



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级精品课程配套教材

[高职教材]

生物化学

SHENGWU HUAXUE

李巧枝 何金环 主编



中国轻工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

生物化学

李巧枝 何金环 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生物化学/李巧枝, 何金环主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2009. 9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5019-7072-8

I. 生… II. ①李…②何… 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 (2009) 第 118929 号

责任编辑: 白 洁

策划编辑: 白 洁

责任终审: 唐是雯

封面设计: 锋尚设计

版式设计: 王超男

责任校对: 燕 杰

责任监印: 马金路

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 720×1000 1/16 印张: 17

字 数: 321 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-7072-8 定价: 29.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

71193J2X201ZBW

本书编写人员

主 编 李巧枝 (郑州牧业工程高等专科学校)
何金环 (郑州牧业工程高等专科学校)

副主编 徐固华 (信阳农业高等专科学校)
王永芬 (郑州牧业工程高等专科学校)
孙文英 (河南农业职业学院)
雷志华 (郑州师范高等专科学校)

编 者 (按姓氏笔画排序)

王文静 (郑州牧业工程高等专科学校)
王永芬 (郑州牧业工程高等专科学校)
孙文英 (河南农业职业学院)
连艳鲜 (郑州牧业工程高等专科学校)
李华玮 (郑州牧业工程高等专科学校)
何金环 (郑州牧业工程高等专科学校)
李巧枝 (郑州牧业工程高等专科学校)
赵丽萍 (信阳农业高等专科学校)
徐固华 (信阳农业高等专科学校)
索江华 (郑州牧业工程高等专科学校)
雷志华 (郑州师范高等专科学校)

前 言

21 世纪是生命科学的世纪,生物化学是生命科学中十分重要的专业基础课之一,是高等院校生物技术类相关专业的学生必修的专业基础课。为满足当今社会对综合性人才的需求,为培养学生严谨、严肃、严格的科学态度和积极进取、创新思维的技术素养,使学生能科学地学习、深刻地理解、全面地掌握、灵活地运用生物化学的基本理论、基本技能,我们根据国家相关部门对十一五规划教材的要求,体现以应用性职业岗位需求为中心,以素质和创新教育为基础,以学生能力培养为本位,组织编写了《生物化学》教材一书。

创新型人才的培养,必须依赖相对适应培养创新人才的教材。本书编写宗旨紧扣培养高技能人才的目标,注重职业技能和实践能力的培养;既突出基本概念和基本知识,又反映当前本学科所取得的重要研究成果与进展。在编写过程中,参照相关的职业资格标准,针对庞大的生物化学内容进行了适当的取舍,坚持“必需”、“够用”、“管用”的原则,力求做到概念清楚、条理清晰,重点反映行业中正在应用的新技术、新理论。

在内容编辑形式上本教材也作了一些新的尝试。在每章正文前提出了本章的知识目标,使学生能抓住重点,明确学习目的和要求;增设了部分知识拓展,以拓宽学生视野;每章后都设有思考题,便于学生复习与巩固。

本教材内容丰富、深入浅出,体现高职教育特色,融基础性、实用性和应用性为一体,适用于高等院校生物技术、生物工程、动物科学、动物医学、食品工程、园林花卉、环境工程等专业,也可作为相关专业教研人员和科技工作者的参考书。

教材编写分工:何金环编写绪论和单元二,孙文英编写单元一和单元十二,连艳鲜编写单元三,索江华编写单元四和单元十二,王文静编写单元五,徐固华编写单元六,雷志华编写单元七和单元九,李华玮编写单元八,王永芬编写单元九和单元十,赵丽萍编写单元六和单元十一,李巧枝编写引言和制定大纲并负责全书统稿工作。

本教材在编写过程中得到了郑州牧业工程高等专科学校、信阳农业高等专科学校、郑州师范高等专科学校、河南农业职业学院等院校同仁的帮助,也得到了各级相关领导的大力支持,中国轻工业出版社的编辑为本书的出版付出了辛勤劳动,为此本书作者特向他们表示衷心的感谢。

