

21 世纪高等学校教材

生物化学

李盛贤 刘松梅 赵丹丹 编著

哈 尔 滨 工 业 大 学 出 版 社

21 世纪高等学校教材

生物化学

李盛贤 刘松梅 赵丹丹 编 著

哈尔滨工业大学出版社

哈尔滨

内 容 简 介

本书是作者在十余年生物化学教学与科研工作经验基础上,结合国内外生物化学理论和实验的新发展、新技术撰写而成的。本书在内容上由浅入深、循序渐进,并适当扩展学生的应用视野,使学生掌握生物化学的发展趋势。

本书共 13 章,主要包括糖类、脂质和生物膜、蛋白质化学、核酸化学、酶学、维生素和辅酶、生物氧化、糖代谢、脂类代谢、蛋白质和氨基酸的代谢、核酸代谢、蛋白质的生物合成、细胞代谢和基因表达的调控。每章的章末均有内容小结和习题。为便于双语教学和读者掌握生物化学英文专业词汇,在全书的最后列出了英汉生化名词对照。

本书为生物化学课教材,可供综合性大学、师范院校和农(林)院校生物类本科生、专科生教学使用,也可供研究生及相关专业的教师和科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

生物化学/李盛贤,刘松梅,赵丹丹编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005.9

ISBN 7-5603-2185-2

I. 生… II. 李… 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(2005)第 091072 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 25.5 字数 620 千字

版 次 2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5603-2185-2/Q·8

印 数 1~2 000

定 价 38.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

序

20 世纪 70 年代,“由于生物化学、微生物学和遗传学的融合,生命科学进入了分子生物学时代”,本世纪人类已经步入了新的生命科学时代。

在生物技术、现代信息技术、新能源技术、新材料技术等发展腾飞的 21 世纪,人类预期在生命科学的发展上将有崭新的突破。现代生命科学发展的历史表明:从基因工程、蛋白质工程乃至途径工程;从人类基因组计划到人类蛋白质组计划;从海洋生物技术到宇航生物技术;从生物芯片技术乃至自动生化药物筛选技术;从基因组学乃至蛋白质组学的进步,几乎无一不是与基础领域生物化学的理论和手段的发展密切相关。生物化学已成为生命科学的带头学科,生物化学课程是世界各类大学生物科学相关专业的骨干课程。

现代生物化学无论是在广度上还是在深度上都发生了并且继续发生着巨大的变化。因此,如何选材写出一本适合相关院校、相关专业的教科书是一项重要课题。

李盛贤教授从事生物化学教学与科研多年,治学严谨,勤于钻研,勇于创新,积累了丰富的教学经验和科研经验。李盛贤与他的课程和科研小组多年就有撰写一本方便学生使用的高等学校生物化学教材的愿望,为此参考了国内外大量的生物化学教材并积累了相关资料。本书在百花争艳的生物化学教材中充分体现自己的特点:既适合本校生物技术、生物工程、生物制药和生物法鉴等专业教学的要求,还可供相关综合类大学生物科学学科使用;既注重理论阐述的深入浅出,又对重点章、节和段落施以浓墨重彩;既保持生物化学体系的完整统一,又依专业特点适当或简或详。此外,对本书的图表、化学结构式均作了精细的选择、制作和加工,以期使学生易于理解和掌握。总之,教材的作者注重了知识的先进性和科学性、系统性与完整性,内容取舍适当,语言流畅,图文并茂。

该书仅 60 余万字,但反映出作者在生物化学方面的功夫和功力。我愿意向各位生物化学同行和生物学科的年轻学生推荐这本教材,故为之序。



2005 年 7 月 16 日

前 言

生物化学是生物学科的主要基础课,是生物学科各分支学科的枢纽课程。生物化学历经 100 多年的发展,特别是近 50 多年的发展,已成为生物学科的主体框架课程。在生物化学、微生物学、遗传学和生物物理学等基础上发展起来的分子生物学中,生物化学的基础作用越来越明显。1943 年青霉素工业化的研发成功,1947 年前后出现的生物化学工程,显示了生物学、化学和工程学结合形成的技术科学对社会经济效益所产生的巨大作用。

本书共分 13 章,包括糖类、脂质和生物膜、蛋白质化学、核酸化学、酶学、维生素和辅酶、生物氧化、糖代谢、脂类代谢、蛋白质和氨基酸的代谢、核酸代谢、蛋白质的生物合成、细胞代谢和基因表达的调控。

