

生物工程丛书

# 基因工程



张树庸 耿运琪 陈启民 蔡宝立 编著 科学普及出版社

生物工程丛书

基因工程

科

Q18/ZSY

版

社

生物工程丛书

# 基因工程

张树庸 耿运琪 编著  
陈启民 蔡宝立

科学普及出版社

## 内 容 提 要

本书是《生物工程丛书》的一个分册。本书介绍了分子遗传学的基础知识、基因工程的基本过程、原核细胞中的基因克隆、酵母细胞中的基因克隆、植物基因工程、动物细胞的基因工程和基因工程的成果与展望。

全书共配图 131 幅、表 4 个,以便于读者直观形象地了解基因工程技术。

本书适合中学师生,农、医中等技校师生,高等院校师生和初、中级科研人员参阅。

## 生 物 工 程 丛 书 基 因 工 程

张树庸 耿运琪 编著  
陈启民 蔡宝立

责任编辑:邓鼎年

封面设计:范惠民

技术设计:王予南

科学普及出版社出版(北京海淀区白石桥路 32 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国科学院印刷厂印刷

\*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张: 8.75 字数: 204 千字

1989 年 7 月第 1 版 1989 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1—2472 册 定价: 4.70 元

ISBN 7-110-00270-5/Q·3

## 序

生物学是一门与人类自身的生存和发展有关的科学，但是长期以来人们对它缺乏应有的了解和足够的重视。生物学研究的是极为复杂的生命现象。尽管随着科学技术的飞速发展，特别是一些先进技术手段的渗透，生物学本身在取得长足进展的同时，也为农业、工业和医学等解决了一系列重大的理论、技术难题。然而，当生物学暂不能彻底解决一些急待解决的课题与完全满足人们的紧迫需要时，就很难引人注目。

如果从比利时学者维萨留斯于1543年发表《人体结构》时起，时至今日，生物学已经历了400多年的发展历程。在此期间，一些卓越的生物学家以他们的辉煌成果推进了生物学的发展。这些先驱者为生物学的发展确立了光辉的里程碑。生物学研究的水平已在群体、个体、组织、器官、细胞和亚细胞等层次全面展开。

随着其他学科的新理论、新技术向生物学的渗透，特别是电子显微镜、X射线衍射分析技术、超离心技术、超薄切片技术、放射自显影技术、电泳分析技术、色谱分析、质谱分析、分光光度分析、核磁共振仪和电子仪器等直接应用于生物学研究，大大促进了生物学的发展。新的分支学科不断涌现，如细胞化学、生物物理学、电生理学、数学生物学和生物统计学等。同时，生物学的研究成果也被其他学科所引用，产生了一些新的边缘学科，如仿生学、信息论和控制论等。因此，到本世纪50年代初，科学界已普遍认为，生物学的研究水平、方法和内容，已经突破经典生物学领域，只有拓展为“生命科学”这一名词才能更确切地反映出它的研究水平和内容，以及它与其他学科之间的横向联系，以突出它的综合性。

必须指出，“生命科学”这一名词的产生，还在本质上反映出其研究水平已推进到分子、原子、电子直至光子。生命科学已明显地显示出领先科学的趋势。

从1960年开始，“分子生物学”这一名词已被普遍引用。此时，生命科学的最大特征是，它的研究水平已达到分子水平。1953年，J. 沃森 (Jim Watson) 和 F. 克里克 (Francis Crick) 确立了DNA分子的双螺旋结构模型，由此揭开了遗传密码的谜底。这是生命科学史上一次划时代的冲刺，人类从此开始了改造和重新设计生命的征程。1966—1967年，随着工具酶——DNA连接酶和DNA限制性内切酶的发现和分离成功，美国斯坦福大学的科学家 H. 博耶 (Herbert Boyer) 和 S. 科恩 (Stanley Cohen)，于1973年首次人工构建了一个嵌合质粒，并在大肠杆菌中进行了克隆。1977年11月，美国加州国立医学中心与加州大学的科学家合作，第一次用大肠杆菌生产出人脑激素——生长激素释放抑制素 (somatostatin)。这一事件引起了世界范围的轰动，并引发了世界性的生物工程 (biotechnology) 热。

近代生物工程学的崛起有其客观的必然性，最根本之点就在于：进入本世纪70年代以来，人类已能在细胞、亚细胞和分子水平上直接操纵生命。随着基因载体的发现及其人工构建成功、细胞融合技术的进一步发展与完善、固定化细胞与固定化酶技术的创建和高效生物反应器与传感器的出现，以及微机在调控生物过程中的应用，使生命科学已从实

验研究转化为工厂化的批量生产。生物学与生物工程学的根本区别在于其操作的规模。生物学家通常在毫微克或微克的数量级上进行研究，而生物工程学家则往往在公斤或吨的数量级上进行操作。

以生物工程技术为支柱的生物工业已经面世，并以其知识密集、技术密集的特点，与其它高技术共同跻身于世。随着生物工业第一个产品——胰岛素的投放市场，引起了世界范围的震动，由于它的巨大的商业利润和潜在的市场规模，因此，对企业界有巨大的吸引力。至今，各种生物工程公司已纷纷成立，风险投资的数额尤为惊人。更引人瞩目的是，各国政府在科研投资、机构设置和人才培养方面，已经实现了重大的战略转移。人们已普遍认识到，生物工程技术是第四次产业革命的三大技术支柱之一，我国政府也把生物工程技术列为“七五”期间的重点科研项目。人们预计生物工程将会引起产业结构和科研体制等方面的巨大的变革，其影响将大大地超过微电子学。

生物工程技术可被定义为生物机体、生物系统或生物加工过程在制造业和服务性行业中的应用技术。因此，生物工程实际上是一种放大的生物过程。

生物工程学是生命科学的技术前沿之一。目前，科学家借助蛋白质工程技术，致力于研制低耗高效的第六代计算机——生物电子计算机(生物电脑)。因此，生物工程学在开发人工智能方面具有举足轻重的作用。目前，由它已经衍生出一门新的边缘学科——生物电子学。由于生物工业所利用的原料是可再生及可循环使用的生物量，因此，它在解决世界范围内的能源危机、粮食危机和环境污染等方面将扮演主角。

本丛书结构框架的构思，是立足于将生物工程学理解为由细胞工程、基因工程、酶工程和发酵工程所组成。生物工程学这一译名直接来自“biotechnology”。

本丛书共有四个分册，即《细胞工程》、《基因工程》、《酶工程》和《发酵工程》。

编写本丛书旨在普及生物工程学这一高、精、尖技术的基础知识，以便为在更高的层次上介绍这一门技术预先作铺垫。因此，读者可通过本书对生物工程学作一定性的了解，即仅供读者了解“什么是生物工程学”。

21世纪是生物学的世纪，生物工程学的重要性已毋庸置疑。本丛书的编辑出版仅作引子，以期今后有更多更好的出版物问世。

姚鼎

1988年3月于北京

# 目 录

前 言.....	1
1 基因工程的理论基础 .....	3
1.1 什么是遗传物质 .....	3
1.2 DNA 的分子结构 .....	5
1.3 DNA 在细胞中的分布 .....	8
1.4 DNA 的复制 .....	10
1.5 RNA 的结构和功能 .....	13
1.6 蛋白质的分子结构 .....	16
1.7 遗传信息的传递 .....	19
1.8 基因表达的调节控制 .....	24
1.9 基因突变 .....	26
1.10 $\lambda$ 噬菌体 .....	28
1.11 细菌质粒 .....	30
1.12 转座因子 .....	31
2 基因工程的基本过程 .....	33
2.1 用于基因工程的工具酶 .....	34
2.2 用于基因工程的载体 .....	37
2.3 目的基因的取得 .....	42
2.4 DNA 分子的体外重组 .....	44
2.5 以质粒作载体的基因克隆 .....	48
2.6 以 $\lambda$ 噬菌体作载体的基因克隆 .....	50
2.7 以粘性质粒作载体的基因克隆 .....	53
2.8 目的基因克隆的选择和鉴定 .....	54
2.9 外源基因在宿主细胞中的表达 .....	58
3 在原核细胞中克隆基因 .....	62
3.1 热稳定 $\alpha$ -淀粉酶基因的克隆 .....	62
3.2 人生长素基因在大肠杆菌中的表达 .....	74
3.3 生长激素抑制素基因在大肠杆菌中的表达 .....	78
4 在酵母细胞中克隆基因 .....	84
4.1 在酵母细胞中克隆基因所用的载体 .....	84
4.2 外源基因在酵母细胞中的表达 .....	88
5 植物基因工程 .....	91
5.1 植物基因工程的载体——Ti 质粒 .....	91
5.2 植物基因工程的一般过程 .....	92
5.3 T-DNA 插入用于分离植物基因 .....	95
6 动物细胞的基因工程 .....	96
6.1 直接转化动物细胞 .....	96

