



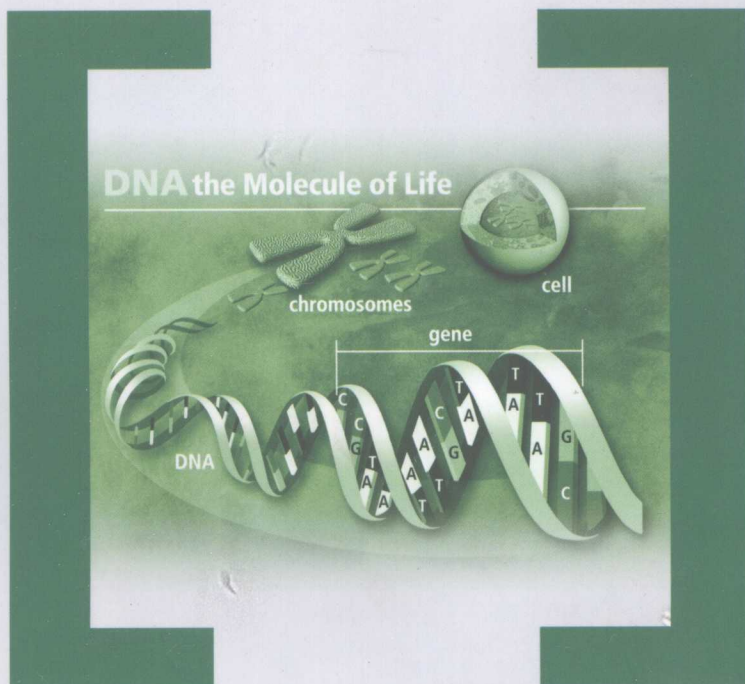
全国普通高等院校工科化学

规划精品教材

生物化学

Biological Chemistry

◎李宪臻 主编



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

QQPTG DYXGKHXGHJPJC

生 物 化 学

主 编：李宪臻

副主编：宋宏新 车振明 王金华

参 编：于建生 叶淑红 陈晓艺 陈 雄

 吴正奇 李红心 刘志国 李玉峰

 杨 君 葛晓萍

华中科技大学出版社

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

生物化学/李宪臻 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2008年6月
ISBN 978-7-5609-4596-5

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(2008)第 086514 号

生物化学

李宪臻 主编

责任编辑:胡 芬

封面设计:刘 卉

责任校对:刘 竣

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北新华印务有限公司

开本:710mm×1000mm 1/16

印张:31.5

字数:611 000

版次:2008年6月第1版

印次:2008年6月第1次印刷

定价:48.80元

ISBN 978-7-5609-4596-5/Q·30

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

全国普通高等院校工科化学规划精品教材

编委会

主任

吴元欣 武汉工程大学校长, 化学工程与工艺专业教学指导分委员会委员
孙兆林 辽宁石油化工大学校长, 化学类专业教学指导分委员会委员
郑旭煦 重庆工商大学副校长, 制药工程专业教学指导分委员会委员

副主任

程功臻 武汉大学教授, 化学类专业教学指导分委员会委员
代 斌 石河子大学教授, 化学类专业教学指导分委员会委员
刁国旺 扬州大学教授, 化学基础课程教学指导分委员会委员
樊 君 西北大学教授, 制药工程专业教学指导分委员会委员
马万勇 山东轻工业学院教授, 化学基础课程教学指导分委员会委员
杨亚江 华中科技大学教授, 化学工程与工艺专业教学指导分委员会委员
张 珩 武汉工程大学教授, 制药工程专业教学指导分委员会委员

编委(按姓氏拼音排序)

蔡定建	江西理工大学	聂长明	南华大学
车振明	西华大学	庞素娟	海南大学
池永庆	太原科技大学	邱凤仙	江苏大学
丁一刚	武汉工程大学	宋欣荣	湖南工程学院
傅 敏	重庆工商大学	王金华	湖北工业大学
贡长生	武汉工程大学	许培援	郑州轻工业学院
郭书好	暨南大学	姚国胜	常州工学院
胡立新	湖北工业大学	易 兵	湖南工程学院
李炳奇	石河子大学	尹建军	兰州理工大学
李东风	长春工业大学	张光华	陕西科技大学
李 华	郑州大学	张金生	辽宁石油化工大学
李宪臻	大连轻工业学院	张 龙	长春工业大学
李再峰	青岛科技大学	郑燕升	广西工学院
李忠铭	江汉大学	钟国清	西南科技大学
林树坤	福州大学	周梅村	昆明理工大学
刘 彬	黄石理工学院	周仕学	山东科技大学
刘志国	武汉工业学院		

