

生物化学讲义



刘思职 編著

(增訂本)

科学出版社

455
0261

生物化学讲义

(增订本)

刘思职 編著

科学出版社

1964

內 容 簡 介

本书分十四章。第一章緒論略述生物化学的发展史。第二章的内容是糖、脂类及蛋白质的化学性质,特別强调蛋白质及核蛋白在生命过程中的重要性。第三、第四及第五章分別討論維生素、酶及激素的性质及作用,特別指出酶的分子結構与生物学功能的关系。第六、第七及第八章分別闡述糖、脂类及蛋白质的代謝过程,强调这三个代謝过程的彼此联系和相互制約。核蛋白在蛋白质生物合成过程中所起的模板作用是第八章的一个重要内容。在代謝过程中,水的生成、二氧化碳的来源以及能量的放出、儲藏及轉移則是第九及第十章的内容。第十一章討論水盐代謝。第十二及第十三章討論血及尿的化学組成以及代謝过程对于血尿組成的影响,特別指出呼吸过程对于血液組成的影响。第十四章的内容是几种重要組織的化学組成及其生理功能与生化反应的关系。可以作为中級教材或高等院校学生的参考书。

生 物 化 学 讲 义

(增訂本)

刘思职 編著

科学出版社出版

北京朝阳門大街117号

北京市书刊出版业营业許可証出字第061号

大众文化印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

1964年10月 第二版

1964年10月第八次印刷

印数:27,783—36,182

开本:850×1168 1/32

印張:7 3/4

字数:202,000

統一书号:13031·1963

本社书号:3021·13—4

定价:[科五]0.80元

序

这本书是 1956 年出版的。在出版后的七年中,生物化学的进展非常迅速,尤其在蛋白质、酶、物质代谢及生物氧化等方面。此次再版的主要修改是重新编写这些章节,并将“新陈代谢”一章扩充为“糖的代谢”、“脂类的代谢”及“蛋白质的代谢”等三章。“生物氧化”的内容较多,也将它改为独立的一章,放在物质代谢之后。其他章节只稍有修改。

编写这本书的最初目的是作为爱好生物化学者的初学读本或中级教材,所以选材取其精,叙述求其简。此次修订虽然增添了許多新的内容,但仍力求简明扼要,以保持原有的特点。这是编者的愿望,可能也是读者的要求。但编者的学识浅陋,主观愿望能否满足客观要求,尚未敢卜。望读者多加指正。

刘思职

1964 年 1 月,北京

目 录

第 一 章	緒論	1
第 二 章	糖、脂类及蛋白质	6
第 三 章	維生素	42
第 四 章	酶	53
第 五 章	激素	69
第 六 章	糖的代謝	77
第 七 章	脂类的代謝	103
第 八 章	蛋白质的代謝	122
第 九 章	生物氧化	163
第 十 章	能的代謝	183
第十一章	水及无机盐的代謝	195
第十二章	血液化学及呼吸化学	203
第十三章	尿的化学	221
第十四章	某些重要組織的生物化学	229

• v •

第一章 緒 論

一. 生物化学的对象及目的

生物化学的研究对象是生物体。生物体具有一定的物质組成；例如人体含水約 60—70%、含蛋白質約 15—18%、含脂类約 10—15%、含无机盐約 3—4%、含糖約 1—2%。这些組成物质不是杂乱无章地积聚成堆，而是有条不紊地构成許多可以体现生理机能的生物学結構；这些結構又借神經系統及体液的联系而成为一个有机整体。在这个整体中，許多互相联系的化学反应繼續不断地进行。例如在消化过程中，分子构造极为复杂的物质水解变为分子构造比較简单的物质；在同化过程中，分子构造比較简单的物质綜合成为分子构造比較复杂的体内物质；在生理氧化过程中，代謝物分子上的氢脫落而被氧化成水；脫羧反应所产生的二氧化碳則与血內的碱性离子起中和作用。这类例子很多，不胜枚举。因有这些反应在体内进行，生物才能借进食及排泄而与其周圍环境进行物质交换。物质交换亦称物质代謝。物质代謝也包括能的轉变，即食物所含的化学能經過代謝过程轉变成为可供生物体利用的能。因有物质代謝及能的轉变，生物才能生长、发育及繁殖。欲求生长健康，发育正常及繁殖旺盛，則必須調节这些反应的进度并管制这些反应的方向。欲求調节及管制这些反应，則必須了解这些反应的机制以及高級神經系統对于这些反应的支配。应用物理、化学及生物学方法，来了解生物体内的物质組成、生物体内的化学反应以及生物体与其环境的关系的科学就是生物化学。但生物化学的目的并不限于了解这些現象，而是在于利用已經了解的知識去調节体内的代謝过程，使其更能維持人体的健康，并去改造自然界，使其更适合于人类的生存。

