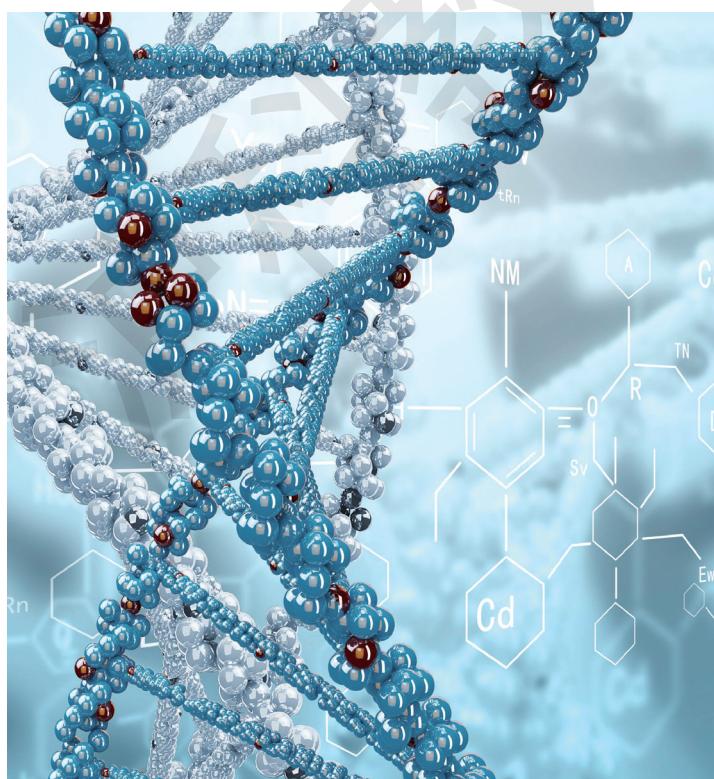


普通高中教科书

生物学

必修 2

遗传与进化



上海科技教育出版社

编写人员名单

主 编 张新时

执行主编 张可柱

分册主编 王月玲

编著者（以姓氏笔画为序）

王华峰 王琰 尹青春 仪慧兰

任力明 任铎锋 武少颖 袁子茜

审 读 王仁卿 李文军

致同学们

“最早的鱼儿怎么没下巴？最早的鸟儿怎么嘴长牙？最早登陆的鱼儿怎么没有腿？最早的树儿怎么不开花？”科学诗《化石吟》发出的疑问，引导我们思索和探究各种生物亿万年的神奇进化过程：生物个体不断繁殖后代，使其特征得以代代相传且随时间逐渐变异，构成了系统发育层面的进化史。

自古以来，科学家在惊叹生命的雄丽壮阔与缤纷多彩的同时，探索从未停步，他们逐步否定了造物主的存在，揭示生物进化的过程，认识到从宏观的自然史角度来看，生物进化在本质上也是生物与生物、生物与环境之间协同作用的结果。如今生物科技的发达让人们得以从分子水平进一步探究遗传物质的秘密。高中生物学必修2《遗传与进化》为同学们提供了一次与遗传学发展史上科学伟人跨时空对话的机会——重温先贤的研究历程，感受伟大科学家的研究方法与科学思维，也是一种曼妙的享受。

本模块包括遗传的细胞基础、遗传的分子基础、遗传的基本规律、生物的变异和生物的进化等内容，不仅从微观层面阐述了生命的延续性，而且从宏观层面阐述了生命的发展过程、原因和结果。通过必修1《分子与细胞》的学习，同学们已从细胞、亚细胞乃至分子水平上认识了生命的本质。《遗传与进化》的学习则会让同学们了解生命的延续和发展，认识生物界及生物多样性，形成生物进化的观点，树立正确的自然观，并能从中领悟生命科学在促进经济与社会发展、增进人类健康等方面的价值。同时，本模块内容还会成为同学们进一步学习和理解生态学知识的基础。

为了大家更好地学习，这一模块精心设立了如下栏目：

第三章 有性生殖中基因的分离和自由组合



无论参天大树还是从生小草，无论飞禽走兽还是游鱼爬虫，在广袤的自然界里，形形色色的生物都有一个共同的特性：繁殖与自身相似的同类后代，这就是遗传。早在公元前3世纪，古希腊哲学家德谟克利特就提出了“原子论”，认为一切事物都是由不可见的微小颗粒——原子组成的。到了17世纪，人们开始对动植物进行分类研究，并由此合成了物种。18世纪，人们开始对人类进行种族分类研究，并以此合成了民族。这期间，也有许多学者试图解释物种的本质，但均未得答案。直到19世纪中叶，奥地利的僧侣孟德尔（G. Mendel）通过多年的豌豆杂交实验，用数学方法分析生物现象，揭示了遗传学的两大定律，开创了经典遗传学时代。孟德尔的研究和思考方式又能带给我们什么启示？两大定律如何帮助我们认识生活中和自然界中的现象？



1859年达尔文提出物种学说
1900年孟德尔遗传定律
分离定律和自由组合定律
1910年摩尔根发现果蝇的X染色体
1927年摩尔根发现果蝇的Y染色体

章首页 精美的图片和富有深意的章引言，让同学们带着问题出发，逐步学习一章的主要内容；以时间轴形式呈现的科学史，一目了然地呈现与本章学习内容有关的重要科学发现。



课题研究

课题研究 通过一个探究实验、调查研究活动或者模型制作活动实现任务驱动，引领全章内容的学习。



探究活动

探究活动 通过实验探究、资料探究、社会考察、经典再现、模型建构、方案设计、观点碰撞等形式引领同学们针对特定的主题进行观察提问、实验设计、方案实施、分析讨论，逐步增强对自然现象和社会现实的好奇心与求知欲，掌握科学探究的基本思路和方法，培养主动学习与思考的品质。



阅读空间

阅读空间 提供一些趣味性的自主阅读资料，既与正文相呼应，又引领同学们将学习与生活实际密切联系。



学业要求

学业检测 每节正文之后，以核心素养为指向，围绕本节内容精心设计一组自评自测题，促进学习目标内化和巩固，便于同学们自我反馈、自我评价、主动发展。



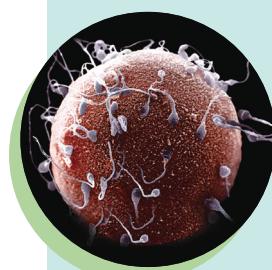
视野拓展

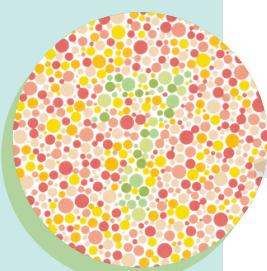
视野拓展 包括时代亮点、历史长河、榜样人物、科学生活和绿色视野等，展现与本章内容有关的最新研究进展，回顾重大历史发现，介绍榜样人物的高贵品质，为同学们提供更多的学习意义启发。

目录

CONTENTS

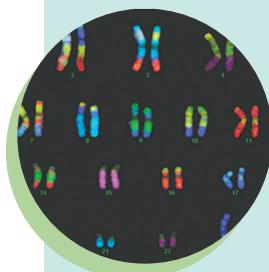
第一章 遗传信息主要编码在DNA分子上	2
课题研究——从常见动植物中提取DNA	3
第一节 DNA是主要的遗传物质	4
一、遗传物质在染色体上	4
二、DNA是遗传物质	5
三、少数病毒的遗传物质是RNA	7
第二节 DNA分子的结构	10
一、DNA分子由四种脱氧核苷酸构成	10
二、DNA分子具双螺旋结构	11
第三节 DNA分子的复制	17
一、DNA分子的复制是半保留式的	17
二、DNA分子复制的过程	18
第四节 遗传信息的表达	21
一、基因是核酸分子的功能片段	21
二、遗传信息指导蛋白质的合成	22
第五节 基因与性状的关系	28
一、基因控制性状	28
二、基因选择性表达	29
三、表观遗传现象	31
第二章 有性生殖中的染色体变化	36
课题研究——探索生殖细胞形成中染色体数量的变化	37
第一节 减数分裂产生染色体数量减半的生殖细胞	38
一、精细胞的形成过程	38
二、卵细胞的形成过程	42



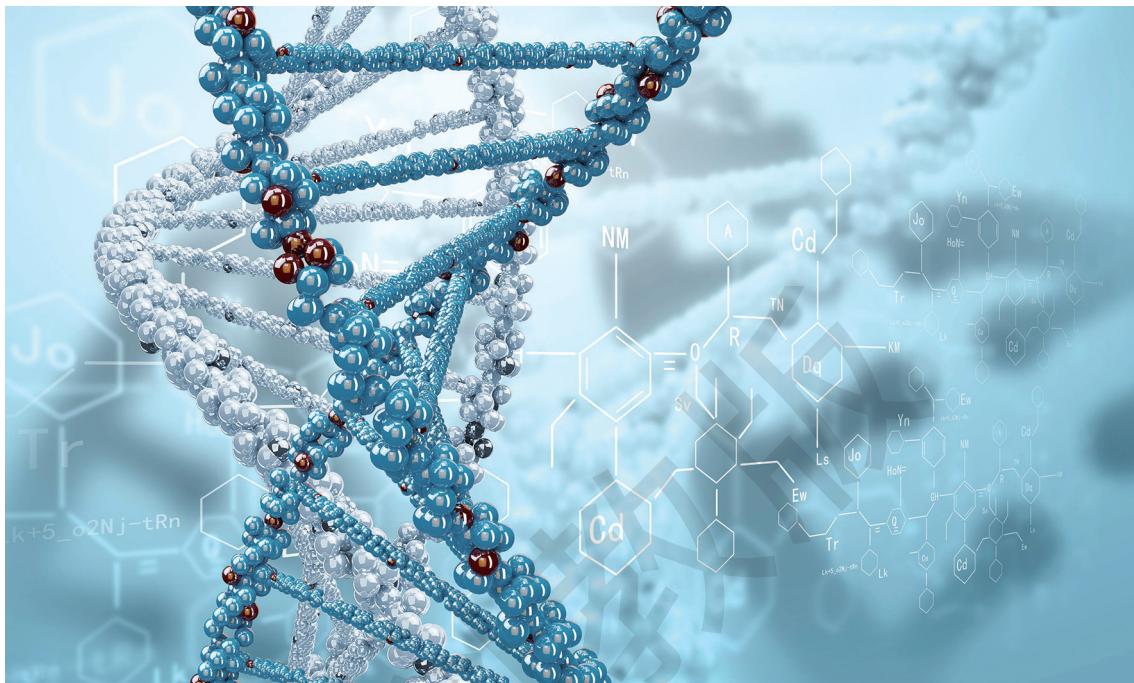


第二节 有性生殖中遗传信息通过配子传递给子代 …	45
一、受精作用形成合子 …	…45
二、受精过程中染色体的变化 …	46
 第三章 有性生殖中基因的分离和自由组合 …	52
课题研究——探索果蝇的性状在亲子代之间的传递关系 …	…53
第一节 孟德尔遗传实验的科学方法 …	54
一、选择恰当的实验材料 …	…54
二、运用由简到繁的方法 …	55
三、采用统计学方法 …	55
四、运用假说－演绎法 …	56
第二节 有性生殖中发生基因的分离 …	…60
一、杂交实验，发现问题 …	…60
二、分析现象，提出假说 …	61
三、演绎推理，设计实验 …	63
四、实施实验，得出规律 …	64
第三节 基因的分离定律在实践中的应用 …	…67
一、基因的分离定律在医学实践中的应用 …	…67
二、基因的分离定律在育种中的应用 …	69
第四节 有性生殖中发生基因的自由组合 …	…71
一、探究性状间自由组合机制 …	…71
二、基因的自由组合定律的实质 …	73
第五节 基因的自由组合定律在实践中的应用 …	…77
一、基因的自由组合定律在育种中的应用 …	…77
二、基因的自由组合定律在医学实践中的应用 …	78
第六节 性染色体上的基因传递与性别相关联 …	…82
一、性别决定 …	82
二、伴性遗传 …	83
 第四章 生物的可遗传变异 …	…88
课题研究——探究紫外线对植物叶片的影响 …	…89
第一节 基因突变与基因重组 …	90
一、基因突变引起可遗传的变异 …	…90
二、基因重组可使子代出现变异 …	94

