

高等学校教材

普通生物化学

(第三版)

郑 集 陈钧辉 编著

高等教育出版社

M200117

高等学校教材

普通生物化学

[第三版]

郑 集 编著
陈钧辉

高等教育出版社

(京)112 号

图书在版编目(CIP)数据

普通生物化学/郑集,陈钧辉编著.—3版.—北京:高等教育出版社,1998.7.
高等学校教材
ISBN 7-04-006574-6

I. 普… II. ①郑… ②陈… III. 生物化学—高等学校—教材 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 00393 号

*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码:100009 传真:64014048 电话:64054588

新华书店总店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 41 字数 1 020 000

1982 年 3 月第 1 版

1998 年 7 月第 3 版 1998 年 7 月第 1 次印刷

印数 0 001—7 213

定价 46.20 元

凡购买高等教育出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换

版权所有,不得翻印

三 版 前 言

本书第一版在 1979 年与读者见面,1985 年出了第二版,两版均受到读者的好评。第二版在 1988 年被评为全国优秀教材,获二等奖。

第二版出版迄今已十余载,在此期间,生物化学领域有不少新的进展,为了更新本教材内容,提高我国生物化学教学水平,现发行第三版。

第三版在二版框架上作了多方面的补充和更新,有的章节作了重写,期望它能成为一本易教易学的现代化生物化学教材。

本版修订工作是南京大学生物化学系陈钧辉副教授同我合作的,我们的工作态度是认真的和负责的。在修订过程中胡鸿仪与傅家廉两位老先生给了我们很多技术性帮助,南京师范大学邹玉珍副教授为我们描绘了部分插图,南京大学校系有关领导给了我们很多方便,高等教育出版社有关负责同志对本书出版鼎力促成,谭丽霞等同志在本书出版过程中作了加工整理和校对等繁重工作,我的在海外工作的门生故旧对本版出版提供了帮助,在此一并致谢。

南京大学生物化学系

郑集

1996 年 12 月

编写及使用说明

编写要旨：

本教材是为我国高等院校各专业(包括生物化学专业)必修生物化学课的教学需要而编写的。全书的设计、选材和文字表达等,一切都以便于教与学而进行安排的。全书设计着重在循序渐进地给学生介绍近代生物化学的基础知识、新成就和发展趋势。选材力求质精、面广,素材处理强调系统性、逻辑性和相关性,文字力求简明畅达,做到由浅入深、由易到难、深入浅出、易教易学。

为了达到这些主观愿望,在编写过程中,采取了下列一系列措施:

1. 在第一篇生物分子的各章中,首先从介绍糖类化学开始,然后依次讲脂质、蛋白质、核酸、激素、维生素和酶等几类重要生命物质的存在、结构、性质、功能和重要性,在学生们已学过有机化学的基础上进而学习基本上属于有机化学范围的这几章书,就比较容易理解。我们有意识的将这几章的内容与生活、生产和后续课的关系适当联系起来,激发学生学习生物化学课的兴趣,使学生们觉得生物化学与有机化学毕竟有所不同,而不致于感到许多化学结构式的枯燥无味、难学难记。

2. 将酶化学安排在蛋白质化学之后,主要是因为酶的化学本质是蛋白质,学了蛋白质化学再学习酶,对酶的性质和功能就迎刃而解;将维生素放在酶之前讲授,是因为维生素B族为多种辅酶的组成成分,先学了维生素的结构和功能,再学习辅酶时就可大大减少记忆和理解维生素结构式的压力。

3. 在讲核酸时,我们将后面讲蛋白质生物合成需要的DNA、mRNA和rRNA的结构和功能作了比较详细的介绍,从而使繁复的蛋白质合成过程变得比较简单和容易理解。

4. 在讲代谢之前特设了细胞膜及细胞器的生物化学机制一章,是为以后讲代谢、生物氧化和分子遗传提供方便,因为多种代谢反应、信息传递,都是在细胞膜和细胞器中进行的。

5. 在代谢各章中先讲合成,后讲分解,这样安排较切合于生命物质的进化规律,因而也更合乎事物发展的逻辑。在讲授代谢各章时,我们都是先用图表将每章的复杂代谢途径作了概括式介绍,然后用化学反应式阐述各种反应的详细过程,每章末再作一简短总结,这种由概念到具体的教学法是符合认识规律的,大大有助于学生掌握各章的内容要点。