6.2	通过感染引入基因——生长素基因的克隆 .....	99
6.3	显微注射法引入基因——巨型鼠的产生 .....	103
6.4	用穿梭载体引入外源基因 .....	104
7	基因工程的成果与展望 .....	109
7.1	生物工程的重大经济意义 .....	109
7.1.1	生物工程对农牧业的巨大影响 .....	109
7.1.2	借助生物工程开发新能源和解决环境污染 .....	111
7.1.3	生物工程的潜在工业经济意义 .....	112
7.2	基因工程的现有成果与展望 .....	113
7.2.1	基因工程在制药业中崭露头角 .....	113
7.2.2	攻克癌症指日可待 .....	118
7.2.3	遗传病的预防与治疗 .....	120
7.2.4	基因工程为疾病的诊断辟新径 .....	123
8	基因工程研究史略 .....	125

## 前 言

基因工程亦称为遗传工程或重组体 DNA 技术。它是一项将一种生物的基因通过基因载体运送到另一种生物的活细胞中,并使之增殖(称之为“克隆”)和行使正常功能(称之为“表达”),从而创造生物新品种或新物种的遗传学技术。在典型的基因工程实验中,被操作的基因不仅能够克隆,而且也能表达。但是在另外一种情况下,为了制备和纯化一段 DNA 序列,我们只需这段 DNA 在受体细胞中克隆就可以了,无需让它表达,这也是一种基因工程实验。

基因工程始于 1973 年。1982 年第一批基因工程产品——预防仔猪腹泻的疫苗和治疗糖尿病的人胰岛素,开始投放市场,标志着基因工程技术已经从分子生物学家的实验室步入人类社会,并正在为人们提供社会服务。这一领域的众多成果和诱人前景,使越来越多的人对基因工程产生兴趣,并且想要知道到底什么是基因工程,它是怎样进行的,它对人类的现在和未来可能产生什么影响。为了更好地普及基因工程的基本知识,促进这门新技术的发展和应用,我们编写了本书。本书的最大特点是通俗易懂,实例较多,图文并茂。全书共例举十余个基因工程实例,选用 131 多幅插图。

分子遗传学是基因工程的理论基础。要了解基因工程,必须首先了解分子遗传学的主要内容。为此,本书的第一章简要地介绍了遗传物质的分子结构、遗传物质在细胞中的分布和复制、遗传信息的传递以及基因表达的调节控制机制等分子遗传学中最基本的问题。

经过十几年的发展,基因工程技术已日臻完善。现在,科学家不仅能使外源基因在大肠杆菌等原核细胞中表达,而且培育出了能表达外源基因的工程植物和工程动物。介绍基因工程的基本方法和操作步骤是本书的中心内容。为此,在第二章中叙述了以原核细胞作受体细胞的基因工程的基本方法,并在第三章中介绍了这方面的三个实例,即在细菌细胞中克隆和表达热稳定  $\alpha$ -淀粉酶基因、人生长素基因和生长激素抑制素基因。第四、五、六章分别介绍在酵母细胞、植物细胞和动物细胞中进行基因工程的方法,并例举了若干实例,其中最著名的是把大鼠的生长激素基因引入小鼠后,培育出了巨型小鼠。

基因工程有两个用途:一是用于分子生物学研究,比如用于分离和纯化特定的基因,用于研究基因的表达和调控,从而阐明真核生物基因的组织结构,以及抗体形成、细胞分化和肿瘤发生等重大生物学问题;二是用于改造生物,产生对人类有用的新品种或新物种。用基因工程方法培育新品种具有目的性强、速度快、产量高和遗传性状稳定等优点。目前,在生产中已见成效的主要是用工程菌生产药物、单细胞蛋白和化工产品;已经取得重要进展的是用基因工程技术改造农作物和家畜的品种;具有诱人前景的是对人类的遗传疾病进行基因治疗。在下一个世纪即将到来的时候,基因工程将成为强大的产业部门,并将在工业、农业、医学和环境保护等各个领域发挥巨大的作用。本书的第七章概述了基因工程的应用前景。

最后，第八章为基因工程研究史略，其中除按年记述因基因工程研究的重大事件外，还刊登了一些著名学者的照片。由于时间仓促，我们特邀请姚鼎同志加紧编译了这部分史资料。在此，特致以衷心感谢。

编者

1987年10月

# 1. 基因工程的理论基础

基因工程是 1973 年诞生的一项定向改变生物遗传特性的新技术,它的理论基础是分子遗传学。分子遗传学是在分子水平上研究生物遗传和变异机制的遗传学分支学科,其内容主要包括遗传物质即基因的化学性质、结构和组织,遗传信息的贮存、复制和传递方式,以及基因调控和基因突变的机制等。

1944 年美国学者 O. T. 埃弗里通过肺炎双球菌的转化实验首次证明 DNA (脱氧核糖核酸)是遗传物质,揭开了分子遗传学研究的序幕。1953 年美国分子遗传学家 J. D. 沃森和英国分子生物学家 F. 克里克确立了 DNA 分子结构的双螺旋模型,认为基因是 DNA 分子的一个区段。这一发现标志着分子遗传学的真正开始。此后的 20 年间,分子遗传学获得了突飞猛进的发展,包括遗传密码的破译,原核生物基因调控机制的阐明,真核生物中断裂基因的发现等。这些突破性进展为基因工程的出现奠定了理论基础,反过来基因工程技术的诞生又为基因的分离和纯化,以及研究基因的结构和功能提供了崭新的实验手段,大大地促进了分子遗传学的发展。

## 1.1 什么是遗传物质

1865 年 G. J. 孟德尔提出生物的每一性状都是由遗传因子负责传递的。1909 年丹麦遗传学家 W. L. 约翰森称孟德尔提出的遗传因子为基因。虽然早在 1871 年就从鲑鱼精子中分离出 DNA,但由于受当时条件的限制,人们并不清楚基因与 DNA 的关系。1944 年 O. T. 埃弗里的肺炎双球菌转化实验第一次证明 DNA 是细菌的遗传物质。后来的实验进一步证明,除 RNA 病毒以外的所有生物其遗传物质都是 DNA。RNA 病毒的遗传物质是 RNA (核糖核酸)。DNA 和 RNA 统称为核酸。

### 1.1.1 DNA 是遗传物质

O. T. 埃弗里等人的肺炎双球菌 (*Diplococcus pneumoniae*) 转化实验证明 DNA 是遗传物质(图 1-1)。转化是指一种细菌的细胞由于吸收了另外一种细菌的 DNA 片段而使其遗传性状发生改变的现象。其机制是被吸收进去的外源 DNA 片段含有一个或几个完整的基因,它进入细胞后与细胞染色体 DNA 通过遗传重组成为该细胞遗传物质的一部分,而且随细胞分裂传递到子代细胞中,并在那里发挥基因的正常功能。

肺炎双球菌有很多不同菌株。其中 SIII 型的细胞外面有一层多糖类的荚膜,形成光滑菌落,注射到动物体内能引起动物发病并死亡 (a)。RII 型不产生荚膜,形成粗糙菌落,给动物注射后不引起疾病 (b)。把加热杀死的 SIII 型细菌注射到动物体内也不引起疾病 (c)。如果将加热处理的 SIII 型死菌与 RII 型活菌混合后注射到动物体内,动物就发病并死亡,而且从死亡的动物中分离出了活的 SIII 型细菌 (d)。把 SIII 型活细