本书参考了国内外近 20 年出版的主要生物化学教材和生物化学实验教材,旨在使本书能更好地满足生物技术、生物工程、食品工程等相关专业的学生需求。我们借鉴了我国生物化学的开拓学者留下的至今仍有影响力的吴宪、窦维廉、林国镛、侯祥川、梁之彦、李缙之、鲁宝重、周启源、张昌颖、沈昭文、王应睐、李亮、任邦哲、许鹏程、叶蕙兰、郑集、沈同、李建武等先生的编著和翻译的生物化学教材和相关著作,激励我们严谨于生物化学的教学和研究。

本书力求在内容编排上由浅入深、循序渐进;在语言上通俗易懂、简明扼要;在知识体系上以近代生物化学和分子生物学的基础知识为主体,以应用生物工艺技术为实例,并适当扩展学生的应用视野,使其了解和掌握生物化学的发展趋势。

本书由从事生物化学教学和从事生物化学实验教学多年的有丰富经验的教师撰写。

本书撰写者分工为:李盛贤(第 3 章、第 8 章、第 10 章、第 12 章、生化名词英汉对照);刘松梅(第 1 章、第 2 章);赵丹丹(第 7 章、第 9 章、第 13 章);李秀凉(第 5 章);贾树彪(第 6 章);康宏(第 4 章、第 11 章)。其中,李盛贤和贾树彪负责全书内容的策划、组稿和定稿,李盛贤审阅全书各章的初成稿,贾树彪负责全书结构式和图表的审定,吴国峰负责全书整体编排。这些老师都付出了大量的时间和精力。

本书在撰写过程中征求了多所高校同行们的意见,得到从事生物化学和分子生物学教学多年的老先生的指导和帮助,在此深表感谢。生命科学学院和校教材建设指导委员对编写本书的申请和立项给予帮助,周东坡教授、平文祥教授和李海英教授给予很大支持,张妍妍、张鑫鑫、鲁珊、杨光、杨帆、迟双会、范菲菲、孟博、乌云其木格、慕兴华等作了很多的基础工作,在此一并表示真诚的感谢。

希望本书能满足生物工程、生物技术、食品生物工程、生物制药等专业师生的需要。

尽管在撰写过程中对书稿做了多次审定,但由于水平有限,时间较仓促,不足和疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2005 年 7 月于哈尔滨

目 录

绪论	1
第1章 糖类	3
1.1 概述	3
1.1.1 糖类的组成与定义	3
1.1.2 糖的命名与分类	3
1.1.3 糖的生物学功能	4
1.2 单糖的结构和性质	5
1.2.1 单糖的物理性质	5
1.2.2 单糖的结构	6
1.2.3 单糖的化学性质	11
1.3 寡糖的结构和性质	17
1.3.1 二糖	17
1.3.2 三糖	19
1.3.3 四糖、五糖和六糖	19
1.4 多糖的结构和性质	20
1.4.1 同聚多糖	20
1.4.2 杂聚多糖	25
1.5 复合糖	30
1.5.1 糖蛋白	30
1.5.2 蛋白聚糖	31
本章小结	32
习题	33
第2章 脂质和生物膜	34
2.1 概述	34
2.1.1 脂质的概念	34
2.1.2 脂质的分类	34
2.1.3 脂质的生物学功能	35
2.2 单脂的结构和性质	35
2.2.1 油脂	35
2.2.2 蜡	42
2.3 复脂的结构和性质	43
2.3.1 磷脂	43
2.3.2 糖脂	47
2.3.3 脂蛋白	49
2.4 其他脂质的结构和性质	50

2.4.1 固醇类	50
2.4.2 萜类	55
2.5 脂质的分离提取与鉴定	57
2.6 生物膜	58
2.6.1 生物膜的组成	58
2.6.2 生物膜中分子间的作用力	60
2.6.3 生物膜的主要特征	61
2.6.4 生物膜分子的结构模型	61
2.6.5 生物膜的功能	62
本章小结	62
习题	64
第3章 蛋白质化学	65
3.1 蛋白质概论	65
3.1.1 蛋白质的化学组成	65
3.1.2 蛋白质的分类	65
3.1.3 蛋白质的多样生物学功能	67
3.2 蛋白质的基本结构单位——氨基酸	68
3.2.1 氨基酸的结构特征	69
3.2.2 氨基酸的分类	71
3.2.3 氨基酸的性质	74
3.3 肽	82
3.3.1 肽的概念	82
3.3.2 天然活性肽	84
3.4 蛋白质的分子结构	86
3.4.1 蛋白质的共价结构	86
3.4.2 蛋白质的空间结构	95
3.4.3 蛋白质结构与功能的关系	108
3.5 蛋白质的性质	115
3.5.1 蛋白质分子的大小	115
3.5.2 两性解离和等电点	120
3.5.3 胶体性质	121
3.5.4 沉淀作用	122
3.5.5 变性作用	122
3.5.6 颜色反应	123
3.6 蛋白质及氨基酸的分离纯化与测定	124
3.6.1 分离纯化的一般原则及基本步骤	124
3.6.2 分离纯化的基本方法	125
3.6.3 氨基酸混合物的分离	130
3.6.4 蛋白质及氨基酸的分析测定	136
本章小结	137

