




普通高等教育农业部“十二五”规划教材  
全国高等农林院校“十二五”规划教材

# 基础生物化学

JICHU SHENGWU HUAXUE

王金胜 吕淑霞 主编



 中国农业出版社

普通高等教育农业部“十二五”规划教材  
全国高等农林院校“十二五”规划教材

# 基础生物化学

王金胜 吕淑霞 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

基础生物化学 / 王金胜, 吕淑霞主编. —北京:  
中国农业出版社, 2014. 7  
普通高等教育农业部“十二五”规划教材 全国高等  
农林院校“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-109-19208-9

I. ①基… II. ①王… ②吕… III. ①生物化学-高  
等学校-教材 IV. ①Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 106156 号

中国农业出版社出版  
(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)  
(邮政编码 100125)

北京中科印  
2014 年

开本



发行所发行  
1 次印刷

长: 23

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

## 内容简介

本教材是根据多年来我国农林院校本科生物化学教学的基本框架和内容,参考各参编院校的教学大纲以及《2012年硕士研究生入学考试科目〈生物化学〉考试大纲》而编写的,主要内容分为三部分:第一部分为大分子结构与功能,包括蛋白质、核酸、酶(含维生素与辅助因子)和生物膜;第二部分为物质和能量代谢,包括生物氧化、糖类代谢、脂类代谢、氨基酸代谢和核苷酸代谢;第三部分为遗传信息流动和调节,包括核酸(DNA、RNA)的生物合成、蛋白质的生物合成和代谢调节。本教材适用于高等农林院校本科生物化学教学和大农学类硕士研究生入学考试复习使用,也可供综合院校、师范院校涉农专业及生物类专业生物化学教学,也适合作为本、专科生物化学教学教师的参考书。

## 编 写 人 员

主 编 王金胜 吕淑霞

副 主 编 张 宁 马 镝

编写人员 (以姓名笔画为序)

于晓丹 沈阳农业大学

马 镝 沈阳农业大学

王金胜 山西农业大学

方淑梅 黑龙江八一农垦大学

吕淑霞 沈阳农业大学

李 丽 山西农业大学

李鹏飞 山西农业大学

张 宁 甘肃农业大学

陈水红 塔里木大学

罗淑萍 新疆农业大学

荣二花 山西农业大学

解 谦 山西大同大学

# 【前言】

生物化学内容繁多，但是经过多年的教学实践，同行们对农林院校本科生物化学的教学体系已经达成了共识。这部教材的编写大纲就是基于多年来我国农林院校本科生物化学教学的基本框架和内容，参考各参编院校的教学大纲以及《2012年硕士研究生入学考试科目〈生物化学〉考试大纲》的范围而确定的。我们的目的是力争使这本教材实用、好用、够用。“实用”就是说本教材是实实在在地为本科教学而编写的，是教材不是教学参考书。教学需要什么内容，教材就编写什么内容。不为了显示作者的“高”水平，而写入与本科教学相差较远的内容，不为了显示作者“知识渊博”，而将简单问题复杂化。“好用”就是要让教师用得好，学生看得好。所以在编写中力求做到：编排合理，概念准确，叙述清晰，举例得当。“够用”就是要满足本科教学，适合考研复习（指报考大农学类硕士专业）。

生物化学进展很快，如何将最新的教学内容写入本教材，这是编写本教材的第一大难题。解决该难题的唯一办法就是广泛学习，全面吸收，精心提炼，将复杂的新内容力争用简洁的语言表达出来。第二大难题是如何处理与分子生物学的交叉内容。生物化学学科发展最大的贡献之一就是衍生出了现在炙手可热的分子生物学。两个学科在生物大分子结构与功能、遗传信息的流动、表达和调节等内容上有很大的交叉。我们处理的办法是：对于生物大分子结构与功能，生物化学侧重于结构与性质；对于遗传信息的有关内容，侧重于其化学变化、基本内容，而不再讨论其细节。将本科生物化学作为分子生物学的基础。通过编写实践，我们认为，虽然两个学科的内容交叉是不可避免的，但是这样处理是可行的。

本教材的问世是参加编写的所有作者共同努力的结果。其中绪论由山西农业大学王金胜编写，第一章由沈阳农业大学吕淑霞编写，第二章由塔里木大学

陈水红编写，第三章由甘肃农业大学张宁编写，第四章由沈阳农业大学马镛编写，第五章由新疆农业大学罗淑萍编写，第六章由山西大同大学解谦编写，第七章由山西农业大学李丽编写，第八章由山西农业大学荣二花编写，第九章由黑龙江八一农垦大学方淑梅编写，第十章由山西农业大学王金胜编写，第十一章由山西农业大学李鹏飞编写，第十二章由沈阳农业大学于晓丹编写。最后由王金胜和吕淑霞统稿。

