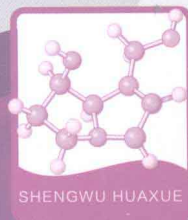


普通高等教育“十二五”规划教材



生物化学

SHENGWU HUAXUE

刘群良 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材



生物化学

SHENGWU HUAXUE

第2版 下册



普通高等教育“十二五”规划教材

生 物 化 学

刘群良 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材应用化学的理论和方法,从分子水平上揭示生物体的化学组成和生命活动中所进行的化学变化及其调控规律,从而阐明生命现象及其本质,为探究医学的本质打下基础。全书共二十章,主要包括生物大分子的化学组成、结构与功能、维生素构成酶的辅酶或辅基、物质代谢、能量代谢及物质代谢的联系与调节、遗传信息的传递及调控、肝胆生化、水盐代谢与酸碱平衡等。

本书主要适应于七年制医学各专业学生使用,也适应于五年制临床医学、口腔医学及中西医结合等专业学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

生物化学/刘群良主编. —北京:化学工业出版社,
2011.8
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-11750-2

I. 生… II. 刘… 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(2011)第 130356 号

责任编辑:旷英姿
责任校对:宋 玮

文字编辑:周 侗
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$ 字数 588 千字 2011 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:39.00 元

版权所有 违者必究

前言

本书是湖南、长春、广西、贵阳、湖北、江西六所中医药院校的协编教材，主要适应于七年制医学各专业学生使用，也适应于五年制临床医学、口腔医学及中西医结合等专业学生使用。

生物化学是医学基础的必修课程，也是医学基础与临床学科联系的桥梁课程。生物化学理论在医学中应用范围非常广泛，它不但阐明了正常人体的机能变化，而且与疾病的发生、发展、转归、诊断、治疗有着密切的联系。特别是医学发展到分子医学时代，生物化学显得更为重要，当代医学的遗传与疾病、代谢与疾病、调节异常与疾病等可从分子医学的角度分析诊疗，分子生物学技术在疾病的诊断和治疗中的应用也越来越广泛，因此医科学生必须学好生物化学这一课程。由于目前中医药院校缺乏七年制《生物化学》教材，针对这一情况，我们在全中国高等中医药院校五年制《生物化学》教学大纲的基础上，扩展教学内容，编写了这一适合七年制各专业教学要求和教学需要的《生物化学》教材。

在教材编写过程中，我们遵循了《生物化学》的一般要求，又考虑到以中医药院校七年制学生为教学对象的特殊性，在强调科学性的基础上，突出实用性，注重可读性。教材的编写思路是从静态生物化学到动态生物化学，从正常生物分子结构到正常生理功能，生物分子结构异常以致发生疾病；代谢部分也是如此，正常代谢表现出正常的生理机能，代谢异常则导致疾病的发生。结合中医药院校七年制未开设《临床生化》课程的前提下，故本书编写时强化生物化学与临床的密切联系，较为详细地编写了与生物化学相关的一些疾病，并阐明其生化病因病机及其诊断和治疗方法，如糖尿病的生化机制、维生素的临床应用等。因此，本书既保证了生物化学教学大纲的落实，又扩展了中西医结合临床教学内容，亦为中医理论提供了科学依据。

在编写内容的设置上，本教材按学科知识体系排列成系统化的教学内容。为解决生物化学内容复杂、深奥等问题，本书采用由浅入深、循序渐进的详细编写原则，对一些抽象的概念多以实例说明，如在基因表达中介绍自然界常见的青蛙基因表达的时间特异性，并选择乳酸脱氢酶同工酶的空间特异性，有利于学习者理解和巩固基础知识。在编写细节中，考虑学生有一定的化学基础，但对化学结构掌握不牢固，故在糖代谢、脂类代谢等章节中编撰糖和脂类的化学结构及与代谢相关的重要化学性质等内容，以供学生自学或者教师串讲。在学科的深度、广度及知识更新方面，根据中医药院校七年制教学的特点，增加细胞信息传导、癌基因与抑癌基因等章节，同时在全书各章节中相应增加具有一定深度的编写内容。如在蛋白质化学章节中增加了 SH2 结构域及其功能；在基因信息的传递章节中，增加了真核生物的复制、转录与翻译，增加了 mRNA 的选择性剪接、mRNA 的编辑等；在基因表达章节中增加了微小 RNA 和小干扰 RNA；在基因诊断章节中增加了核酸探针的制备；在抑癌基因章节中增加了 *p16* 基因的抑癌机制；在生长因子章节中增加了 EGF、HGF、VEGF 和 NGF 等内容。