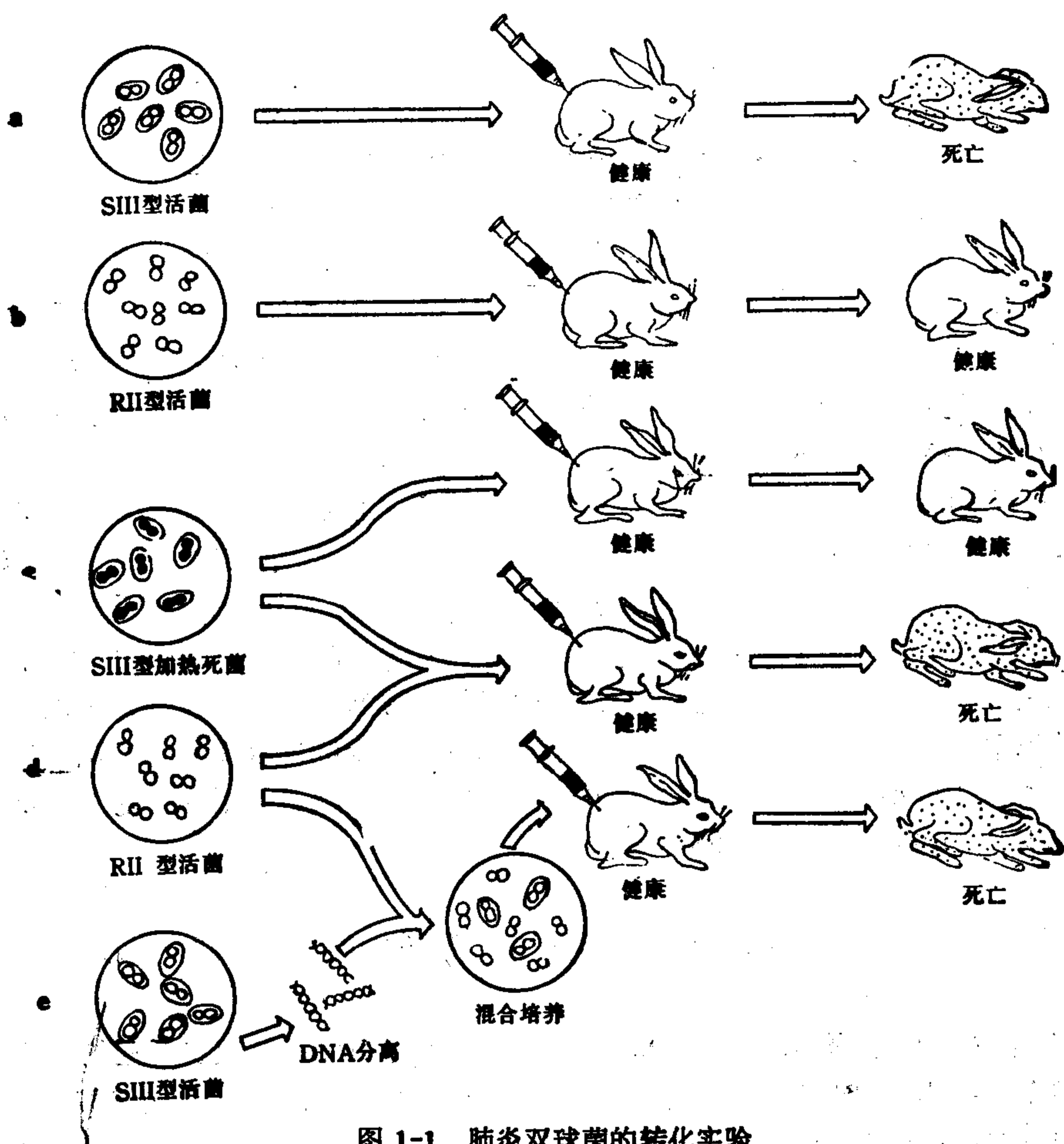


图 1-1 肺炎双球菌的转化实验  
(图中 a、b、c、d 和 e, 分别为各种不同处理, 详见文内说明)

胞破碎, 从中提取出 DNA, 使 DNA 与 RII 型细菌混合培养后, 有 SIII 型活菌出现, 用它注射动物也能引起死亡 (e)。

为什么 SIII 型死菌或它的 DNA 与 RII 型活菌混合后就能致病呢? 原来在这两种情况下, SIII 型细菌中一段决定荚膜形成的 DNA 通过转化作用进入了 RII 型细菌的细胞中, 并整合到它的染色体上, 使无毒的 RII 型细菌转变成了有毒的 SIII 型细菌。

### 1.1.2 RNA 也是遗传物质

病毒是一类无细胞结构的最简单的生物, 由核酸芯子和蛋白质外壳组成。按其所含核酸的不同, 可以把病毒分为 DNA 病毒和 RNA 病毒两大类。前者只含 DNA, 不含 RNA。后者只含 RNA, 不含 DNA。不管是哪类病毒, 它们都不能独立生活, 而必须寄生在动物、植物或微生物的细胞中。DNA 病毒的遗传物质是 DNA; RNA 病毒的遗传物质是 RNA。这可由图 1-2 的病毒重组实验证明。

