



生命科学辅导丛书 **之**
名·师·点·拨·系·列

生物化学

李翠凤 赵立青 编著
李登文 王 勇

名师点拨系列



科学出版社
www.sciencep.com

生命科学辅导丛书之名师点拨系列

生物化学

李翠凤 赵立青 编著
李登文 王 勇

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是为帮助学生理解和掌握生物化学教学中的重点和难点,复习和巩固课堂所学知识,同时也为备战考研的同学提供一本全面的生物化学复习教材而编写的。作者根据多年积累的教学经验,以目前国内广泛使用的生物化学教材为蓝本,并参考国外流行的相关教材,从核心概念、知识要点、试题精选和参考答案四个方面进行编写,并在书后附有15套模拟试题和部分参考答案与提示。本书内容全面、丰富,层次分明,针对性强,在知识的深度和广度上适合学生的课后复习巩固和考研需要。

本书可作为高等院校生命科学、医学、农学各专业及相关专业教师 and 学生的教学参考书,同时也是一本系统的考研辅导用书。

图书在版编目(CIP)数据

生物化学/李翠凤等编著. —北京:科学出版社,2009

(生命科学辅导丛书·名师点拨系列)

ISBN 978-7-03-024649-3

I. 生… II. 李… III. 生物化学—高等学校—教学参考资料 IV. Q5

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第083864号

责任编辑:王国栋 周 辉 王国华/责任校对:陈玉凤

责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年6月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009年6月第一次印刷 印张:25 3/4

印数:1—4 000 字数:510 000

定价:38.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈文林〉)

前 言

“生物化学”是生命科学各学科、专业学生的一门重要基础课。进入 20 世纪以来,随着生命科学的深入发展,“生物化学”的内容越来越丰富,涉及的范围越来越广泛,学习的难度也越来越大,加之学时有限,给教师教学和学生带来一定的困难。为帮助学生学习和掌握生物化学课程各章节的重点、难点,加深对生物化学基本原理与基本概念的理解,我们以教学大纲为基础,以目前国内广泛使用的生物化学教材为蓝本,并参考了国外流行的相关教材编写了本书。

全书共分 21 章,包括绪论,糖类化学,脂类化学,蛋白质化学,酶化学,维生素与辅酶,核酸、生物膜,激素与细胞信号转导,代谢引论,糖代谢,生物氧化,光合作用,脂类代谢,氨基酸代谢,核苷酸代谢,DNA 的复制、修复和重组,RNA 代谢,蛋白质的生物合成与修饰,基因表达的调节,重组 DNA 技术与基因组学等。其中第二至六章由李登文副教授编写;第八至十二章、第十四至十六章由李翠凤教授编写;第十三章由王勇教授编写;第一、第七、第十七至二十一章由赵立青教授编写。每章中包含有核心概念、知识要点、试题精选和参考答案四项内容。归纳总结了各章的基本概念和重点、难点,并精选了多种习题以达到使读者掌握各知识点和融会贯通的目的。试题形式多样,内容丰富,难易适中。包括名词解释、填空题、选择题、判断是非题、简答题与计算题、综合分析与应用题,并附有答案。书后附有 15 套模拟试题及部分参考答案与提示。

在本书编写过程中,作者力求严谨、准确,并做了极大努力,但书中错误和不足在所难免,恳请读者批评与指正。

感谢南开大学给予的编写经费资助。

编 者

2009 年 2 月于南开园

目 录

前言

第一章 绪论	1
【核心概念】	1
【知识要点】	1
【试题精选】	4
【参考答案】	5
第二章 糖类化学	7
【核心概念】	7
【知识要点】	7
【试题精选】	14
【参考答案】	18
第三章 脂类化学	20
【核心概念】	20
【知识要点】	20
【试题精选】	29
【参考答案】	32
第四章 蛋白质化学	34
【核心概念】	34
【知识要点】	36
【试题精选】	54
【参考答案】	60
第五章 酶化学	64
【核心概念】	64
【知识要点】	65
【试题精选】	75
【参考答案】	81
第六章 维生素与辅酶	84
【核心概念】	84
【知识要点】	84
【试题精选】	89
【参考答案】	93

