



21世纪高职高专规划教材

公共基础系列

生物化学

主 编 李 煜
副主编 潘亚芬 金 颖 卢建国
主 审 张爱华



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

21 世纪高职高专规划教材·公共基础系列

生 物 化 学

主 编 李 煜
副主编 潘亚芬 金 颖 卢建国
主 审 张爱华

清华大学出版社
北京交通大学出版社
· 北京 ·

内 容 简 介

本书着重讲述生物化学的基本理论及实验操作。基本理论包括两部分：一部分介绍核酸、维生素与酶的结构和性质，另一部分介绍糖、脂、氨基酸、核酸、蛋白质、无机盐代谢及物质代谢的调节。实验操作包括生物化学实验操作技能及实验训练。每章附有习题，便于学生巩固所学基本知识。

本书以必需为原则，以实用为目的，体现职业性、基础性和实用性。本书可供高等职业院校种植类、养殖类、生物制药类及生物技术类专业学生使用，也可供其他专业的学生、教师及科技工作者参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目 (CIP) 数据

生物化学/李煜主编. —北京：清华大学出版社；北京交通大学出版社，2007.3

(21世纪高职高专规划教材·公共基础系列)

ISBN 978-7-81082-947-2

I. 生… II. 李… III. 生物化学-高等学校：技术学校-教材 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 017522 号

责任编辑：吴嫦娥

出版发行：清华大学出版社 邮编：100084 电话：010-62776969

北京交通大学出版社 邮编：100044 电话：010-51686414

印刷者：北京瑞达方舟印务有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185×230 印张：12.25 字数：275千字

版 次：2007年3月第1版 2007年3月第1次印刷

书 号：ISBN 978-7-81082-947-2/Q·1

印 数：1~4 000册 定价：22.00元

本书如有质量问题，请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评，我们表示欢迎和感谢。

投诉电话：010-51686043, 51686008；传真：010-62225406；E-mail: press@bjtu.edu.cn.

☆ 前 言 ☆

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》、《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》等文件精神,按照全国高等职业院校种植类、养殖类及生物类专业生物化学教学大纲的基本要求,针对高职高专教育发展的特点而编写的。

生物化学是高职高专院校种植类、养殖类及生物类专业一门重要的专业基础课。它为学生学习专业课程,提高学生的综合素质奠定了坚实的基础,对培养适应生产、管理、服务等生产第一线需要的高等技术应用型专门人才具有十分重要的意义。

本课程总学时为 64 学时,其中讲授 40 学时,实验实训 24 学时。由于各高职院校的具体情况不同,在使用过程中,可根据专业实际需要对本书相关内容进行取舍。

本书理论部分简要介绍核酸、维生素与酶的结构和性质,主要介绍糖、脂、氨基酸、核酸、蛋白质代谢途径的基本知识;同时,考虑不同专业的需要适当介绍了无机盐代谢。实验部分选择培养学生实验操作技能和与专业密切相关的实验内容。本书贯彻理论联系实际的原则,注意联系学生的专业实际。根据高职教育的特点,本书力求体现职业性、基础性和实用性,在叙述上力求做到条理清晰、深入浅出、通俗易懂。

全书共分 9 章。绪论、第 9 章由卢建国编写;第 1、8 章及实验三、实验五由金颖编写;第 2 章、第 4~7 章由李煜编写;第 3 章及实验四、实验九、实验十、实验十一由潘亚芬编写;实验一、实验二、实验六、实验七、实验八、实验十二由刘东方编写。全书由李煜负责统稿。全书由张爱华审稿,并对本书提出宝贵意见,对此表示衷心感谢。

本书在编写中引用了一些相关教材的资料和数据,在此向相关作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免出现不当及错误,敬请读者批评指正。