习题	139
第4章 核酸化学	141
4.1 概述	141
4.1.1 核酸的发现和研究的简史	141
4.1.2 核酸的种类和分布	142
4.2 核苷酸	144
4.3 DNA 的结构	146
4.3.1 核酸中核苷酸的连接方式	147
4.3.2 碱基组成的 Chargaff 规则	147
4.3.3 DNA 的一级结构	148
4.3.4 DNA 的高级结构	148
4.4 RNA 的结构	153
4.4.1 RNA 的一级结构	153
4.4.2 RNA 的高级结构	155
4.5 核酸的性质	158
4.5.1 核酸的溶解性	158
4.5.2 核酸的水解	159
4.5.3 核酸的酸碱性	161
4.5.4 紫外吸收	165
4.5.5 变性与复性	166
4.5.6 核酸的分子杂交技术	168
4.6 核酸的分离、纯化和鉴定	169
4.6.1 DNA 的分离	169
4.6.2 RNA 的分离	169
4.6.3 核酸含量测定法	170
本章小结	172
习题	173
第5章 酶学	174
5.1 概述	174
5.1.1 酶的概念	175
5.1.2 酶的催化特性	177
5.1.3 酶的组成及分类	177
5.2 酶的结构与功能的关系	180
5.2.1 酶的一级结构与催化功能的关系	180
5.2.2 酶的活性与其高级结构的关系	181
5.3 酶催化反应的机制	185
5.3.1 酶促反应的本质	185
5.3.2 酶反应机制	186
5.4 酶促反应动力学	189
5.4.1 酶促反应的基本动力学	190

5.4.2 多底物的酶促反应动力学	195
5.4.3 酶浓度、温度、pH 值、激活剂对酶反应速率的影响	198
5.4.4 抑制剂对酶反应速率的影响	201
5.5 酶的制备	206
5.5.1 酶的制备及纯化	206
5.5.2 酶活性的测定	210
本章小结	212
习题	213
第 6 章 维生素和辅酶	214
6.1 人体营养要素和维生素	214
6.2 水溶性维生素与辅酶	215
6.3 脂溶性维生素	222
6.4 体液平衡	226
本章小结	227
习题	228
第 7 章 生物氧化	230
7.1 概述	230
7.2 线粒体氧化体系	233
7.3 ATP 的生成、转移、储存和利用	238
7.4 非线粒体氧化体系	244
本章小结	246
习题	246
第 8 章 糖代谢	248
8.1 概述	248
8.2 糖的分解代谢	251
8.2.1 酵解途径(EMP 途径)	251
8.2.2 三羧酸循环(TCA)	256
8.2.3 磷酸己糖途径(HMS)	263
8.3 糖原的生物合成和葡萄糖异生作用	267
8.3.1 糖原的生物合成	267
8.3.2 葡萄糖异生作用	270
8.4 糖代谢在工业上的应用	272
本章小结	275
习题	276
第 9 章 脂类代谢	277
9.1 概述	277
9.2 脂肪的分解代谢	279
9.2.1 甘油代谢	279
9.2.2 脂肪酸的氧化	279
9.2.3 酮体代谢	283

9.3 脂肪的合成代谢	285
9.4 磷脂代谢	291
9.5 胆固醇代谢	294
9.6 脂类代谢调控	296
9.7 脂质代谢在工业上的应用	297
本章小结	298
习题	299
第 10 章 蛋白质和氨基酸的代谢	300
10.1 概述	300
10.2 氨基酸的分解代谢	302
10.2.1 氨基酸的脱氨基作用	303
10.2.2 氨基酸脱羧基	306
10.2.3 氨的代谢	306
10.2.4 α -酮酸的代谢	310
10.3 氨基酸的生物合成概论	310
本章小结	313
习题	313
第 11 章 核酸代谢	314
11.1 核酸降解及核苷酸分解和合成代谢	314
11.2 DNA 复制	323
11.2.1 参与 DNA 复制的酶	323
11.2.2 DNA 的复制方式	328
11.2.3 DNA 复制过程	330
11.2.4 DNA 的突变	332
11.3 RNA 的生物合成	335
11.3.1 DNA 指导的 RNA 聚合酶	335
11.3.2 基因转录的过程	337
11.3.3 基因转录的方式	340
11.3.4 RNA 的转录后加工	341
本章小结	343
习题	343
第 12 章 蛋白质的生物合成	345
12.1 遗传密码与核糖体	345
12.2 蛋白质合成及转运	348
12.2.1 氨基酸的激活——氨酰 tRNA 的合成	348
12.2.2 在核糖体上合成肽链的过程	349
12.2.3 蛋白质的运输及翻译后修饰	353
12.3 蛋白质生物合成的抑制物	357
本章小结	358
习题	358