前 言

生物化学就是生命的化学,它是用化学方法和化学理论研究生命过程的化学变化和能量代谢的一门科学。在美国生化与分子生物学会会刊(Journal of Biological Chemistry)的创刊词中有这样一句话:“生物学的未来取决于那些用化学观点来解决生物学问题的人。”现代生物化学起源于1897年Buchner E的偶然发现,即不存在完整细胞时,无酵母抽提液能够发酵葡萄糖,产生乙醇和二氧化碳。他将这种可溶性物质命名为酶,从而终止了人们长期奉守的“活力论”观念(即发酵需要完整的细胞作用)。经过近一个世纪的扩张和延伸,目前已形成了一系列研究领域,其中包括酶化学、分子生物学、结构生物学、基因组学、蛋白质组学、生物信息学、代谢物组学和糖组学等。

生物化学旨在研究构成生命的化学物质,以及这些物质变化的过程。生物化学是生物科学中最活跃的核心学科之一,是现代生物学和生物工程技术的重要基础。工业、农业、医药、食品、能源、环境科学等越来越多的研究领域都以生物化学理论为依据,并以其实验技术为手段。

生物化学内容十分广泛,新的理论和研究成果与日俱增,因此,不可能在有限的篇幅里得以全面介绍。为此,我们组织在教学第一线从事多年生物化学理论与实验教学、具有丰富工作经验的教师编写了此书。在编写过程中,我们尽量保证教材内容的科学性、准确性、系统性和实用性,并力求做到概念清晰、文字简练、图文并茂。本书共分15章,主要内容包括糖类、脂类、蛋白质、酶、核酸、维生素与激素等生物大分子的结构、性质、功能及在生物技术中的应用,物质代谢和能量代谢的一般规律和代谢过程的调控机制,以及生物信息的传递和蛋白质的合成。

本教材由李宪臻(大连轻工业学院)担任主编,车振明(西华大学)、宋宏新(陕西科技大学)和王金华(湖北工业大学)为副主编。具体编写分工如下:李宪臻(大连轻工业学院)编写前言和绪论,陈晓艺(大连轻工业学院)编写第1章,吴正奇(湖北工业大学)编写第2章,于建生、葛晓萍(青岛科技大学)共同编写第3、10章,宋宏新、李红心(陕西科技大学)共同编写第4、5、7章,宋宏新(陕西科技大学)编写第11章,刘志国(湖北工业大学)编写第6章,车振明(西华大学)编写第8章,李玉峰(西华大学)编写第9章,王金华(湖北工业大学)编写第12章,杨君(大连理工大学)编写第13章,叶淑红(大连轻工业学院)编写第14章,陈雄(湖北工业大学)编写第15章。

本书可供生物化工、生物工程、制药工程、食品工程、精细化工、环境工程和化学工程以及相关轻工技术和生物技术专业的大专院校师生、科研院所科研人员和企业事业工程技术人员等使用,也可供其他相关专业的学生选修或自学参考。

由于编者水平有限,书中难免存在错误之处,敬请读者批评指正。

李宪臻

2008年2月20日

目 录

绪论	(1)
第1章 生命现象的化学基础	(6)
1.1 细胞的分子构成	(6)
1.1.1 细胞的化学基础	(6)
1.1.2 细胞类型与结构	(9)
1.2 生物膜的结构与功能	(11)
1.2.1 生物膜结构	(11)
1.2.2 生物膜的功能	(16)
思考题	(20)
第2章 糖化学	(21)
2.1 概述	(21)
2.1.1 糖的结构和分类	(21)
2.1.2 糖的命名方法	(22)
2.1.3 糖类的生物学功能	(22)
2.2 单糖	(23)
2.2.1 单糖的结构	(23)
2.2.2 单糖的理化性质	(29)
2.2.3 单糖的衍生物	(34)
2.3 寡糖	(37)
2.3.1 寡糖的结构	(37)
2.3.2 寡糖的性质	(38)
2.3.3 常见的寡糖	(38)
2.4 多糖	(41)
2.4.1 同多糖	(41)
2.4.2 杂多糖	(47)
2.5 复合糖	(50)
思考题	(53)
第3章 脂质化学	(54)
3.1 概述	(54)
3.1.1 脂质的概念	(54)
3.1.2 脂质的分类	(54)