本书编写资料的来源，主要参考了近几年出版的《生物化学》、《分子生物学》等书籍。对于所参考的书籍，编者列有书目附于书后，在此一并向这些书籍的编著者表示谢意。

该书的编写是编者在多年教学经验的基础上不断更新而产生的，也是湖南、长春等六所中医药院校集体合作的成果。参编教师在编撰过程中，参阅了大量的参考书籍，又经反复修改，并经主编、副主编多次审核而定稿。同时，本书的编写及出版得到化学工业出版社的指导和帮助，得到湖南中医药大学校领导及教务处和基础医学院领导的大力支持，在此表示衷心的感谢！

由于参编人员多，稿件的统一难免存在疏漏之处，加之生物化学发展迅速，涉及的交叉学科领域广，而我们的学识水平有限，时间又仓促，书中难免存在不当之处，敬请老师、同学们多多批评指正。

刘群良
2011 年 6 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 生物化学研究的主要内容	1
一、生物体的物质组成及生物分子的结构与功能	1
二、物质代谢及其调节	2
三、基因表达及其调控	2
第二节 生物化学发展简史	2
一、静态生物化学	2
二、动态生物化学	2
三、分子生物学	3
四、我国科学家对生物化学发展的贡献	4
第三节 生物化学与医学及中医药的关系	4
第二章 蛋白质化学	6
第一节 蛋白质的分子组成	6
一、蛋白质的元素组成	6
二、氨基酸	6
三、肽	9
四、蛋白质的分类	11
第二节 蛋白质的分子结构	11
一、蛋白质的一级结构	11
二、维持蛋白质构象的主要作用力	12
三、蛋白质的二级结构	13
四、蛋白质的三级结构	15
五、蛋白质的四级结构	16
第三节 蛋白质结构与功能的关系	17
一、蛋白质的一级结构与功能的关系	17
二、蛋白质空间构象与功能的关系	18
第四节 蛋白质的理化性质与分离纯化	20
一、蛋白质的紫外吸收	20
二、蛋白质的两性解离与等电点	21
三、蛋白质分子不易透过半透膜	22
四、蛋白质的沉淀	22
五、蛋白质的变性、复性和凝固	23

六、蛋白质的呈色反应	23
七、沉降与沉降系数	24
第三章 核酸化学	25
第一节 核酸的结构单位	25
一、核酸的化学组成	25
二、核苷	27
三、核苷酸	27
四、体内重要的游离核苷酸	27
第二节 核酸的分子结构	28
一、核酸的一级结构	28
二、DNA 的二级结构——双螺旋结构模型	28
三、DNA 的三级结构——超螺旋结构	31
四、RNA 的结构与功能	32
第三节 核酸的理化性质	37
一、核酸的紫外吸收	37
二、核酸的变性与复性	38
三、核酸分子杂交	39
第四章 酶	41
第一节 酶的分子结构与功能	41
一、酶的分子组成	41
二、酶的活性中心	42
三、同工酶	43
四、酶原与酶原的激活	43
第二节 酶促反应的特点与机制	44
一、酶促反应的特点	44
二、酶促反应的机制	45
第三节 酶促反应动力学	46
一、酶浓度对酶促反应速率的影响	46
二、底物浓度对酶促反应速率的影响	46
三、温度对酶促反应速率的影响	48
四、pH 对酶促反应速率的影响	49
五、抑制剂对酶促反应速率的影响	49
六、激活剂对酶促反应速率的影响	52
第四节 酶的分类与命名	52
一、酶的分类	52
二、酶的命名	53
第五节 酶与医学的关系	54
一、酶活性测定	54
二、酶与疾病的发生	54
三、酶与疾病的诊断	55
四、酶在临床治疗中的应用	55