第七章 核酸	96
【核心概念】	96
【知识要点】	97
【试题精选】	106
【参考答案】	112
第八章 生物膜	115
【核心概念】	115
【知识要点】	117
【试题精选】	121
【参考答案】	126
第九章 激素与细胞信号转导	129
【核心概念】	129
【知识要点】	131
【试题精选】	137
【参考答案】	145
第十章 代谢引论	150
【核心概念】	150
【知识要点】	150
【试题精选】	152
【参考答案】	153
第十一章 糖代谢	154
【核心概念】	154
【知识要点】	155
【试题精选】	165
【参考答案】	173
第十二章 生物氧化	178
【核心概念】	178
【知识要点】	180
【试题精选】	183
【参考答案】	190
第十三章 光合作用	194
【核心概念】	194
【知识要点】	195
【试题精选】	205
【参考答案】	213
第十四章 脂类代谢	217

【核心概念】	217
【知识要点】	219
【试题精选】	223
【参考答案】	233
第十五章 氨基酸代谢	237
【核心概念】	237
【知识要点】	238
【试题精选】	241
【参考答案】	247
第十六章 核苷酸代谢	250
【核心概念】	250
【知识要点】	250
【试题精选】	253
【参考答案】	257
第十七章 DNA 的复制、修复和重组	260
【核心概念】	260
【知识要点】	261
【试题精选】	270
【参考答案】	276
第十八章 RNA 代谢	279
【核心概念】	279
【知识要点】	280
【试题精选】	288
【参考答案】	293
第十九章 蛋白质的生物合成与修饰	296
【核心概念】	296
【知识要点】	297
【试题精选】	305
【参考答案】	311
第二十章 基因表达的调节	314
【核心概念】	314
【知识要点】	315
【试题精选】	325
【参考答案】	331
第二十一章 重组 DNA 技术与基因组学	334
【核心概念】	334

【知识要点】	335
【试题精选】	343
【参考答案】	347
附录一 模拟试题	350
模拟试题 (1)	350
模拟试题 (2)	352
模拟试题 (3)	355
模拟试题 (4)	357
模拟试题 (5)	360
模拟试题 (6)	362
模拟试题 (7)	365
模拟试题 (8)	368
模拟试题 (9)	371
模拟试题 (10)	373
模拟试题 (11)	376
模拟试题 (12)	379
模拟试题 (13)	381
模拟试题 (14)	384
模拟试题 (15)	386
附录二 参考答案	390
模拟试题 (1)	390
模拟试题 (2)	391
模拟试题 (3)	392
模拟试题 (4)	393
模拟试题 (5)	395
模拟试题 (6)	396
模拟试题 (7)	396
模拟试题 (8)	397
模型试题 (9)	398
模拟试题 (10)	399
模拟试题 (11)	400
模拟试题 (12)	401
模拟试题 (13)	401
模拟试题 (14)	402
模拟试题 (15)	403

第一章 绪 论

重点提示：生物化学的基本概念（掌握），生物化学的研究对象、内容、范围（熟悉），生物体的独特性质（了解）。

【核心概念】

（1）生物化学（biochemistry）——以化学的理论和方法作为主要手段研究生物体的化学本质及生命活动过程中的化学变化规律的科学。

（2）相对分子质量（relative molecular mass）——物质分子或特定单元的平均质量与核素碳-12（相对原子质量为 12 的碳原子）相对原子质量的 $1/12$ 之比，为无量纲量。

（3）分子质量（molecular mass）——指分子的实际质量，常用道尔顿作为单位。

（4）构型（configuration）——立体异构体中取代原子或基团在空间的取向。构型的改变必须有共价键的断裂。

（5）构象（conformation）——分子内各原子或基团之间的相互立体关系。构象改变是由于单键旋转而产生的，无共价键变化。

（6）官能团（functional group）——生物分子中化学性质比较活泼，容易发生化学反应的原子或基团。

（7）新陈代谢（metabolism）——营养物质在机体内所经历的一切化学变化总称为新陈代谢。

（8）手性碳原子（chiral carbon atom）——一个碳原子与四个不同基团相连时称手性碳原子。

【知识要点】

一、生物化学的含义、任务和主要内容

1. 生物化学的含义

生物化学（biochemistry）即生命的化学，是生物学与化学相结合的边缘科学，是以化学的理论和方法作为主要手段研究生物体的化学本质及生命活动过程中的化学变化规律的科学。