第 13 章 细胞代谢和基因表达的调控	360
13.1 概述	360
13.2 细胞水平的调控	362
13.2.1 酶活性的调节	362
13.2.2 酶量的调节	364
13.2.3 区域化分布的调节	366
13.3 体液水平的调控	366
13.3.1 激素的分类	367
13.3.2 受体的分类	368
13.4 整体水平的调控	372
13.5 基因表达的调控	373
13.5.1 原核生物基因表达的调控	374
13.5.2 真核生物基因表达的调控——多级调节	375
本章小结	379
习题	380
英汉生化名词对照	381
参考文献	394

绪 论

(一) 生物化学的涵义和研究内容

生物化学是用化学的理论和作为主要手段来研究生物的学科,因此又称生命的化学。

生物化学的涵义是应用物理、化学、生物学的理论和作为主要手段来研究生物体内各种物质的化学本质及其化学变化规律,通过对这些规律的了解,以期认识和阐明生命现象的本质,并将这些知识应用于工业、农业、医学等实践领域,为人类的物质文明和精神文明建设服务。

生物化学研究构成生物机体包括糖类、脂类、蛋白质、核酸、酶、维生素、激素、抗生素等各种物质的组成、结构、性质及生物学功能;研究生物体内各种物质的化学变化及与外界进行物质和能量交换的规律,即物质代谢与能量代谢;研究重要生命物质的结构与功能的关系,以及环境对机体代谢的影响,从分子水平来阐明生命现象的机制和规律。

(二) 生物化学与其他生命科学的关系

1. 生物化学是分子水平的生物学

生物化学的起源虽然可以追溯到一个多世纪前,但生物化学的真正发展始于 20 世纪 40 年代末、50 年代初。由于对构成生物体的基础物质——蛋白质和核酸的分子结构得到初步证明,便促进了生物化学的快速发展,产生了一门崭新的生命学科——分子生物学,从而使人们对生命的本质和生物进化的认识向前迈进了一大步。一个新品种的产生,用经典遗传学的方法选育,需要几年、几十年,而应用现代分子遗传学方法可以在几天、几小时产生一个新品种。可见,生命科学深入到分子水平,使人们无论对生命的认识,还是在实践上的应用,其深度和广度都是前所未有的。

2. 生物化学是现代生物学科的基础和前沿

生物化学既是现代各门生物学科的基础,又是其发展的前沿。说其是基础,是因为生物学已发展到分子水平,必须借助于生物化学的理论和方法来探讨各种生命现象,包括生长、繁殖、遗传、变异、生理、病理、生命起源和进化等,因此它是各学科的共同语言;说其是前沿,是因为各生物学科的进一步发展要取得更大的进展或突破,在很大的程度上有赖于生物化学研究进展和所取得的成就。事实上,没有生物化学对核酸和蛋白质结构与功能的阐明,就不会有遗传密码、信息传递途径的发现以及今天的分子生物学和分子遗传学。没有生物化学对限制性核酸内切酶的发现及提取分离纯化,也就没有今天的生物工程。由此可见,生物化学与各门生物学科的关系是非常密切的,在生物学科中占有重要的地位。

以生物化学、生物物理学、微生物学和遗传学为基础发展起来的分子生物学,其主要任务是从分子水平更深入阐明生命现象和生物学规律。因此广义而言,生物化学研究的蛋白质和核酸等生物大分子的结构和功能,也纳入了分子生物学的研究范畴,这就很难将生物化学与分子生物学分开。正因为如此,国际生物化学协会(The International Union of Biochemistry)现已改名为国际生物化学与分子生物学协会(The International Union of Biochemistry and Molecular Biology),中国生物化学学会也已更名为中国生物化学与分子生物学学会。

(三) 生物化学与现代农业

1. 生物化学对现代化工、轻工、食品、医药工业的渗透

生物化学理论的发展和应用上的验证,不仅在生命现象及生物进化等理论问题上成就卓著,而且随着研究生物化学技术和设备的进步,不断地应用于工业、农业、医学等实践领域,在现代发酵工业、现代农业和现代医学中起着越来越重要的作用。

由于许多酶的分离纯化,它们正逐步应用于皮革、纺织、日化、酿造等轻化工工业。蛋白质

(酶)、糖类、脂类、核酸等生命物质的研究成就及应用,已使传统食品、医药工业发生了根本性的变化。例如,基因工程和蛋白质工程可以利用细菌来生产胰岛素、生长素、干扰素等重要药物,利用生物化学的手段可以不断研制具有高效性、长效性的新药,或者改造现有药物的疗效,减少毒副作用;食品生物化学作为开发食品资源、研究食品工艺、质量管理和贮藏技术的理论基础,必将促进新型食品生产的大发展,以满足人们对营养的需要,适应人们的生理特点和感官要求。