五、酶的其他应用	56
第五章 维生素	57
第一节 总论	57
一、维生素的历史沿革	57
二、维生素的命名	57
三、维生素的分类	58
四、维生素缺乏症及引起缺乏症的原因	58
第二节 水溶性维生素	58
一、维生素 B ₁	58
二、维生素 B ₂	59
三、维生素 PP	60
四、维生素 B ₆	61
五、泛酸	62
六、生物素	62
七、叶酸	63
八、维生素 B ₁₂	64
九、硫辛酸	65
十、维生素 C	65
第三节 脂溶性维生素	66
一、维生素 A	66
二、维生素 D	68
三、维生素 E	70
四、维生素 K	70
第六章 生物氧化	73
第一节 生物氧化的方式	73
一、生物氧化中二氧化碳的生成方式	73
二、生物氧化中物质的氧化方式	73
第二节 生物氧化呼吸链	74
一、呼吸链复合体的组成	75
二、呼吸链组分的排列顺序	78
三、胞液中 NADH 的氧化	78
第三节 生物氧化与能量代谢	80
一、高能磷酸键与高能磷酸化合物	80
二、ATP 的生成方式	80
三、氧化磷酸化	81
四、能量的转移、储存和利用	84
第四节 其他氧化酶系	85
一、过氧化物酶体氧化体系	85
二、超氧化物歧化酶	85
三、微粒体氧化体系	86

第七章 糖代谢	87
第一节 糖类概述	87
一、糖类化学结构及其性质	87
二、糖的生理功能	93
三、糖的消化和吸收	94
第二节 糖的氧化分解	95
一、糖酵解	95
二、糖的有氧氧化	99
三、磷酸戊糖途径	104
第三节 糖原的合成与分解	106
一、糖原合成	106
二、糖原分解	107
三、糖原合成与分解的生理意义	108
四、糖原合成与分解的调节	108
五、糖原累积症	109
第四节 糖异生	109
一、糖异生的反应过程	109
二、糖异生的生理意义	111
三、糖异生的调节	111
第五节 血糖及其调节	112
一、血糖的来源和去路	112
二、血糖水平的调节	113
三、血糖水平异常	114
第八章 脂类代谢	116
第一节 脂类概述	116
一、脂肪酸	116
二、脂类的分布及生理功能	117
三、脂类在体内的消化和吸收	118
第二节 甘油三酯的代谢	119
一、甘油三酯的分解代谢	119
二、甘油三酯的合成代谢	125
三、激素对甘油三酯代谢的调节	129
第三节 类脂的代谢	129
一、甘油磷脂的代谢	129
二、鞘磷脂的代谢	132
三、胆固醇的代谢	133
第四节 血浆脂蛋白的代谢	137
一、血脂	137
二、血浆脂蛋白的分类、组成及结构	138
三、血浆脂蛋白的代谢和功能	140
第五节 脂类代谢紊乱	143

一、动脉粥样硬化	143
二、高脂血症	143
三、肥胖症	144
第九章 氨基酸代谢	145
第一节 蛋白质的营养作用	145
一、氮平衡	145
二、蛋白质的生理需要量	145
三、蛋白质的营养价值	146
第二节 蛋白质的消化、吸收和腐败	147
一、蛋白质的消化	147
二、氨基酸的吸收	148
三、蛋白质的腐败作用	149
第三节 氨基酸的一般代谢	150
一、体内蛋白质的更新	150
二、氨基酸代谢库	151
三、氨基酸的脱氨基作用	152
四、 α -酮酸的代谢	155
五、氨的代谢	155
六、氨基酸的脱羧基作用	161
第四节 个别氨基酸的代谢	163
一、一碳单位的代谢	163
二、含硫氨基酸的代谢	164
三、芳香族氨基酸的代谢	167
四、支链氨基酸的分解代谢	170
第十章 核苷酸代谢	171
第一节 核苷酸的合成代谢	171
一、嘌呤核苷酸的合成代谢	171
二、嘧啶核苷酸的合成代谢	175
三、脱氧核苷酸的生成	177
第二节 核苷酸的分解代谢	178
一、嘌呤核苷酸的分解代谢	178
二、嘧啶核苷酸的分解代谢	179
第三节 核苷酸的抗代谢物	179
一、嘌呤核苷酸的抗代谢物	180
二、嘧啶核苷酸的抗代谢物	181
第十一章 物质代谢的联系与调节	182
第一节 物质代谢的相互联系	182
一、能量代谢的相互协作关系	182
二、糖与脂类的转化	182
三、糖与氨基酸的转化	183