6. 生物氧化安排在代谢各章之后,目的在使读者联系代谢各章的事实来理解生物氧化的理论,并明确生物氧化是各种物质代谢的共有反应,避免了抽象讲授理论的缺点。

7. 在代谢各章之后,另设代谢调控一章,将分散的代谢调控机制归纳成条理性的调控规律。除使学生对代谢调控有明确概念外,并能体会神经系统、遗传基因、酶和激素对代谢调控的重要性。

8. 为了及时启发学生思考问题,分析问题,对教材的重点和难点深入理解,本教材在每章重点、难点之后,分别插入一两个思考题,使学生及时检验自己对重点、难点是否已完全理解;每章末再列少数总结性思考题,使学生在学完一章之后再回忆和复习全章的主要内容,借以加强理解和记忆。为了帮助学生掌握每章重点,在每章开始时增加了内容提要和学习指导。

9. 特殊生物化学一章是给不同专业提供补充教材用的;生物化学起源和发展概要一章,目的在使学习生物化学课的学生略知生物化学学科的起源和发展经过,从而认识生物化学科学与

人类生活的关系。

上述各点是从编者多年讲授不同专业生物化学基础课的经验总结出来的,也可算是本教材的特点。实践证明上列各点都是有助于教与学两方面的,对提高生物化学教学效果是有帮助的。

全书所用名词以 1990 年全国自然科学名词审定委员会公布的《生物化学名词》为基准,对尚未录入该书的名词则参照 1996 年出版的《英汉分子生物学与生物工程词汇》及《英汉、汉英生物化学词汇》。凡涉及激素的名词则根据 1989 年全国自然科学名词审定委员会公布的《生理学名词》为依据。

书末附有比较重要文献的作者姓名、术语代号及中英文题材索引,以便读者检索书中有关内容,并可培养学生阅读英文生物化学专业文献的能力。

使用说明:

本教材前 14 章是普通生物化学课的基本内容,是必修生物化学的各专业学生都必需学习的。第十五章则是备不同院校或专业选用,教师可根据学生所在专业的需要选授一或几节,以满足各专业的需要。第十六章生物化学起源和发展概要,可作为本课程的补充读物,供学生自学之用。

责任编辑	谭丽霞			
封面设计	张楠			
责任绘图	尹文君	潘曙光	杜嫣红	蒋颖
版式设计	周顺银			
责任校对	胡晓琪			
责任印制	宋克学			

总 目 录

本目录只列入篇名和章名,使读者首先知道本书的总体结构。各章详细内容分别列于有关各章的目录之内。

绪 论	1
-----------	---

第 I 篇 生物分子

第一章 糖类化学	3
第二章 脂类化学	45
第三章 蛋白质化学	68
第四章 核酸化学	138
第五章 激素化学	179
第六章 维生素化学	211
第七章 酶化学	249

第 II 篇 细胞及其生物化学机构

第八章 生物膜与细胞器	291
-------------------	-----

第 III 篇 代谢与生物能

第九章 糖代谢	312
第十章 脂代谢	358
第十一章 蛋白质代谢	400
第十二章 核酸代谢	478
第十三章 生物氧化	512
第十四章 代谢调节综述	531

第 IV 篇 特殊生物化学

第十五章 人体及动植物的特殊生物化学	543
第十六章 现代生物化学的起源和发展概要	583
常用生物化学名词缩写	588
人名索引	597
生物化学名词英汉索引	599
生物化学名词中文索引	634

绪 论

内 容

1. 生物化学的涵义	1
2. 生物化学在生物科学中的地位及其在工农业生产中的作用	1
3. 生物化学的学习方法	2

1. 生物化学的涵义

生物化学^①是介于生物与化学之间的一门边缘科学。它是用化学的理论和方法作为主要手段来研究生命现象,从而揭示生命的奥秘。其任务主要有两个方面:一方面研究构成生物体的基本物质(糖类、脂类、蛋白质、核酸)及对体内的生物化学反应起催化和调节作用的酶、维生素和激素的结构、性质和功能,这部分内容通常称为静态生物化学。另一方面研究构成生物体的基本物质在生命活动过程中进行的化学变化,也就是新陈代谢及在代谢过程中能量的转换和调节规律,这部分内容通常称为动态生物化学。从研究对象分类,可分为动物生物化学及植物生物化学。前者以人体及动物为研究对象,后者以植物为研究对象。如果研究对象不局限于动物或植物,而是一般生物,则称普通生物化学。如果以生物(特别是动物)的不同进化阶段的化学特征(包括化学组成和代谢方式)为研究对象,则称进化生物化学或比较生物化学。以生理为研究对象者称生理化学。此外,根据不同的研究对象和目的,生物化学还可有许多分支。如微生物生化、医学生化、农业生化和工业生化等等。