2. 生物体的独特性质

生物化学是研究生命的化学，那么什么是生命？虽然很难给生命下一个准确的定义，但所有的生物有机体都具有如下主要特征：有高度的化学复杂性和精细

的微观组织；有从环境中吸收、转化和使用能量的系统；有精细的自我复制和自组装能力；能感觉到环境的改变并有作出反应的能力；生物体内部的化学成分及它们之间有规律的相互作用导致独特的生物功能；生物是进化的。

3. 生物化学的任务及内容

生物化学的主要任务是阐述构成生物体的基本物质（如糖类、脂类、蛋白质、核酸）的结构、性质及其在生命活动（如生长、分化、生殖、运动等）过程中的变化规律。即用统一的术语解释生命的多种形式，在分子水平上描述所有生物体共同的结构、机制和化学过程，了解支配所有不同生命形式的基本原理。

生物化学的研究内容主要包括如下三个方面：

第一，生物体的化学组成及生物分子的结构和功能。生物体也是由非生命元素（C、H、O、N）组成的，生物体中还含有一些微量元素。C、H、O、N怎样构成生物体内的大分子化合物（糖类、脂类、蛋白质、核酸）；这些生物大分子如何组装形成特定的三维结构；结构与功能之间有什么关系；蛋白质怎样行使功能；酶催化的分子机制；受体怎样特异性识别、结合信息分子，并将信息由胞外传达到胞内等都是这一部分的研究内容。

第二，物质、能量代谢及其调节。生物体内各种物质在机体内都不是孤立存在的，彼此之间有着错综复杂的关系。而且这些物质都不是静止不变的，而是不停地发生着化学变化。生物体自外界摄取营养物质，以维持其生命活动。这些物质进入体内转变为生物体自身的分子以及生命活动所需的能量。营养物质在机体内所经历的一切化学变化总称为新陈代谢（metabolism）。新陈代谢是生命的基本特征之一。新陈代谢在细胞中进行，细胞中进行的一系列化学反应即生化反应。生物化学讨论的主要是生命物质分解、合成、相互转化以及其中涉及的能量变化。此外，生物机体的新陈代谢是一个完整统一的体系，机体内存在着精密的调节机制协调各路代谢反应以使机体能够适应其内在和外在的复杂的环境变化，这种调节的机制也是生物化学所关心的。

第三，遗传信息的表达及调控。DNA 是大多数生物体内的遗传物质。作为遗传物质必须具备复制和表达的特性。DNA 怎样自体复制；怎样通过转录出 RNA，再指导蛋白质的合成；上述基因表达的过程如何控制等都是生物化学研究的主要内容。

二、一些生物化学的基本概念

1. 相对分子质量、分子质量及其单位

相对分子质量（relative molecular mass）是物质分子或特定单元的平均质量与核素碳-12（相对原子质量为 12 的碳原子）相对原子质量的 $1/12$ 之比，等于分子中原子的相对原子质量之和。由于是相对值，所以为无量纲量，单位为 1，

用 M_r 表示。

分子质量 (molecular mass) 指分子的实际质量, 而非比值。国际单位制中的单位为 kg, 但由于分子质量很小, 所以常用道尔顿 (Dalton, Da) 作为分子质量的单位, 大分子 (如蛋白质、核酸) 的分子质量通常使用 kDa。

2. 构型与构象

构型 (configuration) 指立体异构体中取代原子或基团在空间的取向。一个碳原子与四个不同基团相连时称手性碳原子。含有 1 个手性碳原子的分子只可能有两种不同的空间排列, 这两种不同的排列称为不同的构型。构型的改变必须有共价键的断裂。例如, 乳酸 ($\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$) 分子的中心碳原子连接有 4 个不同基团, 存在两种异构体, 它们互为实物和镜像, 称为对映异构体。这类异构体一般都具有旋光性, 属于旋光异构。