尽管本书作者倾尽全力编写本教材，但是由于水平有限，教材中难免有不足之处，甚至错误。请读者不吝指出。谢谢！

编者

2014年2月

# [ 目 录 ]

## 前言

绪论 .....	1	第五节 蛋白质的重要性质 .....	41
一、生物化学概述 .....	1	一、蛋白质的大小、形状与溶解度 .....	41
二、生物的化学特征 .....	2	二、蛋白质的两性性质和等电点 .....	41
三、生物化学发展简史 .....	5	三、蛋白质的胶体性质 .....	41
四、基础生物化学的学习内容和方法 .....	6	四、蛋白质的沉淀 .....	42
第一章 蛋白质化学 .....	8	五、蛋白质的变性与复性 .....	43
第一节 蛋白质的组成、分类及生物学功能 .....	8	六、蛋白质的紫外吸收性质 .....	44
一、蛋白质的组成 .....	8	七、蛋白质的呈色反应 .....	44
二、蛋白质的分类 .....	9	第六节 蛋白质研究技术 .....	45
三、蛋白质的生物学功能 .....	9	一、蛋白质的分离纯化与鉴定 .....	45
第二节 氨基酸 .....	10	二、蛋白质分子质量的测定 .....	51
一、氨基酸的结构特点及分类 .....	11	三、蛋白质含量的测定 .....	53
二、氨基酸的重要性质 .....	16	四、蛋白质结构的测定 .....	53
三、氨基酸的分离分析 .....	22	五、蛋白质的生物信息学 .....	55
第三节 蛋白质的分子结构 .....	24	本章小结 .....	57
一、蛋白质的一级结构 .....	24	思考题 .....	58
二、蛋白质的二级结构 .....	28	参考文献 .....	58
三、超二级结构和结构域 .....	32	第二章 核酸化学 .....	59
四、蛋白质的三级结构 .....	34	第一节 核酸的概述 .....	59
五、蛋白质的四级结构 .....	35	一、核酸的种类、分布和生物学功能 .....	59
六、维持蛋白质构象的作用力 .....	36	二、核酸的化学组成 .....	60
第四节 蛋白质结构与功能的关系 .....	37	三、细胞内的游离核苷酸及其衍生物 .....	63
一、蛋白质一级结构与功能的关系 .....	38	第二节 核酸的分子结构 .....	65
二、蛋白质空间结构与功能的关系 .....	39	一、多核苷酸链 .....	65



第三节 核酸的理化性质 .....	74	第五节 调节酶类 .....	102
一、核酸的一般性质 .....	74	一、别构酶 .....	102
二、两性解离与等电点 .....	74	二、同工酶 .....	104
三、紫外吸收 .....	74	三、共价修饰调节酶 .....	105
四、变性和复性 .....	75	四、酶原及其激活 .....	107
五、分子杂交 .....	76	第六节 酶的分离提纯与活力测定 .....	108
六、酸水解和碱水解 .....	77	一、酶的分离提纯 .....	108
第四节 核酸研究技术 .....	77	二、酶活力的测定 .....	109
一、核酸的分离提纯 .....	77	第七节 维生素与辅助因子 .....	110
二、核酸电泳 .....	78	一、概念和分类 .....	110
三、核酸含量的测定 .....	78	二、水溶性维生素 .....	111
四、核酸测序 .....	79	三、脂溶性维生素 .....	117
本章小结 .....	81	四、非维生素的辅助因子 .....	119
思考题 .....	81	第八节 其他生物催化剂 .....	120
参考文献 .....	81	一、核酶 .....	120
第三章 酶 .....	83	二、抗体酶 .....	121
第一节 酶的概述 .....	83	三、模拟酶 .....	121
一、酶的概念 .....	83	第九节 酶的应用 .....	122
二、酶的催化特点 .....	83	一、酶工程 .....	122
三、酶的组成 .....	86	二、酶的应用 .....	123
第二节 酶的命名与分类 .....	87	本章小结 .....	124
一、酶的命名 .....	87	思考题 .....	125
二、酶的分类 .....	87	参考文献 .....	125
第三节 酶的作用机制 .....	88	第四章 生物膜 .....	126
一、酶的活性中心 .....	88	第一节 生物膜的化学组成 .....	126
二、酶的催化机理 .....	89	一、膜脂的种类 .....	126
三、酶催化高效率的机制 .....	91	二、膜蛋白 .....	128
四、酶促反应机理实例 .....	93	三、糖类 .....	129
第四节 酶促反应动力学 .....	93	四、其他成分 .....	129
一、底物浓度对酶促反应速度的影响 .....	93	第二节 生物膜的结构 .....	130
二、酶浓度对酶促反应速度的影响 .....	96	一、流动镶嵌模型及其发展 .....	130
三、pH 对酶促反应速度的影响 .....	96	二、生物膜的结构特点 .....	130
四、温度对酶促反应速度的影响 .....	97	第三节 生物膜的功能 .....	132
五、激活剂对酶促反应速度的影响 .....	97	一、细胞屏障与区域化 .....	132
六、抑制剂对酶促反应速度的影响 .....	97	二、识别功能 .....	133
		三、能量转换与代谢场所 .....	133
		四、膜融合 .....	133
		五、物质运输 .....	133