烟草花叶病毒简称 TMV 病毒。50 年代早期, H. 弗兰克尔-康拉特 (H. Fraenkel-

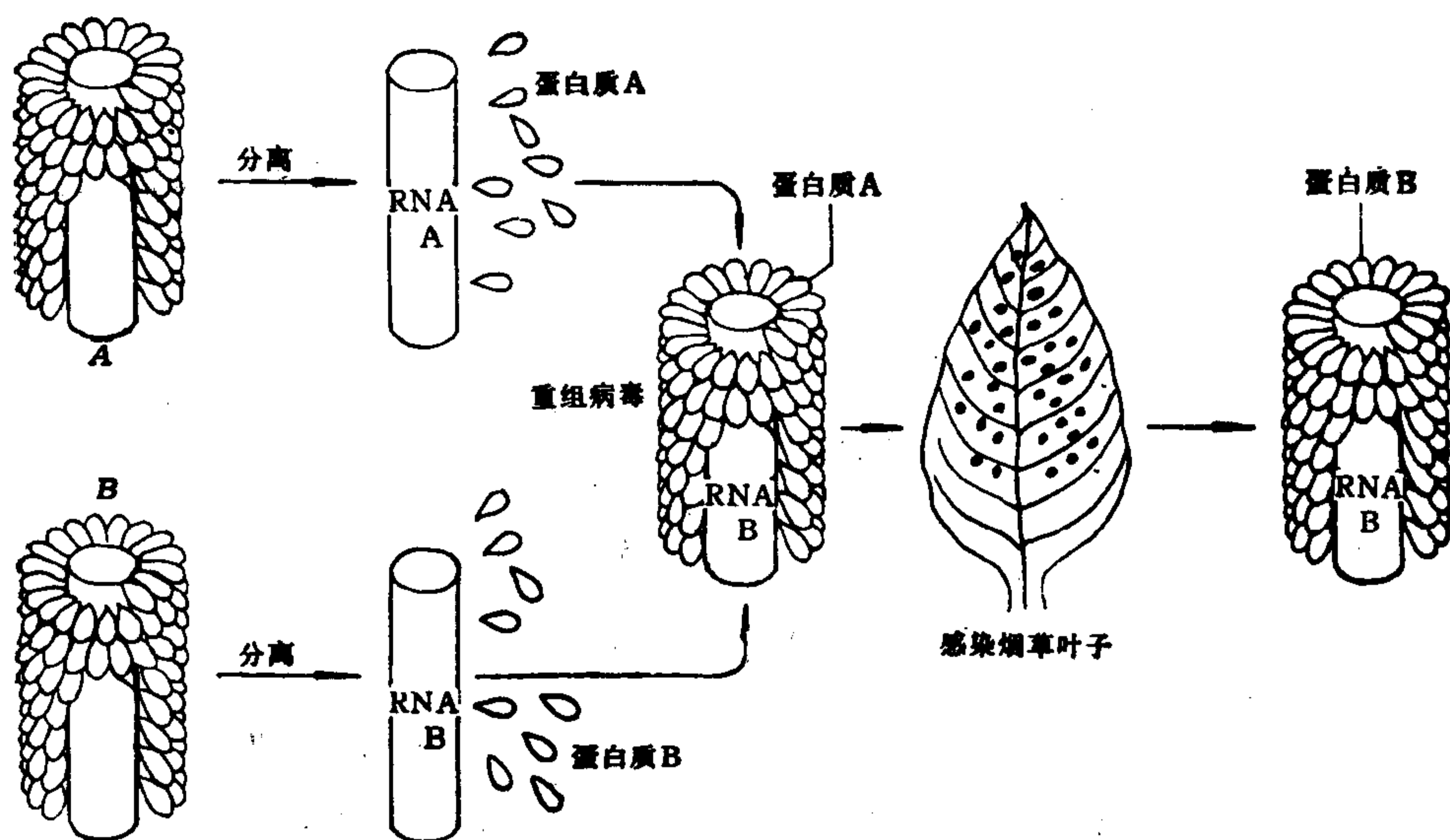


图 1-2 烟草花叶病毒的重组实验

Conrat) 对 TMV 病毒进行了有趣的研究。他用生物化学方法把两个不同品系的 TMV 病毒(A 和 B)的蛋白质和 RNA 分开,然后使 A 品系的蛋白质与 B 品系的 RNA 混合,形成重组病毒。用这种重组病毒感染烟草叶子以后,从病斑中分离出病毒,并把病毒的蛋白质与 RNA 分开,然后对它们进行分析,发现其外壳蛋白的类型与 B 品系的外壳蛋白相同。这说明后代病毒的蛋白质类型与亲代病毒的 RNA 有关,而与亲代病毒的蛋白质无关。也就是说, RNA 病毒的遗传物质是 RNA,而不是蛋白质(图 1-2)。

## 1.2 DNA 的分子结构

### 1.2.1 DNA 的组成单位

DNA 是细胞内一类重要的核酸类物质,它是由两条长链构成的生物大分子。每一条链都由 4 种不同的脱氧核苷酸连接而成。这 4 种脱氧核苷酸分别叫做脱氧腺苷酸(dAMP)、脱氧鸟苷酸(dGMP)、脱氧胞苷酸(dCMP)和脱氧胸苷酸(dTMP),它们的结构式见图 1-3。这 4 种脱氧核苷酸以不同的顺序排列起来,便形成了生物世界中多种多样的 DNA 分子。一般来说,每一个 DNA 分子所含有的脱氧核苷酸数在  $4 \times 10^6$  至  $4 \times 10^8$  之间。

脱氧核糖中的数字(1', 2', 3', 4' 和 5')表示分子中 5 个碳原子的序号。每一种脱氧核苷酸都含有一个脱氧核糖和一个磷酸。这 4 种脱氧核苷酸在分子结构上的区别仅仅是与脱氧核糖 1' 碳原子相连的碱基不同。DNA 分子的碱基一共有 4 种,即图 1-3 所示的腺嘌呤(A)、鸟嘌呤(G)、胞嘧啶(C)和胸腺嘧啶(T)。

图 1-3 中的 4 种脱氧核苷酸都含有一个磷酸,它们进一步磷酸化可以在磷酸分子的末端再加上两个磷酸,生成含有三个磷酸的 4 种三磷酸脱氧核苷,分别称为三磷酸脱氧腺苷(dATP)、三磷酸脱氧鸟苷(dGTP)、三磷酸脱氧胞苷(dCTP)和三磷酸脱氧胸苷

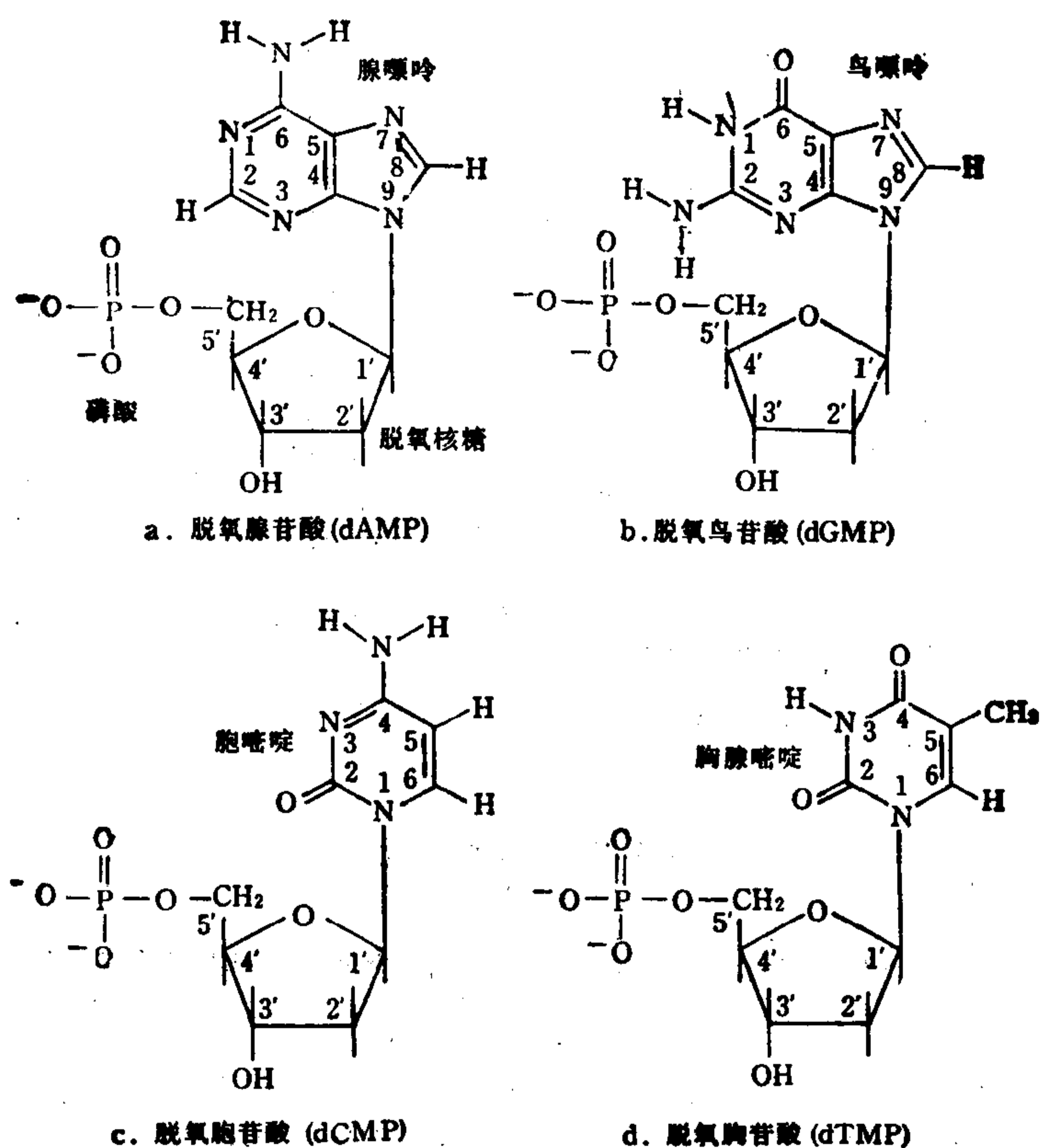


图 1-3 DNA 中四种脱氧核苷酸的结构式

(d TTP)。这 4 种三磷酸脱氧核苷是细胞合成 DNA 的原料。

## 1.2.2 DNA 的一级结构

DNA 分子的一级结构亦称化学结构,主要是指脱氧核苷酸之间的连接和排列方式,即包括每一条链的许多脱氧核苷酸是怎样连接和排列的,两条链之间是通过什么方式联系在一起。