二. 生物化学的发展

生物化学在近 60 年来才发展成为一门独立的科学。但由于物质生活的需要, 我们的祖先通过实践, 早在生产、饮食及医疗方面积累了丰富的经验; 其中很多都是关于生物化学的重要问题。例如我国的劳动人民早在公元前 22 世纪(夏禹)即知如何酿酒; 在公元前 12 世纪(周朝)即知如何制酱。酒和酱的酿造在今天看来就是酶学原理在实际问题上的应用。在食物营养方面, 我们的祖先也有很大的贡献。周礼已有关于食物治病的记载; 黄帝内经素问有“五谷为养, 五畜为益, 五果为助, 五菜为充”的记载; 唐朝孟诜所著的食疗本草及咎殷所著的食医心鉴都是饮食疗法的专书。食医心鉴并于每种疾病之后, 列举有治疗效能的食物及其烹调方法; 这部书与现代饮食学的食谱极为近似。在营养缺乏病及其饮食疗法方面, 我国亦早有记载。公元前 4 世纪, 庄子已记载瘰病, 即甲状腺肿。公元 4 世纪, 葛洪已知用含碘丰富的海藻治疗瘰病; 他又知用大豆治疗水肿病。公元 7 世纪, 孙思邈即详细记载脚气病的症状; 他知道这是一种食米区的病, 并按其症状将脚气分为肿、不肿及脚气入心三种。当时用以治疗脚气病的药, 如防风、车前子、桑叶、杏仁及大豆等, 经近代分析已知其中均含有维生素 B 类。他又知猪肝能治雀目(即夜盲)。孙氏所著银海精微中的苍蝇散及猪肝散等方也都以肝为主。夜盲症虽在欧洲早有报告, 但直至近代才发现其治疗方法。

我国用化学方法以研究生命现象的工作也起源很早, 炼丹术就是典型的例子。我国的方士为求长生不老, 最初提倡食草, 继则服石。但服石不独不能长生, 反可因营养不良而致病; 于是进而烧炼矿石, 企图获得延年益寿的仙丹。魏及晋时炼丹的风气极盛, 葛洪所著的抱朴子集当时方士炼丹术之大成, 其中详载汞、砷及硫等元素的炼制方法。炼丹的技术虽然被唯心的宇宙观所限制, 并且炼成的丹有毒而无益, 但企图用化学方法以寻求延年益寿之道则为事实。

根据上述,可見我們的祖先在生物化学方面早有成就,但从清以来,統治阶级为了巩固統治地位,对外采取閉关自守政策,断絕与世界各国的文化交流;对内則利誘学者钻研經书,視自然科学为异端邪說。近百年来,由于帝国主义者的文化侵略,以及解放前国民党反动派的摧殘,自然科学更为落后,生物化学也不能例外。在我国統治者摧殘科学的同时,欧洲的自然科学迅速发展。首先确定的是自然界的总規律,即物质及运动的不灭定律。在这个定律的基础上,拉瓦西氏(1743—1794)发现生物呼吸作用的本质。他証明氧在呼吸过程中被消耗,二氧化碳被排出,同时产生热能;他认为体温就是食物在体内被氧化的表現。

其次发展的是有机化合物的人工合成。过去的化学家认为有机化合物只能由有生命的动植物合成,人工的方法則无能为力。他們认为,有机化合物与无机化合物的基本区别即在于前者含有神秘的“生命力”。这种唯心的“生机論”观点被烏尔乐氏(1800—1882)的工作所推翻。他首先用人工方法由无机物合成动物体的代謝产物,尿素。从此以后,人們才真正摆脱生机論的束縛,并积极地用化学方法来研究过去认为不可知的“生命力”。