由于生命科学发展迅速,编者深感知识浅薄,在编写过程中,纵然经过多次讨论、修改,但疏漏之处在所难免,敬请读者不吝指正。

编 者

目 录

绪论	1
一、生物化学研究的主要内容	1
二、生物化学发展概况	3
三、生物化学与其它学科的关系	4
单元一 核酸化学	6
一、核酸的分布和分类	6
二、核酸的化学组成	7
三、核酸的分子结构	13
四、核酸的性质	23
单元二 蛋白质化学	29
一、蛋白质的主要生物学功能及化学组成	29
二、蛋白质的结构	33
三、蛋白质结构与功能的关系	41
四、蛋白质的性质	43
五、蛋白质的分离纯化	47
单元三 酶	55
一、酶的命名与分类	55
二、酶催化作用的特性	58
三、酶结构与功能	60
四、酶催化高效性机理	64
五、酶促反应动力学	66
六、酶活力及其测定	75
七、酶工程及酶的应用	76
单元四 维生素与激素	82
一、维生素	82
二、激素	97
单元五 糖类代谢	105
一、生物体内的糖类及其功能	105
二、糖的分解代谢	107
三、糖原的合成与分解	125
四、糖异生作用	130

五、血糖·····	133
单元六 生物氧化 ·····	138
一、生物氧化及其特点·····	138
二、生物氧化中二氧化碳的生成·····	140
三、生物氧化中水的生成·····	141
四、生物氧化中能量的产生与利用·····	147
五、其它生物氧化体系·····	154
单元七 脂类代谢 ·····	158
一、脂类的分布及其生理功能·····	158
二、脂肪的分解代谢·····	160
三、脂肪的合成代谢·····	167
四、磷脂和胆固醇的代谢·····	173
五、血浆脂蛋白·····	179
单元八 蛋白质和氨基酸的代谢 ·····	183
一、蛋白质的分解代谢·····	183
二、氨基酸的一般代谢·····	186
三、个别氨基酸的代谢·····	194
单元九 核苷酸代谢 ·····	201
一、核苷酸的分解代谢·····	201
二、核苷酸的合成代谢·····	204
单元十 核酸和蛋白质的生物合成 ·····	211
一、DNA 的生物合成 ·····	211
二、RNA 的生物合成 ·····	219
三、蛋白质的生物合成·····	224
单元十一 物质代谢的相互关系与调控 ·····	238
一、物质代谢之间的相互联系·····	238
二、物质代谢的调控·····	241
单元十二 血液与肝脏生化 ·····	250
一、血液生化·····	250
二、肝脏生化·····	256
参考文献 ·····	263

绪 论

生物化学是生命的化学。它是运用化学的原理和方法，在分子水平上研究生物体的化学组成、结构、理化性质、生物功能及其在生命活动中化学变化规律与生理功能的关系，从而揭示生长、生殖、衰老、运动、免疫等复杂生命现象本质的一门科学。

一、生物化学研究的主要内容

生物化学研究的是无生命的生物分子如何构成生物有机体，产生什么样的变化来维持和繁衍这活生生的生命。生物化学所涉及的主要内容包括以下几个方面：生物体的化学组成、结构与功能；生物大分子的化学结构和空间构象，相互作用及合成降解；生物大分子的组装和协调；能量的保存与利用；遗传信息的贮存、传递和表达等。

(一) 生物体的化学组成、结构与功能、生物分子、细胞器、膜、细胞

生物体具有高度的化学复杂性和精细的微观组织。成千上万种不同的分子组成了细胞精细的内部结构。它具有特殊的组成单位、排列顺序、独特的三维结构和高度选择性的结合伙伴，从而组成生物分子、细胞器、膜、细胞等。从无机物到有机物，从小分子到各种生物大分子，应有尽有。除了各种无机盐和水之外，大多数生物体的化学组成基本是以以下 30 种小分子前体物质为基础。有人将这 30 种前体物质称为生物化学的字母表。构成生物体各类有机大分子的单体都遵循了共同的生成规则，在不同生物中都是相同的。

(1) 20 种编码氨基酸 氨基酸是组成所有蛋白质的基本单位，也参与许多其它结构物质和活性物质的组成。

(2) 5 种芳香族碱基 2 种嘌呤（腺嘌呤和鸟嘌呤）和 3 种嘧啶（胞嘧啶、尿嘧啶、胸腺嘧啶）分别参加核苷酸的组成。核苷酸是组成 DNA 和 RNA 分子的前体，也是核苷酸类辅酶和高能磷酸化合物三磷酸核苷酸（如 ATP 等）的前体。