2. 酶工程与自动化

早在 4000 多年前,人类已开始掌握酿酒、制酱、制饴技术,所用的曲(酵母)又称“媒”,这就是最早将“酶”用于生产食品。所谓酶工程就是起源于酶的生产与应用。酶作为生物催化剂,因其具有专一性强、催化效率高、作用条件温和等特点,已在食品、轻工、化工、医药、环保、能源等领域广泛应用。

酶在工业上的应用将会导致工业上某些领域的革命。根据酶作用条件温和的特点,酶反应所要求的设备就不需要一般化工设备所要求的耐温、耐压、耐酸碱,加上酶反应的专一性和高效性,所设计的酶反应器就较易做到生产的程序化和自动化,较易得到高产量和高纯度的产品。

(四) 21 世纪的生物化学发展趋势

20 世纪后半叶生物学的发展迅速,生物化学与分子生物学的发展使整个生命科学进入分子时代,开创了从分子水平阐明生命活动的本质。19 世纪中期细胞学说的建立从细胞水平证明生物界的统一性;20 世纪中期后生物化学与分子生物学则在分子水平上揭示了生命世界的基本结构和基础生命活动方面的高度一致性。

1. 大分子结构与功能的关系

蛋白质分子结构与功能的研究除了要继续阐明由氨基酸形成的一定顺序的肽链结构(称为一级结构)外,21 世纪的前 30 年将特别重视肽链折叠成的三维空间结构(高级结构),因为蛋白质的生物功能与它空间结构的关系更为密切。

核酸是遗传信息的携带者和传递者,研究核酸的结构和功能,特别是 DNA 及基因的结构,包括人体全套基因的结构,将会给整个生命科学、医学、农业带来崭新的面貌。糖类不仅作为能源,而且与细胞识别、免疫、信息接收与传递方面具有重要作用。因此,糖的结构与功能的研究,也将受到重视。

2. 生物膜的结构与功能

细胞质和细胞内的细胞器膜构成生命活动本质的许多基本问题如物质转运、能量转换、细胞识别、神经传导、免疫、激素和药物的作用都离不开生物膜的作用,此外,新陈代谢的调节控制,甚至遗传变异、生长发育、细胞癌变等也与膜息息相关。21 世纪对生物膜的结构、功能、人工模拟与人工合成的研究将是生物化学的课题之一。

3. 机体自身调控的分子机理

生物体内的新陈代谢是以高度协调、统一、自动化的方式进行的,一个正常机体体内各种生命物质既不会缺乏,又不会过多积累,它们间互相制约、彼此协调,这是机体高度精密调节控制机制实现的,这一调节控制系统是任何非生物系统或现代机器所不能比拟的。阐明生物体内新陈代谢调节的分子基础,揭示其自我调节的规律,不仅有助于揭开生命之谜,而且可以用于工业体系,使其高效率、自动化生产某些产品。生物反馈调节原理已初步用于抗生素、氨基酸和核苷酸等生产中。

4. 生化技术的创新与发明

生命科学的很多领域的发展还受到技术的限制,例如,基因工程受到产品分离纯化技术的限制。有的基因工程技术实现了基因筛选、分离、转移,并得以表达,但其产品得不到分离纯化,因此还难达到目的。21 世纪初的首要任务是使生物化学在产品的分离纯化技术上有新突破。在蛋白质等物质的分离纯化、微量及微量生命物质的检测与分析、酶功能基团的修饰、酶的新型抑制剂的筛选、酶的分子改造与模拟酶、生物膜的分离与人工膜制造等技术要有较大的发展,才能适应科学发展的需要,也才能促进生物化学理论和技术在工农业生产中的进一步应用。

第1章 糖 类

1.1 概 述

糖类是自然界中含量最多的有机化合物,它广泛分布于生物体中,在植物体中的分布最为广泛,如谷类和薯类中的淀粉,木材、稻草、棉花、麻类中的纤维素和半纤维素,甘蔗和甜菜中的蔗糖,水果中的葡萄糖等。存在于植物体中的糖类以干物质计,其质量分数可高达80%以上;菌体中糖类的质量分数可达10%~30%;动物体中糖类的质量分数虽然小于2%,但其生命活动所需能量却主要来源于糖类。动物体内的糖最初由植物提供,植物通过光合作用将二氧化碳和水合成为糖类。

