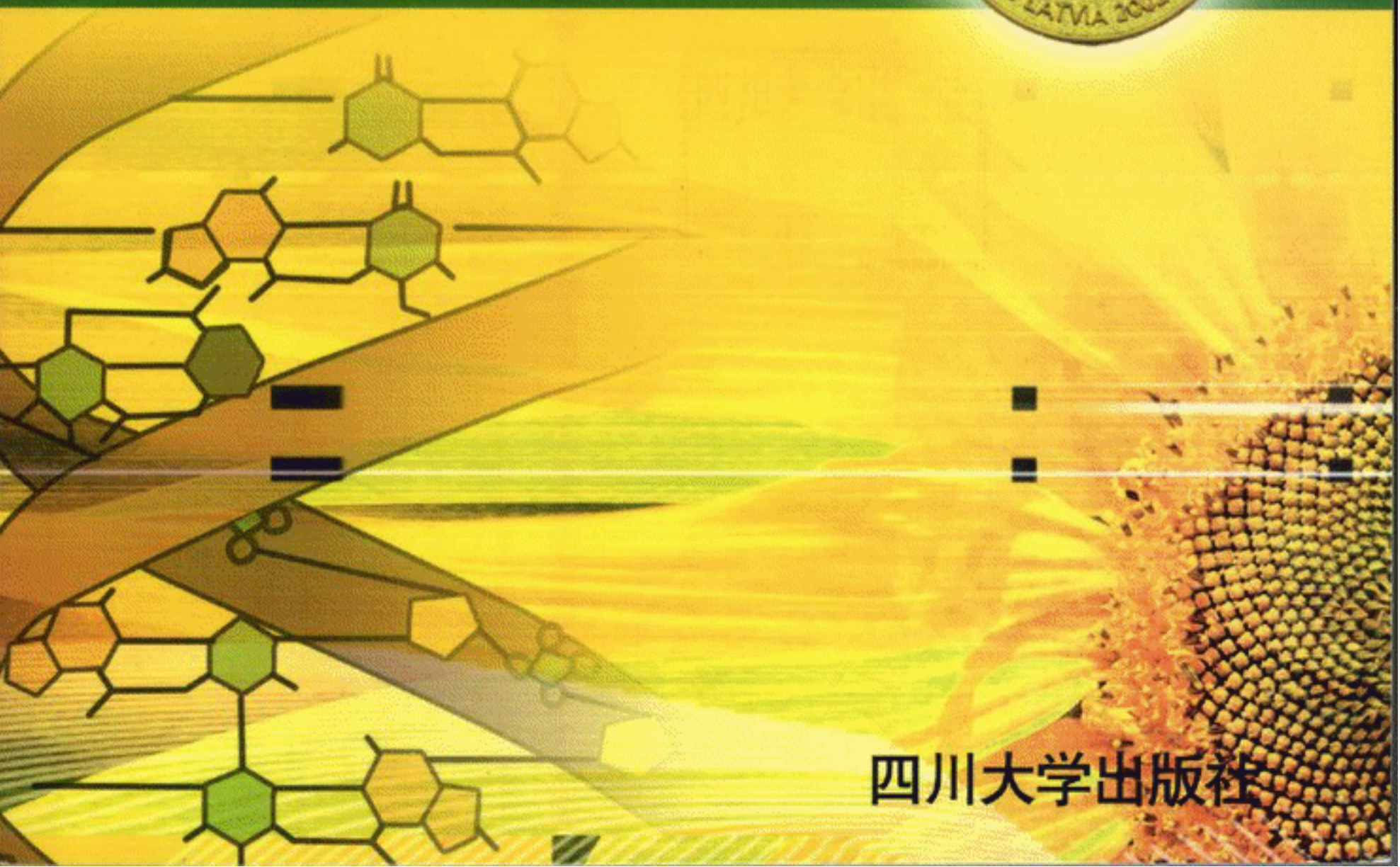


# 生物奥林匹克 竞赛教程

*BIOLOGY OLYMPIAD  
COMPETITION*

主编：陈放 张洪渊 林宏辉

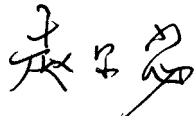


四川大学出版社

# 序

二十一世纪是生物学世纪，为了尽快培养新生力量，为我国生物科学的发展输送优秀人才，在中学生中开展生物竞赛是十分必要的。

四川大学生命科学学院“中学生生物学辅导组”的老师们在多年的辅导工作中体会到，通过竞赛能达到加强中学生物学教学，增加青少年生物学知识，深化他们认识生命、热爱生命，保护物种的科学素质等目的。随着科学的发展，有必要将新的概念和理论及时反映到教材中，同时又要与中学生现有的数、理、化、外语等知识衔接，这样才能不断地提高教与学的质量，扩大知识的深度和广度。基于以上考虑，编者根据《中国中学生生物竞赛大纲》的要求，并参考《国际生物学奥林匹克（IBO）纲要》编写了这本教材。这一图文并茂的新教材，借鉴了国内外许多学者以及各学科现行教材中的相关资料和图片。它既能扩大知识面，增加信息量，又反映了生物科学的发展动向，值此向各学校师生推荐，故乐为之序。

中国科学院院士 

二〇〇九年 元月 怨日

# 前 言

生物奥林匹克竞赛（简称生物奥赛）在国内已受到中学生、家长和社会的广泛关注，这不仅是由于在多届国际奥赛中我国中学生代表队成绩斐然，而且在于它对普遍提高中学生学习生命科学的水平和素质大有裨益。全国和各省（区）每年举办中学生生物奥林匹克竞赛和培训的目的在于：加强中学生生物学教学以提高生物学教学水平，促进中学生的生物课外活动，向青少年普及生物学知识，使他们了解 21 世纪生命科学的发展趋势；提高青少年认识生命、保护物种的科学素质和创新能力；同时，也为参加国际生物学竞赛作好充分准备，力争取得好成绩，为国争光。

