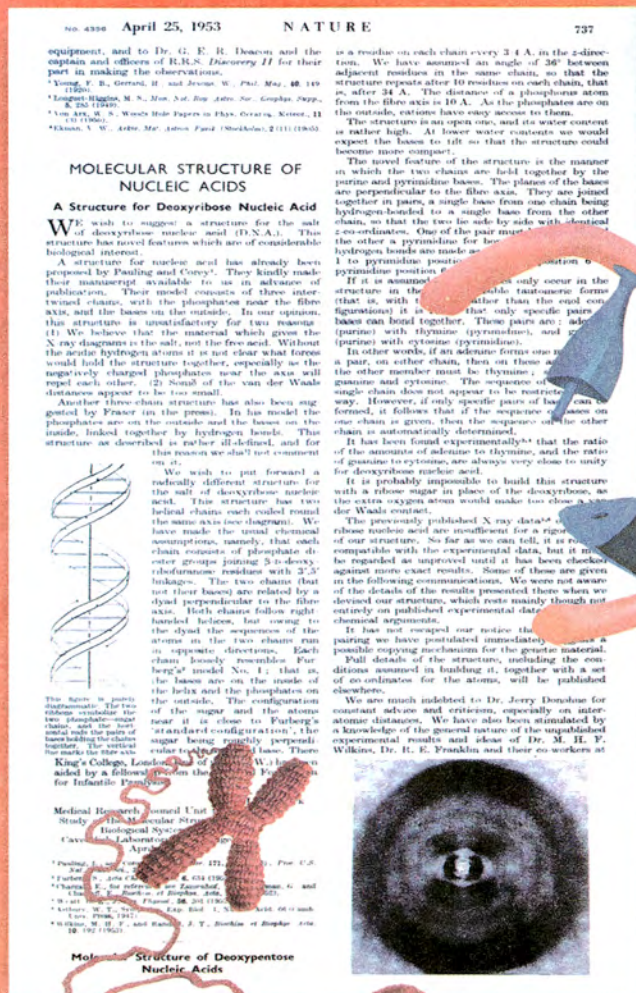


第 三 章 基因的本质

自从摩尔根提出基因的染色体理论以后,基因在人们的认识中不再是抽象的“因子”,而是存在于染色体上的一个个单位。但是基因到底是什么呢?摩尔根在他的《基因论》一书的末尾说:“我们仍然很难放弃这个可爱的假设:就是基因之所以稳定,是因为它代表着一个有机的化学实体。”这个假设能成立吗?



基因是什么?
DNA 或蛋白质?
几多实验,几多论争。
是谁将谜底揭破?

第1节 DNA 是主要的遗传物质

问题探讨



20世纪中叶,科学家发现染色体主要是由蛋白质和DNA组成的。在这两种物质中,究竟哪一种遗传物质呢?这个问题曾引起生物学界激烈的争论。

讨论:

1. 你认为遗传物质可能具有什么特点?
2. 你认为证明某一种物质是遗传物质的可行方法有哪些?

本节聚焦

- 科学家是怎样证明 DNA 是遗传物质的?
- 为什么说 DNA 是主要的遗传物质?

对遗传物质的早期推测

20世纪20年代,人们已经认识到蛋白质是由多种氨基酸连接而成的生物大分子。各种氨基酸可以按照不同的方式排列,形成不同的蛋白质。这就使人们很自然地想到,氨基酸多种多样的排列顺序,可能蕴含着遗传信息。当时对于其他生物大分子的研究,还没有发现与此类似的结构特点。因此,当时大多数科学家认为,蛋白质是生物体的遗传物质。

到了20世纪30年代,人们才认识到DNA是由许多脱

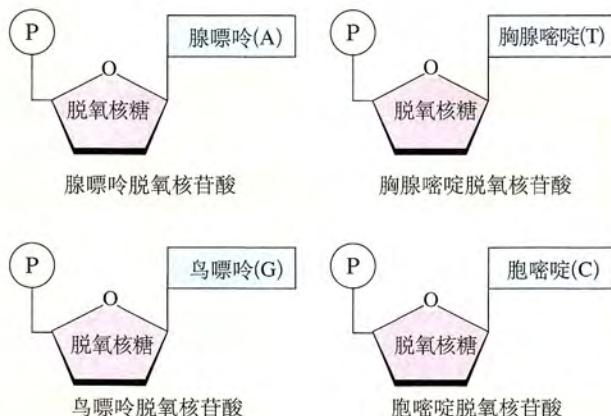


图 3-1 脱氧核苷酸的化学组成

氧核苷酸(图3-1)聚合而成的生物大分子,脱氧核苷酸的化学组成包括磷酸、碱基和脱氧核糖。组成DNA分子的脱氧核苷酸有四种,每一种有一个特定的碱基。这一认识本可以使人们意识到DNA的重要性,但是,由于对DNA分子的结构没有清晰的了解,认为蛋白质是遗传物质的观点仍占主导地位。

肺炎双球菌的转化实验

通过确凿的实验证据向遗传物质是蛋白质的观点提出挑战的,首先是美国科学家艾弗里(O. Avery, 1877—1955),而艾弗里的实验又是在英国科学家格里菲思(F. Griffith, 1877—1941)的实验基础上进行的。

1928年,格里菲思以小鼠为实验材料,研究肺炎双球菌是如何使人患肺炎的。他用两种不同类型的肺炎双球菌去感染小鼠。一种细菌的菌体有多糖类的荚膜,在培养基上形成的菌落表面光滑(smooth),叫做S型细菌;另一种细菌的菌体没有多糖类的荚膜,在培养基上形成的菌落表面粗糙(rough),叫

做R型细菌。在这两种细菌中,S型细菌可以使人患肺炎或使小鼠患败血症,因此是有毒性的;R型细菌不能够引发上述症状,因此是无毒性的。

格里菲思的实验过程如图3-2所示。

格里菲思从第四组实验的小鼠尸体中分离出了有毒性的S型活细菌,而且这些S型活细菌的后代也是有毒性的S型细菌,这表明无毒性的R型活细菌在与被加热杀死的S型细菌混合后,转化为有毒性的S型活细菌,而且这种性状的转化是可以遗传的。于是,格里菲思推论:在第四组实验中,已经被加热杀死的S型细菌中,必然含有某种促成这一转化的活性物质——“转化因子”,这种转化因子将无毒性的R型活细菌转化为有毒性的S型活细菌。

这种转化因子究竟是什么物质呢?为了弄清楚转化因子,艾弗里及其同事对S型细菌中的物质进行了提纯和鉴定。他们将提纯的DNA、蛋白质和多糖等物质分别加入到培养了R型细菌的培养基中,结果发现:只有

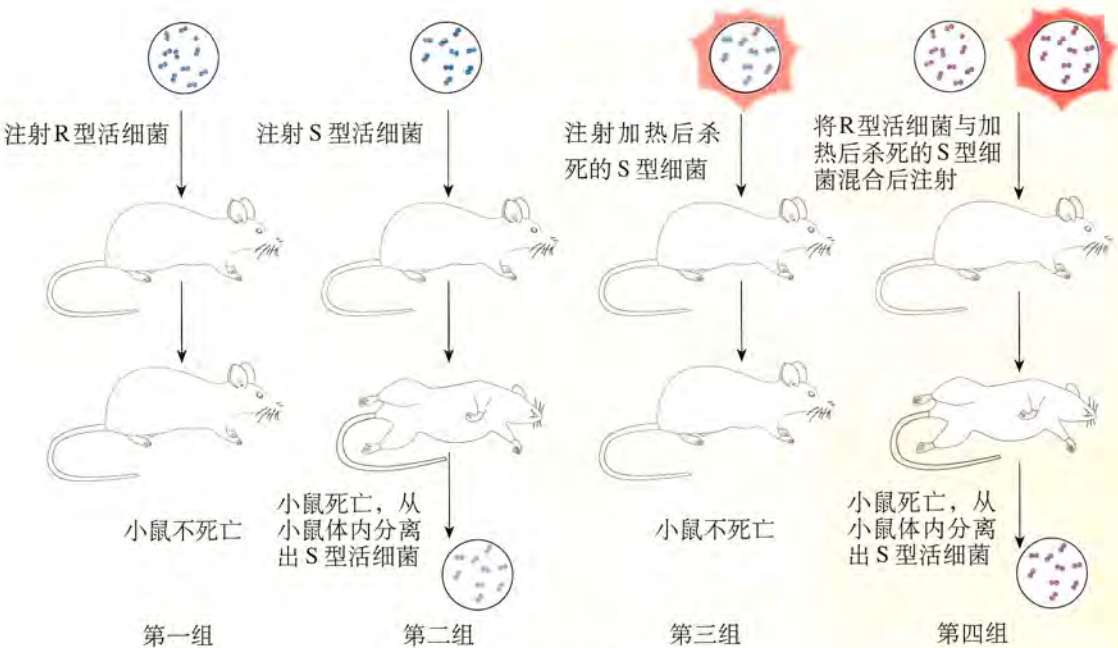


图 3-2 肺炎双球菌的转化实验

加入DNA，R型细菌才能够转化为S型细菌，并且DNA的纯度越高，转化就越有效；如果用DNA酶分解从S型活细菌中提取的DNA，就不能使R型细菌发生转化（图3-3）。

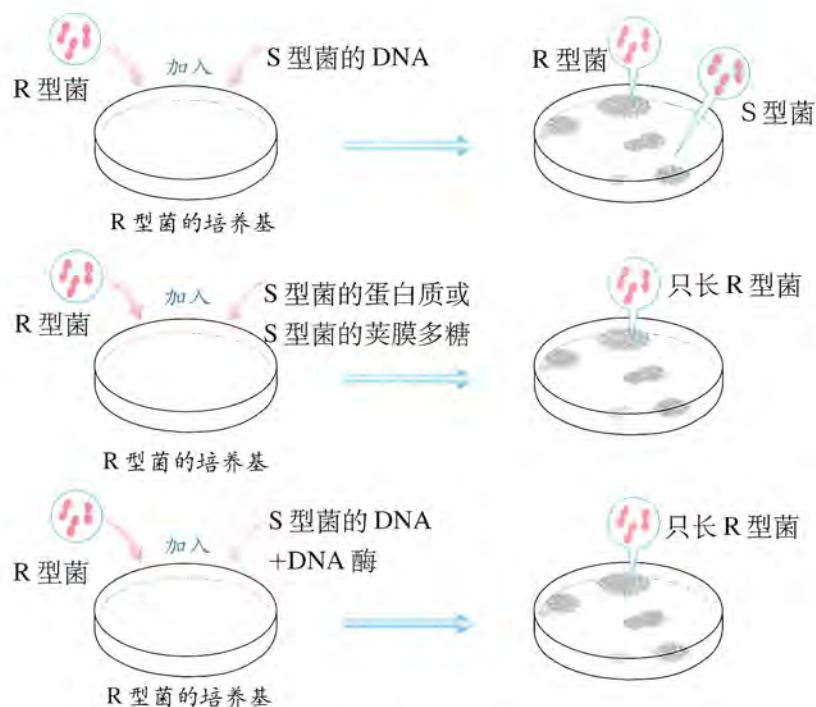


图3-3 艾弗里证明DNA是遗传物质的实验

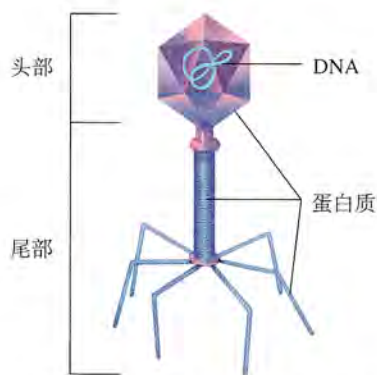


图3-4 T₂噬菌体的模式图

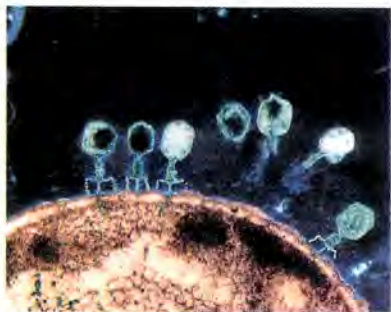


图3-5 噬菌体侵染细菌

实验结果甚至出乎艾弗里自己的预料，于是艾弗里提出了不同于当时大多数科学家观点的结论：DNA才是使R型细菌产生稳定遗传变化的物质。

噬菌体侵染细菌的实验

艾弗里的实验引起了人们的注意，但是，由于艾弗里实验中提取出的DNA，纯度最高时也还有0.02%的蛋白质，因此，仍有人对实验结论表示怀疑。

1952年，赫尔希（A. Hershey, 1908—1997）和蔡斯（M. Chase, 1927—2003）以T₂噬菌体（图3-4）为实验材料，利用放射性同位素标记的新技术，完成了另一个更具说服力的实验。

T₂噬菌体是一种专门寄生在大肠杆菌体内的病毒，它的头部和尾部的外壳都是由蛋白质构成的，头部内含有DNA。T₂噬菌体侵染大肠杆菌后（图3-5），就会在自身遗传物质的作用下，利用大肠杆菌体内的物质来合成自身的组成成分，进行大量增殖。当噬菌体增殖到一定数量后，大肠杆菌裂解，释放出大量的噬菌体。

赫尔希和蔡斯首先在分别含有放射性同位素 ^{35}S 和放射性同位素 ^{32}P 的培养基中培养大肠杆菌，再用上述大肠杆菌培养 T_2 噬菌体，得到DNA含有 ^{32}P 标记或蛋白质含有 ^{35}S 标记的噬菌体。然后，用 ^{32}P 或 ^{35}S 标记的 T_2 噬菌体分别侵染未被标记的大肠杆菌，经过短时间的保温后，用搅拌器搅拌、离心(图3-6)。搅拌的目的是使吸附在细菌上的噬菌体

► 相关信息

在 T_2 噬菌体的化学组成中，60%是蛋白质，40%是DNA。对这两种物质的分析表明：仅蛋白质分子中含有硫，磷几乎都存在于DNA分子中。



图3-6 T_2 噬菌体侵染大肠杆菌的实验

与细菌分离，离心的目的是让上清液中析出重量较轻的 T_2 噬菌体颗粒，而离心管的沉淀物中留下被感染的大肠杆菌。离心后，检查上清液和沉淀物中的放射性物质发现：用 ^{35}S 标记的一组感染实验，放射性同位素主要分布在上清液中；用 ^{32}P 标记的一组实验，放射性同位素主要分布在试管的沉淀物中。想一想，这一结果说明了什么？

进一步观察发现：细菌裂解释放出的噬菌体中，可以检测到 ^{32}P 标记的DNA，但却不能检测到 ^{35}S 标记的蛋白质。想一想，这一结果又说明了什么？

赫尔希和蔡斯的实验表明：噬菌体侵染细菌时，DNA进入到细菌的细胞中，而蛋白质外壳仍留在外面。因此，子代噬菌体的各种性状，是通过亲代的DNA遗传的。DNA才是真正的遗传物质。

在上述实验中，为什么选择 ^{35}S 和 ^{32}P 这两种同位素分别对蛋白质和DNA标记？用 ^{14}C 和 ^{18}O 同位素标记可行吗？



思考与讨论

1. 艾弗里与赫尔希等人的实验选用了结构十分简单的生物——细菌或病毒。以细菌或病毒作为实验材料具有哪些优点？

2. 虽然艾弗里与赫尔希等人的实验方法不同，但是实验的设计思路却有共同之处。思考一

下，他们最关键的实验设计思路是什么？

3. 艾弗里和赫尔希等人都分别采用了哪些技术手段来实现他们的实验设计？这对于你认识科学与技术之间的相互关系有什么启示？

从1928年格里菲思的肺炎双球菌转化实验，到1944年艾弗里的实验，再到1952年赫尔希和蔡斯的噬菌体侵染实验，前后历经24年，人们才确信DNA是遗传物质。

后来的研究证明，遗传物质除了DNA以外，还有RNA。有些病毒不含有DNA，只含有蛋白质和RNA，如烟草花叶病毒。从烟草花叶病毒中提取出来的蛋白质，不能使烟草感染病毒，但是，从这些病毒中提取出来的RNA，却能使烟草感染病毒。因此，在这些病毒中，RNA是遗传物质。因为绝大多数生物的遗传物质是DNA，所以说DNA是主要的遗传物质。



练习

一、基础题

1. 判断下列表述是否正确。

(1) 染色体是生物体的遗传物质，DNA也是生物体的遗传物质。 ()

(2) 真核生物细胞中的遗传物质都是DNA，病毒中的遗传物质都是RNA。 ()

2. 在原核生物中，DNA位于：

- A. 细胞核； B. 核糖体；
C. 细胞质； D. 蛋白质。

答 []

3. 赫尔希和蔡斯的工作表明：

- A. 病毒中有DNA，但没有蛋白质；
B. 细菌中有DNA，但没有蛋白质；

C. 遗传物质包括蛋白质和DNA；

D. 遗传物质是DNA。

答 []

二、拓展题

1. T_2 噬菌体感染大肠杆菌时，只有噬菌体的DNA进入细菌细胞，噬菌体的蛋白质外壳留在大肠杆菌细胞外。但当大肠杆菌裂解后，释放出大量的噬菌体却同原来的噬菌体一样具有蛋白质外壳。请分析子代噬菌体的蛋白质外壳的来源。

2. 结合肺炎双球菌的转化实验和噬菌体侵染细菌的实验，分析DNA作为遗传物质所具备的特点。

第2节 DNA分子的结构

问题探讨



DNA 雕塑

坐落于北京中关村高科技园区的DNA雕塑，以它简洁而独特的双螺旋造型吸引着过往行人。你知道为什么将它作为高科技的标志吗？

2003年是DNA分子双螺旋结构发现50周年。上网查一查有关DNA的信息，收集你感兴趣的资料与同学交流共享。

在通过实验证明DNA是生物体的遗传物质以后，人们更加迫切地想知道：DNA分子是怎样储存遗传信息的？又是怎样决定生物性状的？要回答这些问题，首先需要弄清楚DNA的结构。

DNA双螺旋结构模型的构建

在对DNA分子结构的研究中，于1953年摘取桂冠的是两位年轻的科学家——美国生物学家沃森(J. D. Watson, 1928—)和英国物理学家克里克(F. Crick, 1916—2004)。下面的资料讲述了这两位科学家构建DNA双螺旋结构模型的故事。阅读这个故事，思考它带给你的启示，并尝试总结DNA双螺旋结构模型的特点。

本节聚焦

- 沃森和克里克是怎样发现DNA分子的双螺旋结构的？
- DNA分子的双螺旋结构有哪些主要特点？

1951年春天，一直对基因的奥秘深感兴趣的沃森，出席了在意大利举行的生物大分子结构会议。会上，英国著名生物物理学家威尔金斯(M. Wilkins, 1916—2004)(图3-7)在报告中展示了一张DNA的X射线衍射图谱的幻灯片，给沃森留下了极其深刻的印象。这年秋天，沃森来到英国剑桥大学卡文迪什实验室工作。在这里，他遇到了同样对DNA的结构着迷的克里克。

物理学家出身的克里克对衍射图谱的分析十分熟悉，能够帮助沃森理解晶体学的原理，而沃森可以帮助克里克



图3-7 威尔金斯



图 3-8 富兰克林

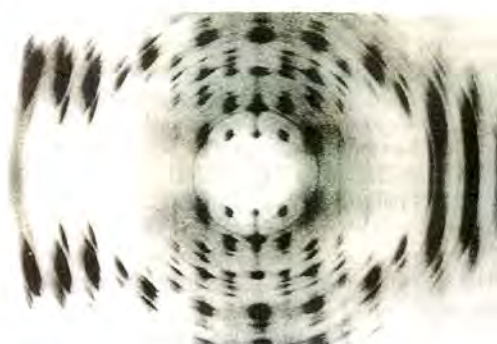


图 3-9 DNA 衍射图谱

理解生物学的内容。当时, 科学界对 DNA 的认识是: DNA 分子是以 4 种脱氧核苷酸为单位连接而成的长链, 这 4 种脱氧核苷酸分别含有 A、T、C、G 四种碱基。沃森和克里克以威尔金斯和其同事富兰克林 (R.E.Franklin, 1920—

1958) (图 3-8) 提供的 DNA 衍射图谱 (图 3-9) 的有关数据为基础, 推算出 DNA 分子呈螺旋结构。

沃森和克里克尝试了很多种不同的双螺旋和三螺旋结构模型, 在这些模型中, 碱基位于螺旋的外部。但是, 这些模型很快就被否定了。在失败面前, 沃森和克里克没有气馁, 他们又重新构建了一个将磷酸—脱氧核糖骨架安排在螺旋外部, 碱基安排在螺旋内部的双链螺旋。在这个模型中是相同碱基进行配对的, 即 A 与 A、T 与 T 配对。但是, 有化学家指出这种配对方式违反了化学规律, 于是, 这个模型又被抛弃了。

1952 年春天, 奥地利的著名生物化学家查哥夫 (E.Chargaff, 1905—2002) 访问了剑桥大学, 沃森和克里克从他那里得到了一个重要的信息: 腺嘌呤 (A) 的量总是等于胸腺嘧啶 (T) 的量; 鸟嘌呤 (G) 的量总是等于胞嘧啶 (C) 的量。于是, 沃森和克里克又兴奋起来, 他们改变了碱基配对的方式, 让 A 与 T 配对, G 与 C 配对, 构建出新的 DNA 模型。结果发现: A-T 碱基对与 G-C 碱基对具有相同的形状和直径, 这样组成的 DNA 分子具有稳定的直径, 能够解释 A、T、G、C 的数量关系, 同时也能解释 DNA 的复制。当他们把这个用金属材料制作的模型与拍摄的 X 射线衍射照片比较时, 发现两者完全相符 (图 3-10)。

1953 年, 沃森和克里克撰写的《核酸的分子结构——脱氧核糖核酸的一个结构模型》论文在英国《自然》杂志上刊载 (见本章题图), 引起了极大的轰动。1962 年, 沃森、克里克和威尔金斯三人因这一研究成果而共同获得了诺贝尔生理学或医学奖。

沃森和克里克在构建模型的过程中, 利用了他人的哪些经验和成果?

沃森和克里克在构建模型的过程中, 出现过哪些错误? 他们是如何对待和纠正这些错误的?



图 3-10 沃森 (左) 和克里克 (右) 创建的 DNA 分子双螺旋结构模型



思考与讨论

1. 请你根据资料回答有关 DNA 结构方面的问题。

(1) DNA 是由几条链构成的?它具有怎样的立体结构?

(2) DNA 的基本骨架是由哪些物质组成的?它们分别位于 DNA 的什么部位?

(3) DNA 中的碱基是如何配对的?它们位

于 DNA 的什么部位?

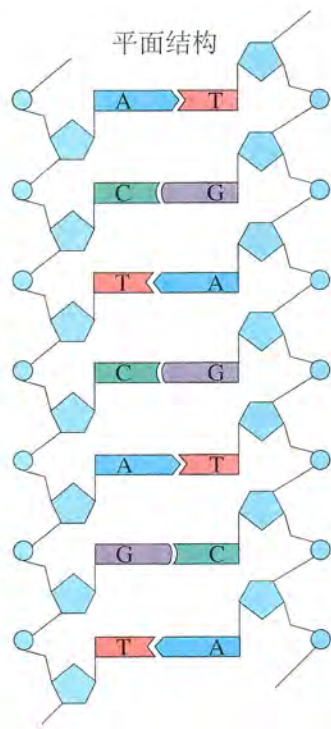
2. 上述资料中涉及到哪些学科的知识 and 方法?这对你理解生物科学的发展有什么启示?

3. 沃森和克里克默契配合,发现 DNA 双螺旋结构的过程,作为科学家合作研究的典范,在科学界传为佳话。他们的这种工作方式给予你哪些启示?

DNA 分子的结构

DNA 分子双螺旋结构(图3-11)的主要特点是:

(1) DNA 分子是由两条链组成的,这两条链按反向平行方式盘旋成双螺旋结构。(2) DNA 分子中的脱氧核糖和磷酸交替连接,排列在外侧,构成基本骨架;碱基排列在内侧。(3) 两条链上的碱基通过氢键连接成碱基对,并且碱基配对有一定的规律:A(腺嘌呤)一定与T(胸腺嘧啶)配对;G(鸟嘌呤)一定与C(胞嘧啶)配对。碱基之间的这种一一对应的关系,叫做碱基互补配对原则。



立体结构

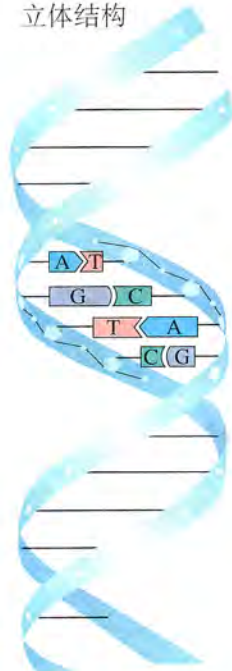
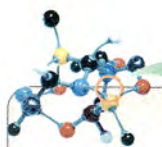


图 3-11 DNA 分子的结构模式图



模型建构

制作 DNA 双螺旋结构模型

目的要求

通过制作 DNA 双螺旋结构模型，加深对 DNA 分子结构特点的认识和理解。

材料用具

曲别针、泡沫塑料、纸片、牙签、橡皮泥等常用物品都可用做模型制作的材料。

模型设计

制作模型前首先应该进行设计，并考虑以下问题。

1. 分别用哪几种材料来代表组成 DNA 分子的磷酸、脱氧核糖和碱基？这三种物质是在什么部位相互连接的？怎样将这几种材料正确地连接起来？

2. 在 DNA 分子中，每个脱氧核苷酸之间是在什么部位相互连接的？怎样将脱氧核苷酸正确地连接起来？

3. 在模型中，如何体现 DNA 分子的两条链是反向平行的？又怎样体现两条链的碱基之间互补配对？

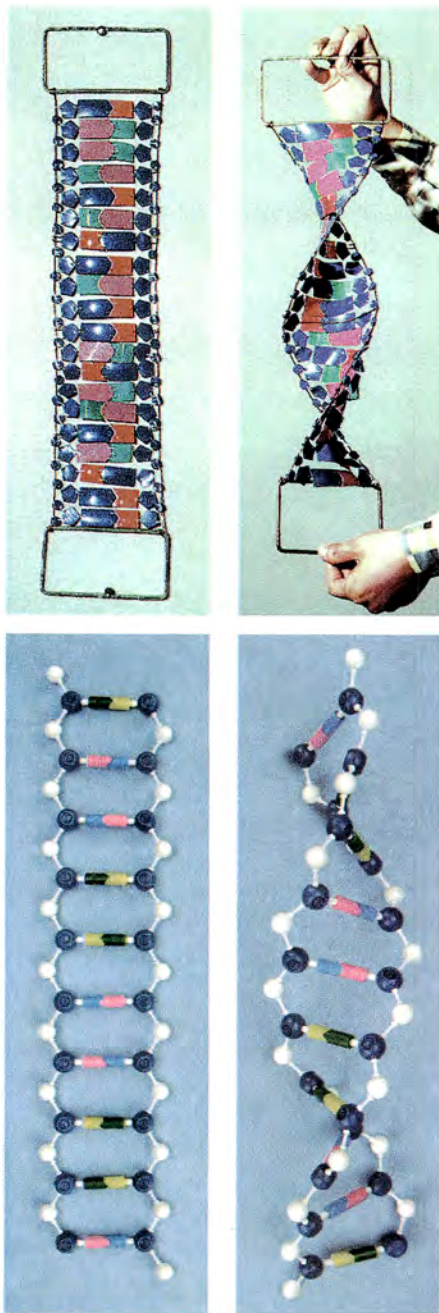
讨论

1. DNA 只含有 4 种脱氧核苷酸，它能够储存足够量的遗传信息？

2. DNA 分子是如何维系它的遗传稳定性的？

3. 你能够根据 DNA 分子的结构特点，设想 DNA 分子的复制方式吗？

模型制作举例

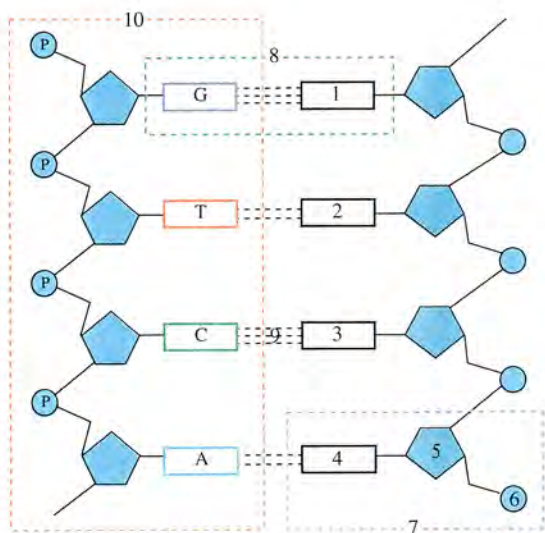




练习

一、基础题

1. 下面是DNA分子的结构模式图, 请用文字写出图中1-10的名称。



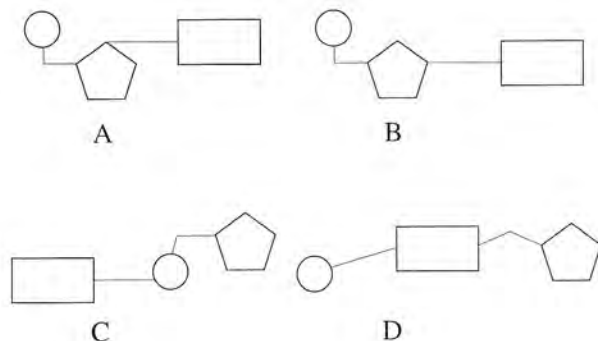
- | | |
|----------|-----------|
| 1. _____ | 2. _____ |
| 3. _____ | 4. _____ |
| 5. _____ | 6. _____ |
| 7. _____ | 8. _____ |
| 9. _____ | 10. _____ |

2. 已知1个DNA分子中有4 000个碱基对, 其中胞嘧啶有2 200个, 这个DNA分子中应含有的脱氧核苷酸的数目和腺嘌呤的数目分别是:

- A. 4 000个和 900个;
B. 4 000个和 1 800个;
C. 8 000个和 1 800个;
D. 8 000个和 3 600个。

答 []

3. 下列各图中, 图形 ○ □ 分别代表磷酸、脱氧核糖和碱基, 在制作脱氧核苷酸模型时, 各部件之间需要连接。下列连接中正确的是:



答 []

二、拓展题

你能根据碱基互补配对原则, 推导出相关的数学公式吗? 推导后, 尝试进一步总结这些公式, 从中概括出一些规律。

$$\begin{aligned} \because A &= T \quad G = C \\ \therefore A + G &= T + C \\ \therefore \frac{A + G}{(\quad)} &= \frac{T + C}{(\quad)} = 50\% \end{aligned}$$

也可以写成以下形式:

$$\frac{A + G}{T + C} = \frac{(\quad)}{(\quad)} = \frac{(\quad)}{(\quad)} \dots\dots = 1$$

规律概括: 在DNA双链中, 任意两个不互补碱基之和_____, 并为碱基总数的_____。

第3节 DNA的复制

问题探讨



北京奥运会会徽“中国印·舞动的北京”，将中国传统的印章和书法等艺术形式与体育运动特征结合起来，巧妙地勾画出一个向前奔跑、舞动着迎接胜利的人形。

要将这枚会徽复制成两个印章（由于时间紧迫，由两个人手工刻制）：一个送交国际奥委会，一个留在中国。想一想，如何才能将两个印章做得一模一样？做成后又怎样验证这两个印章的相似程度？

本节聚焦

- 科学家对DNA分子的复制作出了哪些推测？
- 怎样证明DNA分子是半保留复制的？
- DNA分子复制的过程是怎样的？

对DNA分子复制的推测

沃森和克里克在发表DNA分子双螺旋结构的那篇著名短文的结尾处写道：“在提出碱基特异性配对的看法后，我们立即又提出了遗传物质进行复制的一种可能机理。”你能从DNA分子的双螺旋结构，设想出DNA复制的方式吗？

沃森和克里克紧接着发表了第二篇论文，提出了遗传物质自我复制的假说：DNA分子复制时，DNA分子的双螺旋将解开，互补的碱基之间的氢键断裂，解开的两条单链作为复制的模板，游离的脱氧核苷酸依据碱基互补配对原则，通过形成氢键，结合到作为模板的单链上。由于新合成的每个DNA分子中，都保留了原来DNA分子中的一条链，因此，这种复制方式被称做半保留复制。

DNA半保留复制的实验证据(选学)

要分析DNA的复制究竟是半保留的还是全保留的，就需要区分亲代与子代的DNA。1958年，科学家以大肠杆菌为实验材料，运用同位素示踪技术，设计了一个巧妙的实验(图3-12)，证实了DNA的确是以半保留的方式复制的。

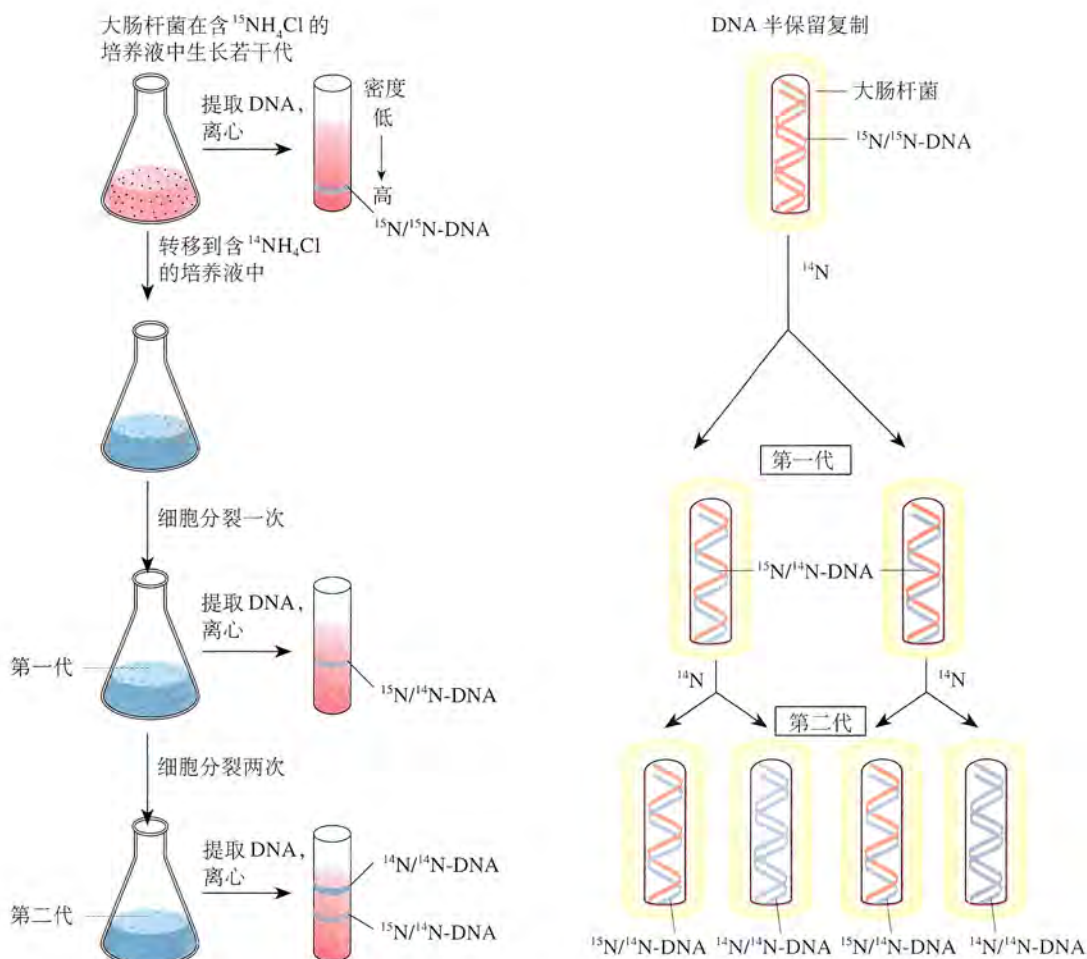
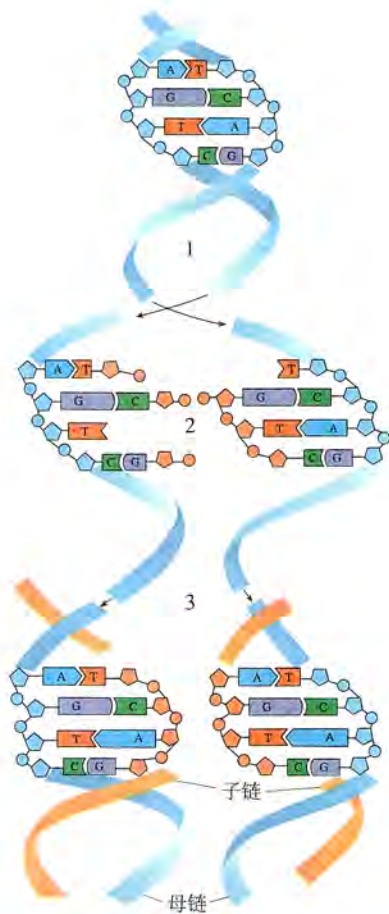


图 3-12 证明 DNA 进行半保留复制的实验

首先, 科学家以含有 ^{15}N 标记的 NH_4Cl 培养液来培养大肠杆菌, 让大肠杆菌繁殖几代, 再将大肠杆菌转移到 ^{14}N 的普通培养液中。然后, 在不同时刻收集大肠杆菌并提取 DNA, 再将提取的 DNA 进行密度梯度离心, 记录离心后试管中 DNA 的位置。

如果 DNA 是以半保留的方式复制的, 那么离心后应该出现三条 DNA 带: 一条带是 ^{15}N 标记的亲代双链 DNA (用 $^{15}\text{N}/^{15}\text{N}$ 表示), 其密度最大, 最靠近试管底部; 一条带是只有一条 DNA 链被 ^{15}N 标记的子代双链 DNA (其中一条链为 ^{15}N , 另一条链为 ^{14}N , 用 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 表示), 其密度居中, 位置也居中; 还有一条带是两条 DNA 链都未被 ^{15}N 标记的子代双链 DNA (用 $^{14}\text{N}/^{14}\text{N}$ 表示), 密度最小, 离试管底部最远。实验结果与预期的一样, 在试管中出现了 DNA 的这三条带, 证明 DNA 的复制是以半保留的方式进行的。

? 这个实验是如何区分亲代与子代的 DNA 分子的?



1. 解旋
2. 以母链为模板进行碱基配对
3. 形成两个新的DNA分子

图 3-13 DNA 分子的复制图解

DNA 分子复制的过程

DNA 的复制是指以亲代DNA为模板合成子代DNA的过程。这一过程是在细胞有丝分裂的间期和减数第一次分裂前的间期，随着染色体的复制而完成的。

复制开始时，DNA 分子首先利用细胞提供的能量，在解旋酶的作用下，把两条螺旋的双链解开，这个过程叫做解旋（图 3-13）。然后，以解开的每一段母链为模板，在 DNA 聚合酶等酶的作用下，利用细胞中游离的 4 种脱氧核苷酸为原料，按照碱基互补配对原则，各自合成与母链互补的一段子链。随着模板链解旋过程的进行，新合成的子链也在不断地延伸。同时，每条新链与其对应的模板链盘绕成双螺旋结构。这样，复制结束后，一个DNA分子就形成了两个完全相同的DNA分子。新复制出的两个子代DNA分子，通过细胞分裂分配到子细胞中去。

DNA 分子的复制是一个边解旋边复制的过程，复制需要模板、原料、能量和酶等基本条件。DNA 分子独特的双螺旋结构，为复制提供了精确的模板，通过碱基互补配对，保证了复制能够准确地进行。

DNA 分子通过复制，将遗传信息从亲代传给了子代，从而保持了遗传信息的连续性。



练 习

一、基础题

1. 在DNA分子中，由于组成脱氧核苷酸的碱基有 4 种（A、G、C、T），因此，构成DNA分子的脱氧核苷酸也有 4 种，它们的名称是：_____，_____和_____。

2. 从DNA分子的复制过程可以看出，DNA 分子复制需要_____、_____和_____等条件。DNA 分子的_____结构能够为复制提供精确的模板，通过_____保证了复制能够正确地进行。

3. 将单个的脱氧核苷酸连接成DNA分子的主要的酶是：

- A. DNA 连接酶； B. DNA 酶；
C. DNA 解旋酶； D. DNA 聚合酶。

答 []

4. 1 条染色单体含有 1 个双链的 DNA 分子，那么，四分体时期中的 1 条染色体含有：

- A. 4 个双链的 DNA 分子；
B. 2 个双链的 DNA 分子；
C. 2 个单链的 DNA 分子；
D. 1 个双链的 DNA 分子。

答 []

