

供 中 药 、 药 学 相 关 专 业 用



新世纪全国高等中医药院校创新教材

XIN SHI JI QUAN GUO GAO DENG ZHONG YI YAO YUAN XIAO
CHUANG XIN JIAO CAI

分 子 生 药 学

主 编 黄璐琦 肖培根

中国中医药出版社

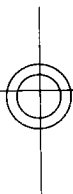
第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

国家药典委员会编 中国药典委员会编

分子生药學

（第 1 版）

中国药典委员会编



新世纪全国高等中医药院校创新教材

分子生药学

(供中药、药学相关专业用)

主 编 黄璐琦 (中国中医科学院)

肖培根 (中国医学科学院)

副主编 刘春生 (北京中医药大学)

中国中医药出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

分子生药学/黄璐琦等主编. —北京: 中国中医药出版社,
2008. 11

新世纪全国高等中医药院校创新教材

ISBN 978-7-80231-525-9

I. 分… II. 黄… III. IV.

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 165351 号

中国中医药出版社出版

北京市朝阳区北三环东路 28 号易亨大厦 16 层

邮政编码 100013

传真 010 64405750

北京市卫顺印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 850×1168 1/16 印张 12.5 字数 292 千字

2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-80231-525-9

*

定价 16.00 元

网址 www.cptcm.com

如有质量问题请与本社出版部调换

版权专有 侵权必究

社长热线 010 64405720

读者服务部电话 010 64065415 010 84042153

书店网址 csln.net/qksd/

新世纪全国高等中医药院校创新教材

《分子生药学》编委会

主 编 黄璐琦 (中国中医科学院)

肖培根 (中国医学科学院)

副主编 刘春生 (北京中医药大学)

编 委 (以姓氏笔画为序)

王学勇 (北京中医药大学)

尹海波 (辽宁中医药大学)

吕冬梅 (中国中医科学院)

刘荣华 (江西中医学院)

严铸云 (成都中医药大学)

李 薇 (广州中医药大学)

杨红兵 (湖北中医学院)

陈建伟 (南京中医药大学)

陈美兰 (中国中医科学院)

陈随清 (河南中医学院)

邵爱娟 (中国中医科学院)

罗 容 (首都医科大学)

周 涛 (贵阳中医学院)

俞年军 (安徽中医学院)

袁 媛 (中国中医科学院)

都晓伟 (黑龙江中医药大学)

晋 玲 (甘肃中医学院)

徐瞰海 (新疆医科大学)

崔光红 (中国中医科学院)

普春霞 (云南中医学院)

魏太明 (哈尔滨医科大学)

参编人员 (以姓氏笔画为序)

冯 华 周 洁 荣齐仙 钱 丹

郭晓恒 戴住波

编写说明

在中药资源和中药鉴定领域的生产、科研工作中，利用分子生物学技术解决一些重要问题已经较为普遍，如阐述道地药材的形成机制、利用毛状根生产活性成分等，但是目前中药类专业没有一门课程讲授这些内容，因此，我们编写了本教材。

分子生药学（molecular pharmacognosy）是利用分子生物学技术研究中药资源和中药鉴定领域中药用植物系统演化、种质资源鉴定和评价、濒危药用植物保护及生药鉴定、道地药材形成机制、活性成分生产的一门科学，是分子生物学和中药资源学、中药鉴定学相结合形成的边缘学科。

分子生药学研究起源于20世纪90年代，是在分子生物学蓬勃发展，而中药资源学和中药鉴定学又有很多问题有可能利用分子生物学技术解决的背景下诞生的一门新兴学科。本教材的编写以全面推进素质教育为纲，力求体现以下特点：突出中医药理论体系的特色，以解决中药资源和中药鉴定突出问题为目的，基础理论以够用为标准，突出创新性、实践性。力求在中药类专业学生知识结构中增加新的知识点，为学生将来从事分子生药学的工作奠定基础。