在四川省生物奥林匹克竞赛委员会的领导下，在四川大学生命科学学院、省植物学会、省动物学会、成都市第七中学校等大力支持和关心下，我省生物奥林匹克竞赛活动已逐步积累了一些经验，并在近年举办的国际和全国生物竞赛中取得了好成绩。自 1984 年以来已连续两年获得国际金牌 1 枚，1985 年 8 月在成都举办的全国生物奥赛中获得 1 枚银牌。这些成绩的取得，进一步鼓舞和激励了全省中学生参与生物奥赛培训的热情，他们一直期望竞赛委员会和参加培训的老师能够编写一本较新的适宜的教材。

在这种形势下，我们组织了四川大学生命科学学院等单位的多年从事生物奥赛培训的教师编写了此书。编者中大多数是已退休的教授、副教授，他们不仅有深厚的生物学知识功底，有丰富的教学经验，而且积累了近年来中学生生物奥赛培训的经验。因此所写出的本书既有广博的生物学基础知识，又具有编者参与生物奥赛培训的个人体验，对于中学生生物奥赛培训是一本适用的教材。

本书根据《国际生物学奥林匹克竞赛纲要》、《全国中学生生物学竞赛大纲》的基本要求和中学生物学教材的基本内容选材，并适当考虑生命科学的发展前沿和近年国际和全国生物奥赛的发展趋势加以取舍，采取由浅入深，循序渐进的方式，力求做到条理清楚、文字流畅、易学易懂。此书对于中学生的学习具有启发性、思维性、新颖性和创造性。即使不参加培训，本书也不失为中学生生物学习的一本好参考书。

本书共分十一章，内容包括：生命的物质基础、细胞、微生物、种子植物的结构与功能、植物类群和分类、植物的生长与发育、动物及人体生理、生物的遗传与进化、生态学和动物行为。

本书在编写过程中难免有疏漏之处，甚至错误，望广大师生及所有读者不吝斧正，以便改进，并在此深表谢意。

编 者

1985 年 猿月

## 目 录

第一章 细胞的化学组分 .....	( 员 )
第一节 概 述 .....	( 员 )
第二节 生命的能源物质 .....	( 员 )
第三节 生命的基本物质 .....	( 缘 )
第四节 生命的活性物质 .....	( 员园 )
第五节 能量代谢 .....	( 员愿 )
第六节 三大物质代谢 .....	( 圆园 )
第七节 细胞信息传递 .....	( 圆园 )
第八节 新陈代谢的调节与控制 .....	( 猿园 )
第二章 细 胞 .....	( 源猿 )
第一节 概 述 .....	( 源猿 )
第二节 细胞的基本概念 .....	( 源源 )
第三节 细胞膜及其表面 .....	( 源园 )
第四节 细胞质和细胞器 .....	( 缘园 )
第五节 细胞核 .....	( 远园 )
第六节 细胞增殖及调控 .....	( 苑员 )
第七节 细胞分化、衰老和死亡 .....	( 苑圆 )
第三章 微 生 物 .....	( 愿源 )
第一节 概 述 .....	( 愿源 )
第二节 原核微生物 .....	( 愿缘 )
第三节 真核微生物——霉菌和酵母 .....	( 怨园 )
第四节 无细胞结构的微生物——病毒和亚病毒因子 .....	( 员员缘 )
第五节 微生物的营养和代谢 .....	( 员员圆 )
第六节 微生物的生长繁殖 .....	( 员员缘 )
第七节 微生物生态 .....	( 员员员 )
第四章 种子植物的结构与功能 .....	( 员员远 )
第一节 概 述 .....	( 员员远 )
第二节 植物细胞的基本结构 .....	( 员员园 )
第三节 植物组织和组织系统 .....	( 员员圆 )
第四节 种子植物营养器官的形态、结构和功能 .....	( 员员愿 )
第五节 营养器官的变态 .....	( 员员愿 )
第六节 营养器官之间的相互联系和相互影响 .....	( 员员圆 )



第七节	被子植物生殖器官的发生、结构和功能 .....	( 页)
第八节	被子植物的生活史 .....	( 页)
第五章	植物类群和分类 .....	( 页)
第一节	概 述 .....	( 页)
第二节	藻类植物( 界)	( 页)
第三节	苔藓植物( 界)	( 页)
第四节	蕨类植物( 界)	( 页)
第五节	裸子植物( 界)	( 页)
第六节	被子植物( 界)	( 页)
第六章	植物的新陈代谢 .....	( 页)
第一节	概 述 .....	( 页)
第二节	植物的水分代谢 .....	( 页)
第三节	植物的矿质与氮素营养 .....	( 页)
第四节	植物的光合作用 .....	( 页)
第五节	植物的呼吸作用 .....	( 页)
第六节	同化物的运输、分配及信号的传导 .....	( 页)
第七节	植物生长物质 .....	( 页)
第八节	植物的生长与发育 .....	( 页)
第七章	动物的类群 .....	( 页)
第一节	概 述 .....	( 页)
第二节	单细胞动物——原生动物门 .....	( 页)
第三节	侧生动物——海绵动物门 .....	( 页)
第四节	辐射对称的二胚层动物——腔肠动物门 .....	( 页)
第五节	三胚层无体腔动物——扁形动物门 .....	( 页)
第六节	具有假体腔的动物——原腔动物 .....	( 页)
第七节	身体分节的真体腔动物——环节动物门 .....	( 页)
第八节	真体腔不分节的动物——软体动物门 .....	( 页)
第九节	有分节附肢的动物——节肢动物门 .....	( 页)
第十节	辐射对称的后口动物——棘皮动物门 .....	( 页)
第十一节	最高等的动物类群——脊索动物门 .....	( 页)
第十二节	无颌脊椎动物——圆口纲 .....	( 页)
第十三节	低等有颌脊椎动物——鱼纲 .....	( 页)
第十四节	从水生过渡到陆生的脊椎动物——两栖纲 .....	( 页)
第十五节	真正陆生的脊椎动物——爬行纲 .....	( 页)
第十六节	飞翔的恒温脊椎动物——鸟纲 .....	( 页)
第十七节	最高等的恒温脊椎动物——哺乳纲 .....	( 页)
第八章	动物及人体生理 .....	( 页)
第一节	概 述 .....	( 页)
第二节	神经肌肉的一般生理 .....	( 页)