因为生物化学的研究对象主要是生物体内的有机物质及其化学轉变,所以烏尔乐氏合成尿素的成功不仅推翻了有机化学的发展障碍,同时也奠定了生物化学的发展基础。发展的过程可以分为三个阶段。第一阶段可以称为“叙述生物化学”。这一阶段的主要内容是研究生物体的化学組成。我国的生物化学家在血液成分的研究及食物成分的分析上多有貢獻。第二阶段可以称为“动态生物化学”。这一阶段的主要内容是研究生物体内組成物质的化学变化及其所含能量的轉变。在这一阶段中,生物化学家对于維生素及激素的生理功用及化学性质、各种酶的結晶及应用、新陈代谢的中間步驟、蛋白质在生命現象中的重要性等,都有惊人的研究成績。在这些方面,我国生物化学家也有很大的貢獻,例如蛋白质的变性學說、免疫反应机构及动物营养的改善等。这一阶段的工作成績虽然很大,但多以純酶、离体的器官或孤立的代謝反应作为研

究的对象,而没有考虑生物体内各种器官的相互关系,以及周围环境对于体内各种代谢过程的影响,所以对于生命的化学机制,缺乏整体的认识。这是动态生物化学的缺点。在发现这些缺点之后,同时由于其他生物科学的进展,生物化学的研究工作遂在动态生物化学的基础上,进而结合生理机能。这就是“机能生物化学”的阶段。这一阶段的主要工作是联系生理机能、神经管制以及内外环境的影响来研究生物整体的化学变化。这样的工作成果不独可以阐明物质代谢的生理意义,也可以为生理机能奠定物质基础。

以上三个阶段组成生物化学的必然发展过程;它们之间不是彼此孤立,而是互相联系。如果不先了解生物体的物质组成,就不可能研究物质的代谢动态;如果不先研究“动态生物化学”,“机能生物化学”也不可能单独发展。换言之,机能生物化学就是叙述生物化学及动态生物化学的更高发展阶段。

在上述三个阶段的发展过程中,生物化学不是单独前进,而是与化学及生理学密切联系。在19世纪末期,生物化学的问题主要是由化学(特别是有机化学)及生理学分别研究。只是在19世纪末和20世纪初,生物化学才成为一门独立的科学。它既不同于有机化学,也不同于生理学;而是此二种科学在发展过程中的必然产物。虽然生物化学不是有机化学,但它与有机化学有极密切的联系。只有应用有机化学的分析与合成方法才能研究生物体的化学成分。因此“叙述生物化学”的发展与有机化学及分析化学的发展是不可分割的。近年来,由于物理化学的卓越成就,物质代谢的研究工作已经广泛应用同位素的追迹方法及其他物理化学的技术。此外,由物理学、化学及生物学联合发展起来的物理生物化学或生物物理学乃是生物科学领域中最年轻而且最有前途的科学。

三. 生物化学的内容

在动物方面,参加生命反应的主要物质是糖、脂类、蛋白质、氧气及水;其中蛋白质又是生命的物质基础。糖、脂类及蛋白质的化学组成不同,生理功用也因之而异。所以讨论这三大类物质的化

学性质是本书的第一部分内容。

在实验室内，糖、脂类及蛋白质的化学性质相当稳定，不容易起化学变化。若欲将其水解成为分子较小的物质，或氧化成为二氧化碳及水，则必须用比较高的温度及相当强的试剂。但在动物体内，这三类物质的水解及氧化则极易进行；不必用比体温更高的温度，也不必用比体液更强的酸或碱。其原因是，动物体内含有各种各样的酶，来催促这些物质在体内进行化学变化。酶的作用又与维生素有密切关系；现在我们知道许多种维生素都是酶的辅酶的主要组成成分。酶的作用又与激素有密切关系。所以讨论酶、维生素及激素的性质及作用是本书的第二部分内容。