四、氨基酸与脂类的转化	183
五、糖类、脂类和氨基酸与核苷酸代谢的联系	183
第二节 细胞水平的代谢调节	184
一、细胞内酶的定位分布	184
二、酶活性的调节	184
第三节 激素水平的代谢调节	188
一、膜受体激素的调节	188
二、细胞内受体激素的调节	188
第四节 整体调节	189
一、饥饿的代谢调节	189
二、应激	189
第十二章 核酸的生物合成	191
第一节 DNA 的生物合成	191
一、DNA 复制的基本规律	191
二、参与复制的酶类	193
三、DNA 生物合成过程	196
四、逆转录	199
五、DNA 损伤与修复	199
第二节 RNA 的生物合成	203
一、参加转录的主要物质及其作用	203
二、转录过程	206
三、真核生物转录后的加工修饰	210
第十三章 蛋白质的生物合成	215
第一节 蛋白质生物合成体系	215
一、翻译模板 mRNA	215
二、氨基酸的搬运工具 tRNA	217
三、核蛋白体是多肽链合成的场所	217
第二节 蛋白质的生物合成过程	218
一、氨基酸的活化	218
二、原核生物的肽链合成过程	219
三、真核生物的翻译过程	224
第三节 蛋白质合成后的修饰和输送	224
一、一级结构的修饰	225
二、空间结构的修饰	226
三、分泌蛋白的靶向输送	226
第四节 蛋白质生物合成的干扰与抑制	227
一、抗生素	227
二、其他干扰蛋白质合成的物质	228
第十四章 基因表达调控	230
第一节 概述	230

一、基因表达的基本概念	230
二、基因表达的时间特异性和空间特异性	231
三、基因表达的方式	232
四、基因表达调控的生物学意义	232
五、基因表达的多级调控	233
第二节 原核生物基因转录调控	233
一、原核生物的特异 DNA 序列	233
二、原核生物的调节蛋白	233
三、RNA 聚合酶	234
四、原核生物的基因转录调控	234
五、原核生物的基因表达调控的特点	240
第三节 真核生物基因表达调控	240
一、真核生物的特异 DNA 序列	240
二、真核生物的转录调节蛋白	241
三、RNA 聚合酶活性	242
四、真核生物基因表达调控	242
第十五章 细胞信息转导	248
第一节 信息物质	248
一、细胞间信息物质	248
二、细胞内信息分子	249
第二节 受体	250
一、受体的分类、一般结构及功能	250
二、受体与配体结合的特点	253
第三节 细胞信息传递途径	253
一、膜受体介导的信息传递	253
二、胞内受体介导的信息传递	264
第四节 信息传递途径的交互联系	265
第五节 信息转导与疾病	266
一、家族性高胆固醇血症	266
二、非胰岛素依赖性糖尿病	268
第十六章 肝胆生化	269
第一节 肝脏在物质代谢中的作用	269
一、肝脏在糖代谢中的作用	269
二、肝脏在脂代谢中的作用	270
三、肝脏在蛋白质代谢中的作用	270
四、肝脏在维生素代谢中的作用	271
五、肝脏在激素代谢中的作用	271
第二节 胆汁与胆汁酸	272
一、胆汁	272
二、胆汁酸	272
第三节 胆色素代谢与黄疸	275