第三节	动物的神经系统 .....	(源四)
第四节	感觉器官 .....	(源四)
第五节	血液 .....	(源四)
第六节	淋巴系统与免疫 .....	(源缘)
第七节	循环系统 .....	(源四)
第八节	呼吸系统 .....	(源四)
第九节	消化和吸收 .....	(源四)
第十节	能量代谢与体温调节 .....	(源缘)
第十一节	动物的渗透调节与排泄 .....	(源四)
第十二节	内分泌与生殖系统 .....	(源缘)
第九章	生物的遗传与进化 .....	(源四)
第一节	概 述 .....	(源四)
第二节	遗传的分子基础 .....	(源四)
第三节	基因的传递规律 .....	(源四)
第四节	性别决定与伴性遗传 .....	(源四)
第五节	遗传物质的改变 .....	(源四)
第六节	重组 克隆技术 .....	(缘源)
第七节	生物的进化 .....	(缘四)
第十章	生态学 .....	(缘四)
第一节	概 述 .....	(缘四)
第二节	生物与环境 .....	(缘源)
第三节	种群的概念 .....	(缘四)
第四节	种群动态 .....	(缘缘)
第五节	种群生活史 .....	(缘四)
第六节	种间相互作用 .....	(缘四)
第七节	群落的概念 .....	(缘源)
第八节	群落动态 .....	(缘四)
第九节	生态系统的概念 .....	(缘四)
第十节	生态系统中的能量流动 .....	(缘源)
第十一节	生态系统中的物质循环 .....	(缘四)
第十二节	生物多样性 .....	(缘四)
第十一章	动物行为 .....	(缘四)
第一节	概 述 .....	(缘四)
第二节	本能和学习 .....	(缘四)
第三节	行为的遗传学 .....	(缘四)
第四节	行为的发育 .....	(缘四)
第五节	行为的生理学 .....	(缘四)
第六节	行为的组织 .....	(缘四)
第七节	行为生态学与适应 .....	(缘四)
第八节	寻觅栖息地的行为生态学 .....	(缘四)



第九节 觅食 .....	( 缘原)
第十节 抵抗捕食者 .....	( 缘包)
第十一节 繁殖的行为生态学 .....	( 缘忍)
第十二节 社会行为 .....	( 缘缘)

# 第一章 细胞的化学组成

## 第一节 概述

细胞内存在着种类繁多、结构功能复杂的化学物质，统称为生命物质。各种细胞有着共同的组分，但动物、植物和微生物细胞也存在各自独特的组分。

细胞的化学组分包括：机体提供的能源和碳源提供的能源物质，构成机体基本生命特征的基本物质，以及调节各种生命物质在体内变化的活性物质。各种生命物质在体内都处于不断的变化之中，借以维持生命的基本特征。

## 第二节 生命的能源物质

通过代谢分解后能为机体提供能量的物质，称为能源物质，包括糖、脂肪和蛋白质。其中糖是基本能源物质，脂肪是储存能源物质。

### 一、糖

糖的化学定义是：多羟醛或多羟酮及其衍生物，即至少含有一个醛基（或酮基）及多个羟基的化合物。曾经将糖类称为碳水化合物，实际上这是不确切的。含有醛基的糖称为醛糖（如葡萄糖），含有酮基的糖称为酮糖（如果糖）。

#### （一）糖的分类

按照分子的大小，将糖分为单糖和聚糖。单糖是构成糖类物质的基本单位，聚糖是由若干单糖聚合而成的，分为寡聚糖和多聚糖。

单糖：含有 1 个醛基，2 个以上羟基的糖类。根据含碳原子数的多少，分为三碳糖（丙糖）、四碳糖（丁糖）、五碳糖（戊糖）、六碳糖（己糖）和七碳糖（庚糖）。其中戊糖和己糖是自然界广泛存在的单糖，其他单糖大多为代谢中间产物。葡萄糖是最常见的己醛糖，果糖是常见的己酮糖。

寡聚糖（低聚糖）：一般由 2-10 个单糖缩合而成，分别称为二糖（双糖）、三糖、四糖等。常见的二糖有蔗糖、麦芽糖和乳糖。

多聚糖简称多糖，由几十、几百甚至几千个单糖构成。由同种单糖构成的，称为同聚多糖（如淀粉、糖原、纤维素等）；由几种不同单糖构成的，称为杂聚多糖（如果胶、肝素、透明质酸等）。

#### （二）糖的结构特点

单糖的结构特点 单糖结构分为链状结构和环状结构。在单糖结构中，应特别注意构型与旋光性的关系。因为单糖（除二羟丙酮外）都具有旋光性，即能使偏光（在一个方向传播的光波）向右边旋转（称为右旋）或向左边旋转（称为左旋）的性质。有的单糖具有右



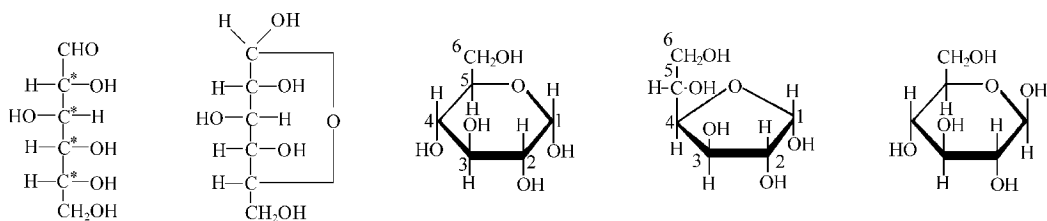
旋性（用符号  $\oplus$  或  $\ominus$  表示），有的具有左旋性（用  $\ominus$  或  $\oplus$  表示）。在书写结构时，为了将具有相同原子组成，但旋光性不同的两种组分（称为旋光异构体或对映异构体）加以区别，引入构型的概念。构型是人为规定的，分别称为 **费歇尔型** 和 **兰姆达型**。