本教材包括八章，第一章为基础理论，主要介绍物种形成理论，遗传多样性理论和核酸、基因等基本理论；第二章为方法和技术，主要介绍目前在分子生药学领域常用的分子生物学方法和技术；第三章至第八章分别介绍了药用植物系统演化、药用植物种质资源、濒危药用植物、生药的鉴定、道地药材的形成及中药活性成分的生物生产等内容，这部分内容把分子生物学与中药资源和中药鉴定领域急需解决的问题紧密结合，具有很强的实用性和创新性。

本教材可供中药、药学相关专业选用。

本教材的编写是全体参加人员智慧的结晶和辛勤劳动的结果，在编写过程中得到了各编委所在单位的大力支持，在此一并致以衷心的感谢。本书为全国高等中医药院校本科教育《分子生药学》课程的第一本教材，属于专业课和专业必修课程，涉及知识面广，在编写框架和内容安排方面均有一定的难度，更由于时间仓促和水平有限，教材中难免存在缺点和错误，敬请各兄弟单位的同仁们和广大读者在使用过程中多提宝贵意见，以便今后修订。

《分子生药学》编委会

2008年10月

目 录

绪 论.....	1
一、分子生药学的概念及发展.....	1
二、分子生药学与相关学科的关系.....	3
第一章 基础理论.....	5
第一节 核酸.....	5
一、核酸的组成与结构.....	5
二、DNA 复制	8
三、DNA 转录	12
四、RNA 的结构和功能	14
五、mRNA 的加工	15
六、mRNA 翻译与蛋白质	17
第二节 基因	18
一、基因与基因组	18
二、基因的突变	22
三、基因表达的调控	25
第三节 遗传多样性	27
一、遗传多样性的形成	27
二、遗传多样性的测度	28
第四节 物种的形成	28
一、物种的概念	29
二、物种的形成	30
第二章 方法与技术	36
第一节 核酸分析技术	36
一、核酸的分离和纯化	36
二、聚合酶链反应 (PCR) 技术	40
三、分子杂交技术	44
四、分子标记技术	52
五、DNA 测序分析	64
六、cDNA 文库的构建	65
七、mRNA 差异显示技术	67
八、基因芯片技术	68

第二节 基因工程技术	71
一、工具酶	71
二、载体	79
三、基因克隆技术	89
四、基因转化与表达技术	96
五、转基因植物	101
第三节 电泳技术	102
一、电泳的概念	102
二、电泳分类	103
三、凝胶电泳	104
第三章 药用植物的系统演化	112
第一节 药用植物系统演化概述	112
一、植物系统学的发展阶段	112
二、植物系统学的研究方法	113
第二节 药用植物分子系统学的理论基础	115
一、特征问题	115
二、分支系统学	116
第三节 药用植物分子系统学的研究方法与应用	119
一、药用植物分子系统学的研究方法	120
二、药用植物分子系统学的应用	123
第四章 药用植物的种质资源	126
第一节 药用植物种质资源概述	126
一、药用植物种质资源的概念和意义	126
二、药用植物种质资源的类别	128
三、药用植物种质资源的特点	129
第二节 药用植物种质资源的收集与保存	129
一、药用植物种质资源的考察	130
二、药用植物种质资源的收集	134
三、药用植物种质资源的保存	135
第三节 药用植物种质资源的分子评价	137
一、种质资源的物种鉴定	137
二、药用植物种质纯度检测	137
三、种质资源亲缘关系的确定	138
第四节 药用植物种质资源分子标记辅助育种	138
一、分子标记辅助育种概念和意义	139
二、药用植物种质资源的遗传图谱研究	139
三、重要农艺性状基因的标记	139