(3) 2 种单糖 生物体内主要供能物质是葡萄糖，葡萄糖也是合成多糖的单体。核糖是核苷酸的组成成分。

(4) 脂肪酸、甘油和胆碱（3 种） 它们是脂肪和类脂的组成部分。在类脂

中，磷脂是组成生物膜脂质双层的基本物质。

由以上单体分子或它们的衍生物为基本成分组成的糖类、脂类、蛋白质、核酸通常被称为生物化学中的四大基本物质；对代谢起催化和调节作用的酶、维生素和激素，通常被称为生物化学中的三大生物活性物质。各种生物分子结构复杂、功能各异，是体现各种生命活动最基本的物质基础。

(二) 生物体的物质代谢及调节

新陈代谢是生命的基本特征，生物必须不断地和外界环境进行物质和能量交换。生物要从周围环境中不断摄入各种营养物质，同时又不断地向周围环境排出各种代谢废物。

绿色植物通过光合作用摄取光能，使其转变为化学能；而人或动物则是直接摄入含化学能量较高的有机物质（主要是糖和脂类）以获取能量。

新陈代谢可分为三个阶段：

第一阶段：消化吸收。指大分子物质转变为小分子的单体，如淀粉水解为葡萄糖。

第二阶段：中间代谢。机体利用消化吸收的一部分物质合成自身所需要的各种物质进行组织的建造和更新，而将另一部分吸收的物质降解以获取能量，与此同时还发生原有组织成分的降解，其降解产物与吸收的物质进行相同的代谢。各种物质降解，最后形成机体无用的终产物而排出体外。

第三阶段：排泄废物。中间代谢产生的许多终产物，随着尿、粪、汗、胆汁和呼出的气体等排出体外，同时还要把生命活动过程中产生的热量排出体外。

生物化学研究的内容主要是中间代谢过程。

机体内各种代谢途径并不是孤立存在的，相互之间既对立又统一，既有联系又有制约，既要适应条件改变又要保证机体的需要。所谓条件改变可概括为两个方面：一方面是生物体一生中所发生的发育阶段的变化，这是由遗传基因控制的变化，因为，生物体在每个发育阶段的生理活动都有所不同，要求其代谢必须做出相应的改变，这就需要对代谢进行调控。另一方面是随时可能发生的内外环境（如温度、疾病、饥饿及各种应激刺激等）的改变。这种变化是多方位的，生物体为了维持生命活动，必须以准确、灵敏的调节机制调整各个代谢途径的速度，以适应环境的多变性。这种调控必须通过调节系统（神经、激素、各种生物信息分子、关键酶等）来完成。

生物体内的化学变化，就反应性质的复杂性、产物的多样性以及调控的严密性来说，是任何现代化大工厂所不能比拟的。自 20 世纪 60 年代以来，生物化学的研究正在逐渐揭示生物体代谢调节机制的秘密，故动态生物化学是讨论物质代谢变化以及生物活性物质在代谢变化中的调控作用。

(三) 生物体遗传信息的传递、表达与调控

生物体具有精确的遗传复制和自我组装能力,具有感觉周围环境变化并能做出相应反应的能力。这些能力造就了生物世界的多样性、遗传物质的惟一性和生命本质的一致性。

生物性状之所以能代代相传,是靠核酸和蛋白质作为物质基础。DNA 是遗传信息的载体,通过 DNA 分子半保留复制,将遗传信息传递给子代细胞,再通过转录和翻译,基因的遗传信息在细胞内合成各种功能的蛋白质,这就是基因表达。通过表达,合成的特定蛋白质具有特定的生物学功能。由此可见,由于亲子两代细胞中有相同的 DNA,所以能转录出相同的 RNA,翻译成相同的蛋白质。其表现出来的生物学功能与性状也相同。

自从 1953 年 Watson 和 Crick 创造性地提出了 DNA 分子的双螺旋结构模型后,从此真正揭开了分子生物学的序幕。由于人们认识到核酸生物功能的至关重要,所以核酸的研究得到极大重视,吸引了世界上大批科学家投身于该研究领域,人们开始在分子水平上认识生命的本质,其结果使许多生物学科与生物化学紧密联系了起来。至此,一门以生物化学为基础发展起来的新的学科——分子生物学便应运而生。以分子生物学理论为指导的高新生物技术,为生命科学研究注入了新的活力。