图 1-1 表示三碳醛糖的两种旋光异构体。带“\*”号的碳原子称为不对称碳原子（或手性碳原子），与此碳原子相连的羟基（原基），写在右边的规定为 **费歇尔型**；写在左边的规定为 **兰姆达型**。

含四碳以上的单糖，具有两个以上的不对称碳原子，规定构型时以靠近伯醇基（原基）的不对称碳原子上羟基的排布为标准。

单糖除上述链状结构外，还有环状结构，以葡萄糖为例，主要有两种环状结构：吡喃式和呋喃式（图 1-2）。前者为  $\alpha$  和  $\beta$  成环（环内含 5 个碳原子和 1 个氧原子），后者为  $\alpha$  和  $\beta$  成环（环内含 4 个碳原子和 1 个氧原子）。 $\alpha$  在开链结构时是一个非手性碳原子，成环后又成为一个手性碳原子，与  $\alpha$  连接的羟基（称为半缩醛羟基）又出现一个空间排布问题，因此又有一个新的构型。如果  $\alpha$  上的半缩醛羟基与决定直链构型的羟基（即  $\alpha$  上羟基）在碳链的同一边，规定为  **$\alpha$  型**；不在同一边，两个羟基各在一边，规定为  **$\beta$  型**（见图 1-2）。

注意：构型是人为规定的，旋光性是实际测定的。天然存在的单糖多为 **费歇尔型**。



费歇尔型葡萄糖

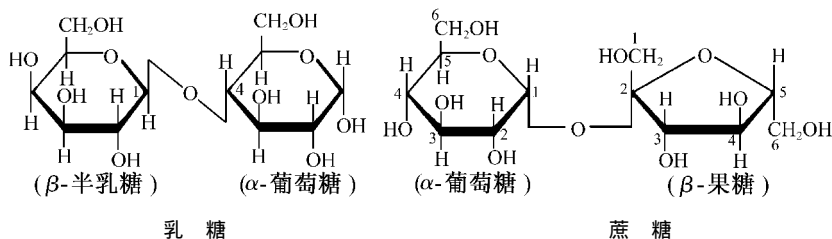
$\alpha$  型吡喃葡萄糖

$\alpha$  型呋喃葡萄糖

$\beta$  型吡喃葡萄糖

图 1-2 葡萄糖的几种结构类型

**寡糖的结构特点** 一个单糖的半缩醛羟基（ $\alpha$ ）与另一单糖的任一羟基缩合失去 1 分子水后所生成的化合物称为糖苷，新生成的化学键称为糖苷键，形成糖苷时，提供半缩醛羟基的单糖称为糖基，另一单糖（或其他含羟基化合物）称为配基。糖苷键的构型由糖基的半缩醛羟基决定，分为  $\alpha$  型糖苷键和  $\beta$  型糖苷键。糖苷键的方向由糖基指向配基。例如，乳糖由半乳糖和葡萄糖构成，为半乳糖苷，由  $\beta$ （1 $\rightarrow$ 4）糖苷键连接（图 1-3）。而蔗糖的糖苷键由  $\alpha$  型葡萄糖半缩醛羟基和  $\beta$  型果糖半缩酮羟基形成，所以二者互为配基，糖苷键记为（1 $\rightarrow$ 2），如图 1-3 所示。



乳糖

蔗糖

图 1-3 两种寡糖的结构

多糖是由几十个以上的单糖通过糖苷键连接成的大分子糖类。同聚多糖由同种单糖构成，最常见的为葡萄糖的聚合物，称为葡聚糖，如淀粉、糖原、纤维素等。淀粉分子由几百

个以上的葡萄糖通过  $\alpha(1\rightarrow3)$  和  $\alpha(1\rightarrow4)$  糖苷键连接。有两种结构，一种称为直链淀粉，葡萄糖与葡萄糖之间由  $\alpha(1\rightarrow4)$  糖苷键连接，形成一条长的糖链。糖链的游离 羟基端称为还原端（具有还原性），另一端具游离 羟基端称为非还原端。直链淀粉的糖链不是完全伸直的线性结构，而是形成大小不等的弹簧状螺旋结构。

另一种淀粉是在糖链上具有许多分支的支链淀粉。其主链和支链上，葡萄糖间仍是  $\alpha(1\rightarrow4)$  糖苷键连接，支链和主链的连接则是  $\alpha(1\rightarrow6)$  糖苷键（图 1-10）。支链淀粉分子的主链上有 1 个还原端，另一端和所有支链的末端均为非还原端。

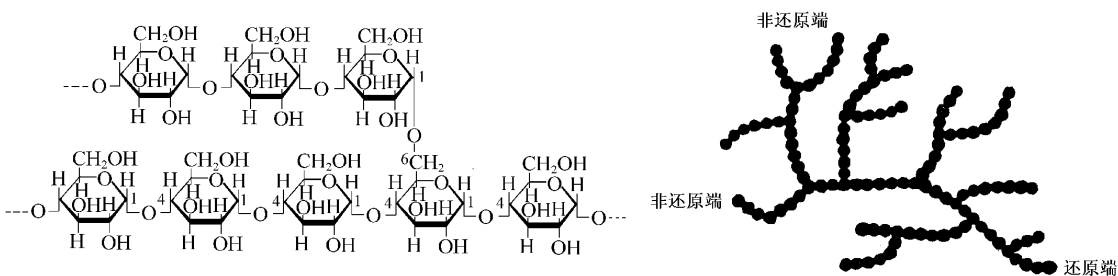


图 1-10 支链淀粉的结构（据上海第一医院等）

糖原是存在于动物肝脏、肌肉和肾脏内的储存多糖，其结构与支链淀粉十分相似，只是分子更大，所含葡萄糖基更多，分支数目更多。

存在于植物中的纤维素也由葡萄糖聚合而成，葡萄糖基间的连接为  $\beta(1\rightarrow4)$  糖苷键，糖链呈线性纤维状。

杂聚多糖（杂多糖）的结构比同聚多糖复杂。在元素组成上，除含 葡萄糖外，常常还含有 果糖和 甘露糖。许多杂聚多糖是基本的二糖单位多次重复形成高聚物，许多含有  $\beta$  原糖苷键。其基本成分除单糖外，常含有单糖的衍生物，如糖胺、糖酸、糖醛酸等。常见的杂聚多糖有果胶、琼脂、肝素、透明质酸、硫酸软骨素等。