编 者

2007 年 1 月

☆ 目 录 ☆

绪论	1
习题	3
第1章 核酸	4
1.1 核酸的组成	4
1.1.1 核酸的存在	4
1.1.2 核酸的组成	4
1.1.3 核苷酸衍生物	8
1.2 核酸的分子结构	9
1.2.1 DNA 的结构	9
1.2.2 RNA 的分子结构	11
1.3 核酸的性质	13
1.3.1 核酸的物理性质	13
1.3.2 核酸的化学性质	13
习题	15
第2章 酶与维生素	17
2.1 水溶性维生素	17
2.1.1 维生素 B ₁	17
2.1.2 维生素 B ₂	18
2.1.3 维生素 B ₃	19
2.1.4 维生素 PP	20
2.1.5 维生素 B ₆	20
2.1.6 生物素	21
2.1.7 维生素 B ₁₂	21
2.1.8 叶酸	22
2.1.9 维生素 C	23
2.2 脂溶性维生素	24
2.2.1 维生素 A	24

2.2.2 维生素 D	24
2.2.3 维生素 E	25
2.2.4 维生素 K	26
2.2.5 维生素与人体健康	26
2.3 酶的概述	29
2.3.1 酶的概念	29
2.3.2 酶的性质	30
2.3.3 酶的分类和命名	31
2.4 酶的作用机理	32
2.4.1 反应活化能	32
2.4.2 中间产物学说	33
2.4.3 诱导契合学说	33
2.5 影响酶促反应速率的因素	34
2.5.1 底物浓度对酶促反应速率的影响	34
2.5.2 酶浓度的影响	35
2.5.3 pH 的影响	35
2.5.4 温度的影响	36
2.5.5 激活剂和抑制剂的影响	36
习题	39
第3章 糖代谢	41
3.1 糖的无氧分解代谢	41
3.1.1 糖的生理功能	41
3.1.2 糖无氧分解代谢	42
3.1.3 糖无氧代谢的生理意义	46
3.2 糖的有氧分解代谢	47
3.2.1 糖有氧分解代谢过程	47
3.2.2 糖有氧代谢的生理意义	50
3.3 电子传递链和氧化磷酸化	52
3.3.1 电子传递链的组成	52
3.3.2 线粒体中主要的电子传递链	54
3.3.3 氧化磷酸化	54
3.4 磷酸戊糖途径	56
3.4.1 磷酸戊糖途径的反应过程	56

3.4.2 磷酸戊糖途径的生理意义·····	58
3.5 糖异生作用·····	58
3.5.1 糖异生途径的反应过程·····	59
3.5.2 糖异生的生理意义·····	60
3.6 糖原代谢·····	60
3.6.1 糖原的合成代谢·····	60
3.6.2 糖原的分解代谢·····	61
3.6.3 糖原代谢的调节·····	62
3.6.4 血糖及血糖的调节·····	63
习题·····	65
第4章 脂代谢 ·····	68
4.1 脂代谢概述·····	68
4.1.1 脂类的组成·····	68
4.1.2 脂类的生理功能·····	70
4.1.3 脂的消化和吸收·····	71
4.1.4 脂的运输和储存·····	72
4.2 脂的分解代谢·····	73
4.2.1 脂肪酸的分解代谢·····	73
4.2.2 酮体的生成和利用·····	78
4.2.3 甘油的分解代谢·····	79
4.3 脂肪的合成代谢·····	80
4.3.1 脂肪酸的合成·····	80
4.3.2 脂肪的合成·····	84
4.3.3 脂代谢的调节·····	85
习题·····	85
第5章 蛋白质的分解代谢 ·····	89
5.1 蛋白质化学·····	89
5.1.1 氨基酸·····	89
5.1.2 蛋白质的结构·····	95
5.1.3 蛋白质的性质·····	96
5.2 蛋白质的降解和消化吸收·····	97
5.2.1 蛋白质的营养价值·····	97