六、信号转导 .....	137	二、丙酮酸的去路 .....	176
本章小结 .....	139	三、糖酵解的化学计量与生物学 意义 .....	178
思考题 .....	140	四、糖酵解的调节 .....	178
参考文献 .....	140	五、其他糖类进入糖酵解的 途径 .....	179
<b>第五章 生物氧化</b> .....	141	<b>第四节 三羧酸循环</b> .....	181
<b>第一节 生物氧化概述</b> .....	141	一、丙酮酸的氧化脱羧 .....	181
一、生物氧化的基本内容 .....	141	二、三羧酸循环的生化过程 .....	182
二、氧化酶类 .....	143	三、三羧酸循环的化学计量 .....	185
三、自由能和氧化还原电位 .....	143	四、三羧酸循环的回补反应 .....	186
四、高能化合物 .....	147	五、三羧酸循环的生物学意义 .....	187
<b>第二节 线粒体电子传递链</b> .....	150	六、三羧酸循环的调控 .....	187
一、电子传递链概述 .....	150	七、糖的无氧氧化与有氧氧化 .....	188
二、电子传递链组成 .....	153	<b>第五节 磷酸戊糖途径</b> .....	189
三、电子传递抑制剂 .....	156	一、磷酸戊糖途径的生化过程 .....	189
<b>第三节 氧化磷酸化</b> .....	157	二、磷酸戊糖途径的化学计量 .....	192
一、磷酸化的概念及类型 .....	157	三、磷酸戊糖途径的生物学意义 .....	192
二、氧化磷酸化的偶联 .....	158	四、磷酸戊糖途径的调控 .....	193
三、ATP合成机理 .....	159	<b>第六节 单糖的生物合成</b> .....	193
四、氧化磷酸化的机理 .....	160	一、光合作用 .....	193
五、氧化磷酸化的解偶联和抑制 作用 .....	162	二、糖异生作用 .....	194
六、有关氧化磷酸化物质的运输 .....	163	<b>第七节 蔗糖和多糖的生物合成</b> .....	197
七、氧化磷酸化的调节 .....	165	一、核苷酸糖的作用及其形成 .....	197
本章小结 .....	166	二、蔗糖的生物合成 .....	197
思考题 .....	166	三、淀粉的生物合成 .....	198
参考文献 .....	167	四、糖原的生物合成 .....	199
<b>第六章 糖类代谢</b> .....	168	五、纤维素的生物合成 .....	200
<b>第一节 生物体内的糖类及消化   吸收</b> .....	168	本章小结 .....	200
一、生物体内的糖类 .....	168	思考题 .....	201
二、糖类的消化吸收 .....	170	参考文献 .....	201
<b>第二节 双糖和多糖的酶促降解</b> .....	170	<b>第七章 脂质代谢</b> .....	202
一、双糖的酶促降解 .....	170	<b>第一节 植物体内的脂质及其功能</b> .....	202
二、淀粉与糖原的酶促降解 .....	171	一、脂质的种类 .....	202
三、其他多糖的酶促降解 .....	173	二、脂质的生理功能 .....	203
<b>第三节 糖酵解</b> .....	173	<b>第二节 脂肪的降解</b> .....	204
一、糖酵解的生化过程 .....	174	一、脂肪的分解与应用 .....	204

