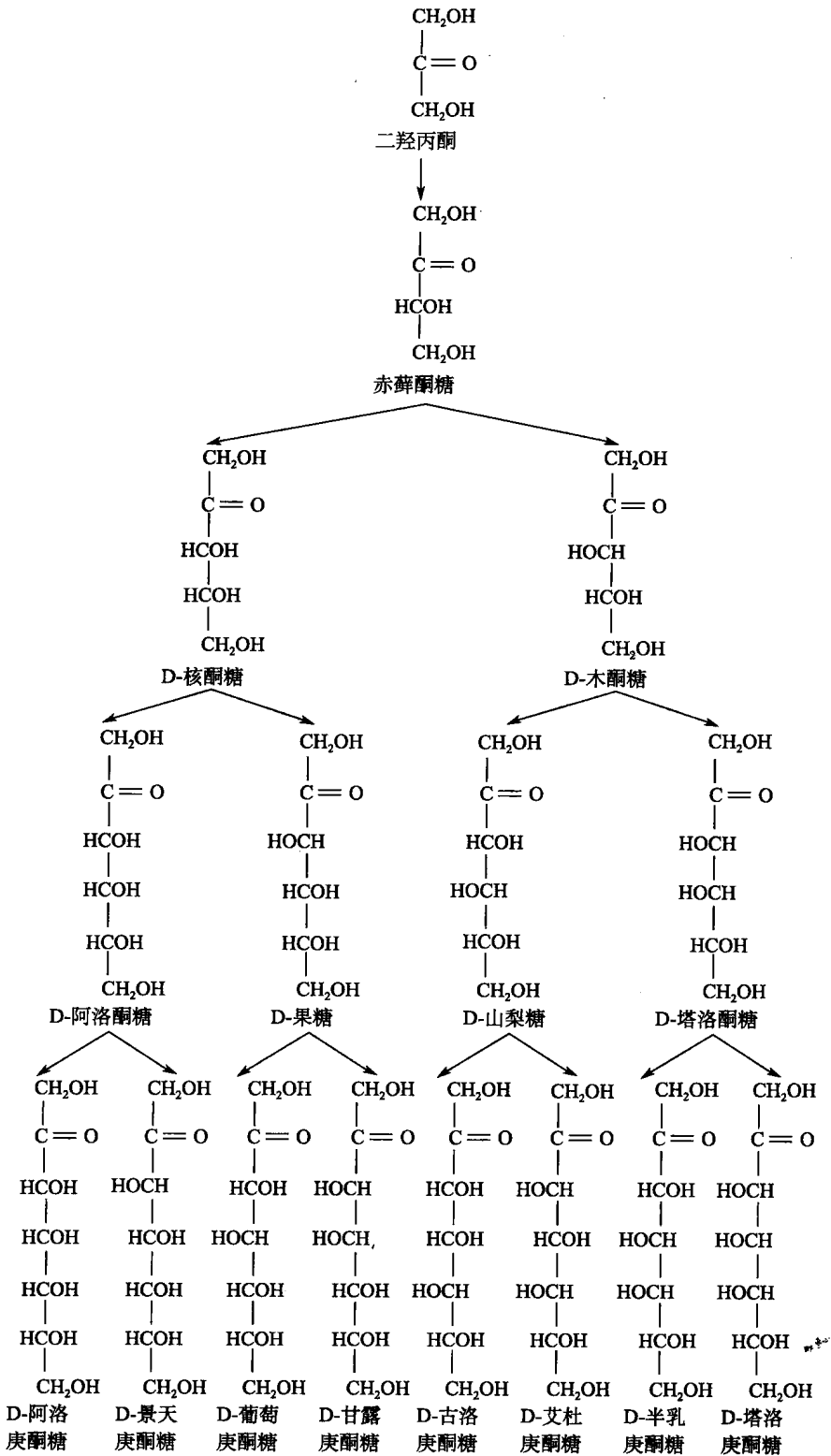
CHO
|
HOCH
|
HCOH
|
HOCH
|
HCOH
|
CH₂OH
D-艾杜糖