2. 生物化学在生物科学中的地位及其在工农业生产中的作用

生物化学是各门生物科学(包括应用生物科学)的基础。借助它的理论和方法,有利于解决科学实验和生产实践中所遇到的许多问题。

近代生物化学主要是在分子水平上研究生物体的化学本质及其在生命活动过程中的化学变化规律,如欲深入了解各种生物的生长、生殖、生理、遗传、衰老、疾病、生命起源和演化等现象,都需要用生物化学的原理和方法进行探讨。因此,生物化学是各门生物科学的基础,特别是生理学、微生物学、遗传学、细胞学等各科的基础,在分子生物学中占有特别重要的位置。

生物化学又是医学、农学(包括农、林、牧、渔等)、某些轻工业(如制药、酿造、皮革、食品等)和营养卫生学等科目的基础,与人类健康,工、农业生产都有密切关系。如疾病的预防、治疗和诊断以及如何供给人体以适当的营养从而增进人体的健康等都离不开生物化学。某些轻工业如生物制药工业、抗菌素制造工业、酿造工业、皮革工业、食品工业和发酵工业等都要应用生物化学的理

^① biochemistry

论、技术和方法。还有许多植物新品种的培育、植物病虫害的防治、农药的设计和植物激素的应用等都要有坚实的生物化学和分子生物学的基础。为了便于今后的学习和工作,有必要学习一些最基本的生物化学知识和技术。

3. 生物化学的学习方法

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,主要区别是生物化学反应是在生物体内进行的,反应的环境比体外复杂,一般有生物催化剂(酶)^①参加。有些在体外发生的反应,在体内就不一定照样进行,因此,不能简单地根据体外的化学反应去理解体内的反应。

学习生物化学时,应对教师指定的教材内容作全面了解,分析比较,明确概念;对糖类、脂类、蛋白质、核酸以及其他有关化学物质的学习,要从化学本质和结构特点出发,联系它的性质和功能;对每章的重点内容应深入钻研,弄懂,记熟,轮番复习、默念以加强记忆。

在学习过程中应与先修和并修课程(如有机化学)内容相联系,以促进理解,加强记忆。认真学习,重视实验工作,提高动手能力。

思考题

1. 什么叫生物化学? 其重要性及任务为何?
2. 应该如何学习生物化学?

^① 酶是生物催化剂的总称,将详见本书第七章。

第I篇 生物分子

第一章 糖类化学

内 容	
1.1 糖的概念	4
1.1.1 分布	4
1.1.2 糖的化学概念	4
1.1.3 糖的分类	4
1.2 单糖	5
1.2.1 单糖的结构	5
1.2.1.1 链状结构	5
1.2.1.2 环状结构	8
1.2.1.3 椅式和船式构象	13
1.2.2 单糖的性质	14
1.2.2.1 物理性质	14
1.2.2.2 化学性质	15
1.3 二糖	24
1.3.1 蔗糖	24
1.3.2 麦芽糖	25
1.3.3 乳糖	27
1.3.4 其他二糖	28
1.4 三糖	29
1.5 多糖	29
1.5.1 淀粉	30
1.5.2 糖原	32
1.5.3 纤维素	33
1.5.4 琼胶	33
1.5.5 果胶	34
1.5.6 壳多糖	34
1.5.7 糖胺聚糖	34
1.5.7.1 透明质酸	35
1.5.7.2 硫酸软骨素	35
1.5.7.3 硫酸皮肤素	36
1.5.7.4 硫酸角质素	36
1.5.7.5 肝素	36
1.5.8 细菌多糖	37
1.5.8.1 肽聚糖	37
1.5.8.2 磷壁酸	37
1.5.9 复合糖	40
1.5.9.1 脂多糖	40
1.5.9.2 糖蛋白及蛋白聚糖	42
1.5.10 多糖的提取、纯化和鉴定	43
1.6 糖类的重要性	43
总结性思考题	44