食物经消化及吸收后，才进入血液。进入血液的物质不是原来食进的多糖（如淀粉），而是由多糖水解生成的单糖（如葡萄糖）；不是原来食进的食物脂类，而是由渗过肠膜的甘油及脂肪酸合成的体脂；不是原来食进的食物蛋白质，而是由蛋白质水解而成的氨基酸。这些物质被吸收进入血液后，进行一连串的物质代谢反应；其中一部分变为二氧化碳及水而排出体外，另一部分则合成糖原、脂类及蛋白质而存在体内。在代谢反应过程中，葡萄糖、脂肪酸及氨基酸的代谢步骤，彼此不同；但在整个代谢机构上，则互相联系。并且这些由消化道吸收进入血液的物质，与体内原有的同类物质，构成一种替换及互变的动态平衡。所以讨论代谢过程及其平衡现象是本书的第三部分内容。

消化作用产生的葡萄糖、脂肪酸及氨基酸，不断地被吸收入血液及其他组织，也不断地在动物体内起代谢变化；所以在血液内，这些物质及其代谢产物的浓度，相当恒定。血液成分的恒定是维持动物健康的基本条件；所以讨论血液的成分及性质是本书的第四部分内容。在呼吸的过程中，氧气的吸进及二氧化碳的排出，都能影响血液的成分，所以呼吸化学与血液化学合并讨论。

代谢反应所产生的废物，特别是蛋白质代谢所产生的废物，大部分经血液运至肾脏，随尿排出体外。尿的成分和代谢反应及血液成分都有密切关系，所以讨论尿的化学是本书的最后部分。

第二章 糖、脂类及蛋白质

一. 糖

(一)糖的一般性质及分类 糖是一类天然有机物,由植物的光合作用生成。它是人类主食的主要成分,也是构成生物体的一种成分。根据化学结构式,它是一类多羟基醛或多羟基酮,即含有很多羟基($-\text{OH}$)的醛类($-\text{CHO}$)或酮类($=\text{CO}$)化合物。它的化学实验式是 $\text{C}_x(\text{H}_2\text{O})_y$; 因此实验式含碳,并且它所含的氢与氧的比例为 2:1, 与 H_2O 相同,所以也称为碳水化合物;其实碳和水并不能直接化合成糖。

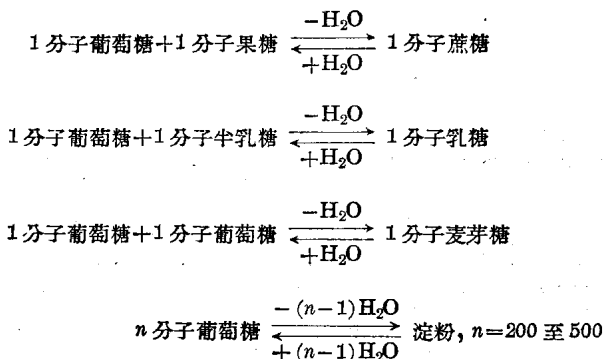
(1) 单糖 上述实验式 $\text{C}_x(\text{H}_2\text{O})_y$ 的 x 及 y 的值可以相等,也可以不同。当 x 及 y 的值等于 3 或高于 3 时, $\text{C}_x(\text{H}_2\text{O})_y$ 才有糖的一般性质,如甜味等。 x 及 y 均等于 3 的糖,即含 3 个碳原子的糖,称为丙糖;等于 4 的称为丁糖;等于 5 的称为戊糖;等于 6 的称为己糖。丙糖、丁糖、戊糖及己糖又总称为单糖。在生物化学上,重要的单糖有: (1)甘油醛、(2)二羟基丙酮、(3)核糖、(4)脱氧核糖、(5)葡萄糖、(6)果糖及(7)半乳糖。(1)及(2)是丙糖;(3)及(4)是戊糖;(5)、(6)及(7)是己糖。

(2) 二糖 二个单糖分子脱水缩合而成的糖称为二糖。在生物化学上,重要的二糖有: (1)蔗糖、(2)乳糖及(3)麦芽糖。这三种二糖都是由两个己糖分子脱去一分子 H_2O 缩合而成,所以它们的实验式是 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 。

(3) 多糖 多数单糖分子脱水缩合而成的糖称为多糖。在生物化学上,重要的多糖有: (1)植物淀粉、(2)肝糖原及(3)肌糖原。肝糖原及肌糖原也称为动物淀粉。动物及植物淀粉都是由多数葡萄糖分子缩合而成,其实验式是 $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_x$, x 的值约为 200