CHO
|
HOCH
|
HOCH
|
HCOH
|
CH₂OH
D-来苏糖

CHO
|
HCOH
|
HOCH
|
HOCH
|
HCOH
|
CH₂OH
D-半乳糖

CHO
|
HOCH
|
HOCH
|
HCOH
|
CH₂OH
D-塔洛糖

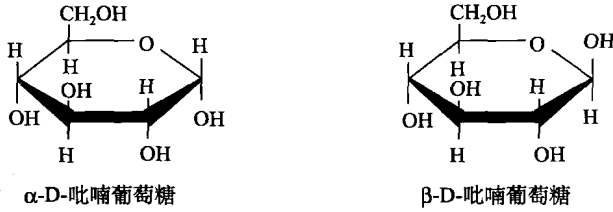
图 2-1 D-醛糖的关系图



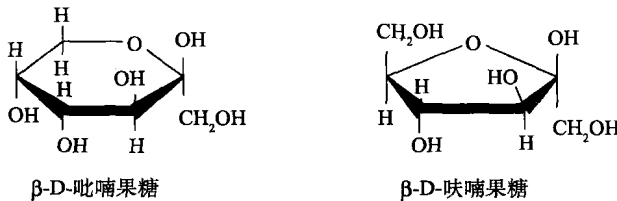
二、己糖 (hexose)

高等植物中重要的己醛糖有 D-葡萄糖、D-甘露糖、D-半乳糖；重要的己酮糖有 D-果糖和 D-山梨糖。

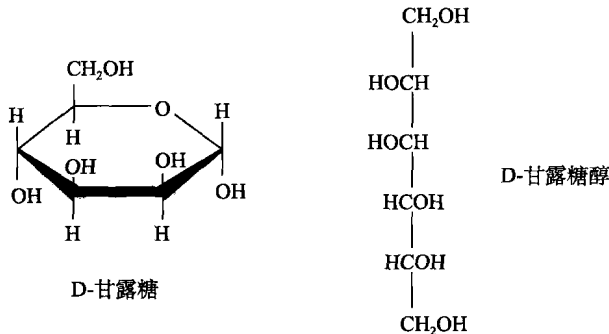
葡萄糖 (glucose) 是植物界分布最广、数量最多的一种单糖，多以 D-式存在。葡萄糖在植物的种子、果实中以游离状态存在，它也是许多多糖的组成成分，如蔗糖是由 D-葡萄糖与 D-果糖结合而成的，淀粉及纤维素都是由 D-葡萄糖聚合而成的。



果糖 (fructose) 也是自然界中广泛存在的一种单糖。存在于植物的蜜腺、水果及蜂蜜中，是单糖中最甜的糖类。在游离状态时，果糖为 β -D-吡喃果糖，结合态时为 β -D-呋喃果糖。

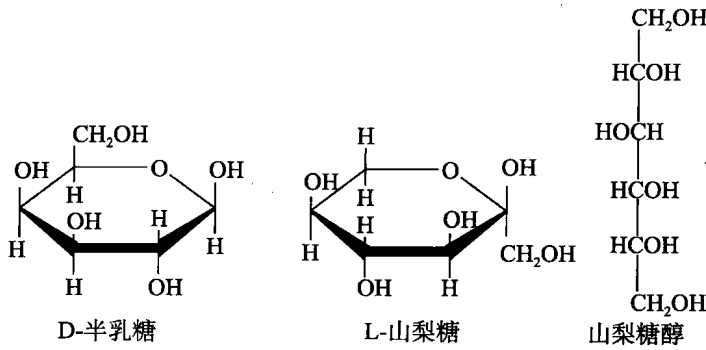


甘露糖 (mannose) 在植物体内以聚合态存在，如甘露聚糖。它是植物黏质与半纤维的组成成分。花生皮、椰子皮、树胶中含有较多的甘露糖。甘露糖的还原产物——甘露糖醇是柿霜的主要成分。



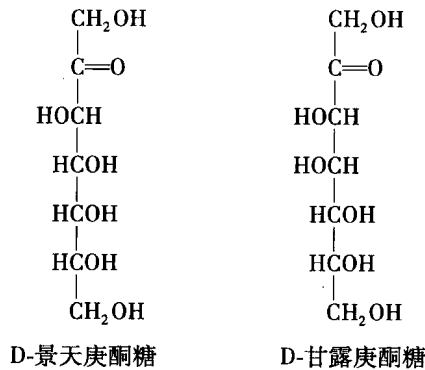
半乳糖 (galactose) 在植物体内仅以结合状态存在。乳糖、蜜二糖、棉籽糖、琼脂、树胶、果胶类及黏质等都含有半乳糖。