第二节 染色体变异 …	96
一、染色体结构变异可能改变生物性状 …	96
二、染色体数量变异对生物性状的影响 …	98
第三节 人类遗传病 …	103
一、遗传病概述 …	103
二、遗传病的检测和预防 …	105
 第五章 生物的多样性和适应性是进化的结果 …	110
课题研究——调查某区域植物的多样性 …	111
第一节 现存物种来自共同的祖先 …	112
一、解剖学、胚胎学及化石证据 …	112
二、细胞生物学和分子生物学证据 …	115
第二节 自然选择使生物适应特定的环境 …	118
一、种群内的可遗传变异 …	118
二、种群基因频率的变化 …	119
三、自然选择形成适应 …	121
四、隔离是物种形成的必要条件 …	123
第三节 生命进化史是自然选择的结果 …	127
一、生命进化史及其成因 …	127
二、生物进化理论的发展 …	131



第一章 遗传信息主要编码在 DNA 分子上



奥地利物理学家薛定谔 (E. Schrödinger) 是量子力学的奠基人之一，也是分子生物学的先驱。他 1944 年出版的《生命是什么》一书，尝试用热力学、量子力学和化学理论来解释生命的本质。薛定谔在书中写道：“我们把染色体纤丝的结构称为密码正本时……当然，‘密码正本’这个名词太狭隘了，因为染色体结构同时也是促使卵细胞未来发育的工具。它是法典与行政权力的统一，或者用另一个比喻来说，是建筑师的设计同建筑工人的技艺的统一。”现已知染色体主要由 DNA 和蛋白质组成，文中“法典与行政权力”所指的是蛋白质还是 DNA ？“法典”是以什么形式储存的？又是怎样行使其“行政权力”的？





课题研究

从常见动植物中提取 DNA

英国科学家哈勒（H. Harre）曾说：“天才的实验家只用最简单的方法，便能揭示出问题的要害，进而改变人们传统的看法。”遗传学史上有许多这样的经典。同学们也可以尝试用简单的方法，从生物组织中提取 DNA。

提出问题

怎样从常见的动植物组织中提取 DNA？

制订并实施研究计划

1. 做哪些准备？

- ◆ 查阅资料，了解提取 DNA 的方法与原理。
- ◆ 搜集资料，了解哪些动植物材料（如香蕉）便于提取 DNA。

2. 提取 DNA 的方法和步骤是什么？

- ◆ 准备大烧杯、小烧杯、玻璃棒、纱布、研钵和无水乙醇（使用前置于冰箱冷藏室中预冷 12h 以上）、食盐、洗洁精、生物材料（香蕉，也可用鸡血或花椰菜等）。
- ◆ 取 12g 食盐和适量洗洁精，用蒸馏水定容至 100mL，制成研磨液。
- ◆ 取 30g 香蕉及 10mL 研磨液，充分研磨成浆状物。
- ◆ 继续加入研磨液，对浆状物进行稀释和溶解，然后用纱布过滤溶液于小烧杯中。
- ◆ 将冷却的无水乙醇沿杯壁缓缓加入烧杯，直至观察到大量絮状物出现于溶液中。停止加入无水乙醇，静置几分钟后，用玻璃棒轻轻缠绕捞取絮状物。

成果交流

1. 小组交流提取 DNA 的情况，展示各自的实验成果。
2. 查询证明玻璃棒上的絮状物是 DNA 的方法。



图 1-1 得到絮状物

第一节 DNA 是主要的遗传物质



图 1-2 中央电视台《等着我》栏目

中央电视台《等着我》栏目是一个利用国家力量打造的全媒体公益寻人平台(图 1-2)。当看到失散多年的亲人相聚，观众也为之动容。节目中需要确定离散者身份时，常采集血液等样本进行 DNA 鉴定。其实 DNA 鉴定技术的应用已经家喻户晓，可广泛用于血缘鉴定、刑事认定、物种亲缘关系比较等多个领域。DNA 为什么可用于亲子鉴定？DNA 分子具有怎样的结构特征？DNA 分子在生物繁衍过程中担任怎样的角色？

一、遗传物质在染色体上

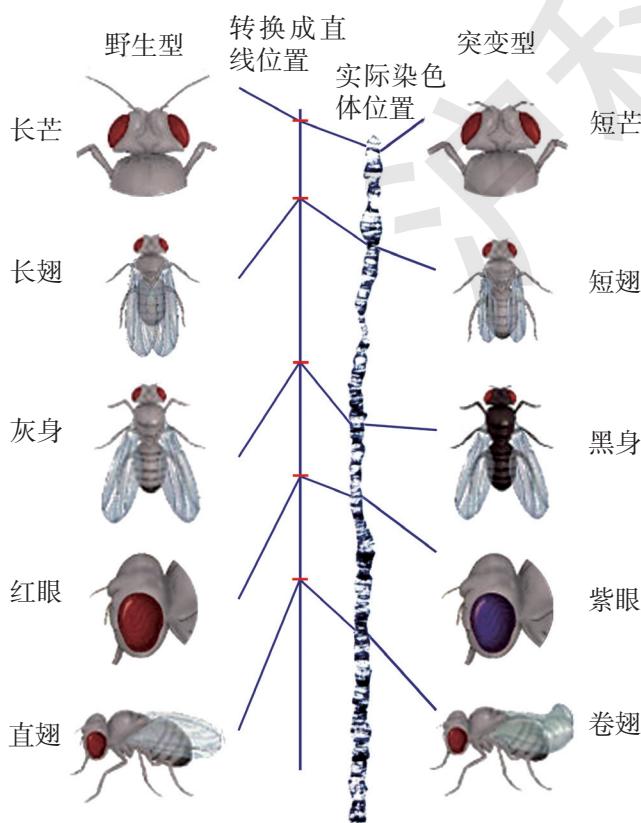


图 1-4 果蝇某染色体上的部分基因

1902 年，美国遗传学家萨顿 (W. Sutton, 图 1-3) 研究了蝗虫精子的形成过程。他发现染色体是各具独特形态的实体；体细胞中染色体成对存在，且每对染色体中的一条来自母方，另一条来自父方，就是说在产生后代时，父母双亲各自传递给后代一对染色体中的一条，染色体的这种行为，与当时人们认识到的基因（当时称为遗传因子）的行为一致。由此猜测，染色体可能是基因的载体，并提出了基因位于染色体上的假说。



图 1-3 萨顿

1909 年，美国遗传学家摩尔根 (T. Morgan) 通过果蝇眼色的杂交实验，首次证明了基因在染色体上。随后摩尔根和他的学生通过十多年的研究，证实了基因在染色体上呈线性排列(图 1-4)。也就是说，染色体是基因

的载体，遗传物质在染色体上。但遗传物质究竟是什么，还不得而知。

二、DNA 是遗传物质

虽然当时已经知道染色体的成分主要是 DNA 与蛋白质，但由于生物体固有的复杂性及当时研究技术的限制，对遗传物质的确定，很长时间找不到下手之处。



经典再现

探索遗传物质的经典实验

起初，大多数科学家认为，蛋白质千变万化的氨基酸排列顺序可能蕴含着遗传信息，而 DNA 组成成分种类过少，难以担当储存大量遗传信息的重任。看来要解决什么是遗传物质这个问题，还有赖于精确而可靠的实验证据。

[资料 1] 1928 年，英国科学家格里菲思（F. Griffith）发现了肺炎链球菌的转化现象。肺炎链球菌有 2 种类型：一种菌体无多糖类的荚膜，没有毒性，菌落粗糙，称为 R 型；另一种菌体有多糖类构成的荚膜，有毒性，菌落光滑，称为 S 型。S 型肺炎链球菌可以使人患肺炎或使小鼠患败血症。格里菲思用肺炎链球菌感染小鼠，实验过程及结果如图 1-5。格里菲思认为加热杀死的 S 型菌体内的某种物质可使 R 型菌转化为 S 型菌，并将这种物质称为“转化因子”。

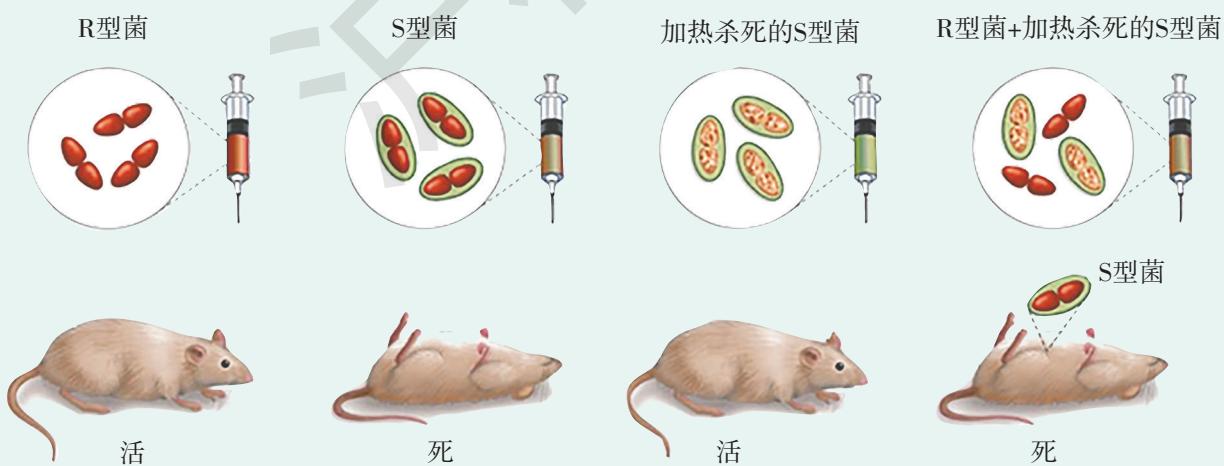


图 1-5 肺炎链球菌体内转化实验

[资料 2] 1944 年，美国科学家埃弗里（O. Avery）和他的同事们宣布 S 型菌体内具有转化活性的物质为 DNA。他们首先对 S 型菌的粗提取液进行多次分离和提纯，并测定提纯物的转化能力。在不断纯化并检测剩余提取物的转化能力后，对最

后仍具有转化能力的提取物进行了理化性质的分析和鉴定，其结果均指向了同一物质——脱氧核糖核酸。为进一步确定该物质，他们用不同的酶去破坏该物质的生物活性，结果表明胰蛋白酶、核糖核酸酶等对该物质的生物活性无影响，但脱氧核糖核酸酶可以使该物质失去转化能力。

[资料3] T2噬菌体是一种专门寄生在大肠杆菌体内的DNA病毒，由蛋白质外壳与DNA构成。1952年，美国科学家赫尔希（A. Hershey）和蔡斯（M. Chase）用³⁵S或³²P标记的T2噬菌体分别侵染大肠杆菌，一定时间后搅拌，使吸附在大肠杆菌外表的噬菌体与大肠杆菌分离，再经离心处理使大肠杆菌留在沉淀物中，并检测上清液和沉淀物的放射性。³⁵S标记实验的结果是，放射性主要集中在上清液；³²P标记实验的结果是，放射性主要集中在沉淀物（图1-6）。