### （三）糖类物质的生理功能

糖类是基本能源物质，为机体提供能量，但糖类也具备其他重要功能。

**提供能量** 糖类是绝大多数生物生命活动所需能量的主要来源。人体所需能量的 70% 来自糖类。

**提供碳源** 糖类经分解代谢，为蛋白质、脂质、核酸等生命物质的合成提供碳骨架。

**结构组分** 植物和细菌的细胞壁以及植物的一些支撑组织的主要成分是糖类。

**其他** 糖类在生物体的免疫、血型、细胞粘附、细胞识别等方面都具有重要作用。

## 二、脂质

脂质包括脂肪和类脂，是一类含有醇和脂肪酸的不溶于水的化合物。脂肪是机体的储存能源物质，而类脂是生物膜的主要成分。

### （一）脂质的分类

按照其化学结构，脂质可分为两类：单脂和复脂。单脂（简单脂质）又称为真脂或脂肪，其成分仅仅含有甘油（丙三醇）和脂肪酸。

复脂又称为类脂，除含有甘油和脂肪酸外，还含有其他成分。复脂包括磷脂（含有磷酸）、糖脂（含糖）、固醇及其衍生物、脂蛋白等。



子中无 3 位羟基称为脱氧胆酸；无 12 位羟基称为鹅脱氧胆酸；3 和 12 位均无羟基，则称为石胆酸。胆酸的衍生物称为胆汁酸，重要的有两种。一种称为甘氨酸胆酸，是胆酸分子侧链的羧基连上一个甘氨酸（ $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ ）；另一种是连一个牛磺酸（ $\text{HS}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ ）。

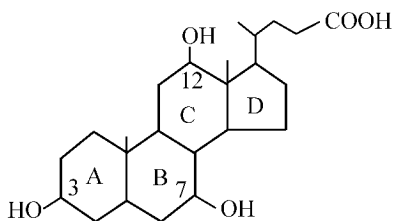


图 1-1 胆酸

### (三) 脂质的生理功能

**细胞结构组分** 磷脂和胆固醇等脂质是构成生物膜（包括细胞膜和细胞器膜）的重要组成成分，因此称为结构脂质。磷脂构成生物膜的骨架——脂质双分子层，胆固醇在膜上的分布调节膜的液晶状态。

**储存能源** 脂肪分解后所产生能量比糖高，每克脂肪完全氧化分解后产生 38.9 kJ (9.3 kcal) 的能量，而糖仅产生 16.7 kJ (4.0 kcal) 的能量。因此，脂肪是一种很好的储存能源。

**溶剂** 一些非水溶性物质，如维生素 A、D、E 及色素等需借助脂肪吸收、转运。

**防御作用** 分布于组织器官表面的脂肪具有润滑、缓冲作用，脂肪组织具有保温、御寒作用。

## 第三节 生命的基本物质

蛋白质和核酸是决定生命活动的基本物质。除类病毒（一种无细胞结构，比病毒还简单的病原体）不含蛋白质外，所有生物都含有核酸和蛋白质。核酸是生物遗传信息的储存者（载体）和传递者，生命活动通过蛋白质而表现。

### 一、蛋白质

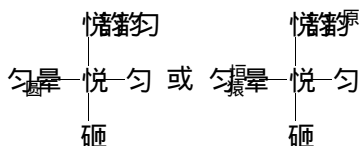
#### (一) 蛋白质的分子组成

**元素组成特点** 与糖、脂比较，蛋白质在元素组成上除碳、氢、氧外，都含氮，而且各种蛋白质的含氮量相对恒定，占总元素组成的 16%~18%，平均值为 17%。即每含氮 1g 相当于含有 5.6g (即 16%) 蛋白质。因此，只要测定一个生物样品中的氮含量，乘上此系数，即为蛋白质含量。这种测定蛋白质含量的方法，称为定氮法。

除含上述主要元素外，蛋白质还含硫，有的含磷，少数还含有铁、铜、锌、锰、钼等，个别含碘。

**蛋白质的基本结构单位——氨基酸** 蛋白质是大分子物质，相对分子质量很大（在 10000 以上），逐步水解后可产生一系列中间物，最后产生氨基酸：蛋白质 → 肽 → 多肽 → 二肽 → 氨基酸。因此，氨基酸是构成蛋白质分子的基本单位。

氨基酸（简写  $\text{aa}$ ）是具有氨基的羧酸，氨基（ $\text{NH}_2$ ）连于靠近羧基的碳原子（称为  $\alpha$  碳原子）上，故称为  $\alpha$  氨基酸。其结构通式如下：



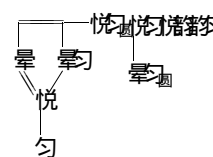
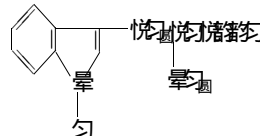
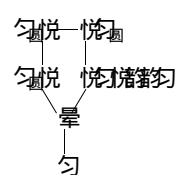
构成蛋白质的基本氨基酸有 20 种，见表 1-1



表 员原员 构成蛋白质的氨基酸名称、代号及结构 (据李建武)