三、甘油的转化及降解 .....	205	一、外切核酸酶 .....	255
四、脂肪酸的氧化分解 .....	205	二、内切核酸酶 .....	255
五、酮体的生成及利用 .....	211	第二节 核苷酸的酶促降解 .....	256
六、乙醛酸循环 .....	212	一、核苷酸的酶促降解 .....	256
七、脂肪酸氧化的调节 .....	214	二、嘌呤的降解 .....	257
第三节 脂肪的合成代谢 .....	215	三、嘧啶的降解 .....	258
一、 $\alpha$ 磷酸甘油的形成 .....	215	第三节 核苷酸的生物合成 .....	259
二、脂肪酸的生物合成 .....	215	一、嘌呤核苷酸的生物合成 .....	259
三、脂肪的合成 .....	222	二、嘧啶核苷酸的生物合成 .....	263
四、磷脂代谢 .....	222	三、脱氧核糖核苷酸的生物合成 .....	265
五、胆固醇代谢 .....	224	四、核苷三磷酸的生物合成 .....	266
六、胆固醇的转化 .....	224	五、核苷酸合成抑制剂 .....	266
本章小结 .....	227	本章小结 .....	267
思考题 .....	227	思考题 .....	268
参考文献 .....	227	参考文献 .....	268
<b>第八章 蛋白质酶促降解和氨基酸</b>		<b>第十章 核酸的生物合成</b> .....	269
<b>代谢</b> .....	228	第一节 DNA 的生物合成 .....	269
第一节 蛋白质的酶促降解 .....	228	一、DNA 复制概述 .....	270
一、降解蛋白的酶类 .....	228	二、原核生物 DNA 复制 .....	271
二、蛋白质的酶促降解 .....	230	三、真核生物 DNA 复制 .....	280
第二节 氨基酸的酶促降解与转化 .....	230	四、DNA 复制准确性的保证 .....	282
一、脱氨基作用 .....	230	五、反转录 .....	282
二、脱羧基作用 .....	234	六、DNA 的人工合成 .....	283
三、氨基酸分解产物的去向 .....	235	第二节 DNA 的损伤与修复 .....	284
四、一碳单位 .....	240	一、DNA 的损伤 .....	284
第三节 氨基酸的生物合成 .....	242	二、DNA 的修复 .....	285
一、氮的来源 .....	242	第三节 RNA 的生物合成 .....	287
二、碳架来源 .....	245	一、转录概述 .....	287
三、氮的同化 .....	246	二、原核生物 RNA 转录及转录后	
四、转氨基作用 .....	248	加工 .....	288
五、各种氨基酸的生物合成 .....	248	三、真核生物 RNA 转录及转录后	
六、氨基酸的合成规律 .....	253	加工 .....	293
本章小结 .....	253	四、转录过程的抑制剂 .....	301
思考题 .....	253	五、RNA 复制 .....	302
参考文献 .....	254	第四节 基因工程 .....	302
<b>第九章 核酸的酶促降解和核苷酸</b>		一、基因的取得 .....	302
<b>代谢</b> .....	255	二、基因载体及重组 .....	303
第一节 核酸的酶促降解 .....	255	三、受体细胞、转化和筛选 .....	303

四、基因工程的应用 .....	303	思考题 .....	329
本章小结 .....	304	参考文献 .....	329
思考题 .....	305	<b>第十二章 代谢调节</b> .....	330
参考文献 .....	305	第一节 物质代谢的相互关系 .....	330
<b>第十一章 蛋白质的生物合成</b> .....	306	一、糖代谢与脂质代谢的 相互关系 .....	330
第一节 蛋白质合成体系 .....	306	二、糖代谢与蛋白质代谢的 相互关系 .....	331
一、mRNA 与遗传密码 .....	306	三、脂质代谢与蛋白质代谢的 相互关系 .....	331
二、tRNA .....	309	四、核酸代谢与糖、脂质和蛋白质 代谢的相互关系 .....	332
三、rRNA 与核糖体 .....	312	第二节 代谢调节 .....	333
四、辅助因子 .....	313	一、代谢调节的不同水平 .....	333
第二节 蛋白质生物合成过程 .....	314	二、酶水平调节 .....	333
一、氨基酸的活化 .....	314	三、细胞水平调节 .....	348
二、原核生物肽链的合成 .....	316	四、激素调节 .....	350
三、真核生物蛋白质的生物合成 .....	320	五、神经系统调节 .....	353
四、多核糖体 .....	322	本章小结 .....	353
五、蛋白质合成的抑制剂 .....	323	思考题 .....	353
第三节 蛋白质合成后的加工与 运输 .....	324	参考文献 .....	354
一、肽链合成后的加工与折叠 .....	324		
二、蛋白质运输 .....	327		
本章小结 .....	329		