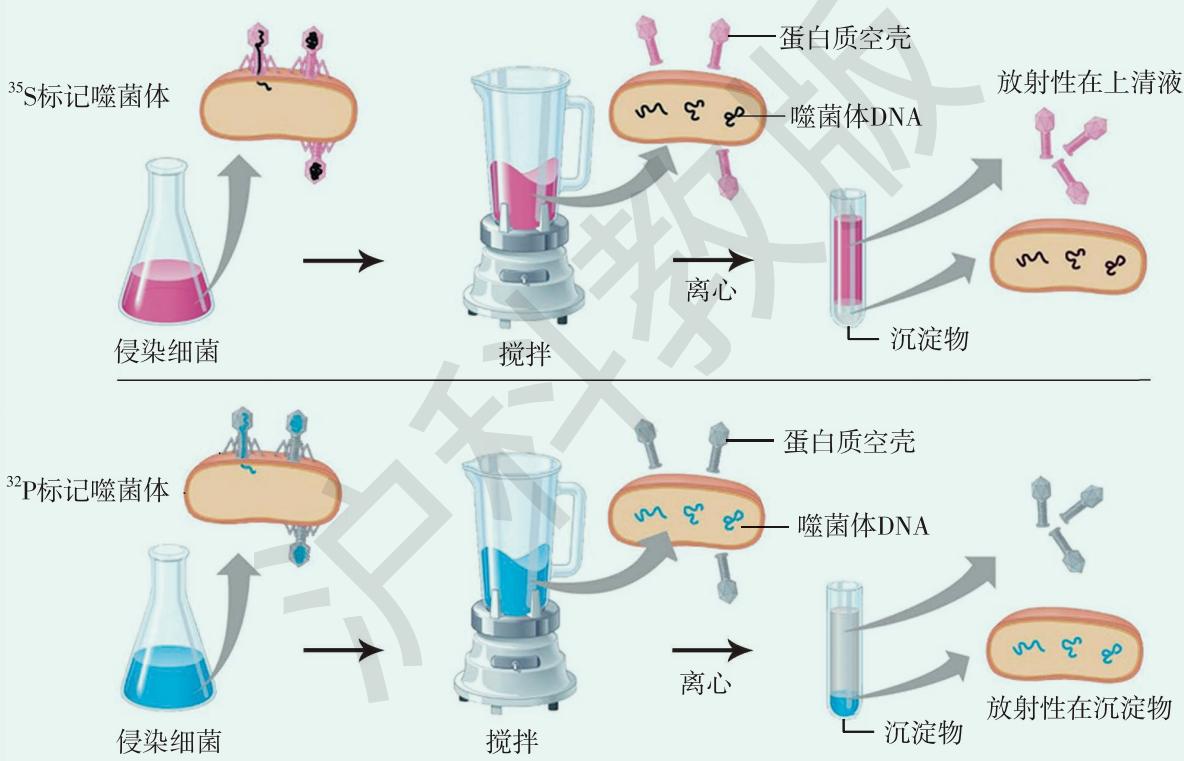


图 1-6 T2 噬菌体侵染实验

分析讨论

- 根据肺炎链球菌转化实验结果，格里菲思认为存在“转化因子”，转化因子的作用是什么？
- 埃弗里对转化因子的分析和鉴定，用到了哪些方法？推测埃弗里进行提纯物转化能力测定时，观测指标是什么？该实验证明了什么？
- 资料3中³⁵S和³²P分别标记的是何种物质？它们分别是T2噬菌体的哪一结构？标记的目的是什么？
- 为什么说噬菌体侵染细菌实验能证明DNA是遗传物质？该实验在设计上有什么巧妙之处？

通过肺炎链球菌小鼠体内转化实验，格里菲思发现了转化现象，认为导致R型菌发生转化的是S型菌的某种物质。埃弗里通过不断提纯S型菌的组成物质并检测其转化能力，发现S型菌体内具有转化活性的物质是DNA。由于埃弗里实验中提纯的DNA仍含有少量蛋白质，因此一直有人怀疑其结论。直到噬菌体侵染细菌实验成功后，质疑的声音才消失。因为噬菌体侵染细菌时，注入细菌细胞内的只是噬菌体的DNA，蛋白质外壳留在外面。因此，决定子代噬菌体DNA及蛋白质外壳的是DNA，DNA是遗传物质。

阅读空间

噬菌体侵染细菌的过程

在能侵染大肠杆菌的噬菌体中，T2噬菌体是研究得最多的一种。噬菌体侵染细菌时，先吸附在大肠杆菌细胞表面，然后将DNA注入细菌细胞内，蛋白质外壳留在细菌体外。随后噬菌体DNA指导宿主细胞利用细胞内的物质及能量系统，合成大量的噬菌体DNA与蛋白质，并组装成子代噬菌体。最后宿主细胞裂解，释放出大量与亲代噬菌体完全相同的子代噬菌体（图1-7）。

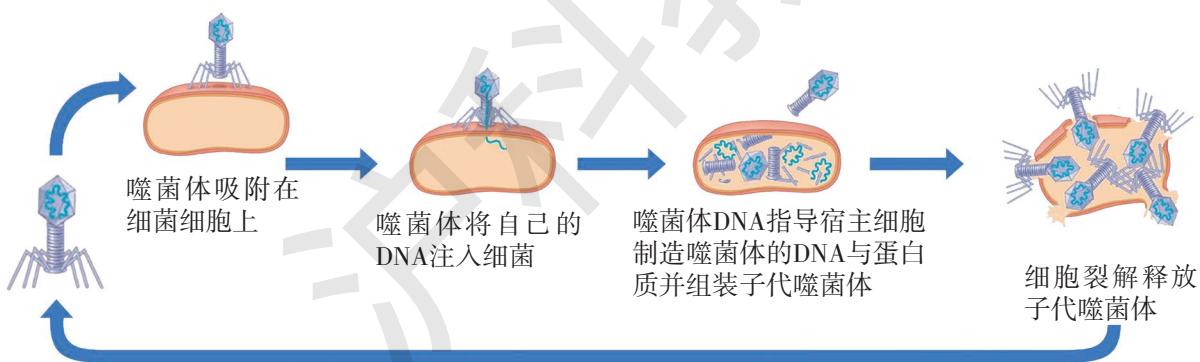


图1-7 噬菌体侵染细菌过程示意图

三、少数病毒的遗传物质是RNA

在自然界，所有的动物、植物以及细菌、蓝细菌等具细胞结构的生物均含有DNA，其遗传物质都是DNA。病毒没有细胞结构，通常由核酸与蛋白质外壳构成。依据病毒体内核酸的种类，可将病毒分为DNA病毒和RNA病毒。大多数病毒是DNA病毒，如T2噬菌体；少数病毒不含有DNA，而含有RNA，如烟草花叶病毒、流感病毒和艾滋病病毒（HIV）。

科学家从患烟草花叶病的烟草叶片中提取出一些病毒后，将其组成物质分离提纯，分别侵染健康的烟草，实验结果证明烟草花叶病毒的遗传物质是 RNA（图 1-8）。

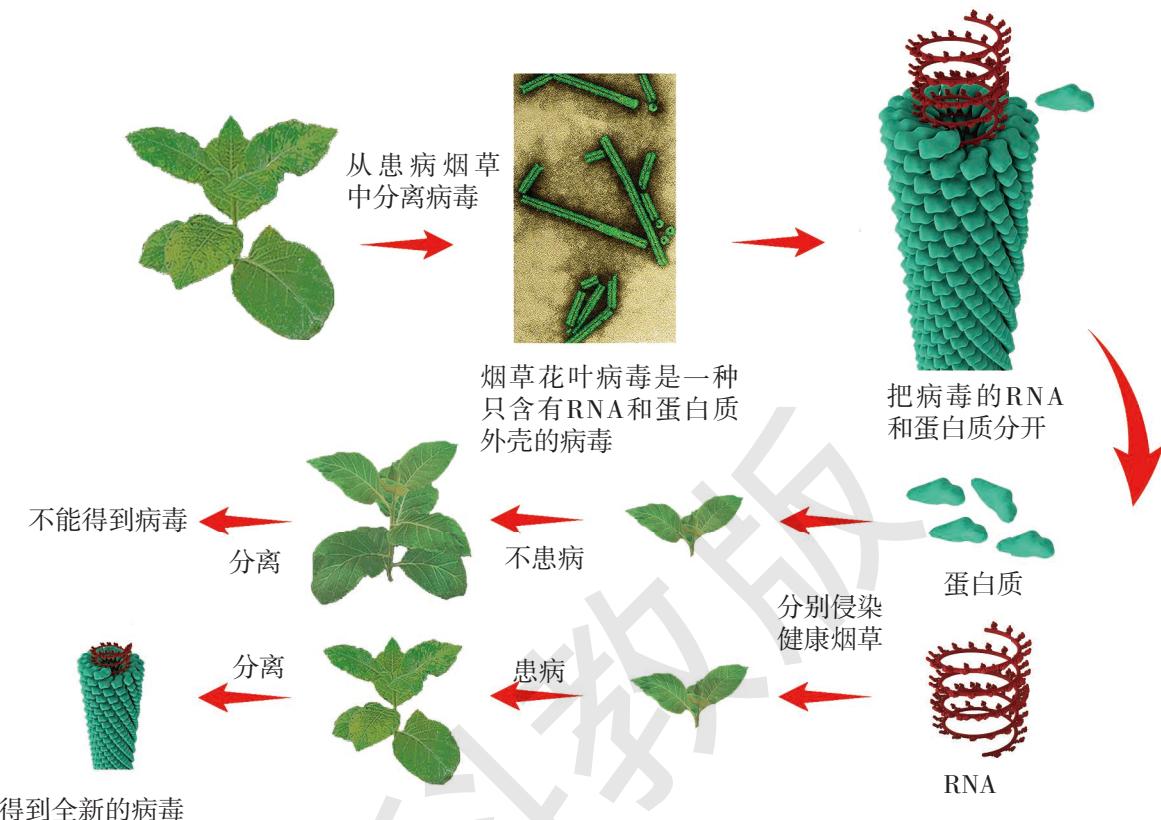


图 1-8 烟草花叶病毒组分单独侵染烟草实验

大量科学实验证明，大多数生物都是以 DNA 作为遗传物质，只有少数不含 DNA 的病毒，它们的遗传物质是 RNA。因此，DNA 是主要的遗传物质。

学业检测

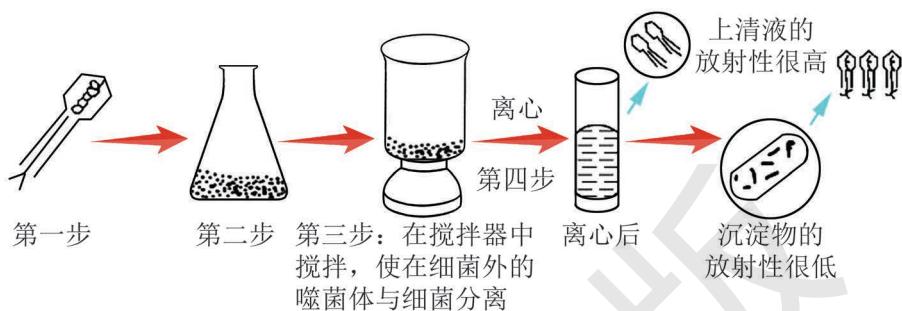
1. 1928 年，英国科学家格里菲思以小鼠为实验材料做了如下实验：

	第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 4 组
实验处理	注射活的 R 型菌	注射活的 S 型菌	注射加热杀死的 S 型菌	注射活的 R 型菌与加热杀死的 S 型菌
实验现象	小鼠不死亡	小鼠死亡，从小鼠体内分离出 S 型活细菌	小鼠不死亡	小鼠死亡，从小鼠体内分离出 S 型活细菌

下列关于此实验的分析，不正确的是（ ）。

- A. 实验的关键现象是第 4 组小鼠死亡并分离出 S 型活细菌
- B. 对第 4 组实验的分析必须以 1—3 组的实验为参照
- C. 本实验说明 R 型肺炎链球菌发生了某种类型的转化
- D. 本实验结论为“DNA 是使 R 型菌转化为 S 型菌的转化因子”

2. 1952 年，赫尔希和蔡斯利用同位素标记法，完成了著名的噬菌体侵染细菌的实验，下图是实验的部分过程：



(1) 请完善以上实验的部分操作过程：

第一步：用³⁵S 标记噬菌体的蛋白质外壳。如何实现对噬菌体的标记？请简要说明实验的设计思路：_____。

第二步：用³⁵S 标记的噬菌体去侵染没有被放射性标记的 _____。

第三步：一定时间后，在搅拌器中搅拌，再进行离心。

(2) 噬菌体侵染细菌之后，合成新的噬菌体 DNA 和蛋白质外壳的原料来自 _____。

(3) 如果只有图中实验结果并不能说明遗传物质是 DNA，请完善设计：_____。

3. 在人类探索遗传物质的历史进程中，关于蛋白质和 DNA 到底哪一种才是遗传物质的争论持续了很长时间，经过多位科学家的努力探索，人们终于确定了 DNA 才是遗传物质。请结合遗传物质的探索历史，分析作为遗传物质的 DNA 应该具备哪些特点？

第二节 DNA 分子的结构

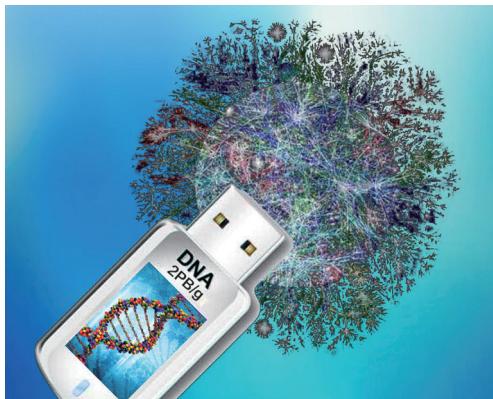


图 1-9 DNA 存储器

科学家发明了一项以 DNA 为介质的数据存储新技术(图 1-9)。与现有的各类存储介质相比, DNA 能够储存更多的信息。DNA 作为生物的遗传物质, 能够携带大量控制生物生长、发育和繁殖的遗传信息, 这是由 DNA 分子的特定结构决定的。为什么 DNA 分子特定的结构适合于储存遗传信息? 遗传信息以什么形式储存在 DNA 分子上? DNA 分子是如何保证遗传信息稳定保存的?