类别	普通名称 (化学名称)	代号 (英)	代号 (中)	结 构 式	
脂 肪 族 氨 基 酸	一 氨 基 一 羧 基 氨 基 酸	甘氨酸 ( $\alpha$ 原氨基乙酸)	耶醋	甘	
	蕴原丙氨酸 ( $\alpha$ 原氨基丙酸)	粤葬	丙		
	* 蕴原缬氨酸 ( $\alpha$ 原氨基异戊酸)	灾惹	缬		
	* 蕴原亮氨酸 ( $\alpha$ 原氨基异己酸)	蕴志	亮		
	* 蕴原异亮氨酸 ( $\alpha$ 原氨基原3原甲基戊酸或 $\alpha$ 原氨基原3原甲基原乙基丙酸)	随志	异亮		
	一 氨 基 一 羧 基 氨 基 酸	蕴原天门冬氨酸 ( $\alpha$ 原氨基丁二酸)	粤表	天	
	蕴原谷氨酸 ( $\alpha$ 原氨基戊二酸)	耶志	谷		
	二 氨 基 一 羧 基 氨 基 酸	蕴原精氨酸 ( $\alpha$ 原氨基原6原肌基戊酸)	粤甲	精	
	* 蕴原赖氨酸 ( $\alpha, \epsilon$ 原二氨基己酸)	蕴峰	赖		
	羟 基 氨 基 酸	蕴原丝氨酸 ( $\alpha$ 原氨基原3原羟基丙酸)	灾侧	丝	
* 蕴原苏氨酸 ( $\alpha$ 原氨基原3原羟基丁酸)	裁侧	苏			
含 硫 氨 基 酸	蕴原半胱氨酸 ( $\alpha$ 原氨基原3原巯基丁酸)	悦峰	半胱		
* 蕴原蛋氨酸 (甲硫氨酸) ( $\alpha$ 原氨基原7原甲硫基丁酸)	酰藏	蛋			
芳 香 族 氨 基 酸	* 蕴原苯丙氨酸 ( $\alpha$ 原氨基原3原苯丙酸)	孕藻	苯		
	蕴原酪氨酸 ( $\alpha$ 原氨基原3原对羟苯丙酸)	裁侧	酪		

续表 员原员

类别	普通名称 (化学名称)	代号 (英)	代号 (中)	结 构 式
杂 环 氨 基 酸	蕴原组氨酸 ( $\alpha$ 原氨基原 $\beta$ 原咪唑丙酸)	匀驛	组	
	* 蕴原色氨酸 ( $\alpha$ 原氨基原 $\beta$ 原吲哚基丙酸)	匀驫	色	
	蕴原脯氨酸 (四氢吡咯原羧酸)	匀驪	脯	

\* 为人类的“必需氨基酸”。

表 员原员中共 员种，另外两种基本氨基酸是由谷氨酸和天门冬氨酸转化成的酰胺，即谷氨酰胺和天门冬酰胺，其结构如下：



根据氨基酸的结构，可将氨基酸分为脂肪氨基酸、芳香族氨基酸和杂环氨基酸 猿类；根据酸碱性又可分为 猿类：酸性氨基酸（天门冬氨酸和谷氨酸）、碱性氨基酸（精氨酸、赖氨酸和组氨酸）和中性氨基酸（其余 员种氨基酸）；还可按分子的极性分为极性氨基酸和非极性氨基酸。丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、色氨酸、脯氨酸和甲硫氨酸为非极性氨基酸，其余的为极性氨基酸。一般而言，极性氨基酸比较亲水，而非极性氨基酸疏水。

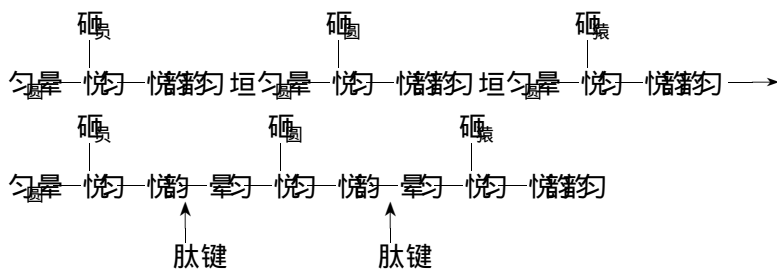
## （二）蛋白质的结构

蛋白质分子种类繁多，结构复杂。按其分子形状可分为球状蛋白和纤维状蛋白，按功能分为结构蛋白和功能蛋白，按其组成为单纯蛋白（简单蛋白）和结合蛋白。单纯蛋白仅仅由氨基酸构成，结合蛋白则是除了氨基酸外，还含有非蛋白组分，称为辅基。为了应用和研究的方便，人为地将蛋白质分子的结构分成一、二、三、四级，其中一级结构是基础，称为初级结构，第二、三、四级结构称为高级结构（或称构象）。

员援初级结构 氨基酸与氨基酸连起来可以形成肽和蛋白质。由几个或几十个氨基酸连接起来所构成的分子称为肽（前者称为寡肽，后者称为多肽）；如果氨基酸的数目在 员个以上，即构成蛋白质。无论是肽还是蛋白质，氨基酸间是通过肽键来连接的，即 员个氨基酸的  $\alpha$ 原羧基与另一氨基酸的  $\alpha$ 原氨基缩合失水后所生成的化学键即称为肽键。所生成的长链



称为肽链。例如：



一个肽或蛋白质，无论含有多少个氨基酸，总存在一个游离的  $\alpha$  原氨基末端和一游离  $\alpha$  原羧基末端，前者称为氨基末端（或 晕原末端），后者称为羧基末端（或 悦原末端）。肽或蛋白质分子中每一个氨基酸单位称为残基，它与自由氨基酸比较只相差 一个水分子。

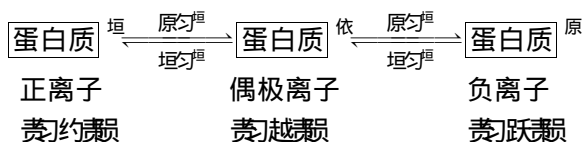
蛋白质的一级结构就是指构成蛋白质肽链中氨基酸的数目、种类和排列顺序。一级结构的核心指氨基酸的排列顺序。