至 500。

(4) 单糖、二糖及多糖的組成关系：



根据上述化学方程式，二分子或二分子以上单糖脱水縮合即成二糖或多糖；二糖及多糖加水分解，則成为单糖。所以葡萄糖、果糖及半乳糖是构成蔗糖、乳糖、麦芽糖及淀粉的基本物质。

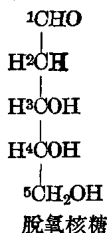
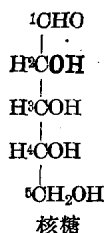
(二) 生物化学上重要的糖 根据上述，在生物化学上重要的糖計有：甘油醛、二羥丙酮、核糖、脫氧核糖、葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、乳糖、麦芽糖、植物及动物淀粉等十二种。現将其分述如下：

(1) 甘油醛及二羥丙酮 甘油醛及二羥丙酮的化学結構式是



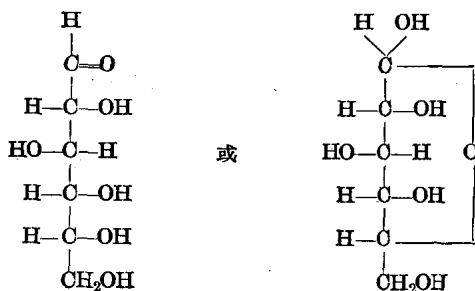
根据上列二式，可見甘油醛及二羥丙酮都是丙糖， $\text{C}_3(\text{H}_2\text{O})_3$ 。甘油醛含有醛基 ($-\text{CHO}$)，所以是一种多羥醛；二羥丙酮含有酮基 ($=\text{O}$)，所以是一种多羥酮。这两种丙糖都是己糖在体内的代謝产物。

(2) 核糖及脫氧核糖 核糖及脫氧核糖的化学結構式是

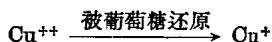


根据上列二式,可见核糖及脱氧核糖都是含五个碳原子的戊糖;各具有醛基 ($-\text{CHO}$), 所以也都是多羟醛。这两种戊糖的区别在于第 2 个碳原子上的结构;核糖的第 [2] 个碳原子连有羟基 ($-\text{OH}$), 脱氧核糖的第 [2] 个碳原子则不与羟基 ($-\text{OH}$) 相联。换言之,与核糖相比,脱氧核糖在第 [2] 个碳原子上少一个氧,所以常称为 [2] 脱氧核糖。核糖及脱氧核糖都是核酸的组成成分;核酸的化学性质及生物学重要性以后还要讨论。

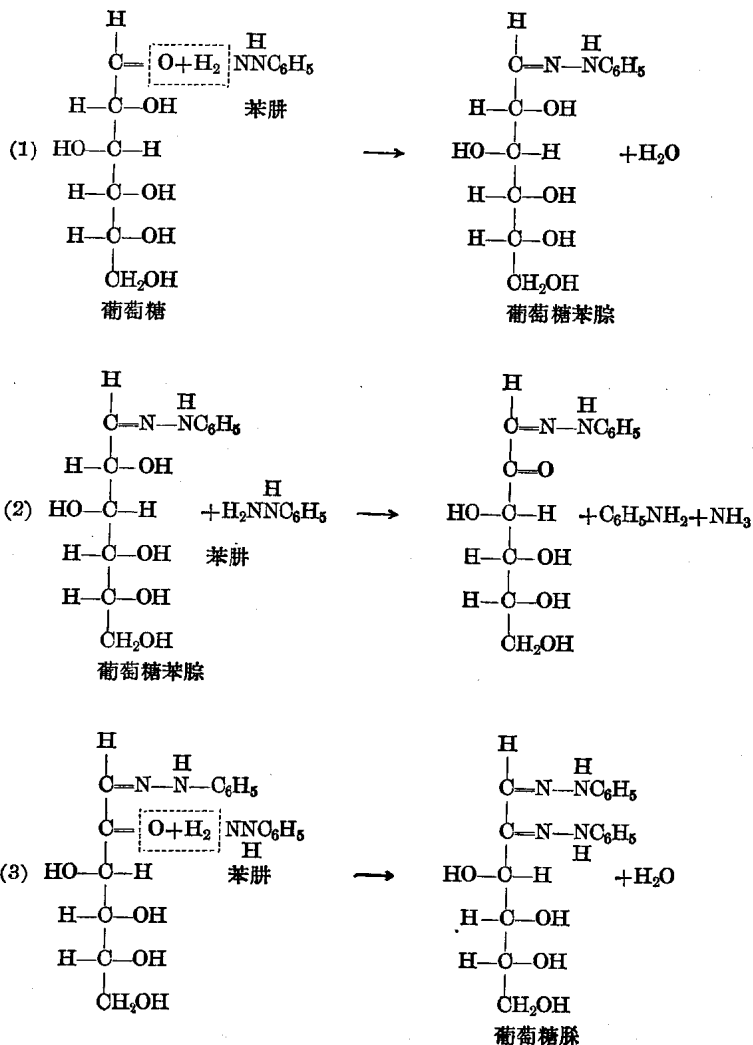
(3) 葡萄糖 葡萄糖的化学结构式 (注意下式 H 及 OH 的排列次序及方位) 是