二、生物化学发展概况

生物化学是随着化学和生理科学的发展而诞生的,是一门比较年轻的学科。约 180 年前从欧洲开始,至 20 世纪初逐渐形成独立的学科。

1770 年 J. H. Priestley 研究植物光照时可以产生气体,因此发现了元素氧和光合作用。1828 年 F. Wohler 在实验室中首次合成了尿素,过去认为只有生物才能合成它。1860 年 L. Pasteur 证明发酵作用是微生物的功劳,随后 E. Büchner 兄弟从酵母中提取出无细胞的制剂也可以使糖进行发酵,证明在体外也可进行生物化学反应。生物化学研究的最初阶段是静态生物化学,主要研究生物体的化学组成,包括糖、脂肪及氨基酸的结构及化学性质。1926 年 J. Snmner 从刀豆中提取出脲酶结晶,证明酶是蛋白质。F. J. Hopkins 等通过食物分析及营养研究发现了维生素。20 世纪 30 年代以后进入生物化学的动态研究阶段。经过 H. A. Krebs 等研究发酵及肌肉生化代谢途径,确定了生物体内存在糖酵解、三羧酸循环、脂肪酸 β -氧化等代谢途径,从而使人们对生物如何获得能量取得初步认识。50 年代以后生物化学的研究重点是生物大分子的结构,于是产生了分子生物学。F. Sanger 于 1953 年首先确定了胰岛素的氨基酸排列顺序,开创了研究蛋白质一级结构的纪元。J. C. Kendrew 和 M. F. Perutz 利用 X 射线晶体学先

后阐明了肌红蛋白的三级结构。J. D. Watson 和 F. H. C. Crick 提出 DNA 的双螺旋模型和中心法则，为分子遗传学奠定了基础。伯格 1973 年首次重组 DNA 成功，从而开创了基因工程。目前利用 DNA 重组技术已经人工合成胰岛素、干扰素等生物药剂，许多生物药剂已被用于临床防治疾病。到上世纪末本世纪初，全球顶级的生物科学家进行了生命科学领域最大的课题，即人类基因组 DNA 全序列的测定工程。

在我国，生化历史可以追溯到远古，杜康造酒就是一个美丽的传说。但作为一门学科独立开设并建立相应的实验室，则始于 20 世纪 30 年代。

吴宪先生是中国现代生物化学的奠基者，他在 20 世纪 30 年代研究了营养、免疫化学并提出了蛋白质变性学说。1965 年中国科学家首次人工合成了胰岛素，它与天然胰岛素的结构和活性相同。1981 年中国科学家又合成了具有生物活性的酵母丙氨酸转移核糖核酸。中国科学家也参加了人类基因组 DNA 全序列的测定工程。近 20 多年来，中国的生物化学在基础和应用研究方面都取得了较大进展。

当今生命科学发展进入了一个全新的时期，其研究特征是在多水平上全方位地对生物的分子结构、细胞器、膜、细胞、组织、器官、整体的生化过程进行研究，微观与宏观相结合，综合地认识生命现象。此外，发育生物学、神经生物学、免疫学、基因组学、蛋白质组学、糖生物学已成为生命科学最基础的研究之一，它们的生化过程也是现代生物化学研究的热点。近 30 年来，利用物理学的原理设计制造出来的许多高精密分析仪器，被大量应用到生物化学研究工作中，建立了许多生化研究先进技术和方法，使生物化学研究突飞猛进。这些高精尖仪器，如超速离心机、液体闪烁仪、电子显微镜、高效液相层析仪、DNA 合成仪、DNA 顺序分析仪、氨基酸分析仪、气相色谱仪、高效液相色谱仪、气相色谱-质谱联用仪、高效液相色谱-质谱联用仪、原子发射光谱-质谱联用仪等绝大多数是由微机控制全自动化操作。这便是当代微电子学和电子计算机技术对生物技术的渗透。没有这类渗透，各类生物化学分析研究将不可能深入到分子水平，也不会有今日的现代生物高技术。

三、生物化学与其它学科的关系

生物化学是介于生物学和化学的边缘学科。生物化学的发展离不开化学，因此化学，特别是有机化学和物理化学是学习生物化学不可缺少的基础课。有机化学所涉及的有机分子的结构和官能团的性质为认识生物分子结构和体内化学反应的机理提供了基础。物理化学所涉及的焓、熵和能量变化等热力学原理对判断生物分子化学反应的方向、理解生物能量转变的原理、认识生物大分子特定结构和细胞环境的相对稳定原因也是必需的基础。