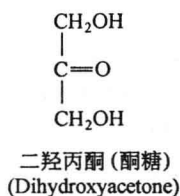
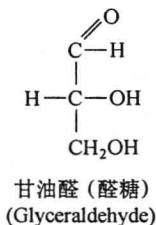
1.1.1 糖类的组成与定义

1. 组成

糖类主要由C、H、O三种元素组成,大多数糖类可用通式 $(CH_2O)_n$ 表示,因其氢氧比与水的组成比例相同,过去有些教材常将糖类物质称为碳水化合物(carbohydrate),现在看这种定义并不十分准确,因为有些符合上述通式的物质,例如甲醛(HCHO)、乙酸(CH_3COOH)等,并不是糖类;而有些物质虽不符合上述通式,如脱氧核糖($C_5H_{10}O_4$)、鼠李糖($C_6H_{12}O_5$)等,却属于糖类物质;还有一些糖类除了含有C、H、O三种元素外,还含有N、P、S,如氨基葡萄糖(glucosamine),又称葡萄糖胺($C_6H_{13}O_5N$)等。

2. 定义

从化学结构上看,糖是一类多羟基醛或多羟基酮及其缩聚物和衍生物。最简单的糖含有3个碳原子、2个羟基,分别是甘油醛和二羟丙酮。



1.1.2 糖的命名与分类

1. 命名

糖的命名方法主要有以下几种。

① 多数根据来源命名,如核糖(ribose)、葡萄糖(glucose)、果糖(fructose)、麦芽糖(maltose)、蔗糖(sucrose)、乳糖(lactose)等。

② 根据碳原子数命名,如丙糖(triose,又称三碳糖)、丁糖(tetrose,又称四碳糖)、戊糖(pentose,又称五碳糖)、己糖(hexose,又称六碳糖)和庚糖(heptose,又称七碳糖)等,它们都属于单糖。

③ 根据羰基位置命名,分为醛糖(aldose),如甘油醛等;酮糖(ketose),如二羟丙酮等。

④ 根据糖分子数命名,如二糖(disaccharide,又称双糖)、三糖(trisaccharide)、四糖(tetrasaccharide)、五糖(pentasaccharide)和六糖(hexasaccharide)等,它们都属于寡糖。

2. 分类

根据糖类物质能否水解以及水解后的产物,把糖类分为单糖、寡糖和多糖。

(1) 单糖(monosaccharide)

单糖是不能再水解的简单的糖类物质。其中,丙糖和丁糖常见于糖代谢中间产物中,丁糖和庚糖多存在于植物光合作用中。自然界中最常见的单糖是戊糖和己糖,含量较多的戊糖和己糖有以下几种。

① 戊糖。如核糖、脱氧核糖(deoxyribose)、阿拉伯糖(arabinose),它们都是戊醛糖。

② 己糖。如葡萄糖、果糖、半乳糖(galactose)。葡萄糖和半乳糖是己醛糖,果糖是己酮糖。

(2) 寡糖(oligosaccharide)

寡糖由2~20个单糖分子缩合而成,水解后产生单糖。寡糖中最重要的是二糖,如蔗糖、麦芽糖和乳糖,其次是三糖,如棉子糖(raffinose)、龙胆三糖(gentianose)等。

(3) 多糖(polysaccharide)

多糖是由许多单糖分子失水缩合而成的,完全水解后能生成20个以上的单糖分子。根据水解后的单糖分子是否相同,多糖可分为以下两类。

① 同聚多糖(homopolysaccharide)。同聚多糖指水解产物为同一种单糖或单糖衍生物的多糖,如淀粉(starch)、糖原(glycogen)、纤维素(cellulose)和壳多糖(chitin)等。

② 杂聚多糖(heteropolysaccharide)。杂聚多糖指水解产物为一种以上单糖或单糖衍生物的多糖,如琼脂(agar)、果胶物质(pectic substance)、半纤维素(hemicellulose)、透明质酸(hyaluronic acid)、硫酸软骨素(chondroitin sulfate)和肝素(heparin)等。

根据糖类物质的组成成分不同,糖类又可分为单纯糖和复合糖(结合糖)。

① 单纯糖。单纯糖成分单一,均为糖物质,包括单糖、寡糖、同聚多糖和部分杂聚多糖。

② 复合糖。复合糖由糖和非糖类物质共价结合而成,如糖脂(glycolipid)、糖蛋白(glycoprotein)等。

1.1.3 糖的生物学功能

(1) 重要的能源物质

一切生命活动都需要消耗能量,而这些能量主要来自糖类物质在机体内的分解代谢。植物体内重要的贮存能量的多糖是淀粉,在种子萌芽或生长发育时,植物细胞将它所贮藏的淀粉降解为小分子糖类物质以提供能量;糖原是贮存于动物体中的重要能源物质,肝脏和肌肉中糖原含量最高,分别满足机体不同部位的能量需要。