一、胆色素的正常代谢	275
二、血清胆红素与黄疸	277
第四节 肝脏的生物转化作用	279
一、生物转化的概念和意义	279
二、生物转化的主要类型	280
三、生物转化的特点	283
四、影响生物转化的因素	284
第五节 肝功能检查的意义	284
第十七章 水盐代谢与酸碱平衡	286
第一节 水和无机盐在体内的重要生理功能	286
一、水的生理功能	286
二、无机盐的生理功能	286
第二节 体液的分布与组成	287
一、人体水的含量与分布	287
二、体液电解质的含量和分布特点	288
第三节 体液平衡及其调节	289
一、水代谢	289
二、钾、钠、氯代谢	291
三、钙、磷代谢	292
四、体液平衡的调节	295
第四节 水、电解质代谢紊乱	296
一、水、钠代谢紊乱	296
二、钾代谢紊乱	298
三、钙、磷代谢紊乱	299
第五节 酸碱平衡	300
一、体内酸碱物质的来源	300
二、酸碱平衡调节	301
三、酸碱平衡紊乱	305
第十八章 重组 DNA 技术	308
第一节 重组 DNA 技术的重要工具酶	308
一、限制性核酸内切酶	308
二、其他重要工具酶	309
第二节 重组 DNA 技术常用的载体	310
一、载体的分类	310
二、常用的载体	310
第三节 重组 DNA 技术的基本原理	312
一、目的基因的获取	312
二、目的 DNA 与载体的连接	314
三、重组 DNA 导入宿主细胞	317
四、重组 DNA 的筛选与鉴定	317
五、重组 DNA 在宿主细胞中的表达	319

第四节 重组 DNA 技术在医学和制药工业中的应用	320
第十九章 基因诊断与基因治疗	321
第一节 基因诊断	321
一、基因诊断的特点	321
二、基因诊断的常用技术方法	321
三、基因诊断的临床应用	326
第二节 基因治疗	327
一、基因治疗的基本策略	327
二、基因治疗的基本程序	328
三、基因治疗的应用与展望	329
第二十章 癌基因、抑癌基因与生长因子	331
第一节 癌基因	331
一、病毒癌基因	331
二、细胞癌基因	332
三、细胞癌基因活化机制	333
四、原癌基因的产物与功能	334
第二节 抑癌基因	335
一、常见的抑癌基因	336
二、抑癌基因的作用机制	336
第三节 生长因子	338
一、概述	338
二、生长因子的作用机制	338
三、生长因子与疾病	340
英汉索引	341
参考文献	350



生物化学(biochemistry)即生命的化学。生物化学是应用化学的理论和方法,从分子水平上研究生物体的化学组成和生命活动中所进行的化学变化及其调控规律,从而阐明生命现象本质的一门学科。在生物化学基础上发展起来的一门新兴学科——分子生物学(molecular biology),主要研究内容为核酸、蛋白质等生物大分子的结构与功能,探讨生物体所含基因的结构、基因的功能和基因的表达与调控,以及基因产物——蛋白质或RNA的结构和生理功能。从广义上讲,分子生物学是生物化学的重要组成部分,更深入地从分子水平上揭示生命现象,为生物化学的发展注入了新的生机与活力,使生物化学与分子生物学成为生命科学领域中发展最快的前沿学科之一。由此可见,当今生物化学与分子生物学不能截然分割,二者代表着当前生命科学的主流和发展的趋势。

生物化学是一门实验科学,其理论的发展与各种实验技术的发明密切相关。生物化学的研究除采用化学的原理和方法外,还运用了物理学、生理学、遗传学、免疫学等原理和技术。同时,生物化学的理论和方法也广泛被其他基础医学学科应用。因此,生物化学与其他学科的交叉与融合,既促进了本身的发展,也使其成为生命科学相关学科间相互沟通的共同语言。

第一节 生物化学研究的主要内容

生物化学所研究的内容大体上可分为三个部分。

一、生物体的物质组成及生物分子的结构与功能

生物体是由许多复杂的化学成分按照严格的规律构建起来的。人体中除占体重60%左右的水和5%左右的无机盐以外,主要由蛋白质、核酸、糖类、脂类以及它们的复合物构成。蛋白质、核酸、多糖的相对分子质量大,结构和功能复杂,被称为生物大分子。它们都是由某些基本结构单位按一定顺序和方式连接所形成的多聚体,构成多聚体的基本单位可以看作生物分子的构件,故也称作构件分子或生物分子。例如氨基酸是蛋白质的构件分子,核苷酸是核酸的构件分子,单糖是多糖的构件分子等。

生物大分子的结构与功能的关系是当代生物化学研究的热点之一。结构是功能的基础,功能是结构的体现。生物大分子的功能主要是通过分子之间的相互识别和相互作用来实现。例如,蛋白质与蛋白质相互作用是细胞信号转导的结构基础之一;蛋白质与蛋白质、蛋白质与核酸的相互作用在基因表达调控中起决定性作用。因此,分子结构、分子识别和分子的相互作用是执行生物信息分子功能的基本要素,这一领域的研究是当今生物化学的热点之一。生物大分子进一步组装成更大的复合体,然后再装配成亚细胞结构、细胞、组织、器官和系统,最后成为能进行生命活动的生物体,从整体水平上研究生命现象和复杂疾病已成为当代生命科学的主流和发展趋势。