3.1.3 脂质的生理功能·····	(55)
3.2 脂肪·····	(55)
3.2.1 脂肪与脂肪酸·····	(55)
3.2.2 脂肪的结构·····	(56)
3.2.3 脂肪的理化性质·····	(57)
3.2.4 脂肪酸·····	(58)
3.3 磷脂和固醇类·····	(61)
3.3.1 磷脂·····	(61)
3.3.2 固醇类·····	(66)
3.3.3 其他类脂·····	(69)
思考题·····	(70)
第4章 蛋白质化学·····	(71)
4.1 概述·····	(71)
4.1.1 蛋白质的概念·····	(71)
4.1.2 蛋白质的分类·····	(71)
4.1.3 蛋白质的生物学功能·····	(72)
4.1.4 蛋白质的组成·····	(74)
4.2 氨基酸·····	(75)
4.2.1 氨基酸的结构与分类·····	(75)
4.2.2 氨基酸的重要理化性质·····	(80)
4.3 肽·····	(87)
4.3.1 肽键及肽链·····	(87)
4.3.2 肽的命名及结构·····	(88)
4.3.3 天然存在的活性肽·····	(89)
4.4 蛋白质的分子结构·····	(91)
4.4.1 蛋白质的一级结构·····	(91)
4.4.2 蛋白质的二级结构·····	(97)
4.4.3 超二级结构和结构域·····	(102)
4.4.4 蛋白质的三级与四级结构·····	(103)
4.4.5 维持蛋白质构象的作用力·····	(106)
4.4.6 蛋白质结构与功能的关系·····	(108)
4.5 蛋白质的性质·····	(111)
4.5.1 两性解离和等电点·····	(111)
4.5.2 大分子及胶体性质·····	(113)
4.5.3 沉淀作用·····	(114)

4.5.4 变性与复性	(115)
4.5.5 颜色反应	(116)
4.6 蛋白质技术	(117)
4.6.1 蛋白质分离技术	(117)
4.6.2 多肽的人工合成	(120)
思考题	(123)
第5章 酶化学	(124)
5.1 概述	(124)
5.1.1 酶的概念和作用	(124)
5.1.2 酶催化作用的特点	(125)
5.1.3 酶的命名与分类	(129)
5.1.4 酶的化学本质	(132)
5.2 酶的结构	(133)
5.2.1 酶的结构特点	(133)
5.2.2 与酶催化作用相关的结构特点	(137)
5.3 酶的催化作用机制	(140)
5.3.1 酶促反应的本质	(140)
5.3.2 酶的催化机制——中间产物学说	(141)
5.3.3 酶与底物的结合	(141)
5.3.4 酶反应的高效性机制	(143)
5.4 酶促反应动力学	(145)
5.4.1 底物浓度对酶促反应速率的影响	(145)
5.4.2 酶浓度对酶促反应速率的影响	(150)
5.4.3 pH 值对酶促反应速率的影响	(151)
5.4.4 温度对酶促反应速率的影响	(152)
5.4.5 激活剂对酶促反应速率的影响	(154)
5.4.6 抑制剂对酶促反应速率的影响	(155)
5.4.7 双底物反应	(163)
5.5 酶活性的调节控制	(166)
5.5.1 别构调节	(166)
5.5.2 可逆的共价修饰调节	(169)
5.5.3 同工酶	(170)
5.5.4 酶原激活	(170)
5.6 酶的制备与活力测定	(171)
5.6.1 酶的分离纯化	(171)

5.6.2 酶活力的测定	(172)
思考题	(174)
第6章 核酸	(176)
6.1 概述	(176)
6.1.1 染色体、基因和 DNA	(176)
6.1.2 核酸的分类与功能	(178)
6.1.3 核酸的化学组成	(178)
6.2 核苷酸	(179)
6.2.1 碱基	(179)
6.2.2 核糖	(180)
6.2.3 核苷	(180)
6.2.4 核苷酸	(181)
6.2.5 核苷酸的性质	(182)
6.2.6 核苷酸衍生物	(184)
6.3 DNA 的结构与功能	(186)
6.3.1 DNA 的一级结构	(186)
6.3.2 DNA 的二级结构	(187)
6.3.3 DNA 的三级结构	(193)
6.4 RNA 的结构与功能	(195)
6.4.1 RNA 的一级结构	(195)
6.4.2 RNA 的空间结构	(196)
6.4.3 RNA 的种类	(198)
6.5 核酸的性质	(205)
6.5.1 核酸的黏度和沉降特性	(205)
6.5.2 溶解性	(206)
6.5.3 核酸的显色反应	(206)
6.5.4 核酸的化学反应	(207)
6.5.5 变性、复性及杂交	(208)
思考题	(210)
第7章 维生素与激素	(211)
7.1 维生素	(211)
7.1.1 概述	(211)
7.1.2 脂溶性维生素	(212)
7.1.3 水溶性维生素	(216)
7.2 激素	(222)