四、种质资源分子标记辅助育种的应用·····	140
第五章 珍稀濒危的药用植物 ·····	142
第一节 珍稀濒危动植物的含义和划分标准·····	142
第二节 药用植物的濒危机制·····	146
一、内在机制·····	146
二、外部机制·····	147
三、人类活动·····	148
第三节 遗传多样性的保护·····	148
第四节 物种和有效种群衰退的分子鉴定·····	148
一、物种的分子鉴定·····	148
二、有效种群衰退的分子鉴定·····	149
第五节 优先保护种群的确立原则·····	149
一、基于遗传变异确定优先保护种群·····	150
二、基于遗传距离确定优先保护种群·····	150
三、基于种群遗传贡献率确定优先保护种群·····	150
第六节 珍稀濒危药用动植物保护方法·····	151
一、就地保护·····	151
二、迁地保护·····	151
三、离体保护·····	151
第六章 道地药材 ·····	153
第一节 道地药材的概念·····	153
一、道地药材概念的历史沿革·····	153
二、道地药材的概念·····	154
三、道地药材的属性·····	155
第二节 道地药材形成的分子机理·····	156
一、道地药材形成的生物学内涵·····	157
二、道地药材形成的生物学原理·····	157
三、道地药材形成的模式假说·····	158
四、道地药材形成的分子机理·····	159
第七章 生药的鉴定 ·····	162
第一节 生药鉴定方法概述·····	162
一、基原鉴定·····	162
二、性状鉴定·····	163
三、显微鉴定·····	163
四、理化鉴定·····	163
五、分子鉴定·····	164
第二节 近缘药材的分子鉴定·····	164

4 · 分子生药学 ·	.....	
一、限制性内切酶酶切片段长度多态性 (RFLP) 技术的应用	.....	165
二、随机扩增多态性 DNA (RAPD 或 AP-PCR) 技术的应用	.....	165
三、PCR 扩增特定片段的限制性位点分析 (PCR-RFLP) 技术的应用	.....	166
四、扩增片段长度多态性 (AFLP) 技术的应用	.....	166
五、DNA 测序技术	.....	166
第三节 名贵易混药材的分子鉴定	.....	167
一、关于人参类药材的分子鉴定	.....	167
二、其他名贵易混淆药材的分子鉴定	.....	169
第四节 动物类药材的分子鉴定	.....	170
第五节 野生与家种 (养) 药材的分子鉴定	.....	172
第八章 中药活性成分的生物生产	.....	175
第一节 生物转化产生中药活性成分	.....	175
一、生物转化的含义	.....	175
二、生物转化的体系	.....	176
三、底物的添加	.....	177
四、转化体系的筛选	.....	177
五、生物转化及产物的提取、分离及鉴定	.....	178
六、不同影响因子及反应动态的考察	.....	178
七、国内外对中药生物转化的研究现状	.....	178
第二节 基因工程产生中药活性成分	.....	179
一、冠瘿瘤培养产生中药活性成分	.....	180
二、毛状根培养产生中药活性成分	.....	181
参考文献	.....	185

绪 论

【学习要点】

1. 掌握分子生药学的概念。
2. 熟悉分子生药学的发展历史。
3. 了解分子生药学与相关学科的关系。

生药是指来源于植物、动物和矿物的新鲜品或经过简单的加工，直接用于医疗保健或作为医药原料的天然药材。生药学（pharmacognosy）是一门研究生药的科学。

生药学经过长期发展，形成了一门技术和理论都相当完善的应用学科，并且陆续分化出中药鉴定学、中药资源学等分支学科，为中药质量和中药资源可持续发展起到很大作用，然而也有一些关键问题未能解决。随着现代生命科学的兴起，使生药学各分支学科再次焕发出强大的生命力。通过不断的探索，1995年，黄璐琦在“展望分子生物技术在生药学中的应用”一文中，首次提出“分子生药学（molecular pharmacognosy）”这一概念，它使原有的生药学跨入了一个新的时代，自此生药学分化出了一个新的分支学科“分子生药学”。

一、分子生药学的概念及发展

（一）分子生药学的产生

1953年Watson和Crick对DNA结构的发现标志着生命科学的发展进入了一个新纪元，极大地改变了生物医学及其相关领域学者的思维方式，从此人们开始从生物大分子的水平来重新认识生命的本质和规律。虽然DNA结构的发现和确定对当时的生药学科的发展并未打下烙印，但对整个生命科学产生了不可估量的影响。分子生物学快速发展并在生物医学各个领域渗透应用，使得一大批交叉科学、边缘学科和前沿学科应运而生。基于分子克隆和重组的基因工程技术迅猛崛起及其相关联的组织培养技术，特别是近年来以PCR为基础的分子标记技术如雨后春笋般地涌现出来，为生药学的发展支起一片广阔的天空，不断拓新和丰富生药学的研究领域和研究方法；生药学与分子生物学相互撞击、相互融合，一门新兴交叉学科——分子生药学（molecular pharmacognosy）应运而生。