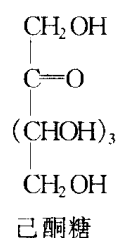
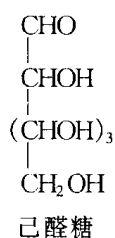
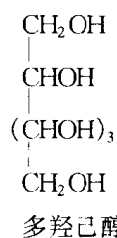
提要与学习指导 本章的主要内容是糖的概念、分类以及单糖、二糖和多糖的化学结构和性质。读者应首先重点掌握典型单糖(葡萄糖和果糖)的结构和性质,再从单糖的基础上去理解二糖和多糖的结构和性质。学会用比较、分析的方法去认识各种重要糖类的特征。在学习单糖的结构和性质时要联系有机化学醛、酮的化学结构和性质。

1.1 糖的概念

1.1.1 分布 糖类^①,旧称碳水化合物,广布于动植物体中,所有生物的细胞质和细胞核皆含核糖,动物血液含有葡萄糖,肝脏、肌肉中含有糖原,乳汁含有乳糖。植物体的组分约85%~90%为糖类。植物的细胞壁、木质部、棉花、竹木等除水分以外,几乎全是由纤维素所组成。粮食(谷类)含丰富的淀粉,甘蔗和甜菜含大量蔗糖,鲜果含果糖和果胶。所有这些核糖、葡萄糖、果糖、乳糖、蔗糖、糖原、果胶、纤维素、淀粉以及麦芽糖(俗称饴糖)等都属于糖类。

1.1.2 糖的化学概念 糖类是多羟醛或多羟酮及其缩聚物和某些衍生物的总称。

单糖是不能水解的最简单糖类,是多羟醇的醛或酮的衍生物,如葡萄糖、果糖等。下列的第一式为多羟醇,第二式为第一式的醛衍生物,称醛糖,第三式为第一式的酮衍生物,称酮糖。



二糖,亦称双糖,是由两个单糖分子通过糖苷键连接而成,如蔗糖、麦芽糖等。

多糖是由多个单糖分子或其衍生物所组成。如淀粉、糖原、糖胺聚糖等。

绝大多数糖类的实验分子式可用 $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$ 式子来表示,因而有旧称碳水化合物。但符合 $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$ 式的化合物不一定是糖,如乙酸即其一例;相反,有的糖的分子式并不符合 $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$ 式子,如鼠李糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$)^②、岩藻糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$)^③等。所以称碳水化合物并不恰当,但因沿用已久,至今人们还习惯用碳水化合物这个名称。

还有一些多糖是同非糖物质,如肽、脂质或硫酸相连接的;也有一些多糖的组成单位不是单纯的单糖,而是单糖的衍生物如乙酰糖胺、硫酸糖胺或糖醛酸。

1.1.3 糖的分类 糖类可分为单糖、寡糖和多糖三大类:

一、单糖 根据所含碳原子数目又分为丙糖、丁糖、戊糖和己糖。每种单糖都有醛糖(含醛基)和酮糖(含酮基)。

二、寡糖^④ 由2~10分子的单糖结合而成,水解后产生单糖。

二糖:由2分子单糖结合而成,如蔗糖、麦芽糖和乳糖等。

三糖:由3分子单糖所组成,如棉子糖。

三、多糖 由多分子单糖或其衍生物所组成,水解后产生原来的单糖或其衍生物。分同多糖和杂多糖。前者为相同单糖所组成,又分戊聚糖($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4$)_n,如阿拉伯胶,己聚糖($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n,淀粉、纤维素、糖原等;后者为一种以上的单糖或其衍生物所组成,如半纤维素、糖胺聚糖等。

① carbohydrate 或 saccharide

② rhamnose(6-脱氧甘露糖)

③ fucose(6-脱氧半乳糖)

④ oligosaccharide(寡糖),也称低聚糖

寡糖的通式,以六碳寡糖为例,可表示如下:

$$n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) - (n-1)\text{H}_2\text{O}, \quad n=2,3,4,\dots$$

多糖是单糖或其衍生物的高聚合体。严格地说,它的通式和寡糖的通式相同,但因多糖分子含单糖分子多,当 n 很大时,上面式子中的 $n-1$ 就可看作等于 n ,例如:

$$n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) - n\text{H}_2\text{O} = n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 - \text{H}_2\text{O}) = n(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)$$

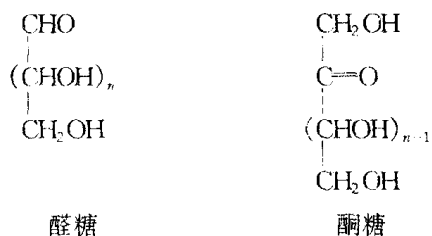
因此,己聚糖的分子式用 $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ 来表示,其他多糖类推。