5.2.2 蛋白质的降解	97
5.2.3 蛋白质的消化吸收	99
5.3 氨基酸的分解代谢	99
5.3.1 氨基酸的脱氨基作用	100
5.3.2 氨的代谢	102
5.3.3 氨基酸的脱羧基作用	104
5.3.4 氨基酸碳骨架的代谢	105
5.3.5 氨基酸代谢缺陷症	106
习题	106
第6章 物质代谢的调节	109
6.1 物质代谢的器官特异性概述	109
6.1.1 物质代谢的相互关系	109
6.1.2 物质代谢的器官特异性	111
6.2 物质代谢的调节	115
6.2.1 酶与细胞水平的调节	115
6.2.2 激素水平的调节	118
6.2.3 神经水平的调节	118
习题	119
第7章 核酸代谢	121
7.1 核苷酸的分解代谢	121
7.1.1 核酸的降解与消化吸收	121
7.1.2 嘌呤的分解	123
7.1.3 嘧啶的分解	124
7.2 核苷酸的合成代谢	124
7.2.1 嘌呤核糖核苷酸的合成	124
7.2.2 嘧啶核糖核苷酸的合成	126
7.2.3 脱氧核糖核苷酸的合成	128
7.3 核酸的合成代谢	130
7.3.1 DNA 的生物合成	130
7.3.2 DNA 的修复	134
7.3.3 RNA 的生物合成	135
习题	137

第 8 章 蛋白质的生物合成	140
8.1 蛋白质的合成体系	140
8.1.1 mRNA 与遗传密码	140
8.1.2 tRNA	142
8.1.3 rRNA	143
8.1.4 辅助因子	144
8.2 蛋白质的合成过程	144
8.2.1 氨基酸的活化	144
8.2.2 肽链的起始	145
8.2.3 肽链的延长	146
8.2.4 肽链的终止与释放	147
8.2.5 肽链合成后的加工	148
习题.....	149
第 9 章 水与无机盐代谢	152
9.1 水的代谢	152
9.1.1 水的生理功能	152
9.1.2 水的摄入与排出	153
9.2 体液的代谢	154
9.2.1 体液的含量与分布	154
9.2.2 体液电解质的组成、含量及其分布特点	154
9.2.3 体液的交换	155
9.3 电解质与无机盐代谢	156
9.3.1 电解质的生理功能	156
9.3.2 无机盐代谢	157
9.4 微量元素的代谢	161
9.4.1 铁的代谢	161
9.4.2 锌的代谢	162
9.4.3 铜的代谢	163
9.4.4 硒的代谢	164
习题.....	164
附录 A 实验	167
参考文献	186

绪 论

一、生物化学的研究对象和任务

生物化学(biochemistry)是研究生物体的化学组成和生命过程中化学变化规律的科学。它主要采用化学及物理学和免疫学等原理和方法,从分子水平上探讨生物体的化学组成、变化(物质代谢)及生命现象的本质,故又称生命的化学。生物化学是所有生命科学的基础,生理学、免疫学、药理学、微生物学、食品科学等毫无例外地应用生物化学的原理和方法。这些学科与生物化学有着广泛的联系与交叉,所以当今生物化学已成为生命科学领域的前沿学科。

生物化学的研究对象是生物体,包括动物、植物和微生物。地球上现存的生物大约为200多万种。虽然它们的结构和形态各异,生活生长方式各不相同,但它们都有相似的元素组成。组成生物体的重要物质有核酸、蛋白质、糖类、脂类、无机盐和水等,另外还含有含量较少但对生命活动极为重要的维生素、激素和微量元素。这些物质种类繁多,结构复杂,是一切生命的物质基础。

生物化学的任务之一就是研究生物体的化学组成、结构、性质、生理功能及结构与功能之间的关系。这些内容称为静态生物化学。

生物体的组成十分复杂,不同的生物体具有不同的化学组成。如人体中仅蛋白质种类就超过十万种,不同的蛋白质分子,有着不同的结构,具有不同的功能。生物体中的大分子有机化合物不是杂乱无章地在一起,而是以一定的组织形式,构成一定的能够体现各种功能的有序的生物学结构,故简称生物分子。通常将分子量较大的核酸、蛋白质等称为生物大分子,生物大分子的重要特征之一是具有信息功能,故又称为生物信息分子。目前对于核酸、蛋白质等生物分子的化学组成已经完全清楚,结构与功能的研究也取得了突破性进展。