分子生药学产生的背景概括起来有如下两点：第一，分子生物学的发展，使生物学的分支学科都发展到了分子水平，生药学主要研究动物来源和植物来源的生药，属于生命科学的范畴，也必然发展到分子水平。因此，要使生药学各分支学科科学化、现代化，必须要与分子生物学密切联系，将生药学的研究推进到分子水平。第二，生药主要来源于动物和植物，

任何植物、动物的细胞中都含有储藏、复制和传递遗传信息的物质基础——DNA，这使分子生物学的理论和方法能在生药学中被广泛使用。

（二）分子生药学的概念

从药物来源来看，广义的“生药”包括植物药、动物药和矿物药；狭义的“生药”则以植物、动物来源的生药为主。分子生药学研究范畴不超过狭义“生药”的范畴，其理论基础和研究方法依据于分子生物学和生药学的理论和方法。

分子生药学是在分子水平上研究生药的分类与鉴定、栽培与保护及有效成分生产的一门学科，是生药学的一个极富前瞻性的分支。可以说，分子生药学不仅继承传统生药学的内容和使命，更将赋予生药学新的任务和挑战。

（三）分子生药学的研究内容和主要任务

分子生药学是生药学的分支学科之一，因此，分子生药学的研究内容必然和生药学的研究内容相同。

生药学研究的主要内容可概括为四个字，“真伪优劣”。具体为：①明确真品伪品，解决品种混乱问题：由于中药使用范围和用量的增加，将一些外形相近的动物、植物当成同一药物使用，造成品种混乱，这就需要对这些真伪品进行分类鉴定以控制质量。②品质评价：对多来源生药和道地药材进行较全面的研究，明确优质品种（品系、类型）的遗传基础及道地药材的基因特征，培育优良品种，达到优质、高产的目的，保证用药需要。

以上“真伪优劣”的科学内涵归根结底与 DNA 的差异（矿物药除外）有关。真品、伪品生药来源于不同的物种，不同物种其遗传物质 DNA 的组成是不同的，因此真伪品的实质是遗传物质 DNA 的不同所造成，而优劣是由环境差异导致的基因表达差异产生的。由此可见，分子生药学研究内容就是研究遗传物质 DNA 及其表达的异同与生药真伪优劣的关系。

分子生药学的主要任务包括以下几个方面：

1. 中药材品种系统整理与质量标准化研究

中药材品种整理一般是基于经典分类学基础上的，但人为因素太多，特别是对于中药材种下类群和道地药材的鉴定，一直未能很好地解决。分子生药学为药用动植物的系统与进化、分类与鉴定研究、道地药材形成机制研究提供了更加锐利有效的武器和依据。因此在基因水平上对我国常用中药材进行进一步的系统整理研究，规范中药材质量，阐明道地药材的形成机制，是分子生药学的主要任务之一。

2. 珍稀濒危药用动植物保护与资源可持续利用研究

DNA 多样性是生物多样性的本质，以 DNA 分子标记和基因组序列分析为基础的研究，能通过测定 DNA 变异式样以确定保护的重点单元，还可推测群体的发展状态和濒危程度，为制定生物多样性与珍稀药用动植物资源保护对策提供新的手段。另一方面，利用分子系统学研究成果，结合化学分类学研究成果，可以阐明亲缘关系 - 有效成分 - 疗效之间的相关性，为发现新的药用植物资源提供依据；另外，通过研究重要化学成分形成的遗传背景，获得药用植物产生特异性化学成分的基因，培育优良品种，是寻找和扩大生药资源，促进生药

资源可持续利用的便捷有效途径之一。

3. 药用植物种质资源分子评价、分子标记辅助育种与新品种的培育研究

在分子生药学的研究中,种质资源遗传多样性的检测是改造自然和利用自然的基础,重要性状的分子标记及其开发利用是我们认识自然和改造自然的目的。利用分子标记技术分类、鉴定种质资源,可为选育新品种(品系)奠定基础;利用分子标记技术构建重要药用动植物遗传连锁图谱并与育种技术相结合进行数量性状位点检测(QTL),可以定位数量性状基因,通过分子标记辅助育种,加快新品种的培育。