以上二种结构式所含的 C、H 及 O 的数量完全相同,都可以用来代表葡萄糖。左边的结构式较为简单,但不能代表葡萄糖的一切化学性质;右边的结构式虽嫌繁杂,但比较合理。左边结构式的最上端是醛基 ($-\text{CHO}$)。凡是含有醛基的糖称为醛糖,所以葡萄糖是一种醛糖。醛基有还原性质,能将铜 Cu^{++} 离子还原成为亚铜 Cu^+ 离子。在还原的过程中,蓝色的铜化合物溶液变成红色的亚铜化合物沉淀。

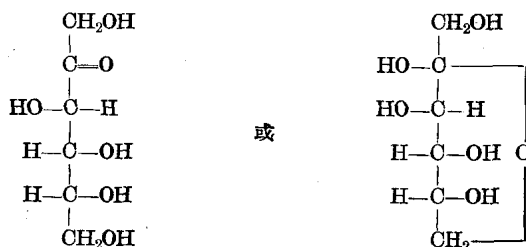


葡萄糖也可以同苯肼結合，成为一种很容易鉴别的黄色結晶物质，称为葡萄糖脎。葡萄糖和苯肼的結合程序可以分为三个步驟如下：



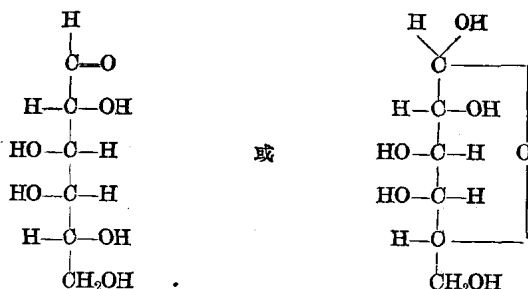
葡萄糖的还原性质 ($\text{Cu}^{++} \xrightarrow{\text{还原}} \text{Cu}^+$) 及与苯肼的结合作用, 常被应用来测定血及尿中葡萄糖的含量。葡萄糖的含量愈高, 被还原的 Cu^{++} 亦愈多; 测定被还原的 Cu^{++} 量, 就可以间接计算葡萄糖的含量。临床上测定血糖及尿糖的方法都是依据这个原理。

(4) 果糖 果糖的化学结构式 (注意下式 H 及 OH 的排列次序及方位) 是



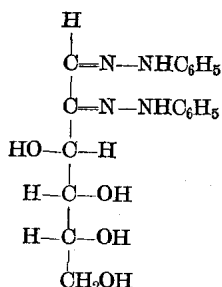
左边的结构式比较简单, 右边的结构式则较为合理。左边结构式的上端是酮基 ($=\text{CO}$); 凡是含有酮基的糖称为酮糖, 所以果糖是一种酮糖。果糖可以将 Cu^{++} 还原成为 Cu^+ , 也可以同苯肼结合成为脎。