糖类还可和非糖物质结合组成复合糖^①(结合糖),如糖脂和糖蛋白等。

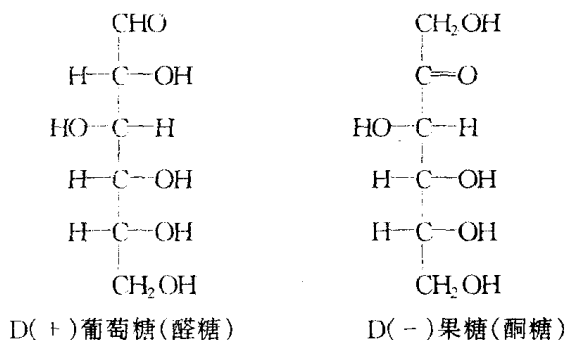
1.2 单 糖^②

1.2.1 单糖的结构

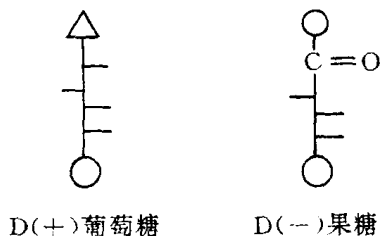
1.2.1.1 链状结构 单糖是多羟醛或多羟酮,又因葡萄糖被钠汞齐(钠和汞的合金)和 HI 还原后生成正己烷,被浓 HNO_3 氧化产生糖二酸(二羧酸),而多羟醛、多羟酮、正己烷和糖二酸等都是开链化合物,所以单糖的结构也必然是链状的,可用下列通式表示醛糖和酮糖:



以 D-葡萄糖^③和 D-果糖^④作代表,它们的结构可表示如下式:



上述结构式可分别简化为:



① compound saccharide 或 complex saccharide

② monosaccharide

③ glucose(简写 Glc)

④ fructose(简写 Fru)

其中“┆”表示碳链及不对称碳原子上羟基的位置;“△”表示醛基,即“—CHO”;“—”表示羟基,即“—OH”;“○”表示第一醇基,即“—CH₂OH”。

开链醛糖和开链酮糖皆含有羟基和不对称碳原子,所不同者是 D-果糖比 D-葡萄糖分子少一个不对称碳原子,D-果糖第 2 碳位为酮基(亦称羰基),而 D-葡萄糖分子的第 1 碳位为醛基。这些特殊功能基团是决定单糖特性的基础。

单糖的 D- 及 L- 型: 单糖有 D- 及 L- 两种异构体,判断其 D- 型还是 L- 型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。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-型甘油醛衍生出来的单糖皆为 L- 型糖,所以 D- 及 L- 符号仅表示各有关单糖在构型上与 D-甘油醛或 L-甘油醛的构型关系,与其旋光性无关。如果要表示旋光性,则在 D 后加(+)号,表示右旋,加(-)号表示左旋,例如 D(-)果糖即表示果糖的构型与 D-甘油醛相同,而旋光性是左旋。

甘油醛的 D- 或 L- 型最初是随意规定的。甘油醛与其他单糖一样,含有不对称碳原子。在一个不对称碳原子上的 H 和 OH 基有两种可能排列法,即 OH(或 H)可在不对称碳原子的左边,也可在不对称碳原子的右边,因而可形成两种对映体。OH 在甘油醛的不对称碳原子右边者[即在与—CH₂OH 基邻近的不对称碳原子(有*号的)的右边]曾主观地被称为 D- 型,在左边者称 L- 型,例如:



如将甘油醛分子做成立体模型,则 D- 及 L-甘油醛两个对映体的结构可表示如图 1-1。

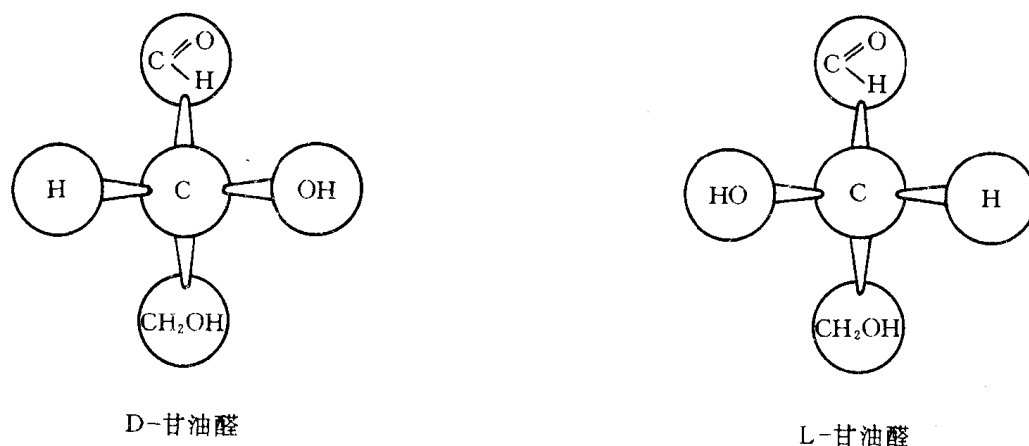


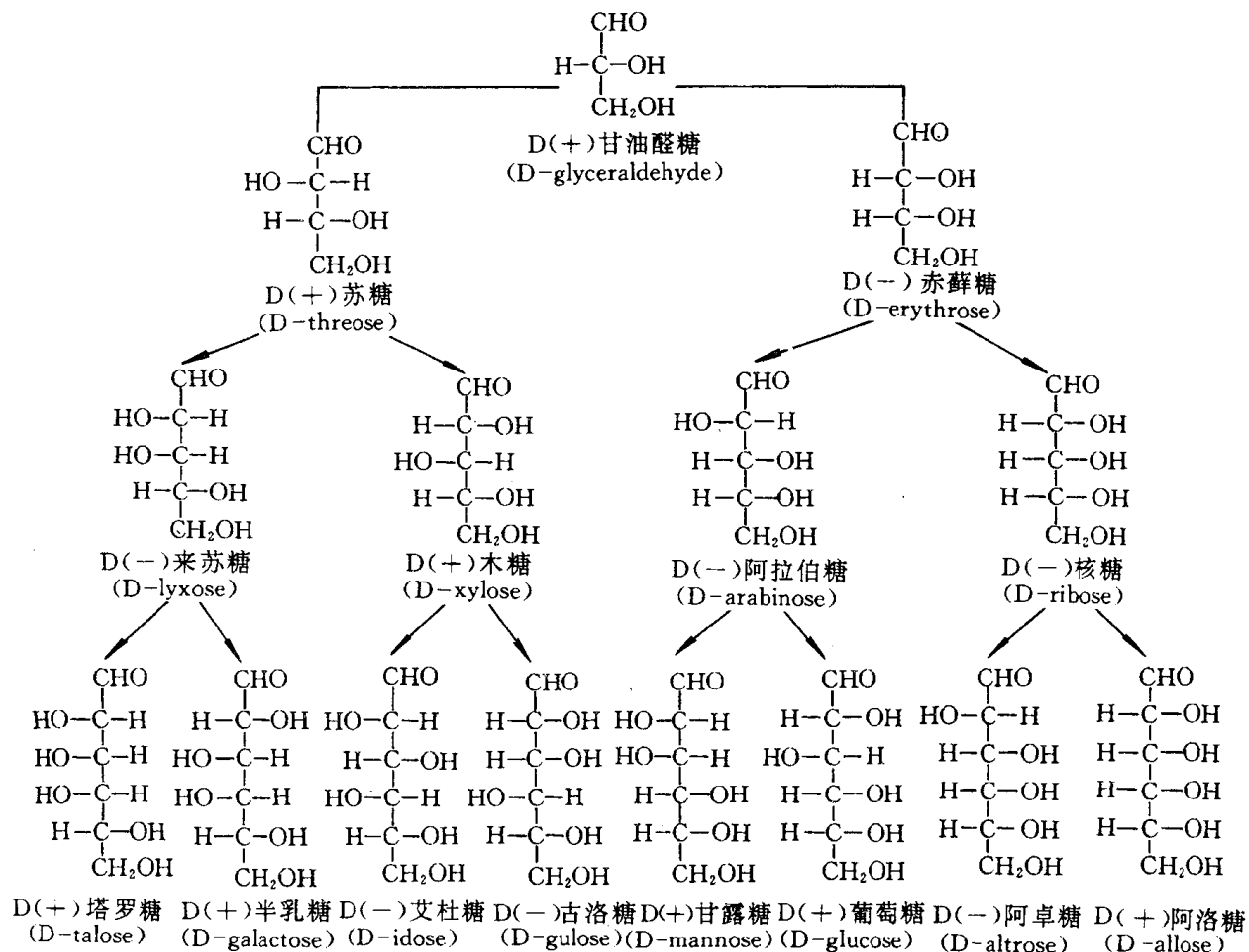
图 1-1 甘油醛的构型(对映体)