4. 药用植物代谢途径基因与中药材品质定向调控研究

药用植物次生代谢产物合成途径的研究将越来越受到重视,特别是次生代谢产物的关键酶基因的调控研究尤为引人注目,并将成为分子生药学研究中最富挑战和具有广阔前景的方向之一。因为绝大多数中药有效成分都来源于次生代谢产物,次生代谢产物的有无和多少决定了中药材质量的好坏,所以,进行次生代谢产物的基因工程研究,定向调控中药材有效成分的含量,对中药资源的可持续利用具有重要意义。

5. 中药活性成分的生物生产研究

利用转基因生物作为生物反应器生产外源基因的翻译产物是基因工程技术最具吸引力的研究任务,转基因生物被称为“新一代制药厂”。它具有很多优点,可以从转基因动物的乳汁、血液或从工程菌中生产活性蛋白质。另外,在生药中,对活性很强,但毒副作用较大的动物或植物蛋白如蝎毒、天花粉蛋白等,可将决定毒性的序列去掉或抑制其表达,降低毒性,生产更安全的活性蛋白质。

另外,毛状根培养和冠瘿组织培养为生产药物活性成分开辟了另一条新道路。随着表达效率的提高和受体植物范围的不断扩大,这项技术会给生药加入新的遗传特性,进行中药活性成分的工厂化生产,随着新型生物反应器的开发及高效细胞培养技术的建立与完善,利用毛状根和冠瘿组织生产活性成分的商品化和产业化进程将大大加快。

6. 绿色无公害药用植物培育研究

药用植物的农药污染问题引起人们的重视,因为它不仅污染环境,危害人们的健康,而且还制约中药材的出口。实行GAP生产,提倡绿色无公害药用植物栽培,探索药用植物栽培过程中不用农药进行病虫害的防治成为人们探索的目标,通过基因工程技术可以将抗虫、抗病基因导入转基因植物,使药用植物获得更强的抗病虫害的能力,也是分子生药学的任务之一。

二、分子生药学与相关学科的关系

分子生药学是一门新的生药学分支学科,是生药学与分子生物学融合而成的前沿学科。分子生药学的产生,是生药学向微观发展的趋势之一。生药学本身就是一门多学科综合的应用基础学科,因此,分子生药学是一门外延广泛、内涵丰富、开放性的学科。

分子生药学与其他学科有着密切的关系:

中药鉴定学和生药学——中药鉴定学和生药学是研究中药真伪优劣的学科,中药鉴定方法包括基原鉴定、性状鉴定、显微鉴定、理化鉴定,分子生药学则在此基础上进一步利用

DNA 分析技术直接分析中药的遗传物质, 确定中药不同品种间的 DNA 差异, 为中药鉴定提供准确的鉴定方法。

中药资源学——中药资源学是研究中药资源的种类、数量、地理分布、时空变化、合理开发利用和科学管理的学科。其目的是在研究中药资源分布规律的基础上, 运用经济效益的优化技术, 合理安排中药资源的采收、加工和综合利用等, 使社会效益、经济效益及生态效益三者协调发展, 为人民卫生保健事业和制药工业不断提供质优量足的中药材原料。中药资源学是与分子生药学关系十分密切的学科, 分子生药学在中药资源的鉴定、种质资源多样性检测、寻找和扩大中药新品种、新资源等方面, 为中药资源学提供新的理论基础, 促进中药资源学的发展。

药用植物学——药用植物学是利用植物学的知识和方法, 研究药用植物的分类鉴定, 调查药用植物资源, 整理中草药的品种, 保证用药准确有效的一门学科。分子生药学将在药用植物的系统演化及解决有争议的中药基原等方面提供基因证据。