# 绪 论

## 一、生物化学概述

生物化学(biochemistry)是研究生命现象化学本质的科学。具体讲是以生命为研究对象,从分子水平研究生命的化学组成,这些组成的结构、功能、性质以及生命活动过程中各种化学变化及其调控,以期阐明生命化学本质的科学。

### (一)研究内容

生物化学主要研究生物体分子结构与功能、物质代谢与调节以及遗传信息传递的分子基础与调控规律。

**1. 生物的物质组成** 生物体是多种成分按严格的规律和方式组织而成的。人体含水 55%~67%,蛋白质 15%~18%,脂类 10%~15%,无机盐 3%~4%及糖类 1%~2%,以及多种有生物学活性的小分子化合物。不仅如此,某些生物分子在不同情况下,还会具有不同的立体结构。足见生物体在组成上的多样性和复杂性。因此,研究生物的物质和生物分子组成是生物化学研究的首要任务。诚然现在对生物的组成已经有基本的了解,但是还有许多内容需要深入研究。

**2. 物质代谢与调节** 生物体内有许多化学反应,按一定规律,持续不断地进行着,这些反应统称为代谢。代谢分为两大方面:合成和分解。在合成反应中,小分子或营养物质作为原料,合成生物体需要的物质,使体内的各种结构能够生长、发育、修补、替换及繁殖。在分解反应中,生物分子主要作为能源物质,经生物氧化作用,放出能量,供生命活动的需要,同时产生废物,经各排泄途径排出体外,交回环境,这就是生物体与体外环境的物质交换过程。据估计一个人在其一生中(按 60 岁计算),通过物质代谢与体外环境交换的物质约相当于 60 000 kg 水,10 000 kg 糖类,1 600 kg 蛋白质及 1 000 kg 脂类。这些代谢反应中,如果有一个反应进行过多或过少,都将表现为异常,甚至疾病。一旦这些反应停止,生命即告终结。生物体内参加各种化学反应的分子和离子,不仅有生物大分子,而更多和更主要的还是小的分子及离子。营养物质进人体后,总是与体内原有的物质混合起来,参加化学反应。

物质代谢的调节控制是生物体维持生命的一个重要方面。物质代谢中绝大部分化学反应是在细胞内由酶促合成,而且具有高度自动调节控制能力。这是生物的重要特点之一。一个小小的活细胞内,几近 2 000 种酶,在同一时间内,催化各种不同代谢中特有的化学反应。这些化学反应互不妨碍,互不干扰,有条不紊地以惊人的速度进行着,而且还互相配合。结果,不论是合成代谢还是分解代谢,总是同时进行得恰到好处。这表明,生物体内的物质代谢必定有尽善尽美的安排和一个调节控制系统。根据现有的知识,酶的严格特异性、多酶体系及酶分布的区域化等的存在,可能是各种不同代谢能同时在一个细胞内有秩序地进

行的一个解释。

**3. 结构与功能** 组成生物体的每一部分都具有其特殊的生理功能。从生物化学的角度,则必须深入探讨细胞、亚细胞结构及生物分子的功能。功能来自结构。欲知细胞的功能,必先了解其亚细胞结构;同理,要知道一种亚细胞结构的功能,也必先弄清构成它的生物分子。关于生物分子的结构与其功能有密切关系的知识,已略有所知。例如,细胞内许多有生物催化剂作用的蛋白质——酶,它们的催化活性与其分子的活性中心的结构有着密切关系,同时,其特异性与其作用物的结构密切相关;而一种变构酶的活性,在某种情况下,还与其所催化的代谢途径的终末产物的结构有关。又如,细胞核中脱氧核糖核酸的结构与其在遗传中的作用息息相关,简而言之,DNA中核苷酸排列顺序的不同,表现为遗传中的不同信息,实际是不同的基因。生物化学近年来在这方面的发展极为迅速,有人将这部分内容称作分子生物学。在生物化学中有关结构与功能关系的研究才仅仅开始,尚待大力研究的问题很多,例如,亚细胞结构中生物分子间的结合,同类细胞的相互识别,细胞的接触抑制,细胞间的黏合,抗原性,抗原与抗体的作用,激素、神经介质及药物等的受体等。