山梨糖 (sorbse) 又称清凉茶糖，存在于细菌发酵过的山梨汁中，是合成维生素 C 的中间产物，在制造维生素 C 的工艺中占有重要的地位。桃、李、苹果、樱桃等果实中含有山梨糖的还原产物——山梨糖醇。



三、庚糖 (heptose)

庚糖虽然在自然界分布较少，但在高等植物中存在。最重要的有 D-景天庚酮糖及 D-甘露庚酮糖。前者存在于景天科及其他肉质植物的叶子中，故名景天庚酮糖。它以游离状态存在。该糖是光合作用的中间产物，在碳循环中占有重要地位。D-甘露庚酮糖存在于樟梨果实中，也以游离状态存在。它们的线状结构如下：

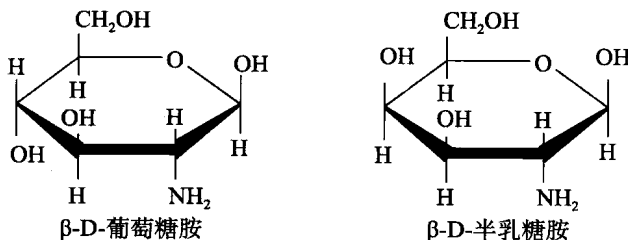


四、糖的重要衍生物

由于电子显微镜的应用及近代细胞壁化学的研究，自然界中又发现有两种其他的脱氧糖类，它们是细胞壁的成分。一种是 L-鼠李糖 (L-rhamnose)，另一种是 6-脱氧-L-甘露糖。

糖醛酸 (uronic acid) 由单糖的伯醇基氧化而得。其中最常见的是葡萄糖醛酸 (glucouronic acid) 它是脏内的一种解毒剂。半乳糖醛酸存在于果胶中。

糖胺 (glycosamine) 又称氨基糖，即糖分子中的一个羟基为氨基所代替。自然界中存在的糖胺都是己糖胺。常见的是 D-葡萄糖胺 (D-glucosamine)，为甲壳质 (几丁质) 的主要成分。甲壳质是组成昆虫及甲壳类结构的多糖。D-半乳糖胺则为软骨组成成分软骨酸的水解产物。



第二节 寡糖

寡糖是由 2~10 个单糖分子通过糖苷键连接而成的糖类物质。自然界中存在着大量的寡聚糖，早在 1962 年就已经发现了 584 种之多。寡聚糖在植物体内具有贮藏、运输、适应环境变化、抗寒、抗冻、调节酶活性等功能。寡糖中以双糖分布最为普遍，意义也较大。

一、双糖 (disaccharides)

双糖 (二糖) 是由两个相同的或不同的单糖分子缩合而成的。双糖可以认为是一种糖苷，其中的配基是另外一个单糖分子。在自然界中，仅有三种双糖 (蔗糖、乳糖和麦芽糖) 以游离状态存在，其他多以结合形式存在 (如纤维二糖)。蔗糖在碳水化合物中是最重要的双糖，而麦芽糖和纤维二糖在植物中也很重要，它们是两个重要的多糖——淀粉和纤维素的基本结构单位。

1. 蔗糖 (sucrose)

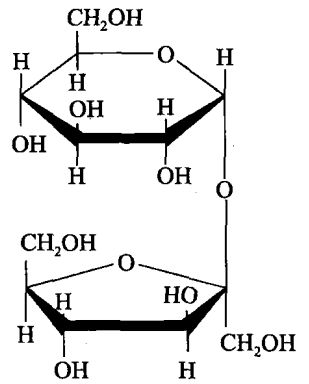
蔗糖在植物界分布最广泛，并且在植物的生理功能上也最重要。蔗糖不仅是主要的光合作用产物，而且也是碳水化合物储藏和积累的一种主要形式。在植物体中碳水化合物也以蔗糖形式进行运输。此外，我们日常食用的糖也是蔗糖。它可以大量地由甘蔗或甜菜中得到，在各种水果中也含有较多。

蔗糖是 α -D-吡喃葡萄糖 β -D-呋喃果糖苷。它不是还原糖，因为 2 个还原性的基团都包括在糖苷键中。蔗糖有一个特殊性质，就是极易被酸水解，其水解速度比麦芽糖或乳糖大 1 000 倍。蔗糖水解后产生等量的 D-葡萄糖及 D-果糖，这个混合物称为转化糖。在高等植物和低等植物中有一种转化酶 (invertase)，可以使蔗糖水解成葡萄糖和果糖。