了解生物分子的结构和性质并将其合成,乃是有机化学和生物化学的共同课题。在分子水平上弄清生理功能,是生理学与生物化学的共同目的。现代微生物学及现代免疫学研究病原微生物的代谢和致病毒素的化学本质以及防治它们的措施等内容,在研究中都要应用生物化学的知识和技术。就现代免疫学而言,不论是体液免疫还是细胞免疫,都必须在分子水平上才能阐明抗原和抗体之间复杂、微妙、深奥的反应机理。近年来,许多生物化学研究工作都常以微生物为材料,尤其以细菌为研究材料,这样,一方面可验证在动物体内得到的结果;另一方面由于细菌繁殖生长极其迅速,为在分子水平上研究遗传规律提供了有利条件。

由此可以看出,生物化学与现代微生物学、分子遗传学、发育生物学、现代免疫学、现代细胞生物学的关系是非常密切的。生物化学与生物物理学、现代药理学也有密切联系。生物化学不仅在农牧、医药、卫生方面应用广泛,在工业方面如食品工业、酿造、生物制剂以及制备等也有广泛的应用。因此生物化学是生命科学相关专业的一门核心专业基础课。

近年来生物化学取得了前所未有的重大进展,其特点是,应用更加广泛,领域不断拓宽,多学科相互交叉渗透。现代生物化学研究的成果在不断地实现产业化,创造出了显著的经济效益,解决了许多科学疑难问题和社会问题,促进了社会经济发展,生物化学已成为现代科学技术发展的基础与支柱。2003年以来全球生物技术产品每年的总销售额已达到600亿美元以上,产生的经济效益超过了4000亿美元,发展势头与信息产业不相上下。随着动物克隆的成功、人类基因组计划的顺利实施和初步完成,基因组学、基因操作和生物信息技术的飞速发展,新的功能基因发掘及其新品种创新周期大大缩短,人们对生命活动的认识将达到新的境界,将使生物化学和生物技术及其产业的发展产生质的飞跃,出现革命性变化。

随着社会的发展,人口和环境压力的增加相继出现的粮食问题、能源问题、疾病防治问题、食品安全问题、环境质量等问题等,持续不断地向生物化学和分子生物学提出新的要求和挑战。随着现代生命科学研究的不断深入,新成果的涌现和应用,生物化学和分子生物学将成为人类战胜疾病、改造自然、创造和谐优美生存环境的有力武器。

不容置疑,21世纪必将是生物化学和分子生物学共同发展渗透到所有生命科学领域的时代,生命科学自身将发生更大的变革和突破,使人类越来越接近于了解生命的本质。

单元一 核酸化学



知识目标

- 了解核酸的分布、分类及其生物学功能；
- 掌握 DNA 空间结构特点；
- 掌握 3 种 RNA 分子的结构特点及其功能；
- 重点掌握核酸的主要理化性质及其分离纯化技术。

核酸是生物体内特有的大分子化合物，它既包含了生物体的遗传信息，又参与遗传信息的表达，生物体的生长、发育、遗传和变异等都与核酸密切相关。核酸结构与功能的研究是当前分子生物学研究的主要内容之一，它对揭示基因表达的时空性和复杂的调控机理，阐明遗传和变异的本质是十分重要的。

DNA 是遗传物质的概念起源于 1928 年 Griffith 等进行的转化实验。1944 年，Avery 等人通过实验直接证明 DNA 是携带遗传信息的分子，1952 年 Hershey 和 Chase 通过噬菌体的感染实验，也证实了 DNA 是遗传物质。1953 年，Watson 与 Crick 提出了 DNA 的双螺旋模型，揭开了分子生物学研究的序幕，为分子遗传学的创立奠定了基础。

DNA 是染色体的主要成分，是携带遗传信息的分子，DNA 基本功能就是作为生物遗传信息复制的模板和基因转录的模板，它是生命遗传和变异的物质基础。RNA 的生物功能具有多样性。RNA 首先是在遗传信息的翻译中起着决定的作用，三类 RNA 共同控制着蛋白质的生物合成，少量 RNA 具有重要催化功能和其它特定功能。