一、DNA 分子由四种脱氧核苷酸构成

科学家用 DNA 酶处理 DNA 得到 4 种脱氧核苷酸, 即 DNA 由 4 种脱氧核苷酸构成。每个脱氧核苷酸由一分子脱氧核糖、一分子含氮碱基和一分子磷酸结合而成, 含氮碱基与磷酸基团分别连接在脱氧核糖上。

组成脱氧核苷酸的含氮碱基有 4 种, 分别是腺嘌呤(A)、鸟嘌呤(G)、胞嘧啶(C)和胸腺嘧啶(T)(图 1-10)。由于所含碱基不同, 脱氧核苷酸也就有 4 种, 分别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。DNA 分子就是由这 4 种脱氧核苷酸以一定的顺序聚合形成的大分子化合物。

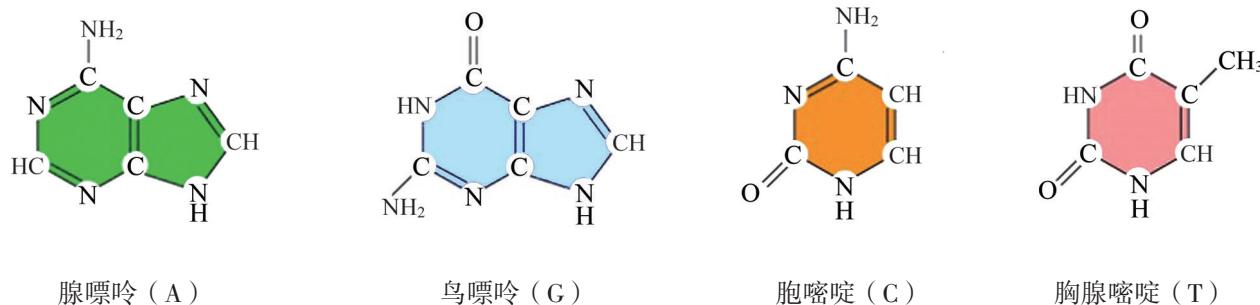


图 1-10 4 种含氮碱基

二、DNA 分子具双螺旋结构 >>

DNA 分子是由 4 种脱氧核苷酸按一定顺序连接而成的生物大分子，具有特定的空间结构，能够储存遗传信息。所以，揭示 DNA 分子结构就成为遗传学的核心问题。



经典再现

DNA 分子结构模型的建立

DNA 分子的空间结构究竟是怎样的？这一具有伟大科学价值的研究课题吸引了许多国家的科学家，他们前赴后继，克服重重困难，为揭开这一重要生命物质的神秘面纱，付出了坚持不懈的努力。

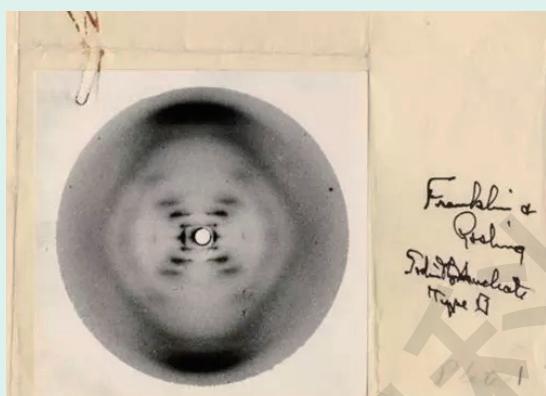


图 1-11 DNA 的 X 射线衍射图及富兰克林的签名

[资料 1] 英国女科学家富兰克林(R. Franklin)运用 X 射线衍射技术研究 DNA 结构时，于 1951 年获得了一幅衍射图像(图 1-11)。这幅图对建立 DNA 分子的结构模型起到了至关重要的作用。

[资料 2] 20 世纪 40 年代，科学家发现不同物种的 DNA 分子中碱基数目及比例有差异，但同一生物体内不同细胞的 DNA 分子中碱基数目及比例相同。表 1-1 是当时测定的几种生物 DNA 分子中 4 种碱基的数量关系。到 50 年代，科学家已

确定，在 DNA 分子中，碱基 A 的数量等于碱基 T 的数量，碱基 G 的数量等于碱基 C 的数量。

表 1-1 几种生物 DNA 分子中的 4 种碱基

	碱基组成(%)				碱基比例			
	A	G	C	T	A/T	G/C	(A+G) / (T+C)	(A+T) / (G+C)
人	30.9	19.9	19.8	29.4	1.05	1.01	1.03	1.52
鸡	28.8	20.5	21.5	29.2	0.99	0.95	0.97	1.38
海胆	32.8	17.7	17.3	32.1	1.02	1.02	1.02	1.85
酵母菌	31.3	18.7	17.1	32.9	0.95	1.09	1.00	1.79
大肠杆菌	24.7	26	25.7	23.6	1.05	1.01	1.03	0.93

[资料3] 美国科学家沃森 (J. Watson) 和英国科学家克里克 (F. Crick) 以富兰克林等人提供的 DNA 衍射图像的有关数据为依据, 推算出 DNA 分子呈螺旋结构。他们尝试构建了各种不同的结构模型, 但很快就被否定。直到 1952 年, 他们从其他科学家那里了解到 DNA 分子中碱基数量的规律, 才终于成功构建了 DNA 双螺旋结构模型(图 1-12), 并于 1953 年在英国《自然》杂志上发表, 论文标题为“核酸的分子结构——脱氧核糖核酸的一个结构模型”。

分析讨论

- 通过以上资料, 你认为现代科学的发展具有哪些特点?
- 表 1-1 显示出 DNA 分子中各种碱基的数目比例有什么规律? 如何解释这种规律?
- 若 2 个生物的 DNA 中碱基数 $(A+T)/(G+C)$ 值相同, 能说明它们是同种生物吗?
- 依据 DNA 分子结构模型, 思考一下 DNA 分子作为遗传物质具有哪些特征。

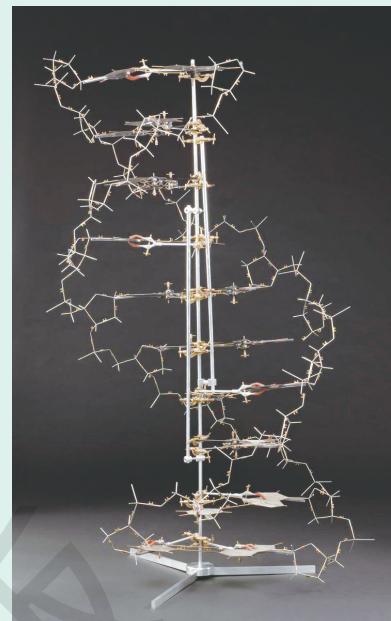


图 1-12 DNA 结构模型

DNA 双螺旋结构模型的主要特点是: (1) DNA 分子通常由 2 条碱基互补配对的反向平行长链形成双螺旋结构; (2) 双螺旋结构中, 脱氧核糖和磷酸交互连接形成的长链排列在分子外侧, 构成 DNA 分子的骨架, 碱基对位于双螺旋结构的内侧; (3) 碱基对之间通过氢键相连, 并遵循碱基互补配对原则, 即腺嘌呤与胸腺嘧啶互补配对, 鸟嘌呤与胞嘧啶互补配对 (图 1-13, 图 1-14)。

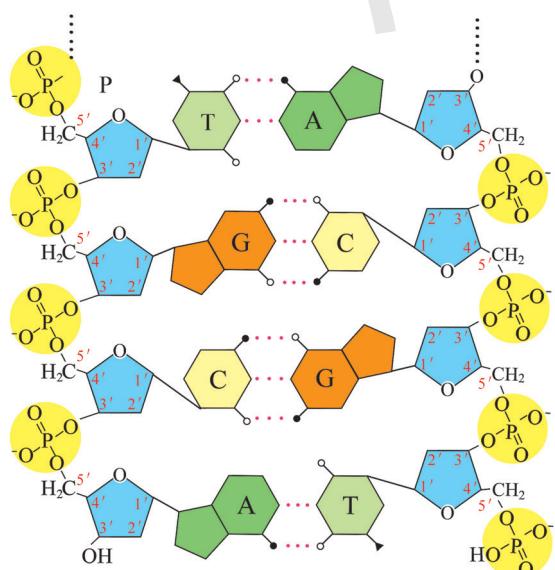


图 1-13 DNA 分子平面结构示意图

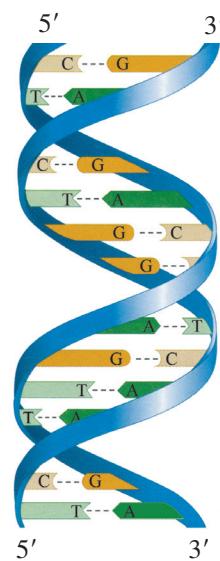


图 1-14 DNA 双螺旋结构示意图



模型建构

构建 DNA 双螺旋结构模型

DNA 分子很小，双螺旋直径为 2nm，不到成年人头发直径（约 70 μm ）的 1/30 000。模型建构可帮助我们直观地认识其结构及特点。

目的要求

通过构建 DNA 分子结构模型，加深对 DNA 双螺旋结构的直观认识和理解。

材料用具

质地较硬、易切的常见生物材料，如各色萝卜、马铃薯等；刀、牙签、瓶盖、订书针等。

活动程序

- 制作模型前先进行小组讨论，进行模型的总体设计。主要解决以下问题：
 - 需要选取几种材料？分别制成什么形状以代表 DNA 的各个组分？
 - 各组分间应当在什么位置相互连接？
- 将所用材料洗净、晾干，用刀切成约 5mm 厚的小片。
- 制作各种组分的模型，同时，确定每种组分模型需要制作的数量。
- 用一定方式，将分别代表磷酸基团、脱氧核糖和碱基的组分模型连接成一个个脱氧核苷酸分子（图 1-15）。
- 将单个脱氧核苷酸模型在桌面上排成纵列，依下图中的方式将它们串连成 DNA 分子单链模型（图 1-16）。



图 1-15 制作材料、工具、半成品



图 1-16 DNA 分子单链模型

- 以做好的单链为模板，按照碱基互补配对原则，将其余脱氧核苷酸模型排列在已经做好的单链一侧，注意 2 条链要反向平行。再将它们彼此纵向连接，然后将各碱基对以一定方式连接，制作成 DNA 分子平面模型（图 1-17）。



图 1-17 DNA 平面模型

7. 2名同学分别握住模型两端左右旋转，展示DNA的双螺旋结构（图1-18）。若组分间连接不牢导致模型松散，展示前可对模型各连接处进行加固。

分析讨论

1. 最初制成的代表各组分的小模型是否正好用完？这表明DNA分子中各组分的数量关系如何？
2. 在制作时如何保证DNA同种组分的形状相同？是否用到模具（如以瓶盖为模具制作磷酸基团模型）？模具在制作中可发挥怎样的作用？
3. 模型怎样体现DNA双链是反向平行的？
4. 对比各组制作的模型，构成DNA的碱基数量和碱基序列是否相同？这能反映DNA结构的什么特点？
5. 通过对构建DNA分子结构模型过程的认识，说说构建模型对科学发展有什么意义？



图1-18 展示制作好的DNA双螺旋模型

阅读空间

DNA空间结构的多样性

科学家构建的DNA双螺旋模型，指的是2条脱氧核苷酸链反向平行盘绕所形成的双螺旋结构。在真核生物中，此双螺旋结构多是线性（或链状）的，并且细胞核中的DNA与组蛋白等组成染色质；在原核生物中DNA常为环状（图1-19），且不与蛋白质结合成染色质；少数病毒还具有单链DNA。有报道称发现三链甚至四链DNA。

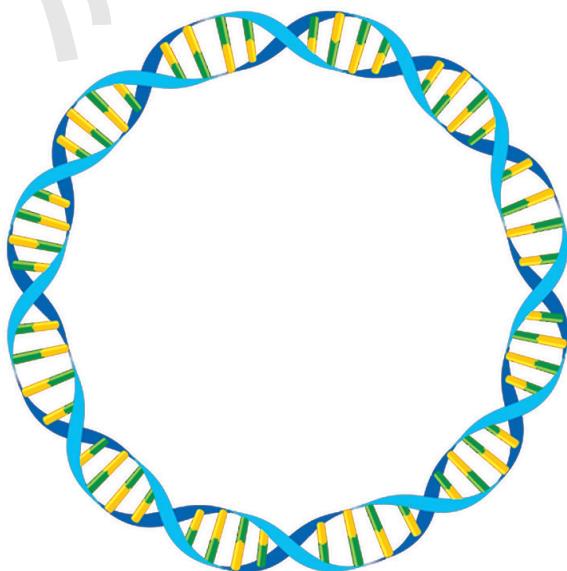


图1-19 环状DNA示意图

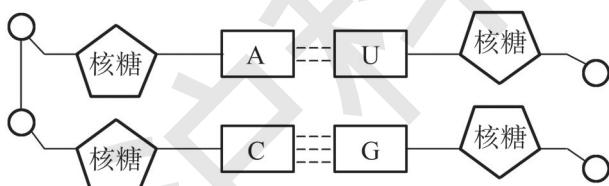
DNA 分子由 2 条反向平行长链形成双螺旋结构，2 条链之间严格地遵循碱基互补配对原则，这对 DNA 分子结构的稳定起到重要作用。DNA 分子中碱基的排列顺序编码了遗传信息，碱基的排列顺序千变万化，若一个 DNA 分子有 n 个碱基对，则可能出现的排序为 4^n 种，从而能够携带大量的遗传信息，这体现出 DNA 分子作为遗传物质的多样性。而每个 DNA 分子特定的碱基排列顺序，又构成了 DNA 分子的特异性。

学业检测

1. 经过多位科学家的研究，人们终于揭开了遗传物质——DNA 结构的神秘面纱。下列关于 DNA 分子结构的叙述，正确的是（ ）。

- A. 每一个脱氧核糖均连接有 2 个磷酸基团
- B. 碱基对一定是由一个嘌呤和一个嘧啶构成
- C. 2 条链中嘌呤碱基的数目相同
- D. 不同的 DNA 分子中碱基的种类不同

2. 下图为某同学在学习 DNA 的结构后画的 DNA 片段（其中○表示磷酸基团），另外几位同学对其进行了评价，其中正确的是（ ）。



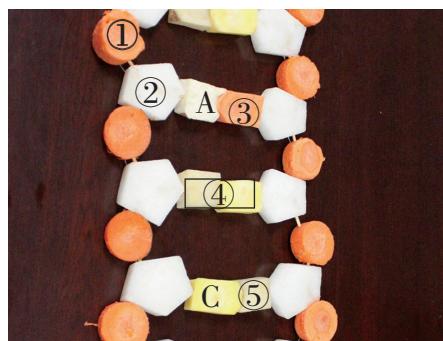
- A. 该图没有物质和结构上的错误
- B. 该图有一处错误，就是碱基 U 应改为 T
- C. 该图有 3 处错误，其中核糖应改为脱氧核糖
- D. 如果说他画的是 RNA 双链，则该图就是正确的

3. DNA 作为生物的主要遗传物质，其特定的分子结构决定了它能携带大量遗传信息。假设某 DNA 分子的 2 条链分别为 m 链和 n 链

(1) 若在 m 链中， $(A+G)/(T+C)=a$ 。则在 n 链中，这种比例是 _____，在整个 DNA 分子中，这种比例是 _____。

(2) 若在 m 链中， $(A+T)/(G+C)=b$ 。则在 n 链中，这种比例是 _____，在整个 DNA 分子中，这种比例是 _____。

4. 下面是在“构建 DNA 双螺旋结构模型”活动中，某同学动手制作的模型。请在图的右侧写出图中①—⑤对应的结构名称。



- ① _____
② _____
③ _____
④ _____
⑤ _____

图中碱基 A 与③通过 _____ 键相连；①、②、A 组成的物质叫作 _____。
DNA 分子是由 2 条反向平行的 _____ 形成的双螺旋结构。

第三节 DNA 分子的复制

2002年初，随着首批成年体细胞克隆牛降生，我国成为掌握体细胞克隆牛关键技术的少数国家之一（图1-20）。图中5头牛的外貌极为相似，是缘于胚胎分割技术。应用胚胎分割技术可以获得双胎或多胎动物，从而快速繁育优良牲畜。这些小牛是由同一个受精卵经细胞分裂而来。由于分裂过程中的DNA复制，它们具有相同的遗传信息，表型几乎完全相同。那么，DNA复制发生在什么时期？它是如何保证遗传信息准确复制的？这与DNA分子的结构特点存在怎样的关系？



图1-20 我国的首批克隆牛

一、DNA分子的复制是半保留式的

在DNA双螺旋结构模型公布后不久，科学家就提出了DNA以半保留方式复制（semi-conservative replication）的假说，即以原有DNA双链分子中的2条单链分别作为模板，根据碱基互补配对复制出另一条单链，产生的子代DNA双链分子中，一条单链是完整保留下来的母链，另一条单链是新合成的互补链。



经典再现

DNA分子半保留式复制的证明

半保留复制在当时只是一种假说，正确与否，还需要实验来证明。

[资料1] 1957年，美国科学家泰勒（J. Taylor）用含³H胸苷培养蚕豆根尖细胞一个有丝分裂周期，采用放射自显影技术，可以观察到每个姐妹染色单体都能显影。随后将标记的根尖移入普通培养液中，使其再经过一个细胞周期，观察到染色体中一条单体可显影，另一条单体不显影。

[资料2] 1958年，科学家用以¹⁵NH₄Cl为唯一氮源的培养基培养大肠杆菌，使其DNA中的N元素为¹⁵N，变成“重”分子，然后提取其DNA样本，用密度梯度

离心法进行沉降实验，此 DNA 沉降于较低部，称为重带。而如果以 $^{14}\text{NH}_4\text{Cl}$ 为唯一氮源的培养基培养大肠杆菌，其 DNA 中的 N 元素为 ^{14}N ，由于密度较小，离心后 DNA 沉降带偏上，叫作轻带。将大肠杆菌用 $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ 为唯一氮源的培养基长时间培养，然后转入以 $^{14}\text{NH}_4\text{Cl}$ 为唯一氮源的培养基培养，沉降实验结果如图 1-21 所示。

[资料 3] 电子显微镜在生物学上的广泛应用，为许多亚显微水平的研究提供了充分的证据。电镜下可清晰地观察到 DNA 复制过程中出现复制环（图 1-22）。

分析讨论

1. 资料 1 的实验为什么能证明半保留式复制？
2. 资料 2 中子一代 DNA 为什么均沉降于中带？子二代 DNA 为何分别沉降于轻带和中带？
3. 沉降实验的结果说明 DNA 以何种方式进行复制？
4. 技术进步对科学发展有何意义？

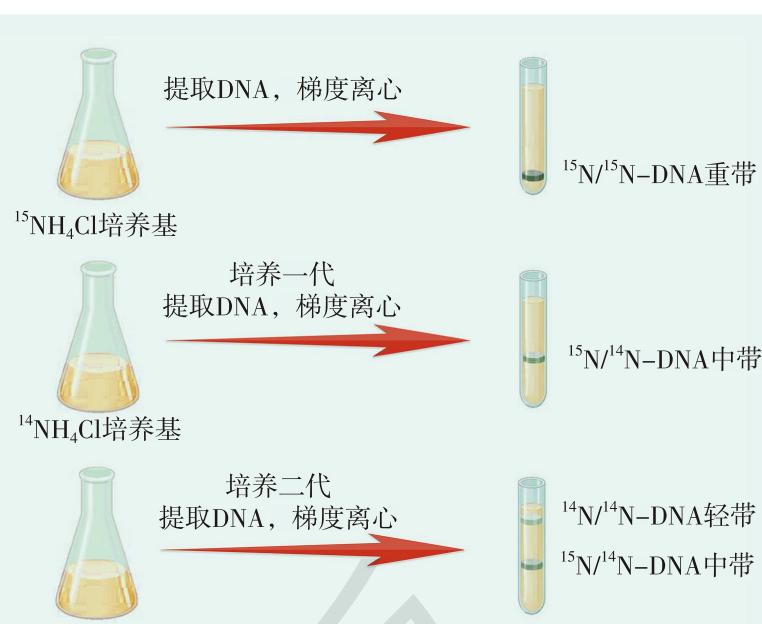


图 1-21 DNA 沉降实验



图 1-22 电镜下的 DNA 复制瞬间

遗传信息控制生物的性状，并代代相传，为此，必须有一套完备的遗传物质复制系统。大量实验证明，DNA 分子通过半保留方式进行复制，这种复制方式保证了遗传信息能够准确地由亲代传递给子代。

二、DNA 分子复制的过程

DNA 分子的复制（replication）是指以亲代 DNA 分子为模板合成子代 DNA 的过程。这一过程主要发生在细胞有丝分裂的间期和减数第一次分裂前的间期。

DNA 复制时，首先，在解旋酶的作用下，DNA 分子的 2 条脱氧核苷酸长链解螺旋。然后，分别以解开的每一条链为模板，以游离的 4 种脱氧核苷酸为原料，按照碱基互补配对原则，游离的脱氧核苷酸上的碱基与模板链上的碱基互补配对，随即在 DNA 聚合酶等参与下，合成分别与 2 条母链互补的 2 条子链。随着解旋过程的进行，新合成的子链不断延伸，紧接着每条子链与其对应的模板链盘绕成双螺旋结构，从而各形成一个新的 DNA 分子。这样，复制结束后，一个 DNA 分子就形成了 2 个完全相同的 DNA 分子（图 1-23）。复制过程需要消耗能量。

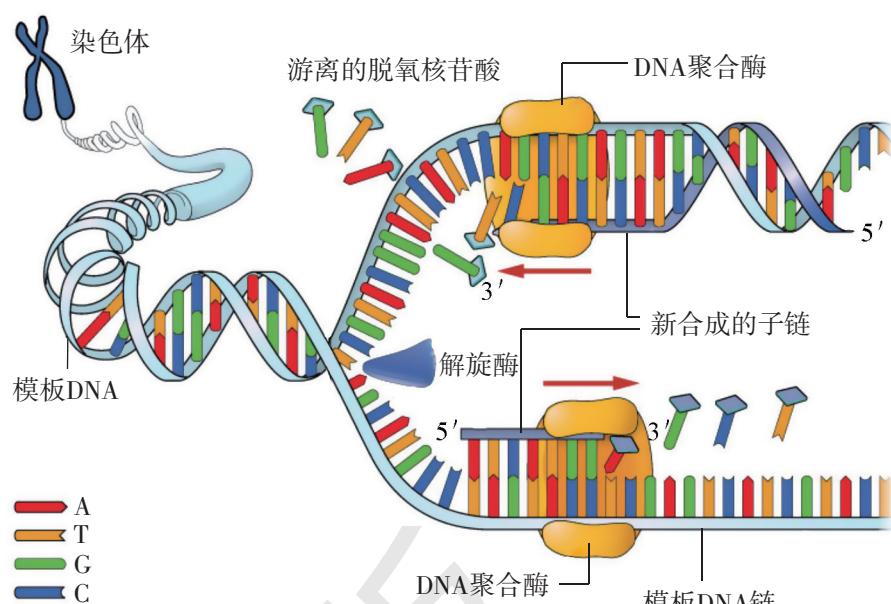


图 1-23 DNA 复制过程示意图

阅读空间

DNA 复制具有方向性

由于 DNA 聚合酶具有专一性，而 DNA 的 2 条链是反向平行的，所以在复制时一条子链的合成是连续进行的，而另一条子链的合成是反向不连续进行的。多数生物细胞内 DNA 的复制都是从固定的起点开始双向进行的。DNA 聚合酶只能延长已存在的 DNA 链，不能从头合成 DNA 链，所以 DNA 复制时，往往先由 RNA 聚合酶在 DNA 模板上合成一段 RNA 作为复制的引物，DNA 聚合酶就以此为起点。

真核生物 DNA 的复制从多个起点开始进行，使得复制能在较短时间内完成。原核生物 DNA 大多只有一个复制起点。

思维训练

根据已知对未知提出假说

DNA 分子半保留复制方式遵循碱基互补配对原则，使 DNA 分子双链互补。而自然界中个别病毒只具有单链的 DNA 分子，侵入宿主细胞后，单链 DNA 如何进行复制？请试着对此提出假说。

DNA 分子复制的原理是碱基互补配对，复制时边解旋边复制，即解旋酶仍在解旋，已经解旋了的 DNA 片段就开始在 DNA 聚合酶等的作用下进行复制，直至整个 DNA 复制完成。DNA 的精确复制保证了生物遗传的稳定性。