(2) 起支持作用的结构物质

有些糖类物质在生物体内充当结构物质,如构成细菌细胞壁的主要成分是一类特殊多糖,称为细菌多糖;昆虫和甲壳类动物的外骨骼也是一种糖类物质,即壳多糖;植物细胞壁的主要成分是纤维素和半纤维素,纤维素分子可聚集成束,形成长的纤维,为植物细胞壁提供一定的抗张强度。

(3) 特殊生理功能物质

一些特殊的复合糖和寡糖在动植物及微生物体内具有重要的生物学功能。人类的ABO血型是由所谓的血型物质决定的,这类血型物质实际上是一种糖蛋白,大多数情况下,糖所占的比例较小,却起着非常重要的生物学作用,血型的特异性往往由它们决定。此外,机体免疫、细胞识别、信息传递、器官移植等,都与糖蛋白中的寡糖链密切相关,由此还出现了一门新的分支学科——糖生物学(glycobiology)。

1.2 单糖的结构和性质

1.2.1 单糖的物理性质

1. 旋光性(optical activity)

用一束光照射尼科尔棱镜(Nicol prism)时,光波只能沿一个平面振动通过,这种光称为平面偏振光,与平面偏振光垂直的面称为偏振面(polarization plane)。当平面偏振光通过溶有某些物质的溶液时,光的偏振面就会发生旋转,我们把这些物质称为旋光物质。旋光物质使平面偏振光的偏振面发生旋转的能力,称为旋光性、光学活性或旋光度。使其向右(顺时针方向或正向)旋转的物质,称为右旋光物质,这种能力称为右旋性(符号为 D 或 $+$);使其向左(逆时针方向或负向)旋转的物质,称为左旋光物质,具有左旋性(符号为 L 或 $-$)。

凡具有旋光性的物质,其分子都是不对称分子,这种分子与它的镜像不能重叠,如同左右手一样,因而又称为手性分子。手性分子最基本的特征就是含有手性碳原子(不对称碳原子),手性碳原子是指 4 个共价键与 4 个不同的原子或原子团相连接的碳原子,用“ C^* ”表示。所有单糖,除二羟丙酮无手性碳原子外,其他单糖都有手性碳原子,因而都具有旋光性。

一定条件下旋光度与偏振光通过待测液的路径长度 L 和待测液浓度 c 的积成正比,即

$$\alpha_D^t = [\alpha]_D^t c L$$

则

$$c = \frac{\alpha_D^t}{[\alpha]_D^t L} \times 100\%$$

式中, α_D^t 代表实际测得的旋光度; t 代表测定时的温度; D 代表以钠光灯(称为 D 线,波长为 589 nm)为光源; L 为光程,即旋光管的长度,旋光管长度一般以 10 cm 为一个单位; c 为质量浓度,即 100 mL 溶液中所含溶质的克数; $[\alpha]_D^t$ 是比例常数,称为比旋或旋光率(specific rotation),表示单位浓度和单位长度下的旋光度,是旋光物质特征性的物理常数,可借此对糖作定性和定量的测定,具体数值前用“ $+$ ”号或“ $-$ ”号表示旋光方向,一些重要单糖和寡糖的比旋值列于表 1.1。

表 1.1 一些重要单糖和寡糖的比旋值*

名 称	$[\alpha]_D^{20}(\text{H}_2\text{O})$	名 称	$[\alpha]_D^{20}(\text{H}_2\text{O})$
D -甘油醛	$+9.4^\circ$	α - D -吡喃半乳糖	$+150.7^\circ \rightarrow +80.2^\circ$
D -赤藓糖	-3°	β - D -吡喃半乳糖	$+52.8^\circ \rightarrow +80.2^\circ$
D -赤藓酮糖	-11°	蔗糖	$+66.5^\circ$
D -核糖	-19.7°	转化糖	$+19.8^\circ$
2-脱氧- D -核糖	-59°	α -乳糖($1\text{H}_2\text{O}$)	$+85^\circ \rightarrow +52.6^\circ$
D -核酮糖	-16.3°	β -乳糖	$+34^\circ \rightarrow +52.3^\circ$
D -木糖	$+18.8^\circ$	β -麦芽糖($1\text{H}_2\text{O}$)	$+112^\circ \rightarrow +130^\circ$
D -木酮糖	-26°	β -麦芽糖($2\text{H}_2\text{O}$)	$+179.9^\circ$
D -果糖	-92.4°	α -纤维二糖	$+68.7^\circ \rightarrow +35^\circ$
D -景天庚酮糖	$+2.5^\circ$	β -纤维二糖	$+16.2^\circ \rightarrow +35^\circ$
L -阿拉伯糖	$+104.5^\circ$	α -龙胆二糖	$+31^\circ \rightarrow +9.6^\circ$
L -山梨糖	-43.1°	β -龙胆二糖	$-0.8^\circ \rightarrow +10^\circ$
L -岩藻糖	-75°	α -蜜二糖($2\text{H}_2\text{O}$)	$+134^\circ$
L -鼠李糖	$+8.2^\circ$	α -蜜二糖($1\text{H}_2\text{O}$)	$+134.3^\circ$
α - D -吡喃葡萄糖	$+112.2^\circ \rightarrow +52.5^\circ$	棉子糖($5\text{H}_2\text{O}$)	$+130^\circ$
β - D -吡喃葡萄糖	$+18.7^\circ \rightarrow +52.5^\circ$	松三糖($2\text{H}_2\text{O}$)	$+88.2^\circ$
α - D -吡喃甘露糖	$+29.3^\circ \rightarrow +14.5^\circ$	龙胆糖	$+30.8^\circ$
β - D -吡喃甘露糖	$-17^\circ \rightarrow +14.5^\circ$	水苏糖($4\text{H}_2\text{O}$)	$+133^\circ$