**高级结构** 在一级结构上，蛋白质分子是一个长的链状结构（肽链），链的长短取决于所含氨基酸的数目。天然蛋白质并不是线性的纤维状分子，大多为球状或颗粒状，因此有更高形式的结构层次。肽链形成螺旋式的弹簧状结构（称  $\alpha$  原螺旋）或折叠式的片层结构（称  $\beta$  原折叠）称为二级结构；在二级结构的基础上，分子进一步折叠、卷曲成颗粒状的结构（内部疏水，外部亲水）称为三级结构；有一些相对分子质量比较大的分子，由两条以上肽链构成，一般可将每一条肽链称为一个亚基，亚基与亚基的连接方式即为四级结构。由此看来，仅仅由一条肽链构成的蛋白质（如肌红蛋白）就只有一、二、三级结构，而含有两条以上肽链的蛋白质（如血红蛋白）才具有四级结构。

维系蛋白质分子高级结构（又称空间结构）的化学键主要是氢键（一个氢原子与 一个 晕或 韵连接键之一）、盐键（或称离子键，一个正离子与一个负离子靠近形成的静电引力）、疏水键（两个非极性基团在水中互相靠近形成）、二硫键（两个半胱氨酸的 原基，通过氧化失去 匀后形成）和范德华力（任意两个基团靠近形成）等。

### （三）蛋白质的重要性质

**两性性质** 一种物质若能分解为带电离子，即称为电解质。根据电离程度大小不同分为强电解质（如盐酸）和弱电解质（如醋酸），氨基酸是一种弱电解质。又因氨基酸和蛋白质既有酸性的羧基（能释放氢离子），又有碱性的氨基（能结合氢离子使其带正电荷），所以氨基酸和蛋白质称为两性电解质，具有两性性质：既具有酸性（可放出氢离子），又具有碱性（可结合氢离子）。在不同的 责条件下，氨基酸和蛋白质可以带不同电荷，在某一 责值下，若蛋白质分子既不带正电荷，也不带负电荷，净电荷为零，这个 责值即称为该蛋白质的等电点（责）。在小于等电点的 责条件下，蛋白质分子带正电荷，成为正离子；在大于等电点的 责环境中，蛋白质分子带负电荷，成为负离子。利用这一性质，可对蛋白质或氨基酸进行分离分析（电泳和离子交换）。



**分子大小** 蛋白质是大分子物质，含 两个以上氨基酸残基，每个残基的相对分子质量平均按 计算，因此，蛋白质分子的相对分子质量在 以上，一般为几十万到几百万，个别达到几千万。由多条肽链构成的寡聚蛋白，相对分子质量都较大，在 以上。对相对分子质量的测定，一般采用超离心法，在 离心力场下，测出蛋白质的

沉降系数  $S$ , 再算出蛋白质的相对分子质量 ( $M_r$ )。  $S$  与  $M_r$  具有正相关性, 因此常常用  $S$  值直接表示分子的大小。在一般实验室中, 常用凝胶电泳和凝胶层析 (分子筛层析) 来测定蛋白质的相对分子质量。

**沉淀作用** 蛋白质分子虽然很大, 但尚未大到在溶液中发生自然沉淀的程度。在溶液中蛋白质分子是比较稳定的, 分子之间不会因为碰撞聚集而发生沉淀。这是因为有两个主要因素保证了蛋白质的稳定性: ①水化作用。由于极性氨基酸分布于蛋白质分子表面, 具有亲水性, 与水分子结合成一层保护膜, 由于分子表面水化膜的存在, 分子之间就很难聚集。②电荷效应。由于蛋白质分子处于非等电点时, 同种蛋白质带相同电荷, 在  $pI$  时, 都带正电荷, 在  $pI$  时, 都带负电荷。因此, 分子与分子间表面的同性电荷互相排斥, 就不容易聚集成大的颗粒而沉淀。在一定条件下, 破坏了上述两个稳定因素, 蛋白质就容易发生沉淀。如调节溶液  $pH$  值, 使其达到某蛋白质的等电点时, 蛋白质即发生沉淀, 因为在等电点时溶解度最小 (等电点沉淀法); 加入大量中性盐 (如硫酸铵等), 使其沉淀 (盐析法); 或者加入一些极性有机溶剂 (如酒精), 可以破坏分子表面的水化膜, 也可使蛋白质沉淀。这些方法常用来制备某种蛋白质。

**变性作用** 在某些物理化学因素作用下, 可引起蛋白质分子高级结构的破坏, 从而导致理化性质发生改变, 生物功能丧失, 这种现象称为蛋白质的变性作用。能引起蛋白质变性的因素包括加热、超声波、电磁波、紫外线等物理因素, 以及强酸、强碱、尿素、有机溶剂等化学因素。变性后溶解度降低、粘度增大、等电点改变、产生一些新的颜色反应等。蛋白质变性分为可逆变性与不可逆变性。前者是第三、四级结构遭到破坏, 在除去变性因素后可发生逆转; 后者则是二级以上结构全被破坏, 不能逆转。蛋白质变性作用有时要加以避免 (例如制备活性蛋白), 有时可加以利用 (如杀菌消毒、消化等)。

## 二、核酸

核酸是决定生物遗传和变异的物质基础, 不同生物在所含核酸的数量和结构上都不同; 即使是同种生物, 也存在个体的差异。

### (一) 核酸的种类

核酸分为核糖核酸 (RNA) 和脱氧核糖核酸 (DNA) 两大类。RNA 主要存在于细胞质中, 但细胞核内也有; DNA 主要存在于细胞核内, 在核外的某些细胞器 (线粒体、叶绿体) 中也存在。在细菌等原核生物中, DNA 除主要存在于染色质外, 质粒中也具有独立的 DNA 分子。遗传信息主要储存在 DNA 分子上。

RNA 的种类较多。细胞质中主要有 3 种: mRNA、rRNA 和 tRNA, 此外线粒体和叶绿体中也有各自独立的 RNA。

**核糖体 RNA (rRNA)** 核糖体 (或称核蛋白体) 是蛋白质合成的场所, 由两个大小不等的亚基构成, 每个亚基都含有几十种蛋白质和几种 rRNA, 这种 rRNA 即称为 rRNA。在大肠杆菌的核糖体小亚基中具有 16S rRNA, 大亚基具有 23S rRNA 和 23S rRNA; 在哺乳动物小亚基中有 18S rRNA, 大亚基中有 28S rRNA、28S rRNA 和 5.8S rRNA (杂为沉降系数)。细胞中大约 80% 的 rRNA 都是 rRNA。