生命的基本特征是新陈代谢,生物体通过新陈代谢获得生命活动所需的能量,合成生物体所需的各种物质,排出生物体内的代谢废物。生物体内的代谢既要适应环境的变化,又要相互协调,所以生物体内有复杂的代谢调节机制。研究生物体内物质代谢途径及其规律、物质代谢与能量代谢的关系和代谢的调节机制也是生物化学的重要任务。这些内容称为动态生物化学。

生物体具有生长、发育、遗传和变异等复杂的生命现象。研究生物分子的结构、代谢与生命现象之间的关系称为机能生物化学。这是生物化学最活跃的研究领域。

二、生物化学的发展

生物化学的发展同化学和生物学的发展密切相关,它是一门既古老又年轻的学科,它既

有悠久的发展历史,又有近代许多重大的进展和突破。生物化学知识的萌芽可追溯到古代,但直到 20 世纪初,生物化学才成为一门独立的学科。根据生物化学研究的内容不同,生物化学的发展可分为三个阶段。

第一阶段:从 19 世纪末到 20 世纪 30 年代,这一阶段主要对生物体的组成成分进行分离、纯化、测定结构、合成及理化性质的研究。这一阶段主要是静态生化阶段。

第二阶段:从 20 世纪 30 年代到 50 年代,这一阶段主要对生物体内糖、脂肪、蛋白质等物质的各种代谢途径进行研究。因此,这一阶段主要是动态生化阶段。如 19 世纪 30 年代德国生物化学家对糖酵解进行了深入的研究,到 19 世纪 40 年代糖酵解途径已被阐明,1953 年三羧酸循环的发现获得了诺贝尔奖,之后脂、核酸等的代谢途径相继被阐明。

第三阶段:20 世纪 50 年代以后,主要研究生物大分子的结构与生理功能之间的关系,生物化学进入机能生物化学阶段。1953 年沃森(Watson)和克里克(Crick)提出了著名的 DNA 双螺旋结构模型,随后证明了遗传的中心法则,使生物化学进入了快速发展时期,推动了生命科学各个领域间的交叉渗透和深入研究,产生了分子生物学。

由于电泳、层析、高效色谱、超速离心分离、电镜、同位素等分离测定方法的不断出现和应用,生物化学得到了空前的发展。特别是工具酶的使用,使 DNA 体外重组成为可能。DNA 重组技术的成功,为基因工程的发展铺平了道路。现在根据人的意愿改造蛋白质的结构已经成为现实。基因工程使培育特殊的生物成为可能,现在人们利用基因改造和重组的方法培育出了人们所需要的动物、植物和微生物良种。基因工程的发展还为控制和治疗遗传性疾病提供了根本的解决途径。

我国在生物化学的某些方面的研究也取得了世人瞩目的成就。1965 年我国在世界上首次人工合成了具有生物活性的结晶牛胰岛素,为生物活性蛋白质的人工合成开辟了道路。1971 年用 X 射线衍射法测定了牛胰岛素分子的空间结构,分辨率为 0.18 nm,跨入了世界先进水平行列。1981 年我国在世界上首次合成了具有生物活性的酵母丙氨酸转移核糖核酸,使我国在该领域的研究达到了世界先进水平。随着技术的发展,人类认识自身的科学研究——“人类基因组计划”正式启动,这项宏大的科学研究工程由中、美、英、法、德、日六国科学家共同完成。2000 年 6 月 26 日,包括我国在内的六国科学家共同宣布,人类有史以来第一个基因组“工作框架图”绘制完成,这是人类历史上值得“载入史册的一天”。2001 年 8 月 26 日,人类基因组计划中国部分测序项目汇报及联合验收会在北京召开,标志人类基因组“中国卷”通过国家验收。