7.2.1 激素的作用机制	(224)
7.2.2 主要激素的化学与生理功能	(227)
思考题	(234)
第8章 糖代谢	(235)
8.1 代谢与糖代谢总论	(235)
8.1.1 多糖及寡糖的降解	(235)
8.1.2 糖的消化和吸收	(242)
8.1.3 糖的中间代谢	(242)
8.2 糖的无氧分解	(245)
8.2.1 糖酵解的反应历程	(246)
8.2.2 其他单糖进入糖酵解的途径	(250)
8.2.3 糖酵解的调节	(253)
8.2.4 糖酵解与发酵	(254)
8.2.5 乙醇发酵	(256)
8.2.6 甘油发酵	(256)
8.2.7 同型乳酸发酵	(258)
8.3 糖的有氧分解	(259)
8.3.1 乙酰 CoA 的形成	(259)
8.3.2 三羧酸循环	(261)
8.3.3 TCA 循环的生物学意义	(266)
8.3.4 TCA 循环的补偿途径	(267)
8.3.5 柠檬酸发酵	(269)
8.4 糖有氧分解的代谢支路	(270)
8.4.1 单磷酸己糖途径(HMP 途径)	(270)
8.4.2 HMP 途径的生物学意义	(274)
8.4.3 异型乳酸发酵	(274)
8.4.4 细菌乙醇发酵	(276)
8.5 糖的合成代谢	(278)
8.5.1 糖原的生物合成	(278)
8.5.2 糖异生作用	(278)
思考题	(281)
第9章 生物氧化	(283)
9.1 概述	(283)
9.1.1 生物氧化的特点和方式	(283)
9.1.2 参与生物氧化的酶类	(285)

9.1.3 生物系统的高能化合物	(287)
9.2 生物氧化系统	(290)
9.2.1 呼吸链	(290)
9.2.2 呼吸链的电子传递	(296)
9.3 氧化磷酸化	(300)
9.3.1 ATP 酶复合体	(301)
9.3.2 ATP 合成反应	(303)
9.3.3 电子传递反应和 ATP 合成耦联机制	(305)
9.3.4 氧化磷酸化的解耦联和抑制作用	(307)
思考题	(308)
第 10 章 脂质降解与脂肪酸代谢	(309)
10.1 概述	(309)
10.1.1 脂质的消化、吸收和运输	(309)
10.1.2 脂肪的分解与合成	(311)
10.2 脂肪酸氧化	(313)
10.2.1 脂肪酸的 β 氧化	(314)
10.2.2 脂肪酸的其他氧化途径	(317)
10.2.3 酮体的去路	(319)
10.2.4 脂肪酸合成	(322)
10.3 磷脂和固醇代谢	(329)
10.3.1 磷脂代谢	(329)
10.3.2 固醇代谢	(333)
思考题	(340)
第 11 章 蛋白质降解与氨基酸代谢	(341)
11.1 蛋白质降解与蛋白质营养	(341)
11.1.1 氮源与氨基酸库	(341)
11.1.2 蛋白质的酶促水解	(343)
11.2 氨基酸分解代谢的共同途径	(346)
11.2.1 氨基酸的脱氨基作用	(346)
11.2.2 氨基酸的脱羧基及氨基和羧基的共同脱除	(353)
11.2.3 氨基酸降解产物的代谢	(355)
11.3 氨基酸合成代谢	(359)
11.3.1 概述	(359)
11.3.2 氨基酸合成的公共途径	(360)
11.3.3 氨基酸的生物合成途径	(361)