本书第二章至第五章主要介绍生物分子的结构与功能,因为多种维生素与酶的辅酶或辅基有关,所以也纳入这部分内容。

二、物质代谢及其调节

生物的基本特征之一是新陈代谢。生物体内各种物质都按一定规律进行代谢,通过物质代谢为生命活动提供所需的能量。同时,各种组织化学成分得到不断的更新,这是生命现象的基本特征。物质代谢是机体与环境不断地进行物质交换。体内代谢途径既要适应外环境的变化,又要维持内环境的相对恒定,这需要各条代谢途径之间的互相协调。这样复杂的体系是在多种调节机制控制下完成的。物质代谢一旦发生紊乱,即可发生疾病。目前对生物体内的主要物质代谢途径已基本清楚,需要进一步研究的是协调各种代谢途径的分子机制,细胞信息传递参与多种物质代谢及与其相关的生长、繁殖、分化等生命进程的调节,以及以糖、脂代谢紊乱为特征的代谢综合征的发病机制。

本书第六章至第十一章主要介绍物质代谢、能量代谢及其调节。

三、基因表达及其调控

DNA 是储存遗传信息的物质,基因是 DNA 分子上的功能片段。DNA 通过复制,可形成结构完全相同的两个子代 DNA 分子,将亲代的遗传信息准确地传给子代。DNA 分子中的遗传信息又经转录、翻译等过程合成具有特定氨基酸序列的蛋白质分子,即基因表达。基因表达调控可在多阶段、多水平上进行,是一个十分复杂而协调有序的过程。通过基因表达,遗传信息实现对细胞增殖、分化、凋亡、衰老等生命过程的严密调节与监控。对基因表达调控的研究,将进一步阐明生命现象,解释细胞行为和疾病的发生机制,从而在分子水平上为人类疾病的诊断、治疗和预防提供科学依据和应用技术。当前,复制、转录和翻译的过程已基本清楚,人类基因组中全部 DNA 序列也已阐明,但这仅仅是人类揭示生命奥秘的序幕,现在更艰巨的任务是研究目前所知的 3 万~4 万个基因在特定时空进行表达、表达调控的机制,以及表达产物的功能及其与生命活动的关系等。近年来迅速崛起的后基因组学,将在基因组静态的碱基序列基础上,进一步对基因组动态的生物学功能进行研究。后基因组学的推进和发展将使人类更进一步认识肿瘤、心脑血管疾病、遗传病、代谢性疾病等复杂疾病的发病机制,从而为在分子水平上预防、诊断和治疗这些疾病奠定科学基础。

本书第十二章至第十四章分别介绍 DNA 的复制、基因表达及其调控。

此外,第十五章至第二十章分别介绍细胞信息转导、肝胆生化、水盐代谢与酸碱平衡、重组 DNA 技术、基因诊断与基因治疗、癌基因、抑癌基因与生长因子等专题。

第二节 生物化学发展简史

生物化学是在有机化学、生理学、生物学和医学基础上发展起来,目前已经成为自然科学中发展最快、最引人注目的学科之一。其研究始于 18 世纪,作为一门独立学科建立于 20 世纪初。1903 年,Neuberg 首先提出生物化学这一名称。

生物化学的发展过程大致分为以下几个阶段。

一、静态生物化学

静态生物化学又称为叙述生物化学,是生物化学发展的初级阶段。20 世纪之前,人们对生命物质的组成成分及其理化性质进行研究。例如,瑞典化学家卡尔·谢利(Karl Scheele)研究了生物体(植物及动物)各种组织的化学组成,奠定了生物化学基础工作。在这一阶段,对糖类、脂类及氨基酸的性质进行了较为系统的研究;发现了酶和核酸;证实了染色体由核酸和蛋白质组成;提出了基因和代谢的概念。

二、动态生物化学

动态生物化学是生物化学发展阶段。20 世纪初至 20 世纪中叶,在了解生物体的物质组