一、核酸的分布和分类

根据核酸所含戊糖不同，可分为脱氧核糖核酸（deoxyribonucleic acid, DNA）和核糖核酸（ribonucleic acid, RNA）两大类。RNA 又分为三类：核蛋白体 RNA（ribosomal RNA, rRNA）、转运 RNA（transfer RNA, tRNA）及信使 RNA（messenger RNA, mRNA）。

核酸约占细胞干重的 5%~15%，其在细胞内的分布见表 1-1。真核细胞

中，绝大部分（约 98%）DNA 与蛋白质结合形成染色质存在于细胞核中，其余的分布在细胞质和线粒体、叶绿体等细胞器中；原核细胞中 DNA 集中在核区。RNA 主要存在于细胞质中，约占总量的 90%。三类 RNA 中 tRNA 相对分子质量最小，含量中等，占 RNA 总量的 10%~15%；mRNA 半衰期最短，种类最多，含量最少，占总量的 5%~10%；rRNA 含量最多，占 RNA 总量的 75%~80%。病毒或只含 DNA，或只含 RNA，从未发现两者兼有的病毒。植物病毒基因组大多是 RNA，DNA 很少见。

表 1-1 核酸在原核细胞和真核细胞内的分布

	真核生物	原核生物
DNA	细胞核(98%)	细胞质(类核部分)
	细胞质(少量)	质粒 DNA
	线粒体(少量)	病毒 DNA
	叶绿体(少量)等	
RNA	细胞质(90%)	细胞质
	核仁(少量)	病毒 RNA

二、核酸的化学组成

(一) 核酸的元素组成

组成核酸的主要元素有 C、H、O、N、P 等，核酸分子一般不含 S，P 元素的含量较多并且较恒定，为 9%~10%。因而，在核酸定量测定中，常先测出其含磷量，然后推算出试样中核酸的含量。

(二) 组成核酸的基本单位——核苷酸

核酸的基本构成单位是核苷酸（nucleotide），核酸又称多聚核苷酸（polynucleotide）。组成 DNA 的核苷酸是脱氧核糖核苷酸（deoxyribonucleotide），组成 RNA 的核苷酸是核糖核苷酸（ribonucleotide）。核苷酸还可以进一步分解成核苷（nucleoside）和磷酸。核苷再进一步分解成碱基（base）和戊糖（pentose）（见图 1-1）。DNA 和 RNA 的基本化学组成见表 1-2。

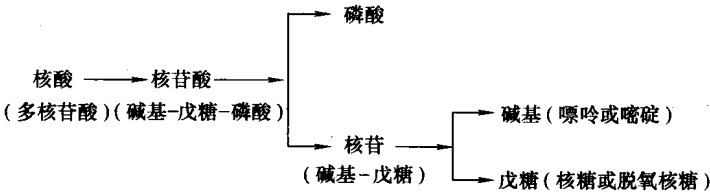


图 1-1 核酸逐步降解的过程

表 1-2 DNA 和 RNA 的基本化学组成

		DNA	RNA
碱基 (base)	嘌呤碱 (purine bases)	腺嘌呤(adenine, A) 鸟嘌呤(guanine, G)	腺嘌呤(adenine, A) 鸟嘌呤(guanine, G)
	嘧啶碱 (pyrimidine bases)	胞嘧啶(cytosine, C) 胸腺嘧啶(thymine, T)	胞嘧啶(cytosine, C) 尿嘧啶(uracil, U)
戊糖 (pentose)		D-2-脱氧核糖 (D-2-deoxyribose)	核糖 (D-ribose)
酸 (acid)		磷酸 (phosphoric acid)	磷酸 (phosphoric acid)