三、生物化学与其他生命科学及医药学的关系

在现代生命科学领域,生物化学是中心学科,它与其他学科有着密切的关系。生物化学是其他生命科学的基础,特别是生理学、微生物学、遗传学、细胞学、分子生物学、生物技术、医药科学等各科的基础。所有生命科学的发展都离不开生物化学的理论与技术的进步,现在以生物化学为基础的生命科学已成为 21 世纪最有前途的学科。

生物化学理论和技术已渗透到生物学科各个领域,对医药卫生和临床实践都具有

重要意义。生物化学既是重要的医学基础学科，又与医药学的发展密切相关，相互促进。各种疾病发病机制的阐明，诊断手段、治疗方案、预防措施等的实施，都无一不依据生物化学的理论和技術。如糖类代谢紊乱导致的糖尿病，脂类代谢紊乱导致的动脉粥样硬化，氨基酸代谢异常与肝性脑病，胆色素代谢异常与黄疸，维生素缺乏症等都早已为世人所公认。体液中各种无机盐类、有机化合物和酶类等的检测早已成为疾病诊断的常规指标。

随着生物化学的飞速发展，不仅许多疑难疾病的发病机制相继被揭示，而且随着诸多诊断检测技术和方法的不断创建，为许多疾病的预防和治疗提供了全新的手段。如癌基因的发现，证明它在正常情况下并不引起细胞癌变，只有在某些理化因素或病毒及情感等因素的作用下，才能被激活而导致细胞癌变，这为最终根治恶性肿瘤奠定了基础。

生物化学与其他基础医学课程也是密不可分的。生物学、组织学、生理学、微生物学、免疫学、药理学等学科的研究已深入到分子水平，生物化学的内容已是所有生物学科的必要知识。生物学科领域中，核酸的生物化学是遗传学的中心内容；免疫学大量采用生化原理和生化技术；微生物学研究也毫无例外地应用生化知识和技术。生物化学也是临床医学的重要基础，从生化角度来说，代谢过程的紊乱即表现为疾病，生物化学与疾病的病因、发病机制、诊断、治疗都密切相关。可见，生物化学在这些学科中处于中心地位。由于各学科研究已深入到分子水平，使各学科已有界限被打破，生物化学已渗透到各学科之中，甚至成为它们的“共同语言”。

生物化学与药学的关系十分密切。药(物)学和药理学在很大程度上是以生物化学和生理学为基础的，由于大多数药物都是通过酶催化反应进行代谢，因此要了解药物在体内如何进入细胞，在细胞内如何代谢转化，并在分子水平上讨论药物作用机制等，都必须以生物化学知识为基础。由于生物化学理论和技术大量应用于药理学研究，使药理学研究深入发展，并派生出生化药理学和分子药理学。生化药物是一类用生物化学理论和技术制取的具有治疗作用的生物活性物质，目前常用的生化药物已有 200 余种。20 世纪 80 年代生物化学已进入生物工程的崭新领域，现代生物工程技术——发酵工程、酶工程、细胞工程和基因工程等的应用，为生物化学药物生产开拓了广阔前景。



习题

1. 生物化学的研究对象是什么？
2. 查找资料，说明生物化学知识在日常生活及生命科学中有哪些应用？

第 1 章 核 酸

核酸是一类十分重要的生物大分子，高等动植物、细菌和简单的病毒都含有核酸。人们对核酸的研究已有一百多年的历史，最初从外科绷带上脓细胞的细胞核中分离出一种富含磷的酸性物质，称为“核素”，它就是现在我们所知的脱氧核蛋白。后来又从酵母和动物的细胞中制得了不含蛋白质的核酸，并开始使用“核酸”一词命名。核酸作为遗传的物质基础，它不仅在生物的个体发育、生长、繁殖和遗传变异等生命过程中起着极为重要的作用，而且与肿瘤的发生、辐射损伤、遗传病等有密切的关系。