一个脱氧核苷酸的 3' 羟基与另一个脱氧核苷酸的 5' 磷酸可以通过一个 3', 5' 磷酸二酯键连接起来(图 1-4)。以这种方式使许多个脱氧核苷酸连接起来,便形成了 DNA 分子的一条单链。DNA 两条链中的碱基不是随便排列的, 它们是按照碱基互补的原则配对而成。也就是说,一条链中的腺嘌呤 (A) 总是与另一条链中的胸腺嘧啶 (T) 配对,鸟嘌呤 (G) 总是与胞嘧啶 (C) 配对。A 与 T 之间形成两个氢键, G 与 C 之间形成三个氢键。两条链之间就是靠这种氢键联系在一起(图 1-5)。由于两条链之间的碱基是互补的,所以只要知道一条链的碱基顺序,也就等于知道了另一条链的碱基顺序。

图 1-5 表示的是 DNA 分子的一级结构: S 代表脱氧核糖; P 代表磷酸; A、T、G、C 代表碱基; 碱基之间的虚线代表氢键。DNA 的两条链具有方向性。图 1-5 左边那条链下端的脱氧核糖的 3' 碳上有一个自由的羟基,而另一端的脱氧核糖的 5' 碳上有一个自由的磷酸根,通常称这条链的走向是 3' → 5'; 在右边的那条互补链中,下端的脱氧核糖的

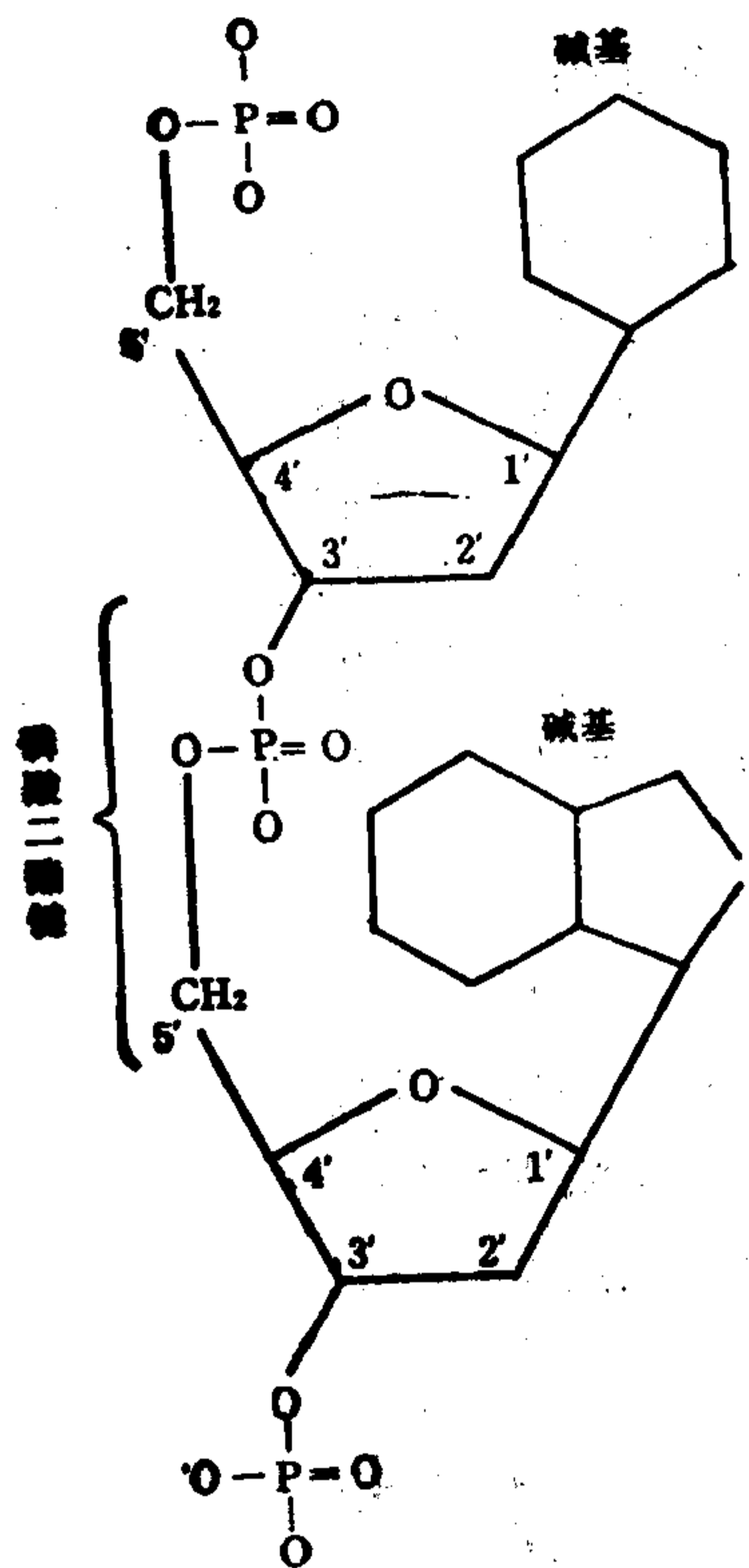


图 1-4 两个脱氧核苷酸之间的连接方式

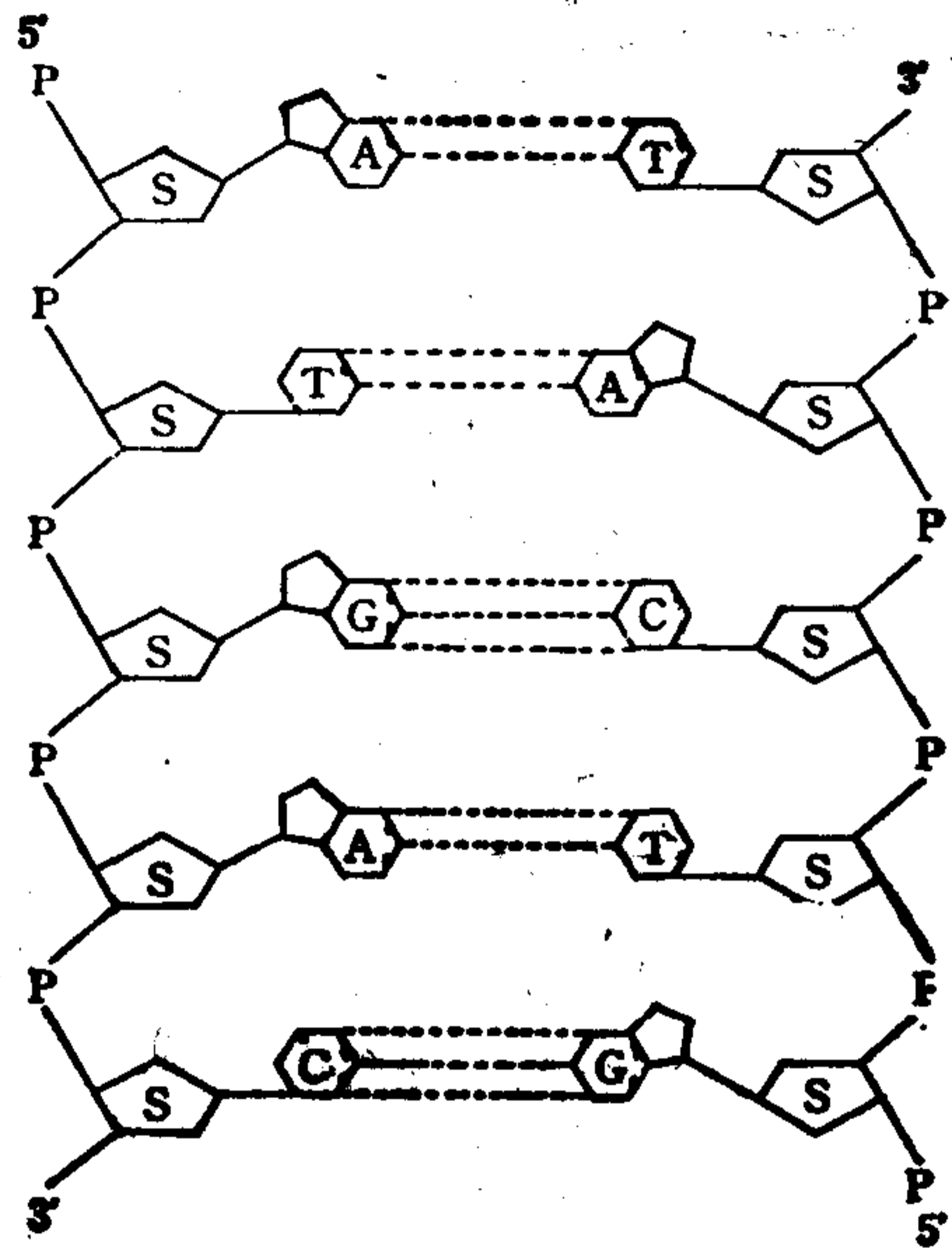
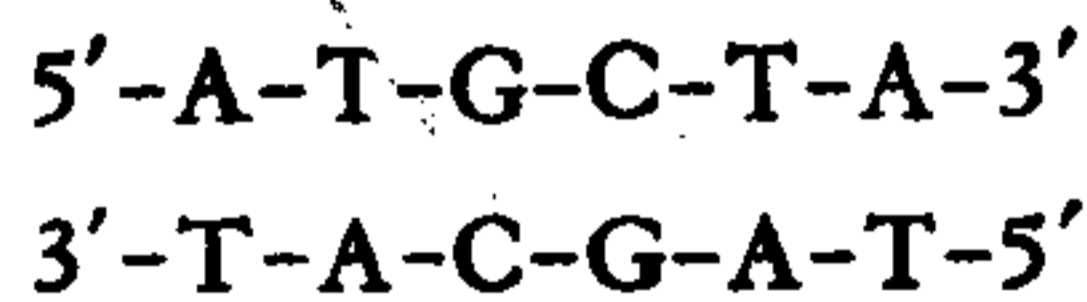