1. 碱基

核酸分子中的碱基均为含氮杂环化合物，分为两类：嘌呤碱（purine）和嘧啶碱（pyrimidine）。它们的结构见图 1-2。

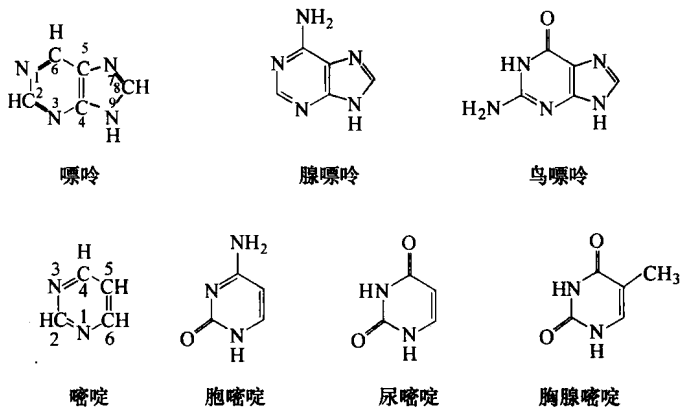


图 1-2 核酸中主要含氮碱的结构

(1) 嘧啶碱 核酸中常见的嘧啶有三类：胞嘧啶、尿嘧啶和胸腺嘧啶，其中胞嘧啶为 DNA 和 RNA 两类核酸所共有；胸腺嘧啶只存在于 DNA 中，但是 tRNA 中也有少量存在；尿嘧啶只存在于 RNA 中。

(2) 嘌呤碱 核酸中常见的嘌呤碱有两类：腺嘌呤及鸟嘌呤。DNA 与 RNA 中的嘌呤碱基是一样的。

(3) 其它碱基 除了以上几种碱基之外，核酸中还有一些特别的碱基存在，它们绝大多数是以上五类碱基的衍生物，即在碱基的某些位置附加或取代某些基团。由于这些碱基在核酸中含量一般都很低，因此，把它们称为稀有碱基或修饰碱基。稀有碱基种类极多，大多数都是甲基化碱基，如 5-羟甲基胞嘧啶、5-甲基胞嘧啶，还有 5,6-二氢尿嘧啶等。修饰嘌呤的碱基有 7-甲基鸟嘌呤、N⁶-甲基腺嘌呤等。tRNA 中的稀有碱基含量可高达 10%。目前已知的稀有碱基和核苷达近百种。

生物体内还有游离的嘌呤碱，如黄嘌呤、次黄嘌呤和尿酸等。前二者是核酸分解代谢的中间产物，后者是核酸分解代谢的最终产物之一。另外，存在于茶叶、咖啡及可可中的茶碱（1,3-二甲基黄嘌呤）、咖啡碱（1,3,7-三甲基黄嘌呤）、可可碱（2,7-二甲基黄嘌呤）等都是黄嘌呤的衍生物，它们都具有兴奋神经、增强心肌活动的功能。

（4）碱基的结构变异 核酸中碱基的酮基或氨基均位于碱基氮原子的邻位，可以发生酮式-烯醇式或氨基-亚氨基之间的结构互变，这种互变异构可引起DNA结构的变异，在基因突变和生物进化中具有重要作用（见图1-3）。

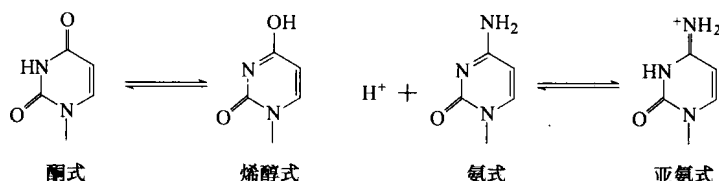


图1-3 核酸碱基的结构变异

2. 戊糖

核酸中的戊糖有核糖（ribose）和脱氧核糖（deoxyribose）两种，均为 β -D-型（D-ribose）（见图1-4）。DNA含D-2-脱氧核糖，RNA含D-核糖。有的RNA中含有少量D-2-O-甲基核糖。

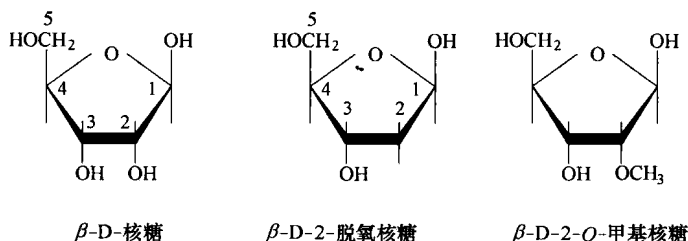


图1-4 β -D型核糖的结构

3. 磷酸

核酸是含磷的生物大分子。任何核酸中都含有磷酸，所以核酸呈酸性，可与 Na^+ 、多胺、组蛋白结合。核酸中的磷酸参与形成3',5'-磷酸二酯键，使核苷酸连接成多核苷酸链。DNA平均含磷量为9.9%，RNA为9.4%。常用组织中核酸磷的含量来表示核酸的含量，称为定磷法。