**转运 RNA (tRNA)** 这是 3 种 RNA 中最小的一种 RNA, 在蛋白质合成中起“搬运工”的作用, 即它们将一个个氨基酸搬运到核糖体内, 用于合成蛋白质。每种氨基酸都有各自特有的 tRNA。这种 tRNA 约占细胞总 RNA 的 15%。

**信使 RNA (mRNA)** 这种 RNA 是蛋白质合成的模板, 它的结构决定了所合成蛋白质多肽链中的氨基酸顺序。mRNA 在细胞内虽含量少 (约占总 RNA 的 5%), 但代谢活跃。



需要某种蛋白质时，决定该蛋白质的 **信使RNA** 很快合成；当蛋白质合成达到一定量后，**信使RNA** 即被分解。

**原核细胞核 RNA** 核内也存在多种 **RNA**，如核不均一 **RNA**（**核不均一RNA**），多数是 **信使RNA** 的前体；小分子核 **RNA**（**核小RNA**），这些小分子 **RNA** 有的在各类 **RNA** 成熟加工中起作用，有的与染色质结合，对基因的活性起调节作用，这种 **RNA** 称为染色质 **RNA**（**核小RNA**）。

病毒所含的核酸称为病毒核酸。一种病毒通常只含一种核酸，不是含 **RNA**，就是含 **DNA**。含 **RNA** 的称为 **RNA病毒**，含 **DNA** 的称为 **DNA病毒**。许多致病病毒都是 **DNA病毒**。如流感病毒、脊髓灰质炎病毒、爱滋病毒、非典型肺炎（**冠状病毒**）病毒和许多肿瘤病毒都是 **DNA病毒**。

## （二）核酸的结构

**核酸基本结构单位——核苷酸** 构成核酸分子的基本结构单位称为核苷酸，构成 **RNA** 的称为核糖核苷酸，构成 **DNA** 的称为脱氧核糖核苷酸。核苷酸是由核糖（或 **圆原脱氧核糖**）磷酸和一种含氮的碱基构成。碱基是一种含氮的杂环化合物，为嘌呤和嘧啶的衍生物。**RNA** 含腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶和尿嘧啶，**DNA** 中除尿嘧啶被胸腺嘧啶代替外，其他三种碱基与 **RNA** 相同。碱基的结构见图 **图 1-1-1**

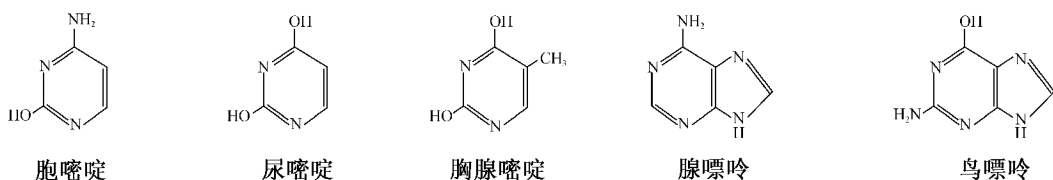


图 1-1-1 核酸所含碱基

碱基通过苷键与核糖连接构成核苷（**RNA**），与脱氧核糖连接构成脱氧核苷（**DNA**）。核糖（或脱氧核糖）再通过酯键与磷酸连接，即构成核苷酸（或脱氧核苷酸）。构成 **RNA** 的源种有：腺苷酸（**腺苷酸**）、鸟苷酸（**鸟苷酸**）、胞苷酸（**胞苷酸**）和尿苷酸（**尿苷酸**）。构成 **DNA** 的源种有：脱氧腺苷酸（**脱氧腺苷酸**）、脱氧鸟苷酸（**脱氧鸟苷酸**）、脱氧胞苷酸（**脱氧胞苷酸**）和脱氧胸苷酸（**脱氧胸苷酸**）。以腺嘌呤为例所形成的两种核苷酸的结构见图 **图 1-1-2** 每种核苷酸可进一步连接磷酸成二磷酸核苷和三磷酸核苷，如腺苷酸可进一步形成二磷酸腺苷（**二磷酸腺苷**）和三磷酸腺苷（**三磷酸腺苷**）。**三磷酸腺苷** 的结构见图 **图 1-1-3**

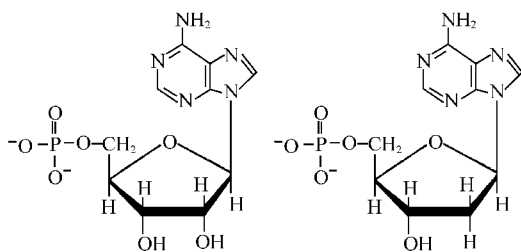


图 1-1-2 腺苷酸的结构

**核酸的一级结构** 由核苷酸构成 **RNA** 和 **DNA** 时，首先是由组成某核酸的所有核苷酸先形成一条链状结构，称为多核苷酸链，核苷酸间通过 **磷酸二酯键** 连接。一个多核苷酸链有两个末端，一个称为 **猿原末端**，另一端称为 **猿原末端**。一段核酸的一级结构见图 **图 1-1-4**

核酸的一级结构就是指一条多核苷酸链中的核苷酸顺序（实际上也可视为碱基顺序）。图 **图 1-1-4** 中从 **猿原末端** 到 **猿原末端** 的顺序为胞苷酸（**胞苷酸**）—腺苷酸（**腺苷酸**）—尿苷酸（**尿苷酸**，**DNA** 中为脱氧胸苷酸）—鸟苷酸（**鸟苷酸**），可简称为 **胞腺尿鸟** 或 **胞腺尿鸟**

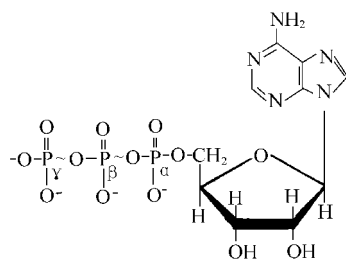


图 1-1-3 **三磷酸腺苷** 的结构