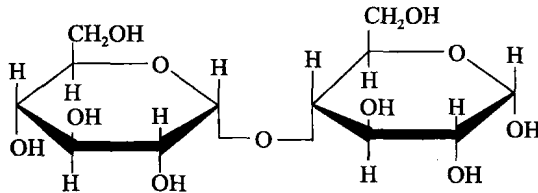
2. 麦芽糖 (maltose)

它大量存在于发芽的谷粒，特别是麦芽中，在自然界中很少以游离状态存在。它是淀粉的组成成分。淀粉在淀粉酶作用下水解可以产生麦芽糖。用大麦淀粉酶水解淀粉，可以得到产率为 80% 的麦芽糖。

用酸或麦芽糖酶水解麦芽糖只得到 D-葡萄糖，麦芽糖酶的作用表明这 2 个 D-葡萄糖是通过第 1 和第 4 碳原子连接的，故麦芽糖可以认为是 α -D-葡萄糖-(1, 4)-D-葡萄糖苷。因为有一个醛基是自由的，所以它是还原糖。



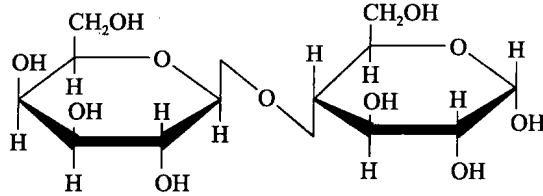
蔗糖[1- α -D-吡喃葡萄糖- β -D-呋喃果糖苷]



麦芽糖[α -D-葡萄糖-(1, 4)-D-葡萄糖苷]

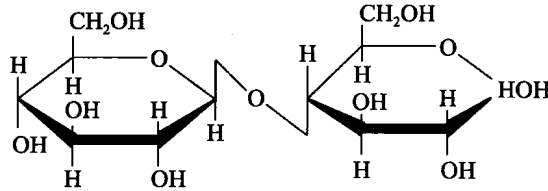
3. 乳糖 (lactose)

乳糖存在于哺乳动物的乳汁中 (牛奶中含乳糖 4% ~ 7%)。高等植物花粉管及微生物中也含有少量乳糖。乳糖是由 D-葡萄糖和 D-半乳糖分子以 1, 4 键连接缩合而成的, 乳糖是还原糖。分子结构如下:

乳糖[β -D-吡喃半乳糖-(1, 4)- α -D-吡喃葡萄糖苷]

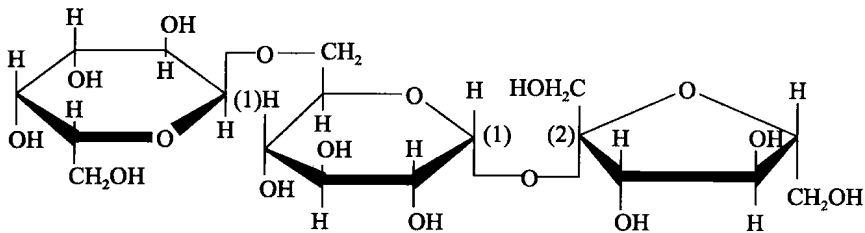
4. 纤维二糖 (cellobiose)

纤维素经过小心水解可以得到纤维二糖, 它是由 2 个葡萄糖通过 β -1, 4-葡萄糖苷键缩合而成的还原性糖。与麦芽糖不同, 它是 β -葡萄糖苷。

纤维二糖[β -D-吡喃葡萄糖-(1, 4)-D-吡喃葡萄糖苷]

二、三糖

自然界中广泛存在的三糖 (trisaccharide) 仅有棉籽糖 (raffinose), 主要存在于棉籽、甜菜及大豆中, 水解后产生 D-葡萄糖、D-果糖及 D-半乳糖。在蔗糖酶作用下, 由棉籽糖中分解出果糖而留下蜜二糖; 在 α -半乳糖苷酶作用下, 由棉籽糖中分解出半乳糖而留下蔗糖。棉籽糖的分子结构如下:



棉籽糖

三、四糖

水苏糖 (stachyose) 是目前研究得比较清楚的四糖, 存在于大豆、豌豆、洋扁豆和羽扇豆种子内, 由 2 个分子半乳糖、1 分子 α -葡萄糖及 1 个分子 β -果糖组成。结构如下: