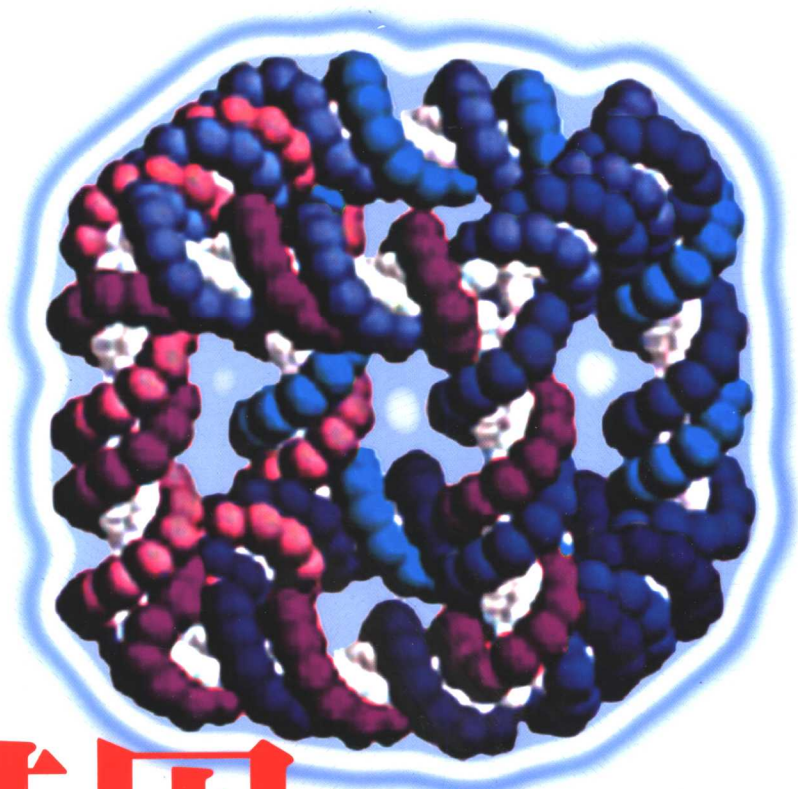


国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书



基因材料

崔福斋 王秀梅 胡堃 编著

Chemical Industry Press

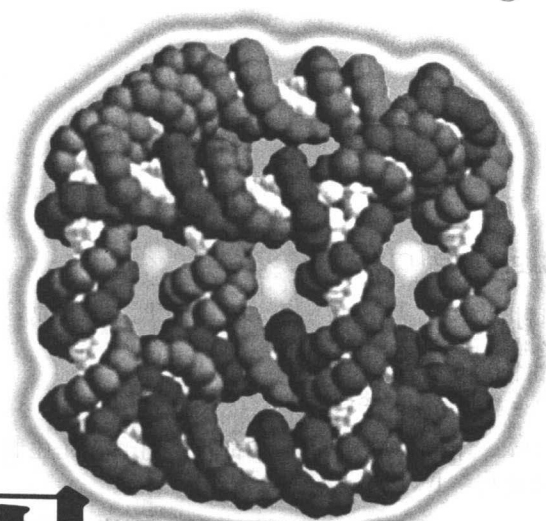


化学工业出版社

国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书

Q78-49
J200



基因材料

崔福斋 王秀梅 胡 堃 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

基因材料/崔福斋, 王秀梅, 胡堃编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 5
(高新技术科普丛书)
ISBN 7-5025-5566-8

I. 基… II. ①崔…②王…③胡… III. 基因-生物材料-普及读物 IV. Q78-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 037857 号

高新技术科普丛书

基因材料

崔福斋 王秀梅 胡 堃 编著

总 策 划: 陈逢阳 周伟斌

责任编辑: 朱 彤

文字编辑: 焦欣渝

责任校对: 顾淑云 李 军

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

[http:// www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 14 $\frac{1}{2}$ 字数 163 千字

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5566-8/Q·99

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

数万年来，人类一直在了解、开发、利用我国周围的自然界，同时不断地认识着自身，科学技术也从一开始就随着人类的生存需求而产生和发展着。人类发展史充分验证了邓小平“科学技术是第一生产力”的论断。科学技术的发展，促进了人类文明和社会的发展。

21 世纪是信息时代，21 世纪是生命科技的世纪，21 世纪是新材料和先进制造技术迅速发展和广泛应用的世纪，21 世纪是高效、洁净和安全利用新能源的时代，21 世纪是人类向空间、海洋、地球内部不断拓展的世纪，21 世纪是自然科学发生重大变革、取得突破性进展的时代。科学技术的发展、新技术的不断涌现，必将引起新的产业革命，对我国这样的发展中国家来说，既是挑战，也是机遇，而能否抓住发展机遇，关键在于提高全民族的科学文化水平，造就一支具有科学精神、懂得科学方法、具有知识创新和技术创新能力的高素质劳动者队伍。所以，发展教育和普及科学知识、弘扬科学精神、提倡科学方法是我们应对世纪挑战的首要策略。为此，1999 年 8 月，江总书记在视察中国科学院大连化学物理研究所时进一步强调了科普工作的重要性：“在加强科技进步和创新的同时，我们应该大力加强全社会的科学普及工作，努力提高全民族的科学文化素质。这项工作做好了，就可以为科技进步和创新提供广泛的群众基础。”

为了普及和推广高新技术，化学工业出版社组织几位两院院士和专家编写了《高新技术科普丛书》。本套丛书的特点是：介绍当今科学产业中的一些高新技术原理、特点、重要地位、应用及产业化的现状与发展前景；突出“新”，介绍的新技术、新理论和新方法不仅经实践证明是成熟、可靠的，而且是有应用前景的实用技术；力求深入浅出，图文并茂，知识性、科学性与通俗性、可读性及趣味性的统一，并充分体现科学思想和科学精神对开拓创新的重要作用。

《高新技术科普丛书》涉及与我国经济和社会可持续发展密切相关的高新技术，第一批9个分册包括绿色化学与化工、基因工程技术、纳米技术、高效环境友好的发电方式——燃料电池、最新分离技术（如超临界流体萃取、吸附分离技术、膜技术）、化学激光、生物农药等。本套丛书以后还将陆续组织出版多种高新技术分册。相信该套科普丛书对宣传普及科技知识、科学方法和科学精神，正确地理解、掌握科学，提高全民族的素质将会起到积极的作用。

洛角祥

2000年9月

前言

材料科学是一门交叉学科，它不断从其他的学科汲取营养，发展壮大。近年来，随着基因工程的高速发展和广泛应用，材料与基因的交叉和复合已产生出令人鼓舞的成果和新型材料显见的发展机遇。例如，设计和重组微生物基因表达的具生物相容性和可降解聚羟基脂肪酸高分子材料，已获得工业应用。以 DNA 为模板制备出纳米电子器件和纳米丝光电材料在近年的《Nature》和《Science》期刊上频繁报道，已经发现基因和某些生物材料力学性能有确定的对应关系。事实上，从材料科学的角度来看，DNA 是一种生物大分子材料，具有特定的碱基序列，组成多级结构，并存储着遗传信息。

我们把涉及 DNA 的材料设计，性能-结构关系，制备和应用的材料科学与工程定义为基因材料学。它包括着其他任何学科不涉及的一系列的科学问题：诸如基因和蛋白结构材料的力学性能关系；材料制备的基因模板；基因编码材料的组装；基因组装的分级结构及仿生等。虽然这门学科尚处于襁褓之中，但是其具有强大的生命力是无可置疑的。我们愿意把它介绍给广大读者，希望引起兴趣，甚至参与到这门科学的发展中来。

本书试图对目前的基因材料科学进行较全面的介绍。为了方便读者理解，第 1 章中补充了有关 DNA 的基本知识。

本书由崔福斋、王秀梅和胡堃合作编著。最后感谢在编著过程中，研究生王玉、翟勇、王慧、王毓江等提供的帮助。

崔福斋

2004 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 基因的基本介绍	4
1.2 基因工程技术	9
1.3 基因技术的应用现状	12
1.4 基因技术在材料领域的应用及研究现状	16
 第 2 章 基因与天然生物材料	
性能的相互关系	21
2.1 骨材料的性能与基因的相互关系	23
2.2 天然纤维材料的结构性能与基因的相互关系	56
2.3 神奇的生物发光材料	74
 第 3 章 基因重组材料	83
3.1 基因重组结构仿生材料	85
3.2 基因重组功能材料	95
 第 4 章 基因作为材料的组元	125
4.1 DNA 模板生物自组装	127
4.2 基因生物传感器	167

4.3 基因芯片	177
----------------	-----

第5章 基因技术在医用生物

材料领域中的应用	187
-----------------------	------------

5.1 基因技术在组织工程中的应用	189
-------------------------	-----

5.2 基因治疗中的载体材料	196
----------------------	-----

5.3 基因技术在医药材料领域的应用	206
--------------------------	-----

5.4 基因克隆与器官复制	208
---------------------	-----

第6章 基因技术在非医用

材料领域的应用	213
----------------------	------------

6.1 基因技术在化学工业领域的应用	215
--------------------------	-----

6.2 基因身份证	222
-----------------	-----

第1章

绪论

基因的基本介绍

基因工程技术

基因技术的应用现状

基因技术在材料领域的应用及研究现状

分子生物学正在进入基因时代，一些生物体的基因组已经全部排序，因此能够发展分子学方法来研究细胞、组织、器官的功能。随着分子水平的生物学因果关系理解的逐渐加深，组织和器官移植的革命性发展即将来临，这里大量问题涉及材料。近年来基因工程在新材料领域也大显身手，尤其是在纳米材料领域（图 1-1）。一般将涉及 DNA 的材料设计，性能-结构关系，制备和应用的材料科学与工程定义为基因材料学。它包括基因和蛋白结构材料的力学性能关系；材料制备的基因模板；基因编码材料的组装；基因组装的分级结构及仿生等内容。

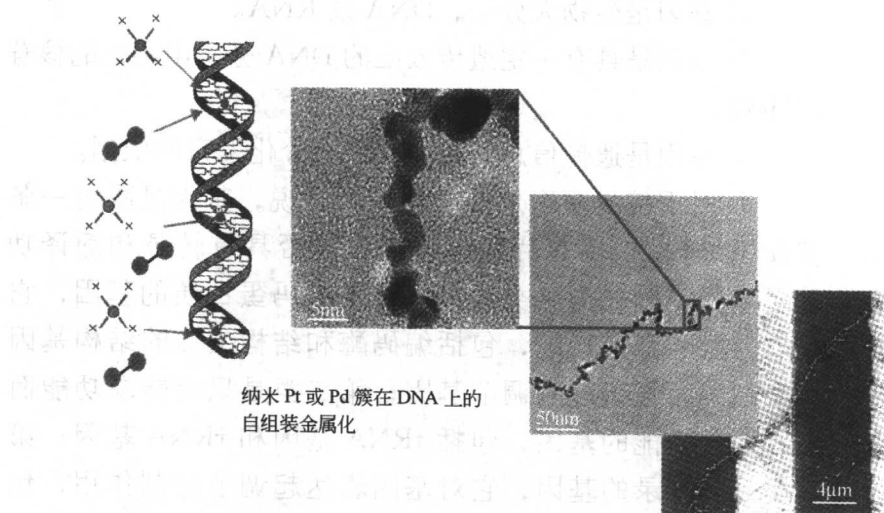


图 1-1 以 DNA 为模板组装的纳米电子材料

为了方便读者，这里先将基因及基因工程要点简述如下。

1.1

基因的基本介绍

1.1.1 什么叫做基因？

对于基因的概念可以包括以下几个方面。

① 基因是生物大分子，DNA 或 RNA。

② 基因是具有一定遗传效应的 DNA 分子中特定的核苷酸序列。

③ 基因是遗传信息的传递和性状分化发育的依据。

④ 对于编码蛋白质的结构基因来说，基因是决定一条多肽链结构的 DNA 片段。根据其是否具有转录和翻译功能可以把基因分为三类：第一类是编码蛋白质的基因，它具有转录和翻译功能，包括编码酶和结构蛋白的结构基因以及编码阻遏蛋白的调节基因；第二类是只有转录功能而没有翻译功能的基因，包括 tRNA 基因和 rRNA 基因；第三类是不转录的基因，它对基因表达起调节控制作用，包括启动基因和操纵基因。启动基因和操纵基因有时被统称为控制基因。

⑤ 一种生物的基因组的大小或者基因的数目并不是绝对固定的，随着基因组结构的改变，基因的功能也在发生变化。

概括起来，基因的定义是：基因是含有特定遗传信息的一段核苷酸序列，是遗传物质的最小功能单位。

1.1.2 DNA

DNA (脱氧核糖核酸) 是核酸的一类, 因分子中含有脱氧核糖而得名。DNA 分子极为庞大 (相对分子质量一般至少在百万以上), 主要组成成分是腺嘌呤脱氧核苷酸、鸟嘌呤脱氧核苷酸、胞嘧啶脱氧核苷酸和胸腺嘧啶脱氧核苷酸。一个核苷酸分子由一个有机含氮碱基分子 (共有 5 种: 腺嘌呤 A, 鸟嘌呤 G, 胸腺嘧啶 T, 胞嘧啶 C, 尿嘧啶 U)、一个戊糖分子和一个磷酸分子组成, 其结构见图 1-2。DNA 存在于细胞核、线粒体、叶绿体中, 也可以以游离状态存在于某些细胞的细胞质中。大多数噬菌体、部分动物病毒和少数植物病毒中也含有 DNA。

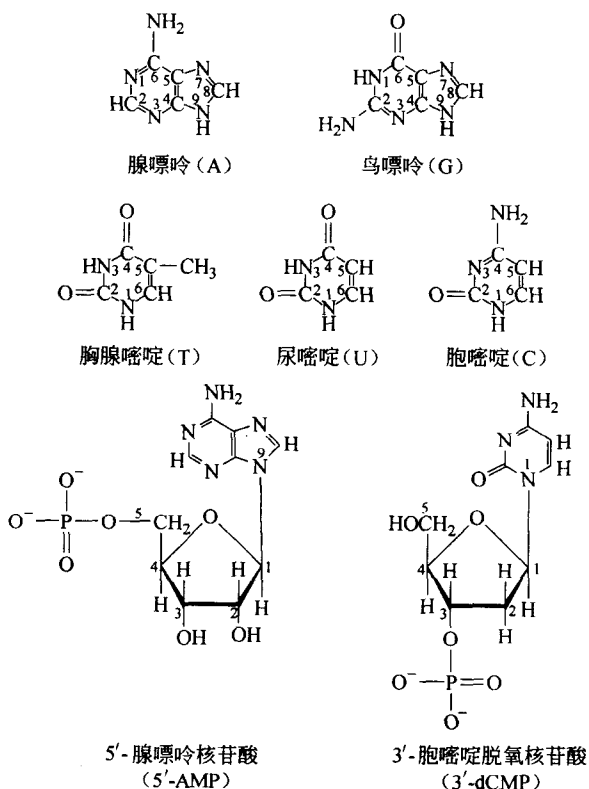


图 1-2 含氮碱基的名称、简称和结构式及部分核苷酸的结构式

除了 RNA (核糖核酸) 和噬菌体外, DNA 是所有生物的遗传物质基础。生物体亲子之间的相似性和继承性即所谓遗传信息都储存在 DNA 分子中。

现在简要介绍一下 DNA 分子的结构。

DNA 的一级结构是指 DNA 分子中四种核苷酸 (dAMP、dCMP、dGMP、dTMP) 的排列顺序, DNA 顺序 (或序列) 是这一概念的简称。由于核苷酸之间的差异仅仅是碱基的不同, 故可称为碱基顺序。DNA 是巨大的生物高分子, 如人的 DNA 就包含了 3×10^9 个碱基对, 如此数目的碱基所能容纳的信息量之大是可想而知的。生物世界里形形色色的遗传信息都包含在组成 DNA 的 A, G, C, T 这四种核苷酸的排列顺序之中。DNA 分子中不同排列顺序的 DNA 区段构成特定的功能单位, 这就是基因, 不同的基因功能各异, 各自分布在 DNA 的一定区域。基因的功能取决于 DNA 的一级结构, 要的生物含义, 就必须弄清 DNA 顺序。因此, DNA 顺序测定是分子遗传学中一项既重要又基本的课题。

现在的测序等分子生物学工作即是测出了基因组的顺序, 下一步工作就是预测其二级、三级等高级结构及其功能。目前公认的 DNA 双螺旋模型是由 Watson 和 Crick 提出的, 其特点如下 (见图 1-3 所示)。

① 两条反向平行的多核苷酸链围绕同一中心轴相互缠绕。

② 嘌呤与嘧啶碱基位于双螺旋的内侧。磷酸与核糖在外侧, 彼此通过 3', 5'-磷酸二酯键相互连接, 形成 DNA 分子的骨架。

③ 双螺旋的平均直径为 2nm, 两个相邻的碱基对之间相距的高度, 即碱基堆积距离为 0.34nm, 两个核苷酸之间

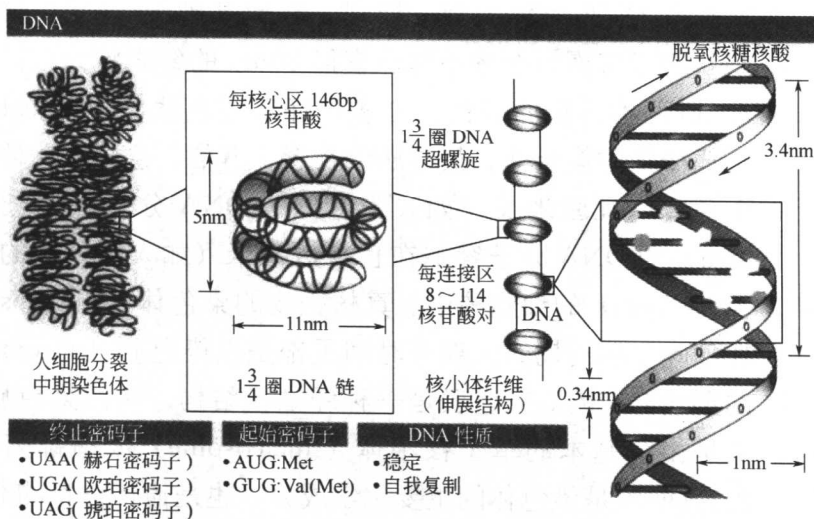


图 1-3 DNA 双螺旋结构及染色体的分级结构

欧珀密码子也称蛋白石密码子

的夹角为 36° 。因此，沿中心轴每旋转一周有 10 个核苷酸。每一转的高度（即螺距）为 3.4nm。

④ 两条核苷酸链依靠彼此碱基之间形成的氢键相连而结合在一起。

双螺旋 DNA 进一步扭曲而成的超螺旋称为 DNA 的三级结构。真核生物中，DNA 与组蛋白形成核小体，它是构成染色质的基本结构单位，使得染色质中 DNA、RNA 和蛋白质组织成为一种致密的结构形式。核小体由核心颗粒（core particle）和连接区 DNA（linker DNA）两部分组成，在电镜下可见其呈念珠状。前者包括组蛋白 H2A、H2B、H3 和 H4 各两分子构成的致密八聚体（又称核心组蛋白）以及缠绕其上 $1\frac{3}{4}$ 圈长度为 146bp 的 DNA 链；后者包括两相邻核心颗粒间约 8~114bp 的连接 DNA 和位于连接区 DNA 上的组蛋白 H1，连接区使染色质纤维获得弹性。核