手性分子构型表示法有 L/D 系统和 R/S 系统两种。生物化学研究中习惯采用前者, 按系统命名原则, 将分子的主链竖向排列, 氧化度高的碳原子或序号为 1 的碳原子放在上方, 氧化度低的碳原子放在下方, 写出费歇尔投影式。规定: 分子的手性碳处于纸面, 手性碳的四个价键和所结合的原子或基团, 两个指向纸面前方, 用横线表示, 两个指向纸面后方, 用竖线表示。通常以甘油醛的两个异构体为标准, 人为规定羟基在右侧的为 D-构型, 在左侧是 L-构型, 而以括号中的 +、- 分别表示右旋、左旋。构型与旋光方向没有对应关系。具有多个手性碳原子的分子, 按碳链最下端手性碳的构型, 将它们分为 D-、L-两种构型系列。在糖和氨基酸等的命名中, 普遍采用 L-、D-构型表示法。

此外, 由于双键和环不能自由旋转也可引起构型的异构, 这种异构通常称为几何异构或顺反异构 (如顺丁二烯和反丁二烯)。

分子的构型与其化学反应性能有相当密切的关系。构型测定的方法有 X 射线衍射法、旋光谱、酶的拆分、化学方法等。

构象 (conformation) 指分子内各原子或基团之间的相互立体关系。构象改变是由于单键旋转而产生的, 无共价键变化。构象改变不会改变分子的光学活性。

在有机化合物分子中, 由 C—C 单键旋转而产生的原子或基团在空间排列的无数特定的形象称为构象, 这种由 C—C 单键旋转而产生的异构体称为旋转异构体或构象异构体。如 1, 2-二氯乙烷。当 C—C 单键旋转时, 可以有无数个构象异构体, 极限构象有顺叠、顺错、反错和反叠等。在顺叠构象中, 两个碳上连接的氯原子和氢原子之间相距最近, 产生强排斥作用, 内能最高, 属该分子最不稳定的构象; 在反叠构象中, 氯原子和氢原子之间相距最远, 相互间排斥力最小, 内能最低, 是该分子最稳定的构象。顺错构象和反错构象的稳定性介于这两种构象之间, 它们的稳定性次序为: 反叠 > 顺错 > 反错 > 顺叠。分子的各种构象异构体并不是平均分布的, 在室温下总是以其最稳定的构象即优势构象为主要的存在形式, 如果偏离优势构象就会产生扭转张力。

生物分子构象 (biomacro molecule conformation) 是其完成特定生物功能的基础。如蛋白质的生物功能依赖其三维结构, 这是由它的氨基酸序列在蛋白质折叠过程中决定的。生物医学研究表明, 蛋白质空间构象的异常变化会引起疾病的发生, 即所谓的蛋白质构象病 (protein conformational disease, PCD), 如阿尔茨海默病、唐氏综合征、老年系统性淀粉样变性、家族性淀粉样变性神经障碍、家族性心脏淀粉样变性等。

3. 生物分子中的作用力

生物体系有两类不同的作用力: 一类是生物元素借以结合成为生物分子的强作用力——共价键; 另一类是决定生物分子高层次结构和生物分子之间借以相互识别、结合、作用的弱作用力——非共价相互作用。

氨基酸、核苷酸、单糖等基础生命有机分子中各原子的相互作用属于共价键 (covalent bond), 生物大分子蛋白质分子中氨基酸残基间的肽键、蛋白质分子中半胱氨酸残基间的二硫键、核酸分子中核苷酸残基间的磷酸二酯键等也属于共价键。生物分子中常见的共价键的键能一般在 $300\sim 800\text{kJ/mol}$, 键长多在 $0.1\sim 0.18\text{nm}$ 。

生物分子的中非共价作用是生物高层次结构的主要作用力, 包括氢键、离子相互作用、疏水相互作用和范德华力等。这些力属于弱作用力, 其强度比共价键低一两个数量级。这些力单独作用时, 的确很弱, 极不稳定, 但在生物高层次结构中, 许多弱作用力协同作用, 往往起到决定生物大分子构象的作用。