1.1 核酸的组成

1.1.1 核酸的存在

核酸按其所含糖的不同分为两类：一类是核糖核酸(RNA)，主要存在于细胞质中，约占 90%，少量存在于细胞核中，它参与蛋白质的合成。另一类是脱氧核糖核酸(DNA)，几乎全部集中在细胞核的染色体中，占总量 98%以上。核酸是生物体的信息源，能储存、复制和传递遗传信息。不同种生物的细胞核中 DNA 含量差异很大，但同种生物的细胞核中 DNA 含量是相同的。线粒体和叶绿体中均有各自的 DNA。两类核酸在生物细胞内一般都与蛋白质相结合，以核蛋白的形式存在。

1.1.2 核酸的组成

核酸分子由碳、氢、氧、氮、磷等 5 种元素组成。其中磷的含量变化范围不大，磷含量一般为 9.5%左右，因此可通过含磷量的测定来估算核酸的含量。

核酸是由许多核苷酸缩合而成的高分子化合物。核苷酸是由核苷和磷酸缩合而成的，而核苷又是由碱基和戊糖组成。其组成关系如图 1-1 所示。

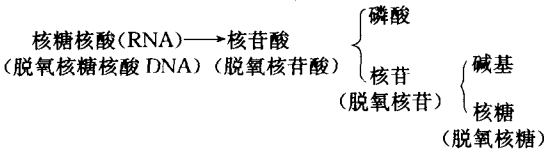
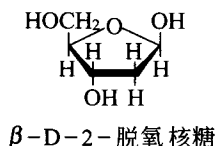
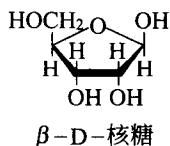


图 1-1 核酸的组成

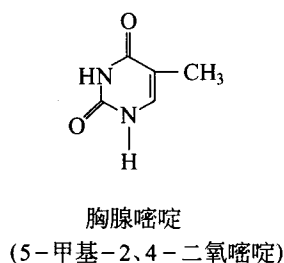
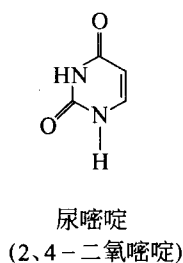
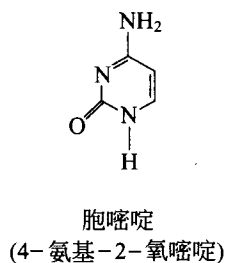
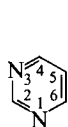
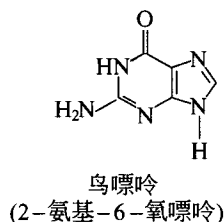
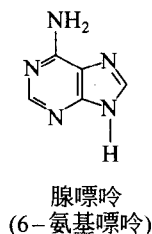
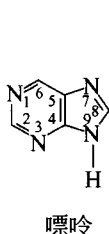
1. 核糖和脱氧核糖

RNA 中所含的戊糖是 β -D-核糖；DNA 中的戊糖是 β -D-2-脱氧核糖，它们在核酸中均以呋喃糖存在。其结构式为



2. 嘌呤碱和嘧啶碱

两类核酸所含的主要碱基都是 4 种，其中两种嘌呤碱基完全相同，即腺嘌呤和鸟嘌呤。所含的嘧啶碱基不完全相同，RNA 中是胞嘧啶和尿嘧啶，DNA 中是胞嘧啶和胸腺嘧啶。其结构式为(嘌呤碱和嘧啶碱结构)



3. 磷酸

RNA 和 DNA 中都含有磷酸。磷酸和戊糖以酯键结合，形成戊糖的磷酸酯。磷酸也可与另一分子磷酸以焦磷酸键结合，形成焦磷酸。在核酸分子中磷酸与戊糖和碱基形成核苷酸。