小体是 DNA 紧缩的第一阶段,在此基础上, DNA 链进一步折叠成每圈六个核小体、直径 30nm 的纤维状结构。这种 30nm 纤维再扭曲成襻,许多襻环绕染色体骨架(scaffold)形成棒状的染色体,最终压缩将近 1 万倍。这样,才使每个染色体中几厘米长(如人染色体的 DNA 分子平均长度为 4cm)的 DNA 分子容纳在直径数微米(如人细胞核的直径为 6~7 μ m)的细胞核中。真核生物的染色体(chromosome)在细胞生活周期的大部分时间里都是以染色质(chromatin)的形式存在的。染色质是一种纤维状结构,叫做染色质丝,它是由最基本的单位核小体(nucleosome)成串排列而成的。DNA 是染色体的主要化学成分,也是遗传信息的载体,约占染色体全部成分的 27%;另外组蛋白和非组蛋白占 66%,RNA 占 6%。

1.1.3 RNA

RNA 包括 mRNA、hnRNA、rRNA、tRNA、snRNA 和 scRNA,它们均与遗传信息的表达有关。mRNA 是遗传信息的携带者,其核苷酸序列决定着合成蛋白质的氨基酸序列;hnRNA 是 mRNA 的前体,含有转录的、但不出现于成熟 mRNA 中的核苷酸片段(内含子);tRNA 识别密码子,将正确的氨基酸转运至蛋白质合成位点;rRNA 是蛋白质合成机器——核蛋白体的组成成分;snRNA 在 hnRNA 向 mRNA 转变过程的剪接中起十分重要的作用。

1953 年 James D. Watson 和 Francis H. C. Crick 提出 DNA 双螺旋模型,标志着分子遗传学研究的开始。他们根据 Erwin Chargaff 发现的 DNA 配对中鸟嘌呤(G)的量总是和胞嘧啶(C)的量一致,而腺嘌呤(A)和胸腺嘧啶(T)一致,即 $A=T$ 、 $G=C$,而 $(A+T)/(G+C)$ 的比值随不同来源的 DNA 而有所不同的研究资料,又分析了

Maurice Wilkins 等已用 X 射线衍射测出的 DNA 纤维的模型，建立了以 DNA 核苷酸的氢键配对，并以简单的自身互补排列和复制的 DNA 精确模式，这个模式的提出为研究染色体 DNA 的复制奠定了基础。

20 世纪 80 年代是分子遗传学研究的辉煌时期，F. Jacob 和 J. Monod 在研究细菌基因调控方面取得杰出的成就，提出了乳糖操纵子负调控的模型，使基因功能的研究提高到新的水平。在他们的研究之后，相继又取得了惊人的研究成果：

① 发现了 mRNA。

② 建立遗传密码图。破译遗传密码使人们能够依据 DNA 或 RNA 上的核苷酸序列直接翻译出编码的氨基酸，同样也可以根据氨基酸序列直接合成出编码这个蛋白质的基因。

③ 此发现使许多自然科学家震惊，一致认为生物科学的时代很快到来，从事生物科学研究的人公认遗传学是生物科学的带头学科。在微生物遗传学基础上发展起来的分子遗传学促进分子生物学向纵深发展。

1.2 基因工程技术

基因工程 (gene engineering) 技术，也称基因重组 (gene recombinant)、基因操作 (manipulation)、基因克隆 (gene cloning)、分子克隆 (molecular cloning) 或重组 DNA 技术 (recombinant DNA technique)。目前这些术语尚未很好地统一，但具体代表的内容都是彼此相关的，在很多