学业检测

1. 为研究 DNA 分子的复制方式，科学家将大肠杆菌放在含有同位素¹⁵N 的培养基中培养，若干代后，细菌 DNA 所含的 N 均为¹⁵N，它比¹⁴N 分子密度大。然后将大肠杆菌转移到¹⁴N 的培养基中培养，每增殖一代取样一次，提取 DNA 密度梯度离心，实验结果如图所示。请回答下列问题：

(1) 位于中带的 DNA 含有的 N 元素是 _____。

(2) 对第 4 代 DNA 进行密度梯度离心，位于中带的比例为 _____。

(3) 如果将第 2 代（全中）DNA 链的氢键断裂后进行密度梯度离心，这些 DNA 单链在试管中的分布位置是 _____，请将结果标于上图右边的试管内。

(4) 上述实验表明，DNA 复制的方式是 _____。

2. DNA 指纹技术正发挥着越来越重要的作用，在亲子鉴定、罪犯识别等方面是目前最为可靠的鉴定技术。请思考并回答下列有关 DNA 指纹技术的问题：

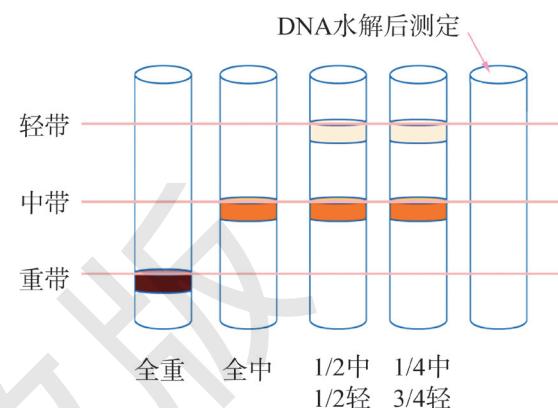
(1) DNA 亲子鉴定中，DNA 探针必不可少，DNA 探针实际是一种已知碱基顺序的 DNA 片段。请问：DNA 探针寻找基因所用的原理是 _____。

(2) 现在已知除了同卵双胞胎外，每个人的 DNA 是独一无二的，就好像指纹一样，这说明 _____。

3. 科学家用含³²P 的培养基培养细菌，随后用噬菌体感染这些细菌，结果子代噬菌体出现放射性。请回答下列问题：

(1) 应是子代噬菌体的 _____ 部位具有放射性，理由是 _____。

(2) 所有的子代噬菌体都有放射性吗？放射性强弱是否相同？为什么？



第四节 遗传信息的表达

“红珠斗帐樱桃熟，金尾屏风孔雀闲。”孔雀开屏是其生命篇章中极灿烂的瞬间，令人拍案叫绝（图 1-24）。“轻肌弱骨散幽葩，更将金蕊泛流霞。”菊花品种繁多，色艳群英，并被赋予清冷高洁的人文色彩。由 4 种脱氧核苷酸编码的遗传信息是如何在生命过程中发挥指令作用，从而创造出自然界中如此绚丽多彩、千姿百态的生物性状呢？



图 1-24 孔雀开屏

一、基因是核酸分子的功能片段

基因控制生物性状，并且摩尔根已经证明了基因位于染色体上，所以基因是一个化学实体，同时是控制生物性状的功能单位。



资料探究

分析基因与 DNA 的关系

直到目前，如何给基因下一个准确的定义，仍然是遗传学家们努力解决的问题之一。随着分子生物学技术和遗传学的发展，人们对基因本质有更进一步的认识和了解，这必将揭示和丰富基因的结构、功能的内容。基因概念也将会得到更新和发展。

[资料 1] 1909 年，英国医生加罗德（A. Garrod）研究尿黑酸尿症的致病原理时发现，患者由于基因缺陷而缺失尿黑酸氧化酶（图 1-25），因此尿黑酸不能被分解而在尿液中积累。患者排出的尿液在空气中被氧化而变成黑色。



图 1-25 尿黑酸代谢途径

[资料 2] 1978 年，科学家将哺乳动物体内与合成胰岛素有关的 DNA 分子片段剪切下来，移植到大肠杆菌体内，结果得到了能产生胰岛素的大肠杆菌新菌株。

[资料 3] 人类基因组计划的研究对象是人的 24 条染色体（22 条常染色体 +XY 染色体）。对这 24 条染色体的 DNA 进行碱基序列测定，发现大约共有 31.6 亿

个碱基对，约 2.0 万 ~ 2.5 万个基因，这些基因序列占 DNA 序列的约 2%。大肠杆菌拟核 DNA 分子约有 470 万个碱基对，分布着约 4400 个基因。

分析讨论

- 从上述哪个资料中可看出基因具有特定的功能？
- 细胞中的 DNA 分子数目远远少于基因数目，而基因数目又远远少于 DNA 的碱基对数目。据此分析基因与 DNA 具有怎样的关系？
- 人类基因约占 DNA 碱基序列的 2%，你认为其他 98% 的 DNA 碱基序列有什么功能？

近代遗传学认为，基因在染色体上有特定的位置，是一个可以从上一代传递到下一代的遗传信息的结构单位和功能单位。一个基因是控制合成一条有功能的多肽或 RNA 分子所必需的完整的一段核苷酸序列。一般来说，基因通过控制蛋白质的合成实现对生物性状的控制。但也有这样的情况，如脊椎动物的血红蛋白，它由 2 条 α 多肽链和 2 条 β 多肽链组成，分别由 2 个不同的基因控制合成。而对于某些基因序列，RNA 就是其终产物，譬如参与蛋白质合成过程中形成肽键的肽基转移酶、运输氨基酸的转运 RNA 等。概括地讲，多数生物的基因是 DNA 分子的功能片段。有些病毒（如烟草花叶病毒、流感病毒等 RNA 病毒）的基因是 RNA 分子的功能片段。大多数基因包括启动子、RNA 编码区和终止子（图 1-26），其中 RNA 编码区决定转录形成的 RNA 的碱基序列（详情见下页）。

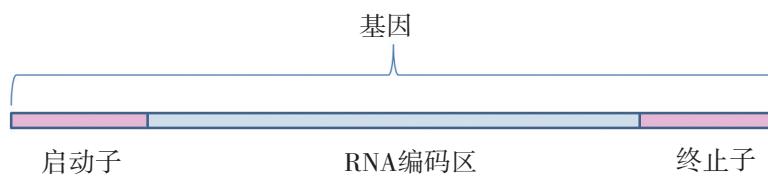


图 1-26 基因结构示意图

二、遗传信息指导蛋白质的合成 ➤

遗传信息的表达主要是通过控制蛋白质的合成实现的，此过程包括转录和翻译 2 个阶段。真核生物中，遗传信息的携带者 DNA 主要存在于细胞核中，而蛋白质的合成在细胞质中的核糖体上进行。就是说，遗传信息不能由 DNA 直接传递到蛋白质，而是需要另一种物质在 DNA 与蛋白质

之间充当信使，这种物质就是 RNA。即由 DNA 转录合成 RNA，RNA 直接指导蛋白质的合成。

与蛋白质合成过程直接有关的 RNA 有 3 类：（1）信使 RNA (mRNA)，它携带着从 DNA 分子转录来的遗传信息，是合成蛋白质的模板。研究表明，翻译过程中 mRNA 上 3 个相邻的碱基决定着蛋白质的一个特定的氨基酸。遗传学上把 mRNA 上这样相邻的 3 个碱基，称为密码子 (codon)。（2）转运 RNA (tRNA)，它的一端是氨基酸的结合部位，相对的一端有 3 个碱基决定着携带氨基酸的种类，并能与 mRNA 上特定的密码子配对，称为“反密码子” (anticodon)，每种 tRNA 只能携带一种特定的氨基酸（图 1-27）。（3）核糖体 RNA (rRNA)，它是核糖体的组成成分，同时催化肽键的形成。

转录合成 RNA 以 DNA 为模板，通过 RNA 聚合酶合成 RNA 的过程叫作转录 (transcription)。转录过程和 DNA 的复制过程极为相似，不同的是：以 DNA 分子片段中的一条链作为模板链，合成单链 RNA 分子，与模板链互补的另一条 DNA 分子链叫作非模板链。通过转录合成 mRNA 的过程如下：首先，RNA 聚合酶与基因中的启动子结合，DNA 双链解螺旋，依据碱基互补配对原则，4 种游离的核糖核苷酸与 DNA 模板链上的碱基互补配对。核糖核苷酸不含有碱基 T，与模板链上的碱基 A 配对的是碱基 U。在 RNA 聚合酶的作用下，这些与模板链互补的核糖核苷酸依次聚合形成 RNA 链。随着 RNA 聚合酶在 DNA 分子上移动，RNA 链不断延伸，并随之与模板链分离，DNA 双链恢复原双螺旋结构（图 1-28）。RNA 聚合酶转录至基因的终止子时，RNA 聚合酶脱离 DNA 分子，mRNA 合成完成。也就是说，

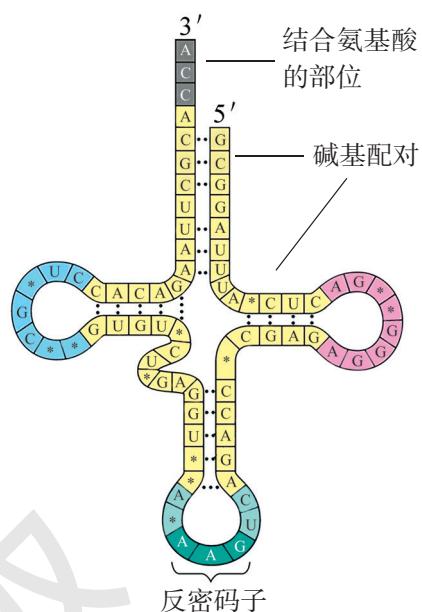


图 1-27 tRNA 结构示意图

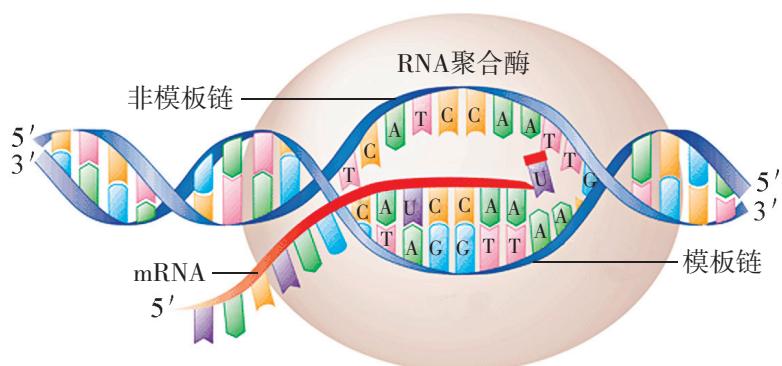


图 1-28 转录过程示意图

每次转录的只是 DNA 分子的特定片段，该片段携带着的遗传信息能准确地传递给 mRNA 分子。随后，mRNA 通过核孔进入细胞质，指导蛋白质的合成。

翻译合成蛋白质 蛋白质的合成是细胞中最复杂、最精确的生命活动之一。这是一个严格以 mRNA 为模板，以 tRNA 为运载工具，在核糖体上合成具有一定氨基酸序列的蛋白质的过程，称为翻译（translation）（图 1-29）。