【小结】

生药学是一门研究生药的科学。生药是指来源于植物、动物和矿物的新鲜品或经过简单的加工, 直接用于医疗保健或作为医药原料的天然药材。

分子生药学是在分子水平上研究生药的分类与鉴定、栽培与保护及有效成分生产的一门学科, 所依据的主要是生药学和分子生物学的理论和方法, 是生药学一个分支学科。

分子生药学研究的主要任务是: ①中药材品种系统整理与质量标准化研究; ②珍稀濒危药用动植物保护与资源可持续利用研究; ③药用植物种质资源、分子标记辅助育种与新品种的培育研究; ④代谢途径基因调控与中药材品质定向调控研究; ⑤中药活性成分的生物生产研究; ⑥绿色无公害药用植物培育研究。

第一章

基础理论

第一节 核 酸

【学习要点】

1. 掌握 DNA 的结构、复制和转录。
2. 掌握中心法则的概念和 mRNA 的特征。
3. 熟悉 RNA 的种类和 mRNA 转录后修饰的类型。
4. 了解蛋白质的特性。

一、核酸的组成与结构

核酸是储存和传递遗传信息的物质。任何生物，包括病毒、细菌、真菌、动物及植物，都含有核酸。核酸在生物的生命过程中起着极为重要的作用。

（一）核酸的种类与分布

核酸分为脱氧核糖核酸（DNA）和核糖核酸（RNA）两大类。

DNA 是生物体主要遗传物质，通过复制将遗传信息由亲代传给子代。原核细胞的 DNA 集中在核区；真核细胞的 DNA 主要集中在核内，是染色体（染色质）的重要组成部分，但真核细胞线粒体、叶绿体等细胞器中也含有 DNA。

RNA 是基因表达的初级产物，其最核心作用是将 DNA 编码的信息翻译为蛋白质。它主要存在于细胞质中，少量存在于细胞核中。细胞中的 RNA 主要有三种：信使 RNA（mRNA），核糖体 RNA（rRNA），转移 RNA（tRNA），其中 mRNA 约占细胞总 RNA 的 5%，它是蛋白质合成的模板；rRNA 约占细胞总 RNA 的 80%，它与多肽共同构成核糖体；tRNA 占细胞总 RNA 的 10%~15%，它将 mRNA 密码子翻译成特定的氨基酸并起解译作用。线粒体、叶绿体中也有各自的 mRNA、rRNA、tRNA。

（二）核酸的组成

1. 核酸的元素组成

核酸由碳、氢、氧、氮、磷 5 种元素组成，其中磷的含量在核酸中比较稳定，大约占整个核酸重量的 9.5%，即 1g 磷相当于 10.5g 核酸。因此在核酸的定量分析中可通过含磷量的

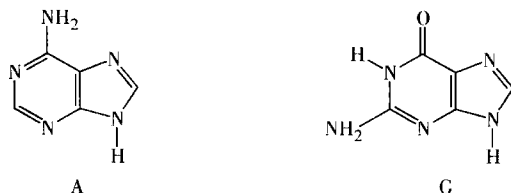
测定来估算核酸的含量。

2. 核酸的分子组成

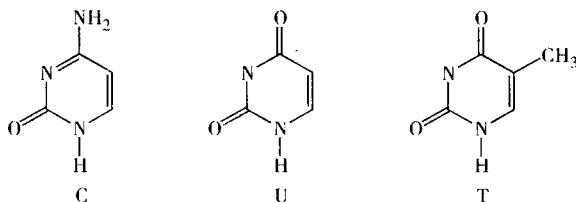
核酸可以降解为核苷酸，核苷酸可再分解生成核苷和磷酸基团，而核苷可进一步分解生成戊糖和碱基。由此可见，核酸的基本组成单位是核苷酸，基本组成成分是磷酸基团、戊糖和碱基。

(1) 碱基：核酸中的碱基有两类，即嘌呤和嘧啶。它们均为含氮的杂环化合物。

嘌呤包括腺嘌呤 (A) 和鸟嘌呤 (G)。其结构如下：



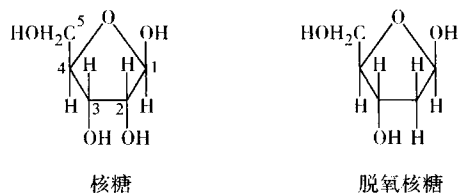
嘧啶包括胞嘧啶 (C)、尿嘧啶 (U)、胸腺嘧啶 (T)。其结构如下：



除以上 5 种基本碱基外，核酸分子中还有一些含量很少的其他碱基，称稀有碱基。这些稀有碱基有很多是甲基化碱基，如 5-甲基胞嘧啶、次黄嘌呤、二氢尿嘧啶等。结构式如下：