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-甘油醛亦可能衍生出同样数目的 L-型单糖。D- 与 L- 型单糖互为对映体。

思考题

1. 什么叫不对称碳原子?
2. 糖的 D- 和 L- 型是如何决定的?
3. 怎样理解单糖的对映体? 你能否设计一个简单模型来说明单糖的对映体?

由 D-甘油醛衍生的 $C_4 \sim C_6$ 单糖可表示如下:



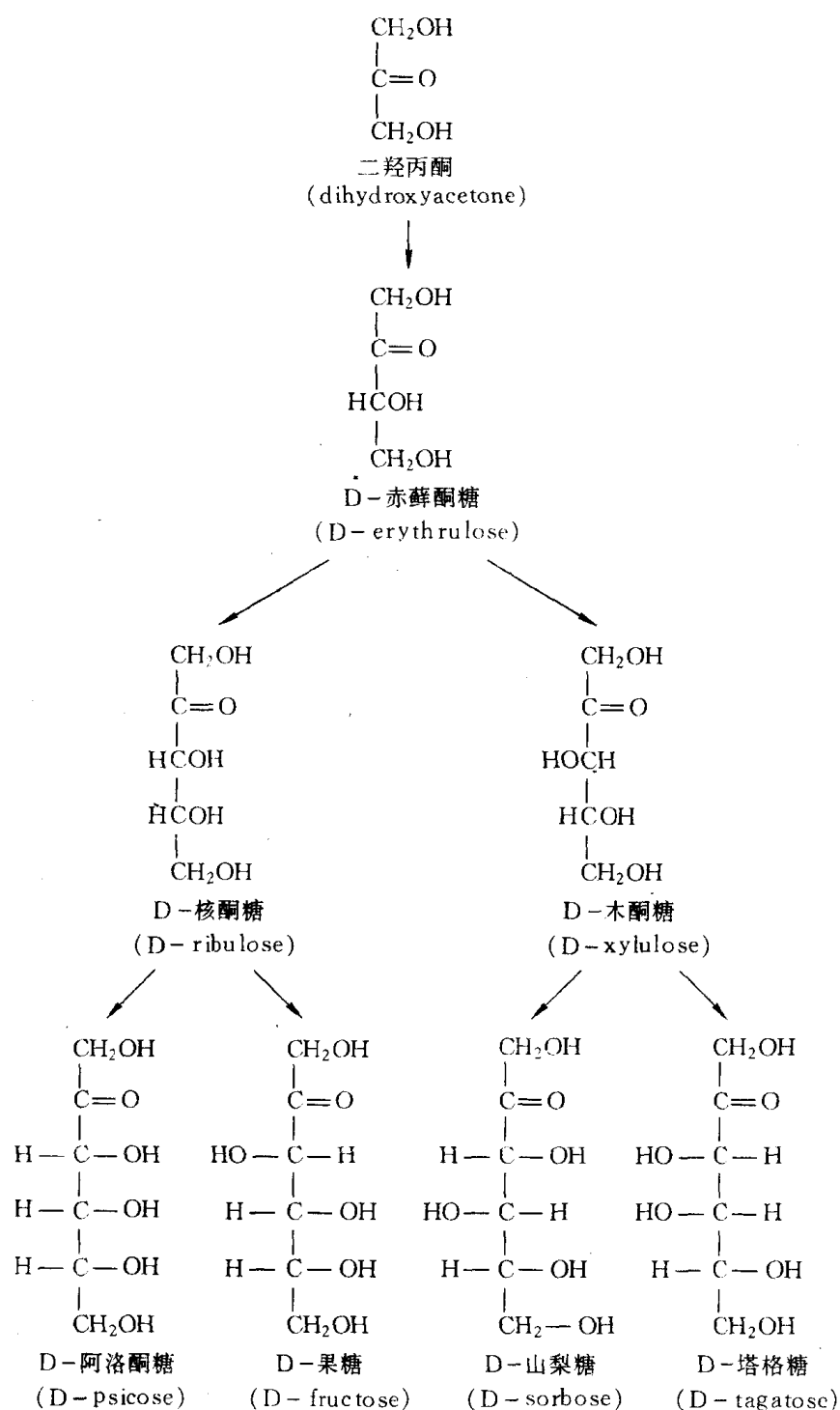
由 D-酮糖衍生的单糖如第 8 页所示。

同样, L-甘油醛糖和 L-甘油酮糖亦可衍生出相应的四碳、五碳和六碳单糖。

自然界中存在的醛糖有 D-甘油醛糖、L-阿拉伯糖、D-木糖、D-核糖、D-2-脱氧核糖、D-葡萄糖、D-甘露糖和 D-及 L-半乳糖等几种。

酮糖只有甘油酮糖(即二羟丙酮 $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CO}-\text{CH}_2\text{OH}$)、L-木酮糖、D-果糖、L-山梨糖和景天庚酮糖(sedoheptulose)存在于自然界。

D-葡萄糖、D-果糖与人类关系较密切。人体的血糖几乎全是 D-葡萄糖, 医疗上注射用的糖也是葡萄糖。D-果糖存在于水果中, 比葡萄糖甜。

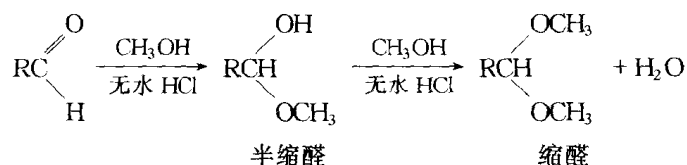


思考题 试写出 L-甘油醛糖和 L-甘油酮糖(二羟丙酮)可能衍生的单