图 1-5 DNA 的一级结构

5' 碳上有一个自由的磷酸根, 而另一端的 3' 碳上有一个自由的羟基, 它的走向是 5' → 3'。在 DNA 双链中, 总是一条链的走向是 3' → 5', 另一条链的走向是 5' → 3'。实质上, DNA 分子的不同是碱基排列顺序的不同, 所以常用碱基排列顺序来表示一段 DNA 序列。例如:



### 1.2.3 DNA 的二级结构

DNA 分子的立体空间结构称为二级结构。J. D. 沃森和 F. 克里克根据 DNA 的化学分析和 X 射线衍射分析所得的数据, 于 1953 年第一次提出了 DNA 分子双螺旋结构模型, 阐明了 DNA 分子的二级结构。这个模型提出, DNA 的两条脱氧核苷酸链以一定距离平行地绕着同一个轴盘旋, 形成一个右旋的双螺旋体。这两条链中的脱氧核糖 (S) 和磷酸 (P) 排列在外侧, 形成链的主干。碱基排列在内侧, 两条链相对应的碱基由氢键把它们连接起来。DNA 双螺旋的分子直径为 20 埃 (1 埃 =  $10^{-8}$  厘米)。相邻两个碱基之间的距离是 3.4 埃。螺旋每转一圈需要 10 个碱基对, 螺距为 34 埃 (图 1-6)。DNA 双螺旋结构模型的提出, 标志着生物学研究进入了分子生物学的新时代。根据这个模型和其它实验, 有关 DNA 复制以及遗传信息的贮存和传递机制等都得到了合理的解释。

### 1.3 DNA 在细胞中的分布

根据细胞结构的不同,可以把生物分为三大类。一类是无细胞结构的病毒,其主要特征已在 1.1.2 中介绍。第二类叫原核生物,包括单细胞的细菌和蓝藻,其主要特征是没有明显的细胞核,因此也就没有核膜;DNA 分子是裸露的,不与蛋白质相结合。第三类叫真核生物,包括动物、植物和真菌。真核细胞的主要特点是有被核膜围绕的细胞核,DNA 与蛋白质相结合形成染色体。