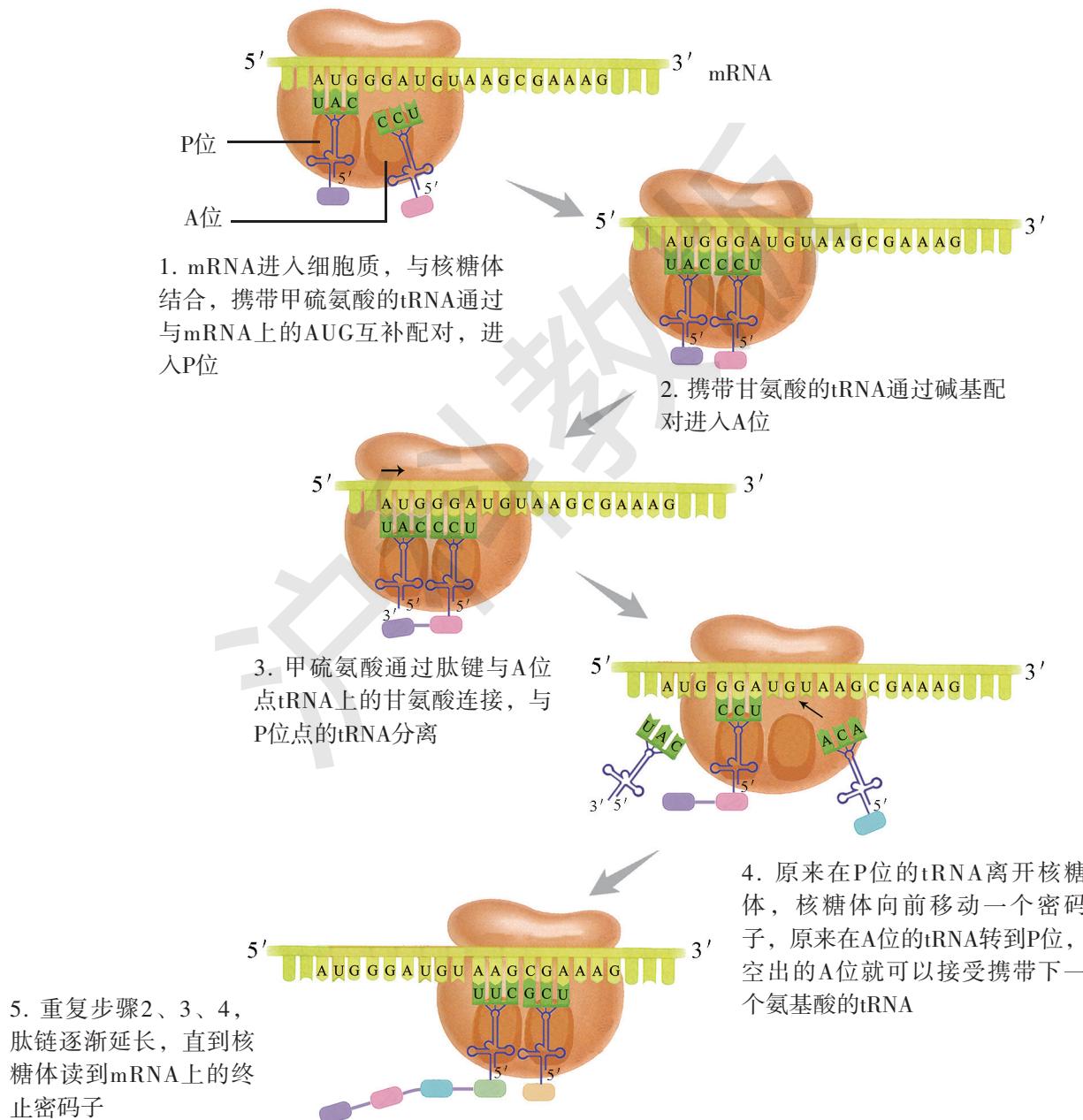


图 1-29 翻译过程示意图

1966年，科学家完成了全部遗传密码的破译，在64个密码子中，61个密码子对应20种氨基酸，还有3个是终止密码子。大量证据说明自然界绝大多数生物是照此遗传密码合成蛋白质的（表1-2）。

表1-2 密码子表

第一位碱基	第二位碱基				第三位碱基
	U	C	A	G	
U	苯丙氨酸	丝氨酸	酪氨酸	半胱氨酸	U
	苯丙氨酸	丝氨酸	酪氨酸	半胱氨酸	C
	亮氨酸	丝氨酸	终止密码子	终止密码子	A
	亮氨酸	丝氨酸	终止密码子	色氨酸	G
C	亮氨酸	脯氨酸	组氨酸	精氨酸	U
	亮氨酸	脯氨酸	组氨酸	精氨酸	C
	亮氨酸	脯氨酸	谷氨酰胺	精氨酸	A
	亮氨酸	脯氨酸	谷氨酰胺	精氨酸	G
A	异亮氨酸	苏氨酸	天冬酰胺	丝氨酸	U
	异亮氨酸	苏氨酸	天冬酰胺	丝氨酸	C
	异亮氨酸	苏氨酸	赖氨酸	精氨酸	A
	甲硫氨酸 (起始密码子)	苏氨酸	赖氨酸	精氨酸	G
G	缬氨酸	丙氨酸	天冬氨酸	甘氨酸	U
	缬氨酸	丙氨酸	天冬氨酸	甘氨酸	C
	缬氨酸	丙氨酸	谷氨酸	甘氨酸	A
	缬氨酸	丙氨酸	谷氨酸	甘氨酸	G

说明：少数原核生物也可用GUG作为起始密码子，编码甲硫氨酸。

在细胞质中，mRNA与核糖体结合并从起始密码子开始翻译，核糖体一边沿着mRNA移动，一边解读mRNA上的密码子。特定的tRNA通过反密码子与mRNA上的密码子互补配对，将其携带的特定氨基酸运达核糖体，2个氨基酸由肽基转移酶催化形成肽键。随着核糖体移动，游离的氨基酸一个接一个通过肽键加到肽链一端，肽链得以不断延长。当遇到mRNA上的终止密码子时，肽链合成终止，并从核糖体上释放出来。概括地说，翻译从mRNA的起始密码子开始，肽链不断延伸，直至终止密码子结束。然后，新合成的多肽链经过加工折叠，最后形成有特定结构和功能的蛋白质分子。

阅读空间

多聚核糖体

细胞中合成蛋白质的速度很快，其中一个主要原因是一个 mRNA 分子上的信息可由多个核糖体来解读，同时进行多条肽链的合成（图 1-30）。此时，多个核糖体串联附着在一条 mRNA 上，形成念珠状结构——多聚核糖体。从而，在少量 mRNA 的指导下就可高效合成大量的某种蛋白质。原核生物是单细胞生物，没有核膜及明显的核结构。原核生物基因表达时，转录尚未结束，核糖体就开始与 mRNA 结合，并开始翻译合成蛋白质。

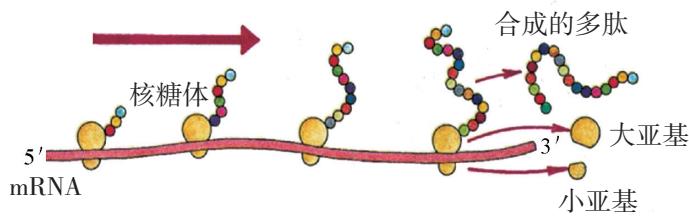


图 1-30 多个核糖体解读 mRNA

1957 年，克里克提出了中心法则，其要点是：“遗传信息无法从蛋白质传递至蛋白质或核酸。”在所有细胞中都会发生的事件是，遗传信息由 DNA 传递到 DNA，或由 DNA 传递到 RNA，然后决定蛋白质的特异性。后来科学家发现存在着以 RNA 为模板合成 DNA 的途径，称为逆转录，少数病毒的 RNA 也可复制（图 1-31）。

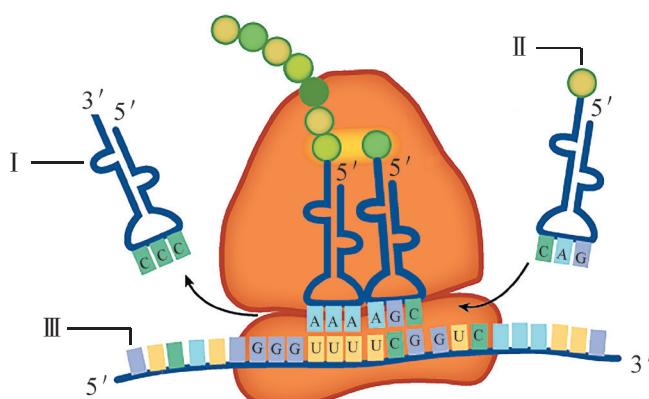


图 1-31 中心法则示意图

中心法则揭示了遗传信息的传递方向，反映了 DNA、RNA 和蛋白质之间的相互关系。基因的表达主要是通过控制蛋白质的合成实现的。通过转录，DNA 分子将遗传信息传递给 mRNA，再通过翻译传递给蛋白质。

学业检测

- 如图表示人体骨骼肌细胞内发生的某项生理过程，I、II、III代表相关物质，请回答下列问题：



(1) 该图表示蛋白质合成中的_____过程，图中Ⅰ表示_____, Ⅱ表示的是_____, Ⅲ表示_____。

(2) 该过程不会发生在人体的()。

- A. 乳腺细胞 B. 肝细胞 C. 成熟的红细胞 D. 神经细胞

(3) 请说出细胞内 RNA 的种类，并描述它们在蛋白质合成过程中发挥的作用。

2. 下表是珠蛋白基因表达过程中 DNA、RNA、蛋白质上相关信息的关系，请完成相关内容。

DNA (基因)	I 链				T						
	II 链		T		A		C				
mRNA	A	U	G								
tRNA 的反密码子						C	U	G			
蛋白质的氨基酸											
密码子									C	G	C

一些氨基酸的密码子：甲硫氨酸(AUG)、酪氨酸(UAC)、天冬酰胺(AAC)、亮氨酸(UUG)、亮氨酸(CUG)、天冬氨酸(GAC)、精氨酸(CGC)

3. 劳斯肉瘤病毒是一种能引起禽类患恶性肉瘤的病毒，其结构分为三层，外层为脂被膜，中层是蛋白质衣壳，内部含有遗传物质。研究人员破坏掉病毒的脂被膜后，将病毒分成两等份，分别加入培养有鸡胚细胞的A、B两个烧杯中。向A烧杯内加入用³H标记的4种脱氧核苷酸，40℃恒温条件下培养，发现放射性物质进入一种对RNA酶稳定但能被DNA酶破坏的物质中。向B烧杯中加入RNA酶，再重复上述实验，结果没有这种物质产生。

(1) A烧杯内合成的这种物质可能是_____，B烧杯内不能合成这种物质的原因是_____。该实验结果表明，劳斯肉瘤病毒的遗传物质可能是_____。

(2) 请推测劳斯肉瘤病毒遗传信息流动的具体过程。

第五节 基因与性状的关系

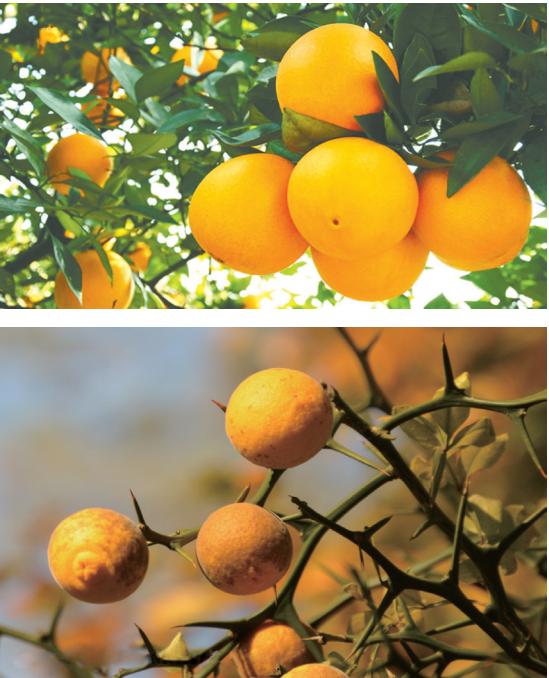


图 1-32 南橘（上）北枳（下）

“橘生淮南则为橘，生于淮北则为枳，叶徒相似，其实味不同。所以然者何？水土异也。”（图 1-32）像这种随环境不同，生物性状发生改变的例子非常普遍。北极附近生活着一种雷鸟，它们四季换羽，羽色多变，春夏季为灰褐色，秋季为黄栗色，冬季则为雪白色，在不同季节始终与环境保持一致。可见遗传信息对生物性状的控制，存在着复杂的调控机制。为什么相同的生物在不同的环境中会出现性状差异？基因、蛋白质、性状三者间究竟有怎样的关系？为什么生物在不同的发育阶段会先后出现不同的性状？

一、基因控制性状 ➤

大多数基因通过转录、翻译控制蛋白质的合成，蛋白质是生物性状的主要体现者，即基因通过控制蛋白质的合成从而控制生物的性状。



资料探究

探究基因、蛋白质、性状的关系

基因的碱基序列决定蛋白质的氨基酸序列，基因碱基序列的改变就可能导致所编码的蛋白质氨基酸序列改变，进而使蛋白质结构与功能改变，最终影响生物性状。

[资料 1] 囊性纤维化是美国高加索人中一种常见的遗传病，每 1800 个人中就有一个患者，每 25 个人中就有一个致病基因携带者。该病的病因是基因的碱基序列缺失了 3 个碱基，使得所编码的氯离子载体蛋白中少了一个氨基酸，导致细胞对氯离子的转运发生异常，造成黏液分泌过多，堵塞呼吸道，诱发感染。