4. 碳架是生物分子结构的基础

碳架是生物分子的基本骨架, 由碳、氢构成。生物分子碳架的大小组成不一, 几何形状结构各异, 具有丰富的多样性。碳架结构有线形的, 有分支形的, 也有环形的; 有饱和的, 也有不饱和的。

5. 官能团限定分子的性质

官能团 (functional group) 是生物分子中化学性质比较活泼、容易发生化学反应的原子或基团。含有相同官能团的分子, 具有类似的性质。官能团限定生物分子的主要性质。然而, 在整个分子中, 某一官能团的性质总要受到分子其他部分电荷效应和立体效应的影响。任何一种分子的具体性质, 都是其整体结构的反应。生物分子中的主要官能团有羟基 (hydroxyl group)、羰基 (carbonyl group)、羧基 (carboxyl group)、氨基 (amino group)、酰胺基 (amido group)、巯基 (sulfhydryl group) 等。

【试题精选】

一、名词解释

1. 生物化学

2. 相对分子质量

3. 分子质量

4. 构型

5. 构象

6. 官能团

7. 新陈代谢

8. 手性碳原子

二、填空题

1. 生物化学研究的内容包括_____、_____、_____。
2. 构型测定的方法有_____、_____、_____、_____。
3. 生物分子的中非共价作用主要有_____、_____、_____、_____。
4. 以甘油醛的两个异构体为标准,人为规定羟基在右侧的为_____构型,在左侧是_____构型。
5. 生物体中主要的化学元素有_____、_____、_____、_____。

三、判断是非题

1. 相对分子质量是分子质量的缩写。
2. 生物分子的碳架都是直线形的。
3. 手性碳原子连接有 4 个不同基团,存在两种异构体,它们互为实物和镜像。
4. 1, 2-二氯乙烷有 2 对立体异构体。
5. 生物体主要从环境中吸收能量,但一般不向环境中释放能量。
6. 官能团限定生物分子的主要性质。含有相同官能团的分子,具有类似的性质。
7. 二硫键是蛋白质分子中非常重要的非共价键。
8. 与磷酸二酯键相比氢键为弱作用力。
9. 当 C—C 单键旋转时,可以有无数个构象异构体。
10. 生物分子构象是其完成特定生物功能的基础。

四、简答题与计算题

1. 举例说明相对分子质量与分子质量的区别。
2. 简述生物有机体的主要特征。
3. 简述构型与构象的区别。

【参考答案】

一、名词解释

答案见核心概念

和功能,物质、能量代谢及其调节,遗传信息的表达及调控

二、填空题

1. 生物体的化学组成及生物分子的结构

2. X 射线衍射法,旋光谱,酶的拆分,化学方法

3. 氢键,离子相互作用,疏水相互作用,

范德华力

4. D-, L-

5. C, H, O, N

三、判断是非题

1. 错 2. 错 3. 对 4. 错 5. 错
6. 对 7. 错 8. 对 9. 对 10. 对

四、简答题与计算题

1. 相对分子质量是物质分子或特定单元的平均质量与核素碳-12（相对原子质量为 12 的碳原子）相对原子质量的 $1/12$ 之比，等于分子中原子的相对原子质量之和。由于是相对值，所以为无量纲量，单位为 1，用 M_r 表示。分子质量指分子的实际质量，而非比值。国际单位制中的单位为 kg，但由于分子质量很小，所以常用道尔顿（Dalton, Da）作为分子质量的单位，大分子（如蛋白质、核酸）

的分子质量通常使用 kDa。例如，二氧化硫（ SO_2 ）的相对分子质量为 64.06，但分子质量为 $0.064\ 06\ (\text{kg/mol}) \div \text{阿伏伽德罗常量}$ ($1.063\ 74 \times 10^{23}\ \text{kg}$) = 64.06Da。