11.4 谷氨酸发酵及生物体物质代谢的相互关系	(366)
11.4.1 谷氨酸发酵	(366)
11.4.2 糖、脂肪、蛋白质代谢的相互关系	(369)
思考题	(371)
第12章 核酸降解与核苷酸代谢	(372)
12.1 核酸的降解	(372)
12.1.1 核酸的消化、吸收	(372)
12.1.2 核酸降解中的酶类	(373)
12.2 核苷酸分解代谢	(374)
12.2.1 嘌呤核苷酸的分解	(375)
12.2.2 嘧啶核苷酸的分解	(378)
12.3 核苷酸的合成代谢	(380)
12.3.1 嘌呤核苷酸的合成	(380)
12.3.2 嘧啶核苷酸的合成	(386)
12.3.3 脱氧核糖核苷酸的合成	(389)
思考题	(392)
第13章 遗传信息传递	(393)
13.1 DNA 复制	(393)
13.1.1 分子遗传学的中心法则	(393)
13.1.2 DNA 复制过程相关的酶和蛋白质	(394)
13.1.3 DNA 复制方式	(397)
13.1.4 DNA 复制过程	(400)
13.1.5 DNA 损伤与修复	(401)
13.1.6 RNA 指导下的 DNA 合成	(406)
13.2 RNA 的生物合成	(407)
13.2.1 RNA 聚合酶与转录因子	(407)
13.2.2 基因转录的过程	(411)
13.2.3 基因转录的方式	(416)
13.2.4 转录后核糖核酸链的加工	(416)
13.2.5 RNA 的复制合成	(422)
13.3 核酸技术	(423)
13.3.1 聚合酶链式反应技术	(423)
13.3.2 重组 DNA 技术	(427)
13.3.3 核酸分子杂交	(428)
13.3.4 基因定点突变技术	(430)

13.3.5 核酸的分子探针·····	(430)
思考题·····	(431)
第14章 蛋白质合成 ·····	(433)
14.1 蛋白质合成的物质条件·····	(433)
14.1.1 遗传密码·····	(433)
14.1.2 核糖体·····	(437)
14.1.3 tRNA ·····	(439)
14.1.4 mRNA ·····	(440)
14.1.5 蛋白质因子·····	(441)
14.2 合成过程·····	(442)
14.2.1 氨基酸的活化·····	(442)
14.2.2 肽链合成的起始与延伸·····	(443)
14.2.3 肽链合成的终止·····	(447)
14.2.4 真核细胞蛋白质合成的特点·····	(449)
14.3 合成后的加工修饰·····	(450)
14.3.1 一级结构的加工修饰·····	(450)
14.3.2 高级结构的形成·····	(452)
14.3.3 靶向输送·····	(453)
14.4 基因工程·····	(455)
14.4.1 工具酶·····	(455)
14.4.2 基因载体·····	(458)
14.4.3 目的基因的获得·····	(460)
14.4.4 重组DNA的筛选与表达·····	(461)
思考题·····	(464)
第15章 代谢调节控制 ·····	(465)
15.1 概述·····	(465)
15.1.1 代谢网络·····	(465)
15.1.2 代谢的单向性·····	(466)
15.2 代谢水平调节·····	(467)
15.2.1 代谢调节的作用点·····	(467)
15.2.2 反馈调节·····	(468)
15.3 酶合成水平调节·····	(471)
15.3.1 酶的诱导合成·····	(472)
15.3.2 酶合成的阻遏作用·····	(473)
15.3.3 诱导与阻遏机制·····	(474)

15.3.4 乳糖操纵子结构及活性调节.....	(478)
15.4 代谢调控在工业生产中的指导意义.....	(481)
15.4.1 酶活性调节在工业生产中的应用.....	(481)
15.4.2 酶合成调节在工业生产中的应用.....	(483)
思考题.....	(485)
参考文献.....	(486)

绪 论

生物化学起源于 19 世纪的欧洲,当时,由于有机化学和实验生理学的兴起和迅速发展,促使很多科学家开始研究生命有机体的化学组成和与生理功能有关的化学变化。1828 年 Wohle F 首次在实验室中合成了一种有机物——尿素,打破了有机物只能靠生物产生的观点。1860 年 Pasteur L 证明发酵是由微生物引起的,但他认为必须有活的酵母才能引起发酵。1897 年 Buchner 兄弟发现酵母的无细胞抽提液可进行发酵,从而证明没有活细胞也可进行如发酵这样复杂的生命活动。后来,很多在欧洲实验室接受训练的美国科学家将这些工作引入美国,开始了动物化学、农业化学、医学化学和生理化学方面的研究,并将与生命体化学研究有关的各个领域组合在一起称为生物化学或生物的化学。第一本用于报道相关成果的杂志“Journal of Biological Chemistry”也于 1905 年在美国出版。这个时期的研究工作,主要是对生物体的静态描述,包括对生物体的各种组成成分进行分离、纯化、结构测定、合成及理化性质的研究等。1926 年 Sumner J B 制得了脲酶结晶,并证明它是蛋白质。随后,伴随着化学及物理学科的发展,有关生物化学方面的研究开始有了长足的进展。生物学家和有机化学家们开始将研究的重点转向生物体中各种物质的转化及其发生转化的机理,使得人们对各种生物分子的代谢机理和途径有了更深入的理解,因此将这段发展时期称为动态生化阶段。此期间最突出的成就是确定了糖酵解、三羧酸循环以及脂肪分解等重要的分解代谢途径。进入 20 世纪 50 年代后,科学家们开始更加专注于研究生物大分子的结构与功能。通过生物化学的发展,并与物理学、微生物学、遗传学、细胞学等其他学科的渗透,产生了分子生物学,并成为生物化学研究的主体。1901—1950 年,仅有 3 位诺贝尔奖获得者是从事生物化学研究工作的,而在随后的半个世纪中却有大约 40 位诺贝尔奖获得者是生物化学家。