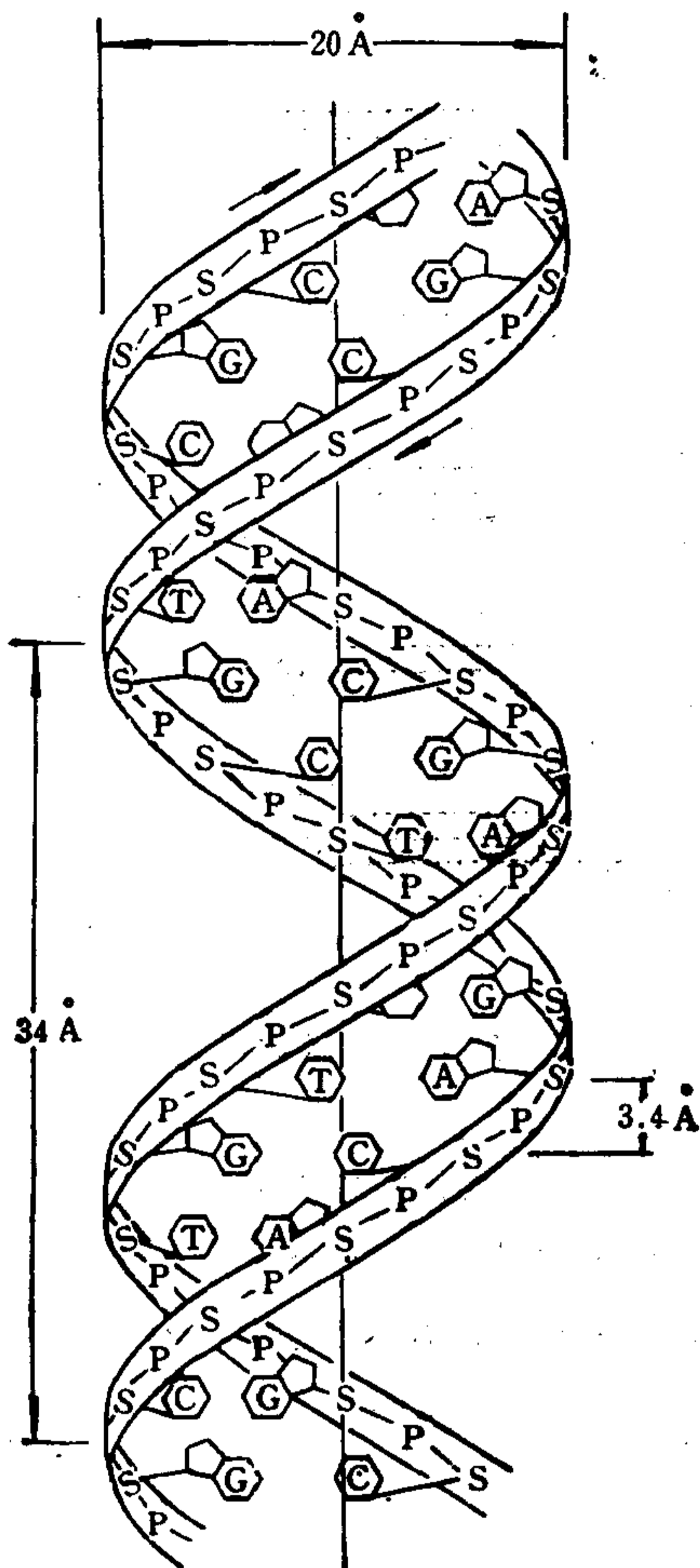


图 1-6 DNA 的双螺旋结构模型

#### 1.3.1 病毒的遗传物质

根据寄主的不同可以把病毒分为三类。一是动物病毒,如鸡瘟病毒;二是植物病毒,如烟草花叶病毒;三是细菌病毒,也叫噬菌体,如 T4 噬菌体

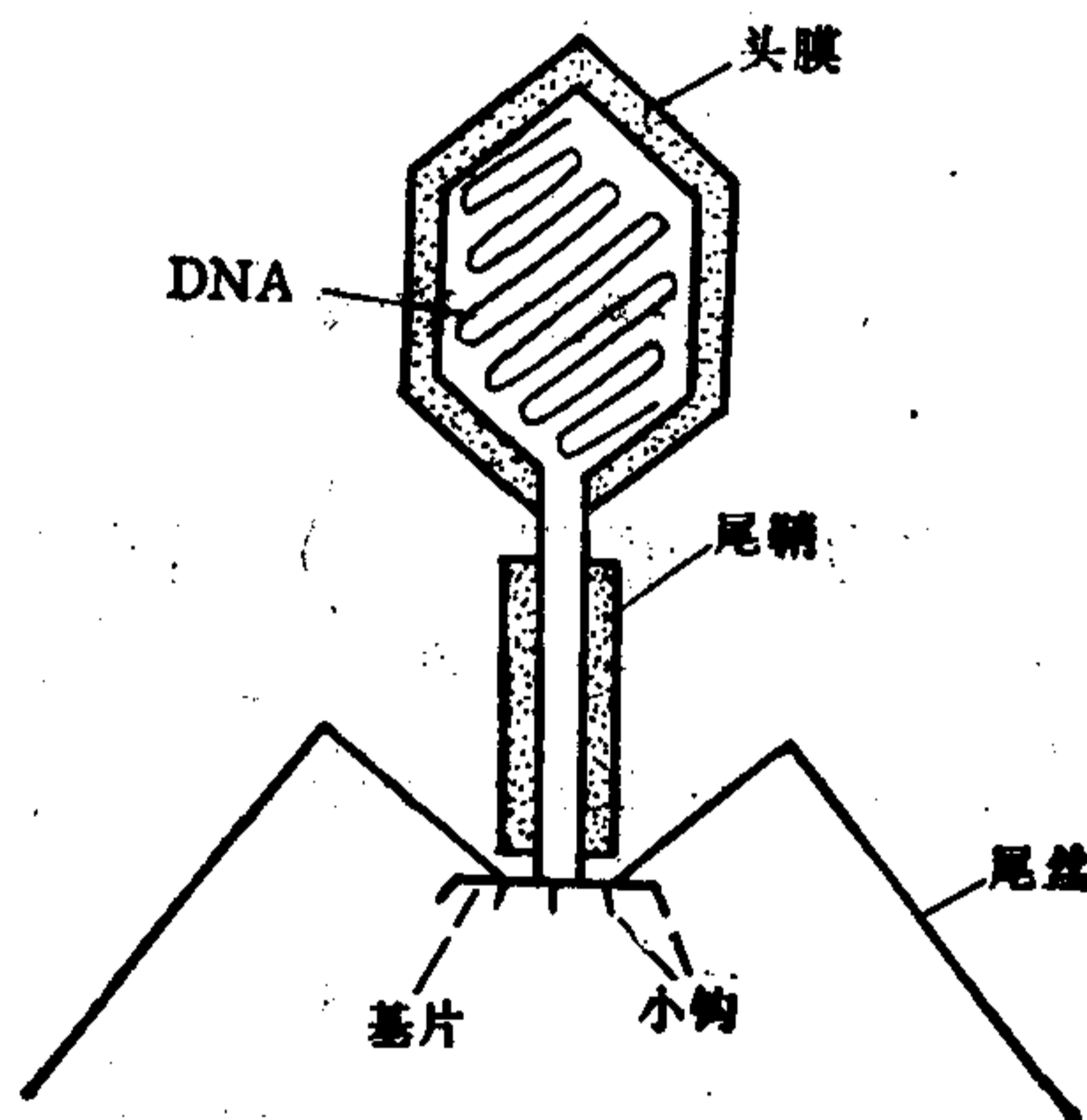


图 1-7 T4 噬菌体模式图

和 T4 噬菌体。在病毒的蛋白质外壳里面,含有单个的核酸分子,或者是 DNA,或者是 RNA;尚未发现同时含有 DNA 和 RNA 的病毒。在病毒中,DNA 多数是双链的,少数是单链的;RNA 多数是单链的,少数是双链的。病毒的核酸分子是裸露的,不与蛋白质相结合,有时也称病毒的染色体。病毒的 DNA 或 RNA 的大小一般在  $3 \times 10^3$  至  $3 \times 10^9$  碱基(或碱基对)之间。最简单的 RNA 病毒 MS2,其 RNA 只含 3 个基因,长度为 3569 个核苷酸。T4 噬菌体是一种大肠杆菌病毒,其遗传物质是双链 DNA 分子,由  $1.65 \times 10^8$  碱基对组成(图 1-7)。一个碱基对简称 1bp,一千个碱基对简称 1Kb。

类病毒是一类具有感染能力的 RNA 致病因子。它们没有蛋白质外壳,只有裸露的 RNA 分子,例如马铃薯纤块病类病毒是由 359 个核苷酸组成的闭合环状 RNA 分子。

### 1.3.2 原核细胞的遗传物质

细菌是单细胞的原核生物，每个细胞含有一个环状的 DNA 分子，亦称细菌的染色体。大肠杆菌的 DNA 长 1.4 毫米，由大约  $4 \times 10^6$  个核苷酸对组成。其 DNA 的长度大约是细胞长度的 1000 倍，所以细胞内的 DNA 必须经过反复缠绕和折叠才能容纳得下。实际上大肠杆菌 DNA 常与 RNA 形成复合物，60—90 个长短不一的 RNA 分子（平均 1200 个核苷酸）形成一个内芯，一个环状 DNA 双链围绕这个内芯形成 150 个左右的圈，圈的基部着生在 RNA 内芯上，使整个 DNA 分子形成一个菊花状的结构。此外，在许多细菌的细胞质中还有一些小的环状 DNA 分子，叫细菌质粒（图 1-8）。有关质粒的知识，在本章的 1.11 中还要详细介绍。