**4. 遗传信息及其传递** 生物体有别于无生命体的一个突出特点是具有遗传信息传递和表达作用。一切生物体都能自我复制;复制品与原样几无差别,且能代代相传,这就是生物体的遗传特性。遗传的特点是忠实性和稳定性。近年来,随着生物化学的发展,已经证实,基因只不过是DNA分子中核苷酸残基的种种排列顺序而已。现在DNA分子的结构已不难测得,遗传信息也可以知晓,传递遗传信息过程中的各种核糖核酸也已基本弄清,不但能在分子水平上研究遗传,而且还有可能改变遗传,从而派生出遗传工程学。如果能将所需要的基因提出或合成,再将其转移到适当的生物体内去,以改变遗传、控制遗传,这不但能解除人类的一些疾患,而且还可以改良动、植物的品种,甚至还可能使一些生物,尤其是微生物,更好为人类服务,可以预见在不远的将来,这一发展将为人类的幸福做出巨大的贡献。

## (二)研究对象与学科分支

生物化学研究对象繁多,所以从不同角度出發,形成了不同的分支学科,可分为动物生化、植物生化、微生物生化、昆虫生化等。若以生物体的不同组织或过程为研究对象,则可分为肌肉生化、神经生化、免疫生化、生物力能学等。因研究的物质不同,又可分为蛋白质化学、核酸化学、酶学等分支。研究各种天然物质的化学称为生物有机化学。研究各种无机物的生物功能的学科则称为生物无机化学或无机生物化学。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,分为医学生化、农业生化、工业生化、营养生化等。

生物化学早期主要采用化学、物理学和数学的原理和方法研究各种生命现象。随着研究的发展,融入了生理学、细胞生物学、遗传学、免疫学等的理论和技术,近年来又融入了生物信息学。所以生物化学是有众多支撑学科的多学科联系和交叉的学科。

## 二、生物的化学特征

### (一)元素特征

虽然自然界存在有90余种元素,但是出现在生物体中的只有30余种,其中C、H、O、N、S、P、Cl、Na、K、Ca是大量元素,其余为微量元素。微量元素中Mn、Fe、Cu、

Mg、Zn 在生物体中普遍存在。

C、H、O、N。这 4 种元素占生物体干重的 99% 以上。H 主要形式是碳氢化合物，并且以  $H^+ + e^-$  的形式经常参与加氢和脱氢反应； $H^+$  的浓度决定了生物体的 pH。O 可经常以极性基团(如  $-OH$ 、 $-COOH$ )存在，也是有机物最终氧化的形式—— $CO_2$  的主要成分；O 可使其他有机物向电子向氧传递从而转换能量。N 经常以极性基团的形式存在(如  $-NH$ )，有机分子正是因 N 的掺入而形成了性质各异、功能繁多的各种生物分子。生物体细胞干重的一半是 C，它可形成构象、结构各异，分子质量多变的，以官能团为特征的各种各样的有机分子。

S、P、Cl、Na、K、Ca。S 在生物体的主要形式是硫氢基，它们可以通过氧化形成二硫键，这种键是稳定蛋白质构象的主要作用力之一；也可以和羧基形成硫酯键。P 在生物体中主要是以磷酸基团的形式存在，最多的是形成磷酸酯键。因为形成硫酯键、磷酸酯键需要比较高的能量，当这些键打开时就可以释放出比较高的能量。Cl、Na、K 等的功能是维持体液电荷平衡，K 是有些酶的激活剂。另外 P、S 是蛋白质的组成元素，Ca、P 是组成骨骼的主要成分。 $Ca^{2+}$  具有细胞信号分子的作用。

Mn、Fe、Cu、Mg、Zn。这些元素是以离子状态存在，它们的功能比较复杂。如 Fe、Cu 可通过接受和释放电子而起到传递电子的作用。Zn 是一些酶，特别是核酸代谢的酶的组分。Mg 伴随着 ATP/ADP 转化。Mn 是许多酶的激活剂。

## (二) 价键特征

在生物体除了我们熟知的分子中连接原子的共价键之外，还有十分重要的 4 种非共价键。

(1) 离子键。这是由两个相反电荷通过静电引力形成的，如蛋白质中的羧基与氨基。离子键在维持生物大分子的结构、大分子与配基的结合等方面有着重要的作用。

(2) 氢键。这是由电负性大的原子(O、N、F)与另一个电负性大的原子上结合的氢原子通过静电引力形成的。这种键的作用力很小，但是在生物大分子中存在众多的氢键，使得这种键在维持大分子的结构以及大分子与其配基的结合专一性上具有重要的位置。