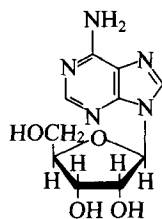
由上述可知，RNA 和 DNA 的组成有共同点，也有不同点，RNA 和 DNA 的组成如表 1-1 所示。

表 1-1 RNA 和 DNA 的组成

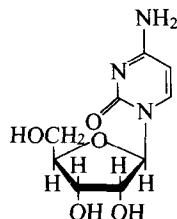
组 成 \ 类 别		RNA	DNA
戊 糖		β -D-核糖	β -D-2-脱氧核糖
酸		磷 酸	磷 酸
碱 基	嘌 呤	腺嘌呤(A)	腺嘌呤(A)
		鸟嘌呤(G)	鸟嘌呤(G)
	嘧 啶	胞嘧啶(C)	胞嘧啶(C)
		尿嘧啶(U)	胸腺嘧啶(T)

4. 核苷

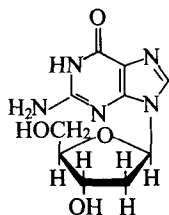
核苷是碱基和戊糖缩合而成的糖苷。由戊糖第一位碳原子(C_1')上的羟基与嘌呤碱的第九位氮原子(N_9)或嘧啶碱的第一位氮原子(N_1)相连,即戊糖与碱基之间的连键是 N—C 糖苷键。核苷中的糖苷键均为 β 糖苷键。由核糖和碱基形成的糖苷称为核糖核苷,由脱氧核糖和碱基形成的糖苷称为脱氧核糖核苷。部分核苷的结构为



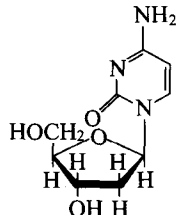
腺嘌呤- β -D-核糖苷
(腺苷)



胞嘧啶- β -D-核糖苷
(胞苷)



鸟嘌呤- β -D-2'-脱氧核糖苷
(脱氧鸟苷)



胞嘧啶- β -D-2'-脱氧核糖苷
(脱氧胞苷)

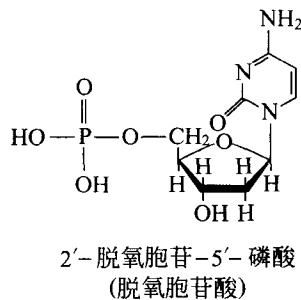
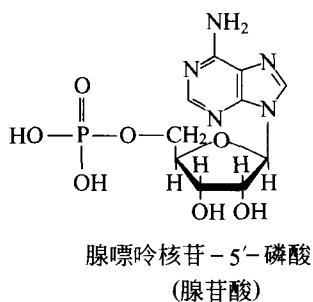
核酸中常见核苷的碱基、全称、简称如表 1-2 所示。

表 1-2 核酸中常见的核苷

碱 基	核糖核苷(在 RNA 中)		脱氧核糖核苷(在 DNA 中)	
	全 称	简 称	全 称	简 称
腺 嘌呤	腺嘌呤核苷	腺苷	腺嘌呤脱氧核苷	脱氧腺苷
鸟 嘌呤	鸟嘌呤核苷	鸟苷	鸟嘌呤脱氧核苷	脱氧鸟苷
胞 嘧 啶	胞嘧啶核苷	胞苷	胞嘧啶脱氧核苷	脱氧胞苷
尿 嘧 啶	尿嘧啶核苷	尿苷	—	—
胸腺嘧啶	—	—	胸腺嘧啶脱氧核苷	脱氧胸苷

5. 核苷酸

核苷中的戊糖羟基被磷酸酯化, 形成核苷酸。由核糖核苷形成的磷酸酯称为核糖核苷酸, 由脱氧核糖核苷形成的磷酸酯称为脱氧核糖核苷酸。核苷酸的核糖有 3 个自由羟基可以酯化分别生成 2'、3' 和 5'-核苷酸。脱氧核苷戊糖上只有 2 个自由羟基, 只能生成 3' 和 5'-脱氧核苷酸。如腺苷与磷酸酯化生成腺嘌呤核苷酸, 脱氧胞苷与磷酸酯化生成脱氧胞嘧啶核苷酸。它们的结构为