二、拓展题

虽然DNA复制通过碱基互补配对在很大程度上保证了复制的准确性，但是，DNA 复制仍有约 10^{-9} 的错误率。请根据这一数据计算，约为 31.6 亿个碱基对的人类基因组复制时可能产生多少个错误，这些错误可能产生什么影响？

第4节 基因是有遗传效应的DNA片段

问题探讨



全班同学排成一排，代表一条DNA单链的碱基排列情况

如果全班同学排成一排，代表一条DNA单链的碱基排列情况，每个同学代表DNA链上的一个碱基，每人都可以从A、T、C、G四种碱基中自由选择自己所代表的碱基，全班同学一起可以组合出多少种排列？

摩尔根将基因定位于染色体上，后来证明染色体中只有DNA是遗传物质。那么，基因等同于DNA吗？

说明基因与DNA关系的实例

基因与DNA究竟是什么关系？下面的资料会给你许多启示，请阅读和讨论。

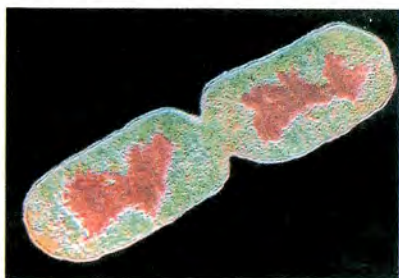
本节聚焦

- 基因是什么？
- DNA分子是如何携带遗传信息的？
- DNA分子为什么能够携带丰富的遗传信息？



资料分析

1. 大肠杆菌细胞的拟核有1个DNA分子



图A 正在分裂的大肠杆菌，细胞内的DNA分子被染成红色

子(图A)，长度约为4 700 000个碱基对，在DNA分子上分布着大约4 400个基因，每个基因的平均长度约为1 000个碱基对。

2. 生长在太平洋西北部的一种海蜇能发出绿色荧光(图B)，这是因为海蜇的DNA分子上有一段长度为5 170个碱基对的片段——绿色荧光蛋白基因。转基因实验表明，转入了海蜇的绿色荧光蛋白基因的转基因鼠，在紫外线的照射下，也能像海蜇一样发光(图C)。



图B 发出绿色荧光的海蜇



图C 正常光线(左)及紫外线照射下(右)的4只小鼠,其中第3号小鼠为对照组,第1、2、4号小鼠转入了绿色荧光基因

3. 人类基因组计划测定的是24条染色体(22条常染色体+X+Y)上DNA的碱基序列。其中,每条染色体上有一个DNA分子。这24个DNA分子大约有31.6亿个碱基对,其中,构成基因的碱基数占碱基总数的比例不超过2%。

4. 不少人认为,人和动物体的胖瘦是由遗传决定的。近来的科学研究发现,小鼠体内的HMGIC基因与肥胖直接相关。具有HMGIC基因缺陷的实验鼠与作为对照的小鼠,吃同样多的高脂肪食物,一段时间后,对照组的小鼠变得十分肥胖,而具有HMGIC基因缺陷的实验鼠体

重仍然保持正常。

讨论:

1. 生物体内的DNA分子数目与基因数目相同吗?生物体内所有基因的碱基总数与DNA分子的碱基总数相同吗?如果不同,说明了什么?

2. 你如何理解基因具有遗传效应?

3. 请从DNA水平上给基因下一个定义,要求既能反映基因与DNA的关系,又能体现基因的作用。

► 相关信息

第一个把遗传物质设定为一种信息分子,提出遗传是遗传信息的复制、传递与表达的科学家,是量子物理学的奠基人薛定谔(E. Schrödinger, 1887—1961),他的著名演讲是《生命之光》。

除了上述资料以外,你还知道哪些实例,能够揭示基因的含义,说明基因与DNA的关系?

DNA片段中的遗传信息

不难看出,一个DNA分子上有许多基因,每一个基因都是特定的DNA片段,有着特定的遗传效应,这说明DNA必然蕴含了大量的遗传信息。DNA分子为什么能储存大量的遗传信息呢?我们知道,一个DNA分子的基本骨架是由脱氧核糖和磷酸交替连接而成的,从头至尾没有变化,而骨架内侧4种碱基的排列顺序却是可变的。那么,由4种碱基排列而成的脱氧核苷酸序列,足以储存生物体必需的全部遗传信息吗?



练习

一、基础题

1. 判断下列表述是否正确。

(1) 遗传信息是指 DNA 中碱基的排列顺序。 ()

(2) DNA 和基因是同一概念。 ()

2. 下列有关基因的叙述, 不正确的是:

A. 可以准确地复制;

B. 能够存储遗传信息;

C. 是 4 种碱基对的随机排列;

D. 是有遗传效应的脱氧核苷酸序列。

答 []

3. 请分析 DNA 为什么能够作为遗传物质?

二、拓展题

下面是有关 DNA 与基因相互关系的认识, 你同意这些观点吗? 你认为 DNA 与基因有哪些区别与联系?

1. 基因是 DNA 的片段, 基因与 DNA 是局部与整体的关系。

2. 基因在 DNA 上, DNA 是基因的集合。

3. 基因与 DNA 都是描述遗传物质的概念。基因侧重描述遗传物质的功能, DNA 主要反映遗传物质的化学组成。



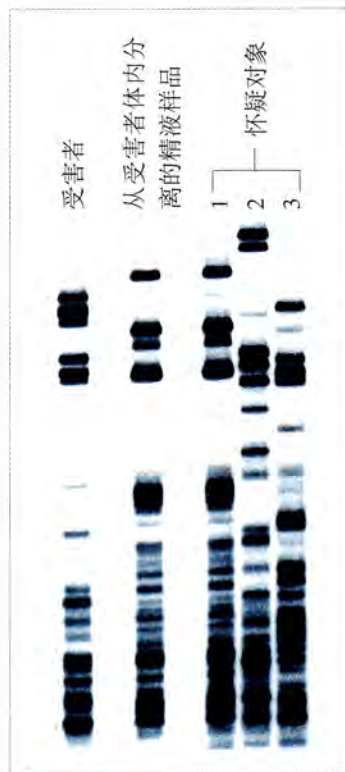
科学·技术·社会

DNA 指纹技术

世界上除同卵双生外, 几乎没有指纹一模一样的两个人, 所以指纹可以用来鉴别身份。那么, 什么是 DNA 指纹技术呢? 研究表明, 每个人的 DNA 都不完全相同, 因此, DNA 也可以像指纹一样用来识别身份, 这种方法就是 DNA 指纹技术。

应用 DNA 指纹技术, 首先需要用合适的酶将待检测的样品 DNA 切成片段, 然后用电泳的方法将这些片段按大小分开, 再经过一系列步骤, 最后形成如右图所示的 DNA 指纹图。因为每个人的 DNA 指纹图是独一无二的, 所以我们可以根据分析指纹图的吻合程度来帮助确认身份。