(5) 半乳糖 半乳糖的化学结构式 (注意下式 H 及 OH 的排列次序及方位) 是

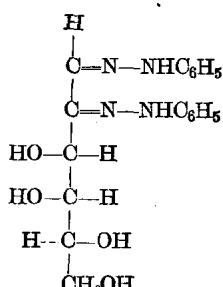


半乳糖分子含有醛基 ($-\text{CHO}$), 所以是一种醛糖。它可以将 Cu^{++} 还原成为 Cu^+ , 也可以同苯肼结合成为脎。

葡萄糖、果糖及半乳糖与苯肼的結合作用,都是在結構式上端的二个 O 原子上进行。所以这三种单糖所构成的脎,其分子上端二个 O 原子的結構式相同。葡萄糖和果糖又在其原有下端四个 O 原子的結構式上完全相同,所以这二种单糖所构成的脎,結構式完全相同;結晶形态及熔点也完全相同。半乳糖的下端四个 O 原子与 H 与 OH 的连接方式与葡萄糖及果糖者不同(注意 H 及 OH 的排列次序及方位),所以半乳糖所构成的脎和葡萄糖脎及果糖脎不同,結晶形态及熔点也不同。

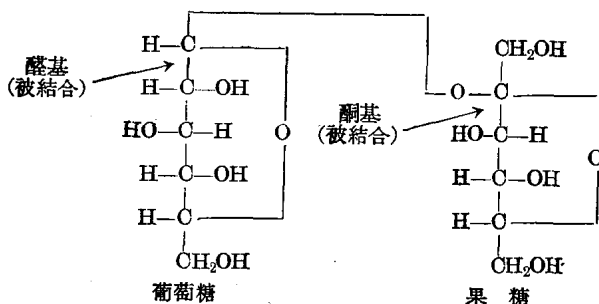


葡萄糖脎或果糖脎



半乳糖脎

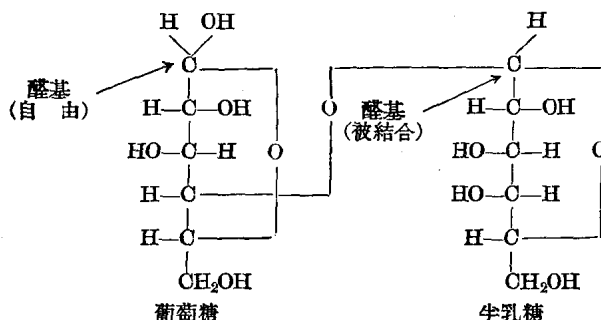
(6) 蔗糖 蔗糖是由一分子葡萄糖及一分子果糖脫水縮合而成;縮合的部位是在葡萄糖的醛基和果糖的酮基上。



上式葡萄糖的醛基和果糖的酮基互相結合,脫去一分子 H_2O ,因而失去原有的还原性质;所以蔗糖不能将 Cu^{++} 还原成为 Cu^+ ,也不能和苯肼結合成为脎。若将醛基和酮基的結合鍵水解分开,蔗糖就变成有还原性质的葡萄糖及果糖。所以将蔗糖溶液和苯肼溶

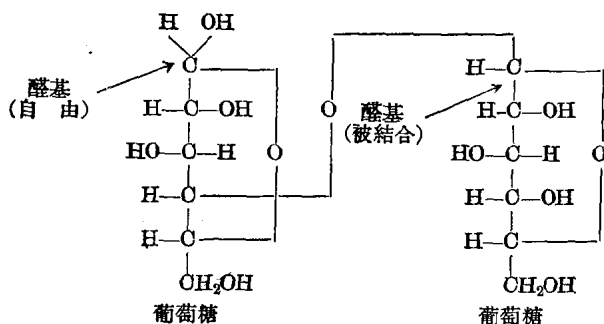
液混合,加热一、二小时后,也可能得到葡萄糖脎(即果糖脎);这是因为蔗糖被水解的缘故。

(7) 乳糖 乳糖是由一分子葡萄糖和一分子半乳糖脱水缩合而成的二糖:



上式半乳糖的醛基被结合,失去还原性质,而葡萄糖的醛基则仍然自由存在;所以乳糖具有还原性质,能将 Cu^{++} 还原成为 Cu^+ ,也可以同苯肼结合成为脎。

(8) 麦芽糖 麦芽糖是由二个葡萄糖分子脱水缩合而成的二糖:



上式右边葡萄糖的醛基被结合,左边葡萄糖的醛基则仍自由存在,所以麦芽糖有还原性质,也可以和苯肼结合成为脎。麦芽糖脎和乳糖脎的化学结构式不同,所以结晶形态不同,熔点也不同。

(9) 淀粉 淀粉分为植物淀粉及动物淀粉二类。植物淀粉存