核酸中常见核苷酸的名称、简称及缩写符号如表 1-3 所示。

表 1-3 核酸中常见的核苷酸

核糖核苷酸(在 RNA 中)			脱氧核糖核苷酸(在 DNA 中)		
全 称	简 称	代 号	全 称	简 称	代 号
腺嘌呤核苷酸	腺苷酸	AMP	腺嘌呤脱氧核苷酸	脱氧腺苷酸	dAMP
鸟嘌呤核苷酸	鸟苷酸	GMP	鸟嘌呤脱氧核苷酸	脱氧鸟苷酸	dGMP
胞嘧啶核苷酸	胞苷酸	CMP	胞嘧啶脱氧核苷酸	脱氧胞苷酸	dCMP
尿嘧啶核苷酸	尿苷酸	UMP	胸腺嘧啶脱氧核苷酸	脱氧胸苷酸	dTMP

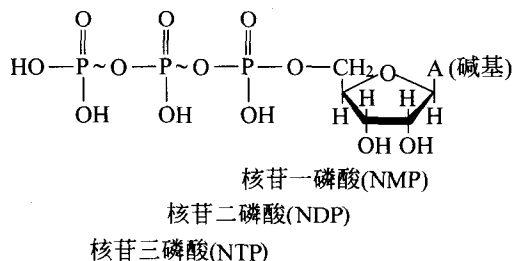
AMP、GMP、CMP、UMP 是构成 RNA 的基本单位; dAMP、dGMP、dCMP、dTMP 是构成 DNA 的基本单位。

1.1.3 核苷酸衍生物

在生物体内，核苷酸除了作为核酸的基本组成单位外，还有一些核苷酸游离存在于细胞内，并且具有重要的生理功能，主要是多磷酸核苷酸和环化核苷酸。

1. 多磷酸核苷酸

核苷酸还可以进一步磷酸化生成二磷酸核苷酸和三磷酸核苷酸。例如，一磷酸腺苷(AMP)再结合一分子磷酸可生成二磷酸腺苷(ADP)，二磷酸腺苷再结合一分子磷酸又生成三磷酸腺苷(ATP)。多磷酸核苷酸的结构通式可表示为

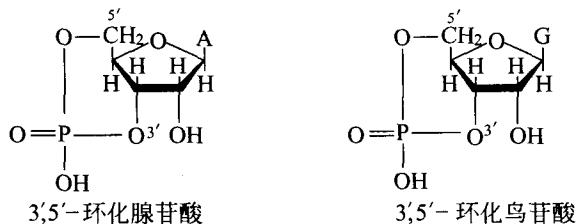


在ADP和ATP分子中，磷酸与磷酸之间以焦磷酸键相连，这种化合物蕴藏着很高的能量，称为高能磷酸化合物。当其中的焦磷酸键水解时，即释放出大量的能量供机体利用。在高能化合物中，这种由于水解而释放很高能量的焦磷酸键，通常称为高能磷酸键，简称高能键，用“~”表示。

在生物体内除了ADP和ATP外，其他GMP、CMP、UMP、dGMP、dCMP、dUMP、dTMP也同样可以进一步磷酸化形成二磷酸核苷、二磷酸脱氧核苷和三磷酸核苷、三磷酸脱氧核苷，即GDP、CDP、UDP、dGDP、dCDP、dTDP和GTP、CTP、UTP、dGTP、dCTP、dTTP。它们在能量的储存、转移和利用及生物合成方面也起着重要作用。

2. 环化核苷酸

在细胞中还发现环化核苷酸，主要是3',5'-环化腺苷酸和3',5'-环化鸟苷酸，其结构式为



这两种环化核苷酸在细胞的代谢调节中有重要作用，如有放大或缩小激素信号的作用，称之为“第二信使”。