(3) 疏水作用力。这是在水环境中疏水基团为避开极性的水分子而产生的聚集力，而不是一种键。它的形成是因为水的溶解性质，而不是疏水基团之间的作用力。当疏水基团存在于水溶液中时，水分子在其表面必须整齐排列，致使体系的熵值减小，分子处于不稳定状态。只有疏水基团相互聚集，尽量减少与水的接触面，这样体系的熵值才增大，分子处于比较稳定的状态。这种疏水作用力是稳定蛋白质、核酸、生物膜等大分子及其聚集体的重要作用力。

(4) 范德华引力。这是化学基团之间小范围的作用力，比其他作用力都弱得多，但是由于它们广泛存在，所以对生物结构的稳定性有很大的贡献。

## (三) 分子组成特征

生物体中的分子可以分为三类，即矿质元素、水和有机分子。矿质元素的种类和功能已经叙述。

(1) 水。水是生物体内含量最高、存在最广泛的物质。由于它特有的性质使得水非常适合于生物系统，所以水有“生命之源”的美称。

水的第一个特性是其极性。由于水的分子结构，决定了它是弱极性分子。水的第二个特

性是其氢键。由于水由 H 和 O 形成，所以水分子间可以形成氢键。使得水比其他液体具有高蒸发热和高比热容。

水的这些性质决定了它在生物体内的功能：①水是生命的溶剂。水是化学活性液体，是许多生物分子和无机离子的好溶剂。②水在许多生物化学反应的底物或产物。③水有利于生物大分子结构的形成。④水有助于调节体温。

(2)有机分子。根据分子质量，有机分子可分为两类：小分子和生物大分子。分析生物大分子的结构可以发现，它们主要是由 30 余种小前体分子构成的，所以这些小前体分子也称为生物分子的“字母”。前体分子可以分为四类：

20 种 L-氨基酸。这是蛋白质的基本单位。

5 种含氮碱基 (2 种嘌呤与 3 种嘧啶)。它们与磷酸、核糖或脱氧核糖结合就形成核酸的基本单位——核苷酸。

2 种糖。第一种是 D-葡萄糖，这是作物光合作用的产物，也是生物代谢的重要中间产物。第二种是 D-核糖，它是核苷酸的基本组成成分。

软脂酸、甘油和胆碱。它们一起组成了磷脂分子，是生物膜的重要组成成分。软脂酸还是其他脂肪酸的基础，它们与甘油共同构成脂肪。

这 30 余种小分子是生物体内小分子的主体。当然，其他小分子种类繁多，功能各异，也是生物不可缺少的组分。

生物大分子是由一类或少数几类前体分子以重复结构相互连接在一起所形成的多聚体，其干重占生物体的 90% 以上。生物大分子有 4 种：①蛋白质是由氨基酸通过肽键连接的大分子，它是生物功能最主要的执行者；②核酸是核苷酸通过磷酸二酯键连接的大分子，这个多聚体的核苷酸排列顺序编码遗传信息，从而指导生物体的生长、发育、繁殖、代谢等；③多糖是单糖通过糖苷键连接的大分子，它们的功能主要是动植物中储存能量 (淀粉、糖原)，植物中作为结构成分 (纤维素)；④复合脂，如糖脂、脂蛋白等。

生物大分子具有如下几个特性。首先，一种大分子只由一种或几种前体分子连接而成，这些前体的不同数目、不同排列就可以形成数量巨大的同类分子，如蛋白质与核酸。其次，生物大分子具有多层次结构，如蛋白质有一到四级结构，DNA 有一到三级结构。第三，生物大分子结构与功能是密切联系的，如蛋白质的功能必须表现在完整的三级或四级结构上。

#### (四)反应特征

生物化学反应也是分子结构性质的变化过程，所以也符合化学反应遵从的定律、规律。但是这些反应也具有区别于一般化学反应的特征。

首先，生物体内各个反应不是独立的，而是系列反应以反应途径形式存在，而各个途径间也是互相联系的，即生物化学反应 (代谢) 是网络化的。正因为如此，近些年人们提出代谢网络、代谢组学等概念。