2. 生物有机体的主要特征是：有高度的化学复杂性和精细的微观组织；有从环境中吸收、转化和使用能量的系统；有精细的自我复制和自组装能力；能感觉到环境的改变并有作出反应的能力；生物体内部的化学成分及它们之间有规律的相互作用导致独特的生物功能；生物是进化的。

3. 构象指分子内各原子或基团之间的相互立体关系。构象改变是由于单键旋转而产生，无共价键变化。构型指立体异构体中取代原子或基团在空间的取向。一个碳原子与四个不同基团相连时，只可能有两种不同的空间排列，这两种不同的排列称为不同的构型。构型的改变必须有共价键的断裂。

第二章 糖类化学

重点提示：糖类的分类、单糖的结构、单糖的性质、常见的二糖（掌握），糖类的化学概念、糖类的生物学作用、多糖的分类（熟悉），结合糖的种类和结构（了解）。

【核心概念】

(1) 单糖 (monosaccharide) —— 不能被水解成更小分子的糖类，如葡萄糖、果糖和核糖等，也可称为简单糖。

(2) 寡糖 (oligosaccharide) —— 水解能生成 2~20 个单糖分子的糖，包括的类别很多，二糖在水解时可生成 2 分子单糖，如麦芽糖、蔗糖等；三糖水解时产生 3 分子单糖，如棉籽糖以及四糖、五糖、六糖等。

(3) 多糖 (polysaccharide) —— 水解时产生 20 个以上单糖分子的糖类。

(4) 复合糖 (glycoconjugate) —— 糖类与蛋白质、脂质等生物分子形成的共价结合物如糖蛋白、蛋白聚糖和糖脂等，也称为糖复合物。

(5) 变旋 (mutarotation) —— 许多单糖，在新配置的溶液中会发生旋光度的改变，这种现象称为变旋现象。

【知识要点】

一、糖类概论

糖类是四大类生物大分子之一，广泛地存在于生物界。糖类物质是地球上数量最多的一类有机化合物，具有重要的作用。

(一) 糖类的元素组成和化学概念

糖类化合物的元素组成：大多数糖类只由碳、氢、氧三种元素构成，其分子通式为 $C_n(H_2O)_m$ 。由于糖分子含有不对称 C 原子，因此糖具有旋光性，不对称 C 原子上相连的基团或原子可有两种互为镜像的空间排列方式，会形成旋光异构体。一般旋光性化合物构型的参照物是甘油醛，其一-OH 在右边的定为 D-型，在左边的定为 L-型。(+) 表示使偏振光振动面向右旋转，(-) 表示向左旋转。

糖类的化学本质：单糖是多羟醛、多羟酮或其衍生物。多糖则是单糖缩合而成的多聚物。

(二) 糖类化合物的生物学作用

(1) 作为生物能源。糖在生物体内通过生物氧化释放能量，并作为体内储能的主要物质，如淀粉、糖原。

(2) 作为其他物质生物合成的碳源。有些糖是重要的中间代谢物，为其他生物大分子合成提供碳骨架。

(3) 作为生物体的结构成分。糖类是构成植物细胞壁、细菌细胞壁、昆虫外骨骼的重要成分。

(4) 糖蛋白、糖脂等具有细胞信号识别分子、免疫活性等多种生理活性。

(三) 糖类的分类

糖类物质根据聚合度分为：

单糖：不能被水解的糖。

寡糖：水解能生成 2~20 个单糖分子的糖。

多糖：能水解生成 20 个以上单糖的高分子化合物，包括同多糖 (homopolysaccharide)，即由一种单糖或单糖衍生物组成的多糖；杂多糖 (heteropolysaccharide)，即由多种单糖或单糖衍生物组成的多糖。

复合糖 (糖复合物)：糖类与蛋白质、脂质等生物分子形成的共价结合物。

单糖	按功能基分	醛糖 (多羟基醛)：葡萄糖、半乳糖、(脱氧)核糖
		酮糖 (多羟基酮)：果糖
	按碳原子数目分	三碳糖或丙糖、四碳糖或丁糖、五碳糖或戊糖、六碳糖或己糖
寡糖	双糖或二糖 (麦芽糖、乳糖、蔗糖)、三糖 (棉籽糖)、四糖、五糖等	
多糖	同多糖：淀粉、糖原、纤维素、右旋糖苷	
	杂多糖：透明质酸、硫酸软骨素、半纤维素	