4. 核苷

核苷（nucleoside）是任一种碱基与核糖或脱氧核糖脱水缩合而成的一种糖苷。糖的第一位碳原子（ C_1 ）与嘧啶碱的第一位氮原子（ N_1 ）或与嘌呤碱的第

九位氮原子 (N_9) 相连接。根据核苷中所含戊糖的不同, 将其分成两大类: 核糖核苷和脱氧核糖核苷。RNA 分子中的核苷称为核糖核苷, 包括腺苷 (A)、鸟苷 (G)、胞苷 (C) 和尿苷 (U); DNA 分子中的核苷称为脱氧核糖核苷, 包括脱氧腺苷 (dA)、脱氧鸟苷 (dG)、脱氧胞苷 (dC) 和脱氧胸苷 (dT)。“d”表示脱氧。

5. 核苷酸及其在体内重要的衍生物

(1) 核苷酸 核苷酸由核苷分子中戊糖的 C_5' -羟基与磷酸缩合成酯键而形成。核糖核苷的糖基在 $2'$ 、 $3'$ 、 $5'$ 位上有游离羟基, 故能分别形成 $2'$ -、 $3'$ -或 $5'$ -核苷酸; 脱氧核糖核苷的糖基上只有 $3'$ -、 $5'$ -两个游离羟基, 所以只能形成 $3'$ -或 $5'$ -两种脱氧核苷酸。生物体内游离存在的多是 $5'$ -核苷酸。常见的核苷酸 (NMP) 有腺苷酸 (AMP)、胞苷酸 (CMP)、鸟苷酸 (GMP) 和尿苷酸 (UMP)。同样, 脱氧核苷酸 (dNMP) 有脱氧腺苷酸 (dAMP)、脱氧鸟苷酸 (dGMP)、脱氧胞苷酸 (dCMP) 和脱氧胸苷酸 (dTMP) (见图 1-5)。

单核苷酸可以在 $5'$ 位上进一步磷酸化产生 $5'$ -二磷酸核苷和 $5'$ -三磷酸核苷 (见图 1-6)。它们是核酸合成的前体、重要的辅酶和能量载体。以腺苷酸为例, 一磷酸腺苷 (AMP) 中的磷酸可与另一分子磷酸以酸酐的方式缩合成二磷酸腺苷 (ADP), 再结合一分子磷酸则生成三磷酸腺苷 (ATP)。其它单核苷酸可以和腺苷酸一样磷酸化, 产生相应的二磷酸或三磷酸化合物 (见图 1-6)。核苷三磷酸除作为核酸生物合成的原料外, 在生物体内的能量代谢中起着重要的作用。其中 ATP 在所有代谢途径的化学能储藏和利用中起着关键作用, 被称为生物的能量“通用货币”。ATP 还可作为淀粉生物合成中葡萄糖的载体。UTP 可作为葡萄糖载体参与糖原的合成, CTP 参加磷脂的合成, GTP 参加蛋白质和嘌呤的合成等。某些细菌中还有鸟苷四磷酸 (ppGpp) 和鸟苷五磷酸 (pppGpp) 的存在, 它们参与 rRNA 合成的调控作用。

(2) 核苷酸在体内的重要衍生物 核苷酸在体内除主要构成遗传物质核酸外, 还参与形成许多辅酶。如: 辅酶 I ($Co I$, NAD^+ , 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸) 和辅酶 II ($Co II$, $NADP^+$, 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸)、黄素腺嘌呤二核苷酸 (FAD) 和黄素单核苷酸 (FMN)。它们分子中都含有腺苷酸, 在生物氧化系统中起传递氢的作用。

辅酶 A (CoA , $CoA-SH$) 也是核苷酸衍生物, 参与糖、脂肪、蛋白质代谢, 尤其对脂肪代谢的促进作用更加重要。辅酶 A 已应用于冠状动脉粥样硬化的防治。

ATP 和 GTP 在腺苷酸环化酶和鸟苷酸环化酶的催化下可以生成 $3',5'$ -环腺苷酸 (cAMP) 和 $3',5'$ -环鸟苷酸 (cGMP), 二者的结构式见图 1-7。cAMP 和 cGMP 是一些激素等信号分子发挥生理作用的媒介物, 被称为第二信使。