在现代刑侦领域中, DNA 指纹技术正在发挥着越来越重要的作用。刑侦人员只需要一滴血、精液或是一根头发等样品, 就可以进行 DNA 指纹鉴定。你能从右边的 DNA 指纹图中判断出怀疑对象中谁是罪犯吗? 此外, DNA 指纹技术还可以用于亲子鉴定、死者遗骸的鉴定等。



DNA 指纹图



探究

脱氧核苷酸序列与遗传信息的多样性

七种音符可以组成各种美妙的旋律。26个英文字母可以组成许许多多词汇和句子，形成传递和交流信息的语言。

问题

4种碱基排列而成的脱氧核苷酸序列，是否足以表达生物体必需的各种遗传信息？

探究思路

可以采用数学推算的方法探究这个问题。推算前首先要创设具体的数字化情境。基因是复杂多样的，但是，为了便于研究，需要尽可能使问题情境简单化。

下面的问题可供你参考，你也可以自己设置情境。

情境1：假设长度为17个碱基对的脱氧核苷酸序列组成一个基因（当然，这仅仅是假设），那么，17个碱基对可以排列出多少种基因？

提示：如果1个碱基对组成1个基因，4种碱基对的排列可能形成4种基因；如果2个碱基对组成1个基因，则可能形成16（即 4×4 ）种基因；如果3个碱基对组成1个基因，则可能形成64（即 $4 \times 4 \times 4$ ）种基因。如果是4个、5个或者更多个碱基对组成1个基因呢？

情境2：截至2005年6月，全球人口总数接近65亿。假设人类基因组中第1号染色体的第1个基因是由17个碱基对随机排列构成的，那么，17个碱基对的所有排列是否都有机会出现？你与你的同桌相比，这个基因的脱氧核苷酸序列完全相同的可能性有多大？

提示：与情境2中第2问类似的情境是：袋子中装有红、橙、黄、绿、青、蓝、紫7个小球，从中抓出1个小球，抓到红球的可能性为 $1/7$ 。

讨论

1. 你如何理解DNA分子的多样性和特异性？你能从DNA水平分析生物体具有多样性和特异性的原因吗？

2. 在刑侦领域，DNA分子能像指纹一样用来鉴定个人身份。你能结合脱氧核苷酸序列的多样性和特异性，分析这一方法的科学依据吗？

3. 上面的探究是建立在所有碱基对的随机排列都能构成基因这一假设下的。事实上，大部分随机排列的脱氧核苷酸序列从来不曾出现在生物体内，而有些序列却会在生物体内重复数千甚至数百万次。你认为基因是碱基对随机排列成的DNA片段吗？为什么？

研究表明，DNA分子能够储存足够量的遗传信息；遗传信息蕴藏在4种碱基的排列顺序之中；碱基排列顺序的千变万化，构成了DNA分子的多样性，而碱基的特定的排列顺序，又构成了每一个DNA分子的特异性；DNA分子的多样性和特异性是生物体多样性和特异性的物质基础。DNA分子上分布着多个基因，基因是有遗传效应的DNA片段。

本章小结

1944年艾弗里的肺炎双球菌的转化实验和1952年赫尔希与蔡斯的噬菌体侵染细菌的实验表明：亲代的各种性状是通过DNA遗传给后代的；DNA，而非蛋白质，是遗传物质。1953年，沃森和克里克提出了DNA分子的双螺旋结构模型，它的主要特点是：DNA分子由两条链组成，这两条链按反向平行方式盘旋成双螺旋结构；DNA分子中的脱氧核糖和磷酸交替连接，排列在外侧，构成基本骨架，碱基排列在内侧；DNA分子两条链上的碱基按照碱基互补配对原则连接成碱基对。

DNA分子的双螺旋结构为复制提供了精确的模板，通过碱基互补配对保证了复制的准确性，新合成的每个DNA分子中都保留了原来DNA分子的一条链。DNA分子通过复制，将遗传信息传递给子代。分析DNA的双螺旋结构发现：组成DNA分子的碱基虽然只有4种，但是，碱基对的排列顺序却是千变万化的。碱基序列的多样性构成了DNA分子的多样性，DNA分子因而能够储存大量的遗传信息。

当DNA这一物质实体与孟德尔假设的“遗传因子”、摩尔根定位于染色体上的基因相遇时，基因这一抽象的概念便在分子水平上找到了物质载体。经历了近百年的追寻，人们终于认识到：基因位于染色体上，基因是有遗传效应的DNA片段。

提纯生物大分子、离心、X射线衍射、放射性同位素示踪等技术与物理学和化学方法的应用紧密结合，系统地应用于探测生命活动的过程，使人们能够从崭新的分子的视角理解生命。

本章中，与重要结论一同展示的是最初获得这些结论的科学实验，这能使我们在学习的时候不忘记科学知识直接来源于实验而非书本，又能使我们领略科学研究的严谨与奥妙。而沃森和克里克默契配合发现DNA双螺旋结构的过程，会让我们认识到合作与交流的重要。



自我检测

一、概念检测

判断题

1. DNA 是遗传物质，遗传物质是 DNA。

()

2. DNA 复制遵循碱基互补配对原则，新合成的两条子链形成新的 DNA 双链。

()

3. 在细胞有丝分裂的中期，每条染色体是由两条染色单体组成的，所以 DNA 的复制也是在这个时期完成的。

()

4. 基因是 DNA 分子携带的遗传信息。

()

选择题

基因是指：

A. 有遗传效应的脱氧核苷酸序列；

B. 脱氧核苷酸序列；

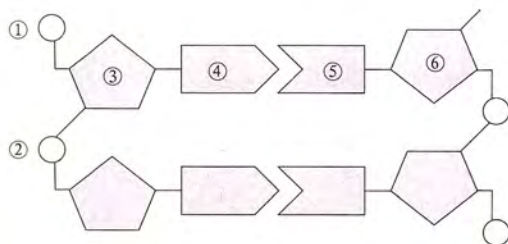
C. 氨基酸序列；

D. 核苷酸序列。

答 []

识图作答题

下图是 DNA 分子的局部组成示意图，请据图回答。



1. 图中有_____种碱基，有_____个完整的脱氧核苷酸单位，有_____个游离磷酸基。

2. 从主链上看，两条单链方向_____；从碱基关系看，两条单链_____。

3. 图中的①、②是_____，③是_____，④、⑤是_____，⑥是_____。

二、知识迁移

在噬菌体侵染细菌的实验中，下列对噬菌体衣壳蛋白质合成的描述，正确的是：

- A. 氨基酸原料和酶来自细菌；
- B. 氨基酸原料和酶来自噬菌体；
- C. 氨基酸原料来自细菌，酶来自噬菌体；
- D. 氨基酸原料来自噬菌体，酶来自细菌。

答 []

三、思维拓展

DNA 分子杂交技术可以用来比较不同种生物 DNA 分子的差异。当两种生物的 DNA 分子的单链具有互补的碱基序列时，互补的碱基序列就会结合在一起，形成杂合双链区；在没有互补碱基序列的部位，仍然是两条游离的单链（如图）。形成杂合双链区的部位越多，说明这两种生物的亲缘关系越近，这是为什么？