二、单糖

单糖的结构一般为含有 3~6 个碳原子的多羟基醛或多羟基酮。最简单的单糖是甘油醛和二羟基丙酮，其他的醛糖可看作是甘油醛的醛基碳下面插入 C 而得来的，同样各种酮糖可看作是二羟基丙酮的衍生物。单糖中最重要的是葡萄糖、果糖、半乳糖等。

(一) 单糖的结构

1. 单糖的链状结构

葡萄糖的分子式为 $C_6H_{12}O_6$ ，含五个羟基和一个醛基，是己醛糖。其中 C-2、C-3、C-4 和 C-5 是 4 个不同的手性碳原子，有 16 个 ($2^4=16$) 旋光异构体，D-葡萄糖是其中之一。果糖的分子式也是 $C_6H_{12}O_6$ ，是己酮糖，C-3、C-4 和 C-5

是3个不同的手性碳原子,有8个($2^3=8$)异构体。存在于自然界中的葡萄糖,四个手性碳原子除C-3上的—OH在左边外,其他的手性碳原子上的—OH都在右边。

单糖构型的确定仍沿用D/L法。这种方法只考虑与羰基相距最远的一个手性碳的构型,此手性碳上的羟基在右边的为D-型,在左边的为L-型。自然界存在的单糖多属D-型糖。

2. 葡萄糖的环状结构和变旋现象

从乙醇中结晶的葡萄糖,熔点 146°C ,它的新配溶液的 $[\alpha]_{\text{D}}$ 为 $+112^{\circ}$;而从吡啶中结晶出来的葡萄糖,熔点 150°C ,新配溶液的 $[\alpha]_{\text{D}}$ 为 $+18.7^{\circ}$,溶液在放置过程中,比旋光度逐渐变化,达到 $+52.17^{\circ}$ 以后维持不变。单糖在新配置的溶液中会发生旋光度的改变,这种现象称为变旋现象,变旋是由于分子立体结构发生变化的结果,这是因为在葡萄糖分子内部可以形成环状的半缩醛。成环后,原来的羰基碳原子(C-1)变成了手性碳原子,C-1上新形成的半缩醛羟基在空间的排布方式有两种可能。半缩醛羟基与决定单糖构型的羟基(C-5上的羟基)在碳链同侧的叫做 α 型,在异侧的称为 β 型。 α 型和 β 型的不同点是C-1上的构型,因此又称为异头物(端基异构体)。

葡萄糖的变旋现象,就是由于开链结构与环状结构形成平衡体系过程中的比旋光度变化所引起的。在新配置的葡萄糖溶液中, α -D-葡萄糖、链状结构、 β -D-葡萄糖三种异构体相互转变达到平衡,形成一个互变异构平衡体系,比旋光度不再改变。不仅葡萄糖有变旋现象,凡能形成环状结构的单糖,都会产生变旋现象。

(二) 单糖物理性质

单糖都是无色晶体,味甜,有吸湿性。极易溶于水,微溶于乙醇,不溶于乙醚、丙酮等极性有机溶剂。单糖有旋光性,其溶液有变旋现象。

(三) 单糖化学性质

单糖的化学反应或以环式结构进行,或以开链结构进行。主要参与反应的功能基团包括:醛基/伯醇基氧化成羧基;羰基还原成醇基;羰基的加成反应;羰基的异构化;异头羟基的成苷反应;羟基的成酯、成醚、脱水、氨基化、脱氧等。

1. 异构化(在弱碱液作用下)

单糖稳定于烯酸,当用稀碱液处理时,单糖发生分子内重排,以烯二醇为中间物互相转化。D-果糖、D-甘露糖和D-葡萄糖的C-3、C-4、C-5和C-6的结构完全相同,只有C-1和C-2的结构不同,当它们的C-1、C-2的结构变成烯醇式时,其结构完全相同。因此,D-葡萄糖、D-果糖或D-甘露糖在稀碱作用下,都