其次，生物化学反应是酶催化的反应，所以这些反应的效率要比一般化学反应的效率高得多；这些反应要受到生物体的统一调节，以使生物代谢形成统一的、协调的整体。由于酶分子本身容易受到各种因素的影响，所以生物化学反应的速度也容易受内外因素的影响。

第三，生物化学反应中，对底物和产物都具有立体异构体的选择性。如合成蛋白质的氨基酸全部为 L-氨基酸，生物体内全部是 D-葡萄糖等。

第四，由于生物体是恒温、恒压的环境，所以只有自由能可以在生物反应过程中做功。



### 三、生物化学发展简史

生物化学的发展可以上溯到很久以前。古代劳动人民已广泛应用并发展了酿酒、制醋和生产饴糖等技术,显然,这些技术都是酶和发酵过程的实际应用。此外,还广泛利用了动物脏器和植物材料作为药物来治疗疾病;在临床诊断中,对代谢产物如粪、尿等变化,都有较详细的观察。时至今日,我国古代有关生物化学的著作和记载,仍有发掘、整理和进行科学分析的价值。

生物化学的真正研究应该从 18 世纪开始,到现在历经了 3 个阶段,即叙述生物化学阶段(又称静态生物化学阶段)、动态生物化学阶段和分子生物学阶段。

(1) 叙述生物化学阶段(18 世纪中至 19 世纪末)。该阶段是生物化学的初期阶段,主要是研究生物体的化学组成,主要贡献有:对糖、脂、氨基酸性质进行了系统研究;发现了核酸;证实了酶的作用;分离了血红蛋白;化学合成了简单多肽等。19 世纪初,Wöhler 用人工方法用氰酸铵合成尿素,否定了“活力论”。Pasteur 在 1857 年、1860 年对乳酸发酵和酒精发酵进行了深入研究,指出发酵是由微生物所引起的,为发酵和呼吸的生化理论奠定了基础。

(2) 动态生物化学阶段(20 世纪初至 20 世纪中叶)。从 20 世纪初开始,由于不同学科间的互相渗透和各项新技术的综合应用,生物化学开始迅速的发展,如同位素示踪原子技术、X 射线衍射技术、电子显微技术、核磁共振、顺磁共振、电泳、层析和超速离心等技术手段的应用,使人们能够从亚细胞或分子水平深入研究细胞的组成和结构、超分子集结体的结构和功能以及细胞内进行的一系列代谢过程。生物化学进入了动态阶段。1911 年 Funk 结晶出复合维生素 B。1902 年 Abel 分离出肾上腺素并制成结晶。1926 年 Went 从燕麦胚芽鞘中分离出植物激素——生长素。1926 年 Summer 首次将酶制成结晶,并证明了酶的蛋白质本质。在物质代谢方面,由于化学分析和同位素示踪技术的发展和运用,1940 年前后糖酵解、三羧酸循环、氧化磷酸化、磷酸戊糖途径、脂肪酸代谢和光合磷酸化等主要代谢途径均被阐明,许多著名的生物化学家如 Warburg、Keilin、Emden、Meyerhof、Krebs、Hill、Lipmann 等为此作出了重要的贡献。Calvin 和 Arnon 阐明了光合碳循环和光合磷酸化过程。

(3) 分子生物学阶段(20 世纪后半叶至现在)。20 世纪 50 年代以后,生物化学经过几十年的发展,已成为生物学科中的中心和前沿领域。其中许多举世瞩目的研究成果为人类全面解释生命现象的本质提供了新的希望。如年轻科学家 Watson 和 Crick 在总结 Chargaff 等对核酸特性和组成研究的基础上,于 1953 年首次提出了 DNA 双螺旋结构模型,成为生命科学发展史上的一块里程碑,开创了生物科学的一个新纪元。Kendrew 和 Perutz 采用高分辨率 X 射线分析,解释了蛋白质的三维空间结构等。由于这些研究成果的问世,使人们相信驾驭生命已不再是空谈,认为今后的世纪将是生物学的世纪。

当前,生物化学正在进一步发展,它已在生理学、遗传学、细胞学、生态学等领域得到应用和发展。对生物大分子如蛋白质(或多肽)和核酸的空间结构及功能的认识已取得成功。酶催化作用的机理及对代谢过程的控制,也取得了很大的进展。光合作用机理,植物的抗性分子基础,生物固氮的机制,基因的克隆、转化以及基因表达的调控等研究,都取得了可喜的成果。特别是人类基因组计划的实施和人类基因图谱的得出,加速了人类认识生命的步伐,使 21 世纪成为世人公认的生物世纪。