* 异头物的比旋值由起始值 $\rightarrow$ 平衡值,其余均指互变平衡时的比旋值。

2. 甜度(sweetness)

严格地说,甜度不属物理特性,它只是人的一种感觉。为比较方便,通常以蔗糖为参照物,规定它的甜度为 100,目前常见天然糖类中最甜的是果糖,最不甜的是乳糖。一些糖、糖醇及其他增甜剂(sweetener)的相对甜度见表 1.2。

表 1.2 某些糖、糖醇及其他增甜剂的相对甜度

名 称	甜 度	名 称	甜 度
乳糖	16	蔗糖	100
半乳糖	30	木糖醇	125
麦芽糖	35	转化糖	150
山梨醇	40	果糖	175
木糖	45	蛋白糖(天冬苯丙二肽)	15 000
甘露醇	50	M 甜蛋白(应乐果甜蛋白)	20 000
葡萄糖	70	蛇菊苷	30 000
麦芽糖醇	90	糖精(邻苯甲酰磺亚胺)	50 000

糖醇(glycitol)是一类不易被口腔细菌所利用、低热量的增甜剂,如木糖醇(xylitol)已被广泛用于防龋齿的口香糖中;天冬苯丙二肽(aspartame)和糖精(saccharin)是人工合成的增甜剂,天冬苯丙二肽一般认为是安全的,但不适用于遗传性苯丙酮尿(phenylketonuria)患者;糖精的食用安全性目前争议很大;蛇菊苷(stevioside)和应乐果甜蛋白(monellin)均来自于植物,是无毒、低热量的非糖类天然增甜剂,可作为糖尿病、肥胖病、心血管病和高血压患者的食品添加剂。

3. 溶解性

除甘油醛微溶于水外,其他单糖均易溶于水,微溶于乙醇,不溶于乙醚、丙酮等非极性有机溶剂。

1.2.2 单糖的结构

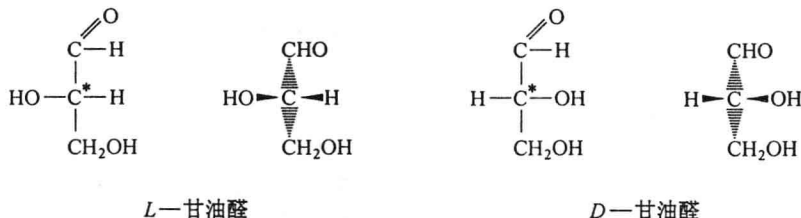
1. D、L 构型和开链结构——具有游离羰基的形式

结构最简单的甘油醛仅有一个手性碳原子,羟基可在左边,也可以在右边,这就形成两个互为镜像但又不重合的对映体(enantiomer),又称对映异构体。其具体表示为



由于对映体的空间排布不同,故其旋光性也不同。旋光仪测定结果表明,羟基在左侧的表现出左旋性(-),羟基在右侧的表现出右旋性(+),它们是一对旋光异构体(optical isomeride)。

1906 年规定甘油醛分子的羟基在左边的为 L-型,标为 L(-)-甘油醛;羟基在右边的为 D-型,标为 D(+)-甘油醛,用费歇尔(Fischer)投影式表示为



需要指出的是,糖的构型(D、L)与其旋光性(+、-)是两个不同的概念,构型是人为规定的,旋光性则是用旋光仪实际测得的。因而,D-型糖可能具有右旋性(+),也可能具有左旋性(-),反之亦然。

对于含有 3 个以上碳原子的单糖,由于存在不止 1 个手性碳原子,在规定其构型时,以距