生物化学的含义

生物化学就是生命的化学,它是用化学的基本理论和基本方法研究生命现象、探索生命奥秘的一门基础理论科学。生物化学主要研究生命物质的化学组成结构、生物大分子的结构与功能、生命活动过程中所进行的化学变化以及与生理机能相关的物质代谢规律和基因信息的传递与调控。生物化学并不是简单地研究生命的化学过程,而是研究生命过程中伴随化学变化引起的能量变化和生物体内分子的生理功能等。因此,尽管生物化学与化学、生理学和医学等有着密切的联系,但作为一门独立的学科,生物化学又有着自己独特的研究对象和研究内容。

20 世纪 60 年代以来,生物化学与其他学科融合产生了一些边缘学科,如生化药理学、古生物化学、化学生态学等,或按应用领域不同,又有医学生化、农业生化、工业生化、营养生化等。

生物化学的发展

作为一门新兴的学科,生物化学仅有 100 多年的历史。人类在长期的生产和社会实践活动中,积累了不少有关农业生产、食品加工和医学方面的知识。中国人在很久以前就开始用谷物中的糖类物质生成酒,只是还不知道糖为什么会转化为酒精。随着近代化学和生理学的发展,生物化学开始逐步形成。例如,英国人于 18 世纪发现了氧气,并指出动物消耗氧而植物产生氧;荷兰人证明在光照条件下绿色植物吸收 CO_2 并放出 O_2 。生物化学的发展大约可分为以下三个阶段。①生物化学形成的初级阶段,这个时期主要是处于一种静态的描述性阶段,主要研究生物体的化学组成,对生物体的各种组成成分进行分离、纯化、结构测定、合成及理化性质的研究。标志性结果包括糖的结构的确立、蛋白质的肽键连接、酵母发酵过程中“可溶性催化剂”的发现等。②生物化学的发展阶段,也称动态生物化学阶段,其主要特点是研究生物体内物质的变化,即生物体内的物质代谢途径。标志性成果包括糖酵解、三羧酸循环、脂肪分解等重要的分解代谢途径的确定。③生物学发展的分子生物学阶段,期间以蛋白质与核酸为研究的焦点,主要特点是研究生物大分子的结构与功能。标志性研究成果包括蛋白质 α -螺旋二级结构形式的发现、DNA 双螺旋结构模型的提出、重组 DNA 技术的建立等。

生物化学发展过程中的重大发现主要有:

- | | |
|--------|---|
| 1897 年 | 发现酵母细胞质能使糖发酵 |
| 1902 年 | 创立了肽键理论 |
| 1926 年 | 获得了脲酶结晶,并证明酶就是蛋白质 |
| 1944 年 | 证明遗传信息在核酸上 |
| 1953 年 | 完成胰岛素的氨基酸(amino acid, AA)序列测定
提出 DNA 双螺旋结构模型 |
| 1958 年 | 确定了肌红蛋白的立体结构 |
| 1970 年 | 发现了 DNA 限制性内切酶 |
| 1972 年 | DNA 重组技术的建立 |
| 1990 年 | 实施人类基因组计划 |
| 1997 年 | 首次不经过受精,直接使用成年母羊体细胞的遗传物质获得克隆羊 |
| 2000 年 | 完成人类基因组草图绘制,进入后基因组时代 |

生物化学的研究内容和研究方向

生物化学主要研究生物分子的结构和物理性质、酶反应机理、代谢的化学调控、遗传的分子基础和细胞中的能量利用等。