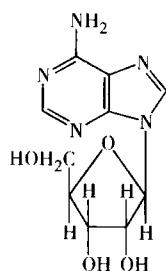


(2) 戊糖：包括核糖和脱氧核糖 2 种。RNA 分子中含 D-核糖，DNA 分子中含 D-脱氧核糖，它们在核酸中均以 β -呋喃型存在。戊糖分子中的碳原子位置用 1' 至 5' 标记。结构式如下：

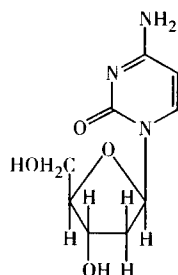


(3) 核苷与核苷酸

①核苷：戊糖和碱基缩合成的糖苷称为核苷。其连接方式是戊糖第1位碳原子 (C_1') 上的羟基与嘌呤碱第9位氮原子 (N_9) 或嘧啶碱第1位氮原子 (N_1) 上的氢脱水形成 $N-C$ 核苷键。例如腺嘌呤核苷 (简称腺苷) 及胞嘧啶脱氧核苷 (简称脱氧胞苷), 结构式如下:



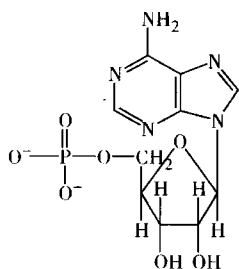
腺嘌呤核苷



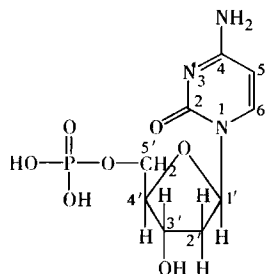
胞嘧啶脱氧核苷

核苷按其所含戊糖不同, 分为核糖核苷和脱氧核糖核苷两类。核糖核苷是 RNA 的组成成分, 脱氧核糖核苷是 DNA 的组成部分。核酸中常见核苷有腺嘌呤核苷、鸟嘌呤核苷、胞嘧啶核苷、尿嘧啶核苷, 它们存在于 RNA 中, 腺嘌呤脱氧核苷、鸟嘌呤脱氧核苷、胞嘧啶脱氧核苷、胸腺嘧啶脱氧核苷存在于 DNA 中。

②核苷酸: 由核苷中戊糖的羟基和磷酸脱水缩合成的磷酸酯称为核苷酸。由核糖核苷生成的磷酸酯称为核糖核苷酸, 由脱氧核糖核苷生成的磷酸酯称为脱氧核糖核苷酸。下面是 AMP 和 dCMP 的结构式:



5'-腺苷酸 (5'-AMP)



5'-胞嘧啶脱氧核苷酸 (5'-dCMP)

核苷的戊糖环上的 2'、3'、5' 位各有一个自由羟基, 这些羟基均可与磷酸生成酯, 故可形成三种核苷酸。脱氧核糖核苷只在脱氧核糖环上的 3'、5' 位有自由羟基, 故只能形成两种脱氧核苷酸。在生物体内的核苷酸多是核苷-5'-磷酸, 它们是组成核酸的基本单位。

3. 核酸的结构

核酸是由许多核苷酸按一定顺序连接起来的多核苷酸链。DNA 和 RNA 中的每个核苷酸的 3'-OH 和相邻核苷酸的 5'-磷酸通过 3'-5' 磷酸二酯键相连, 因此, 线性的多聚核苷酸链一侧末端为 5'-磷酸基, 另一侧末端为 3'-羟基。习惯上把 5'-磷酸端作为多核苷酸链的“头”, 写在左端, 将 3'-羟基端作为“尾”, 写在右端, 按照 5'→3' 方向书写。

①核酸的一级结构: 核苷酸沿多核苷酸链的排列顺序称核酸的一级结构。核苷酸的种类