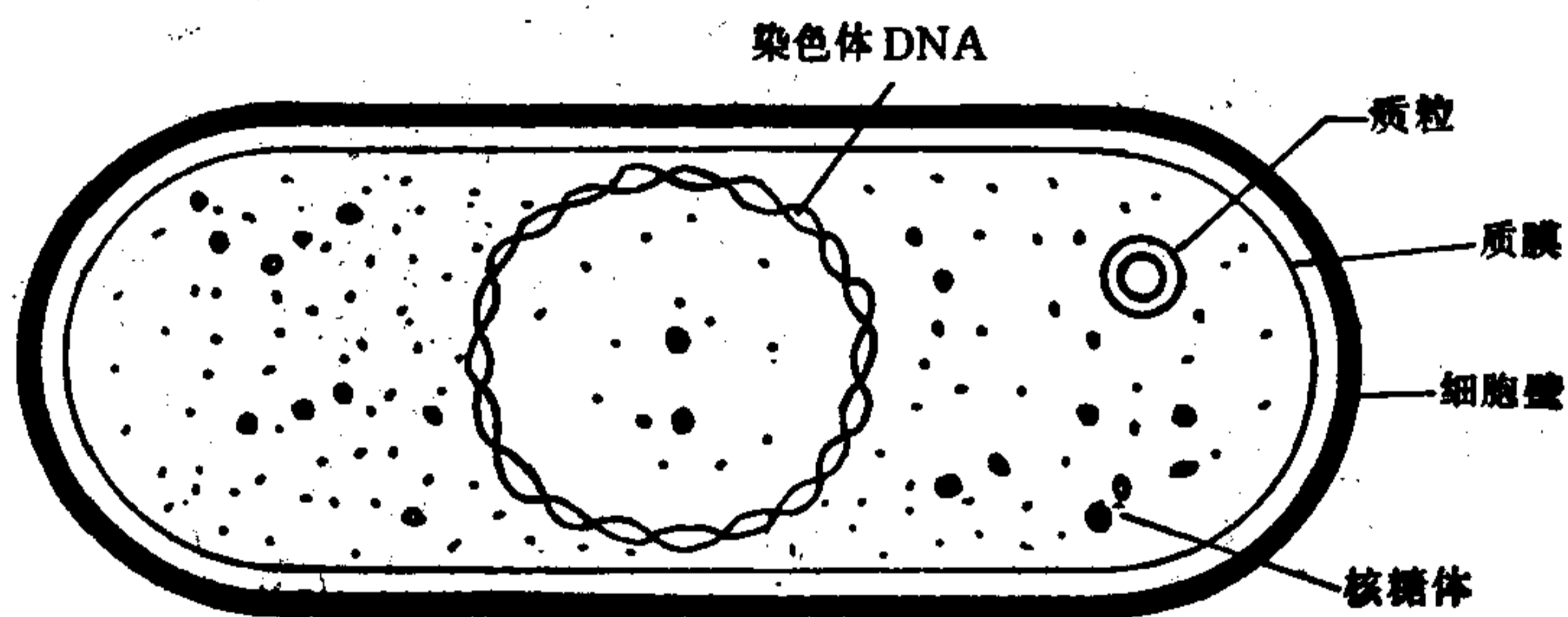


图 1-8 细菌细胞模式图

### 1.3.3 真核细胞的遗传物质

动物细胞和植物细胞都是真核细胞（图 1-9, a 和 b），核内有多条染色体，每条染色体由一个线状 DNA 分子和许多蛋白质分子组成。在细胞分裂间期，即细胞分裂之前的准备时期，染色体以染色质纤丝的形式存在，经染色后用显微镜观察只能见到一种网状的结构。染色质纤丝呈绳珠状（图 1-9, c），中间的圆珠由 8 个组蛋白分子组成，圆珠外面由 DNA 分子缠绕 1.75 圈。每一个组蛋白圆珠以及缠绕圆珠的 DNA 叫做一个核粒，或称核小体。到了细胞分裂期，染色质纤丝经过几次螺旋化和折叠之后，长度缩短到原来的  $1/8400$ ，形成典型的染色体结构（图 1-9, d）。

不同物种的生物含有不同数目的染色体，例如果蝇有 8 条染色体，青蛙有 26 条染色体，人有 46 条染色体，玉米有 20 条染色体。体细胞一般是二倍体，染色体和基因是成对存在的。每一对染色体互称同源染色体，它们在形态和大小上基本相同，其中一个来自父本，另一个来自母本。生殖细胞是单倍体，在减数分裂形成性细胞的过程中染色体数目已经减半。例如人的卵子和精子各含有 23 条染色体，当卵子受精（即精卵结合）以后，又恢复了全数的 46 条染色体，以后再通过有丝分裂把这个数目的染色体传递到子代细胞中。

线粒体是细胞的能量代谢中心，被称为细胞的“动力站”，它所产生的能量大部分以 ATP 的形式贮存起来，然后供细胞使用。线粒体内也含有类似细菌质粒的小环状 DNA 分子，其大小约为  $1.5 \times 10^4$  核苷酸对。每个线粒体内一般有一个 DNA，但有些细胞

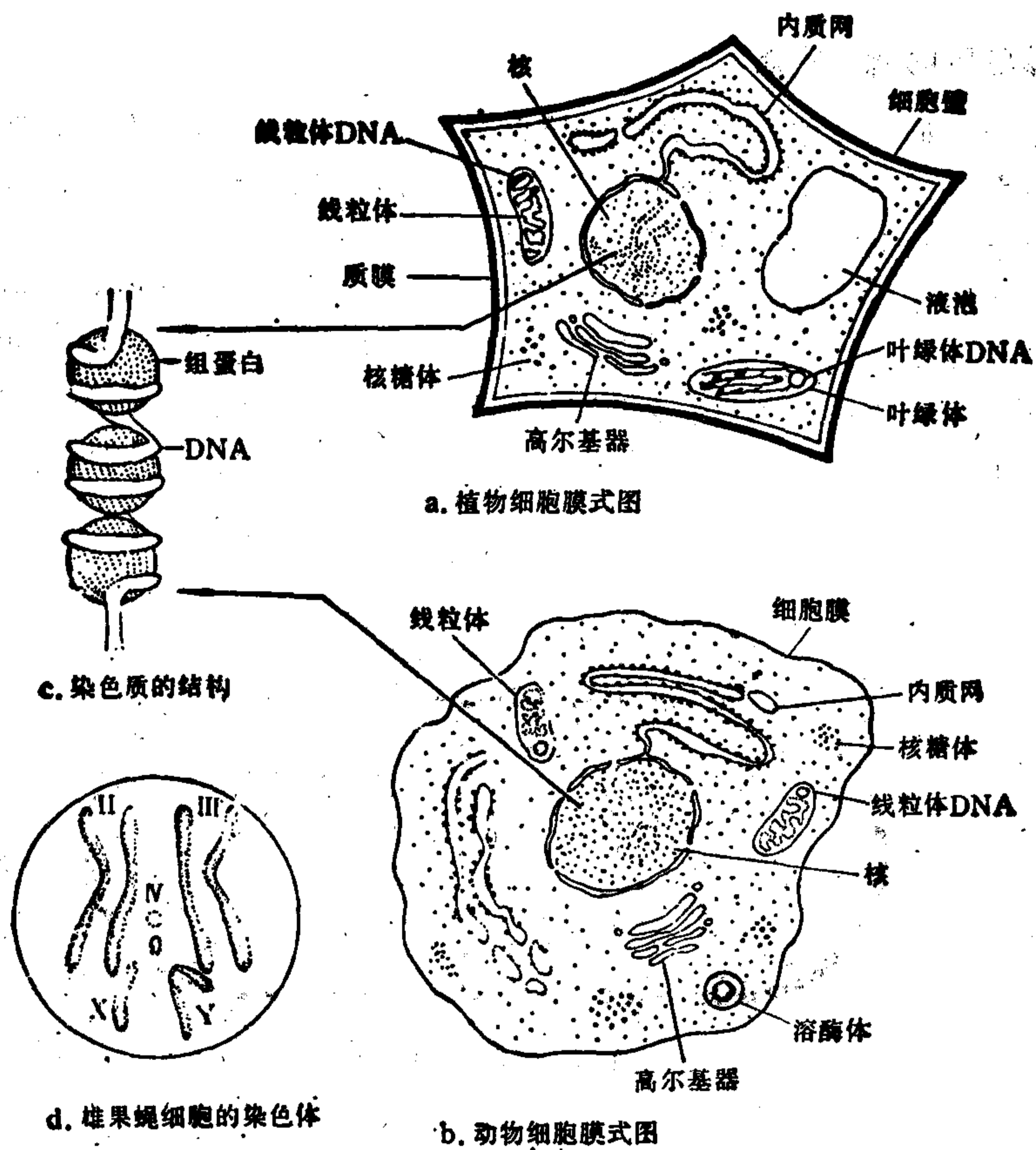


图 1-9 真核细胞的遗传物质

的线粒体中可能含有几个 DNA 拷贝(复制品),如人的线粒体中有 2—3 个相同的 DNA 分子。线粒体 DNA 中贮存着为线粒体复制所必须的一部分遗传信息,其余部分依赖于核 DNA。

叶绿体是植物进行光合作用的场所,它也含有自己的 DNA。叶绿体 DNA 多数为环状,少数为线状,其大小约为  $1.5 \times 10^5$  核苷酸对。每个叶绿体中含有一个或几个 DNA 区,每个区中都有多个 DNA 分子。虽然叶绿体 DNA 所含的遗传信息量比线粒体多,但它仍然受核基因的作用,在它本身的基因产物和核基因产物的共同作用下才能行使叶绿体的正常功能。线粒体 DNA 和叶绿体 DNA 都是裸露的,不与蛋白质相结合,这一点与原核细胞的 DNA 相同。

#### 1.4 DNA 的复制

DNA 携带着细胞的全部遗传信息。在细胞分裂过程中,一个 DNA 分子精确地复制成两个完全相同的 DNA 分子,并分配到两个子细胞中去,从而使亲代细胞所含的遗传信息原原本本地传到子代细胞。为什么子女和父母相象,这是由于父母把自己的所有 DNA 分子复制了一份传给了子女。