1.2.1.2 环状结构 如果链状结构是单糖的唯一结构,则单糖中的醛糖本身就属醛类,它的性质应与一般醛类相同。但事实上,单糖的性质常与一般醛类有出入,不能用开链结构来解释单糖的这些性质。例如:

① 葡萄糖的醛基不如一般醛类的醛基活泼,也不如一般醛类能与 NaHSO_3 和 Schiff 试剂^①起加合作用。

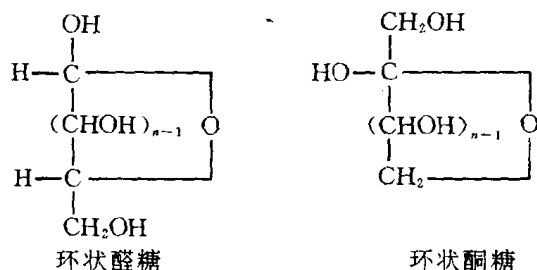
② 1 分子葡萄糖只能与 1 分子甲醇结合成甲基葡萄糖而不能如一般醛类分子能与 2 分子甲醇作用形成缩醛。



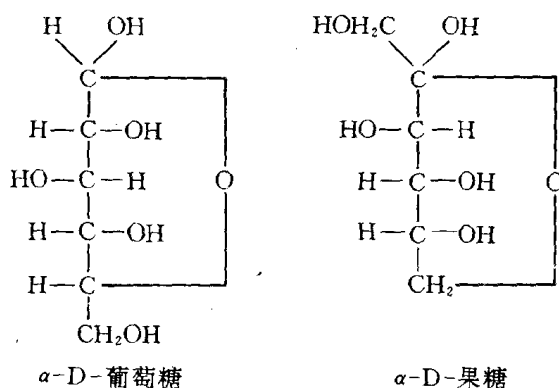
③ 一般醛类在水溶液中只有一个比旋光度,但新配制的葡萄糖水溶液的比旋光度随时间而改变。

这些性质都不是链状结构所能圆满解释的,但如葡萄糖有环状结构,即可迎刃而解。因为原来链状式中的醛基在环状式中变成了半缩醛基($-\text{CHOH}-$),所以不如自由醛基活泼。此外,环状式中第一碳原子的 H 与 OH 原子基团可以左右调换位置,故有一个以上的比旋度。

根据这些论点,化学家(A. A. Копп, B. Tollen, E. Fischer)先后认为单糖不仅有链状结构,同样还有环状结构。



因此,D-葡萄糖和 D-果糖的结构式又可写如下式:



(E. Fischer 式)

① Schiff 试剂是鉴定醛基的试剂。先加 H_2SO_3 于品红溶液使成为无色加合物,加入醛时,则 H_2SO_3 与醛的醛基结合,溶液呈紫红色。环状结构的糖分子因醛基性质不显著,故无此反应。