[资料 2] 白化病患者体内缺乏黑色素，全身皮肤呈乳白或粉红色，毛发为白或淡黄色（图 1-33）。由于缺乏黑色素的保护，患者皮肤对光线高度敏感，日晒后易发生晒斑和各种光感性皮炎，并可发生基底细胞癌或鳞状细胞癌。白化病的患病原因是患者体内的酪氨酸酶缺乏或功能减退，使得黑色素不能正常合成（图 1-34）。



图 1-33 白化病患者

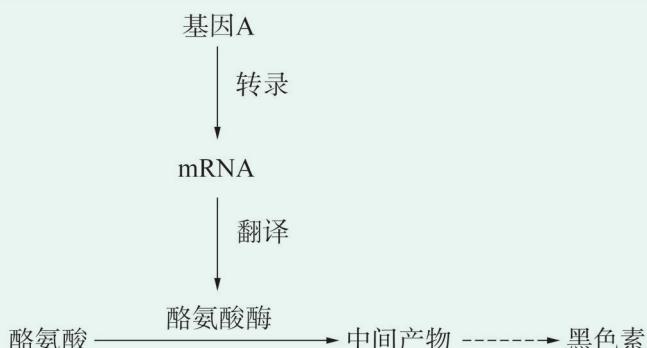


图 1-34 合成黑色素的代谢途径

分析讨论

1. 囊性纤维化的根本病因是什么？
2. 什么原因导致酪氨酸酶缺乏而患白化病？
3. 举 1—2 例说明基因的碱基序列改变对生物性状的影响。
4. 生活中总会接触到生理缺陷者，应该如何与之相处？

蛋白质是生命活动的主要承担者，且都是基因表达的产物，因此相关基因中碱基序列的变化可能导致蛋白质的结构和功能改变，从而影响生物性状。一方面，基因决定蛋白质结构，直接控制生物性状，如囊性纤维化是由于基因碱基序列改变，引起该载体蛋白缺少一个氨基酸，使得转运氯离子异常，患者呼吸道易发生感染，消化道吸收营养功能减退；另一方面，基因决定酶的合成，间接控制生物性状，如白化病是由于基因碱基序列改变而不能合成酪氨酸酶，最终使得皮肤等处的细胞缺乏黑色素。

基因与生物性状的关系并不都是一一对应的线性关系，有些性状可能由多对基因控制，如人的身高和体重；而有的基因可能影响多个性状，如控制豌豆花青素合成的基因，既控制花的颜色，又控制叶腋斑点和种皮色泽。环境也会影基因的表达，如玉米种子只在有光的条件下才可能发育成绿色幼苗。

二、基因选择性表达

科学家早就发现，将酵母菌培养在含有乳糖的培养基中时，酵母菌细胞内能产生利用乳糖的酶，把它们转移至不

含乳糖的培养基后，利用乳糖的酶就会消失。也就是说，酵母菌控制利用乳糖的酶的基因，只有乳糖存在时才发挥其功能——通过转录与翻译合成相应的酶。这样，酵母菌通过对基因表达的调控，使得细胞在需要的时间和空间产生相应的蛋白质。

多细胞生物的个体发育过程是通过细胞的分裂和分化实现的。同一个受精卵有丝分裂产生的子细胞，它们的基因组成相同，为什么会在结构与功能方面出现差异？在个体发育过程中，不同细胞中基因的表达情况是不同的，不同细胞表达合成各自特定的一组蛋白质，导致细胞形态、结构与功能出现差异，即细胞分化。如胰岛 B 细胞内合成胰岛素，组成人体眼睛的晶状体细胞合成晶状体蛋白，对于维持细胞基本结构与功能的核糖体蛋白在绝大多数细胞中均会合成。就是说，人体不同细胞具有相同的基因组成，但在不同的细胞中，各基因是否表达是有选择性的（图 1-35）。在胰岛 B 细胞、晶状体细胞和神经细胞这 3 种细胞中，编码核糖体蛋白的基因均有活性，胰岛素基因只在胰岛 B 细胞中有活性，晶状体蛋白基因只在晶状体细胞中有活性。而血红蛋白基因在这 3 种细胞中都没有活性，相关基因只在将要形成红细胞的细胞中才有活性。

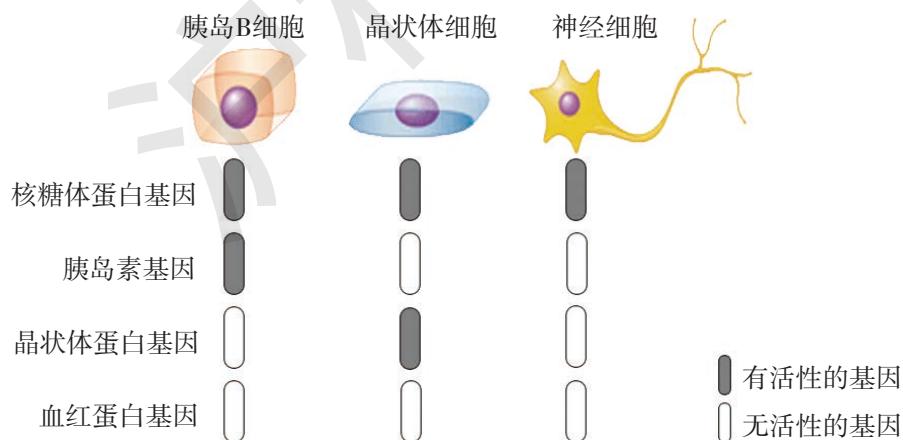


图 1-35 基因选择性表达

不同类型的细胞或不同发育阶段的细胞都含有相同的 DNA，即相同的基因组成，但并非所有的基因都表达。某类型的细胞在发育过程中的某个阶段表达一组特定的基因，其产物不仅决定细胞的形态结构，而且决定细胞的生理功能。

在细胞中的全部基因只是为生物体提供了生命活动的

蓝图，不同细胞在特定时空发生着基因的选择性表达。细胞分化的本质是基因选择性表达的结果，而这种选择性表达的调控机制极为复杂，其中涉及对染色体的修饰等表观遗传调控。

三、表观遗传现象 >>

关于细胞分化过程中的基因选择性表达是如何实现的，其中涉及近年来方兴未艾的表观遗传学（epigenetics）研究的重要方面。

同卵双胞胎来源于同一个受精卵，具有完全相同的DNA，从经典遗传学角度来说，两者应具有完全一样的表型，如体貌特征、生理特征及疾病易感性等。但事实并非如此，随着发育的进行，同卵双胞胎个体之间的差异会逐渐增大，“表观遗传”正是造成这种差异的重要原因之一。

各种环境因素可以通过不同的表观遗传机制影响基因的表达。研究人员选取遗传背景完全相同的大鼠幼崽，随机分为2组，分别由“负责任”母鼠（善于舔舐和清洁幼崽）和“不负责任”母鼠（不善于舔舐和清洁幼崽）抚养，结果幼鼠成年后对轻微社交刺激的反应明显不同（图1-36）。进一步研究得知，幼鼠应激反应的形成与皮质醇受体基因的表达有关，而2组鼠的基因序列是相同的，即DNA碱基序列没有发生变化，但由于母鼠关爱程度的差异造成基因表达模式改变，最终使得幼鼠成年后对外界刺激

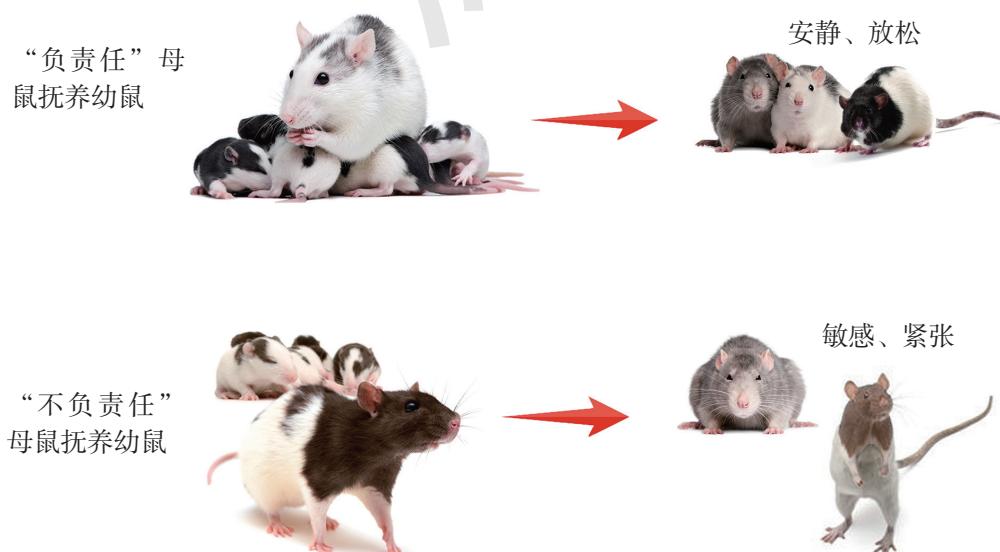


图 1-36 抚养条件对幼崽应激反应的影响

表现出不同的生理反应。这种 DNA 序列不变，而基因表达发生可遗传的变化的现象，称为表观遗传。

经典遗传学将遗传物质的改变置于核心地位，认为生物的变异均是由于 DNA 碱基序列改变导致的。而表观遗传学主要研究基因碱基序列不变但表型改变的现象。这种表型改变可能通过多种机制，包括 DNA 甲基化、组蛋白修饰、染色质重塑和非编码 RNA 调控等，调控基因的表达。这种调控方式往往可通过有丝分裂延续，若发生在生殖细胞中，则影响下一代的性状。

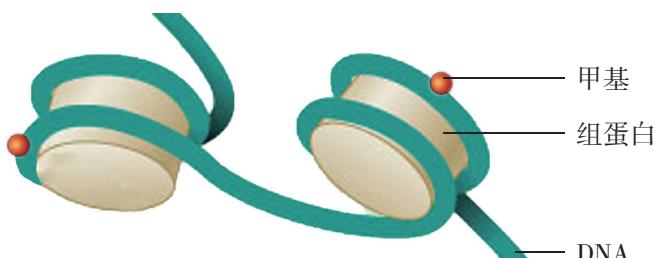


图 1-37 DNA 甲基化示意图

DNA 甲基化（图 1-37）是最早被发现的表观遗传调控方式，也是表观遗传学研究领域中的一个重要内容。DNA 甲基化能引起 DNA 与蛋白质相互作用方式发生改变，从而影响染色质结构，调节基因表达。通常，基因表达调控区域的甲基化程度的降低使基因表达的效率提高。

阅读空间

首例克隆猴“中中”和“华华”在中国诞生

自 1996 年第一只克隆羊“多莉”诞生以来，各国科学家先后克隆了牛、狗等多种其他哺乳动物，但一直没能跨越与人类最相近的非人灵长类动物的“屏障”。



图 1-38 克隆猴“中中”和“华华”

2017 年 11 月，体细胞克隆猴“中中”和“华华”在上海中国科学院神经科学研究所诞生（图 1-38）。“克隆非人灵长类动物的唯一目的是服务人类健康，不考虑对人类进行相关研究。”研究人员如是说。

克隆猴的难点之一，是体细胞与受精卵相比，细胞核中的 DNA 基本相同，但其上的表观遗传修饰不同，因此基因表达也有所差异，于是体细胞细胞核转移入去核卵细胞后，无法正常“指挥”生长发育过程。因此研究人员在细胞核转移后，引入表观遗传调节剂，关闭抑制胚胎发育的基因。他们向融合细胞中注入去甲基化酶 Kdm4d 的 mRNA，去除甲基化修饰，并用组蛋白去乙酰化抑制剂 TSA 处理细胞，最终在表观因子的刺激下，重新激活被抑制的基因，大大提高了胚胎发育的效率和代孕母猴成功怀孕的比例。

中心法则阐述的是遗传信息在细胞内的传递，而表观遗传学研究的是基因中碱基序列不变而表型改变的调控机制，即遗传信息在体内何时、何处表达，是对中心法则的补充，是遗传学的重要内容，并且在肿瘤等许多疾病的防治中具有十分重要的意义。

基因与基因之间、基因与基因产物之间，构成了一个相当复杂但又非常精确的相互作用网络，在这个网络系统中还需要考虑环境因子的作用。生物体能有序地生长、发育和繁殖，是基因表达调控的结果。性状是基因和环境相互作用的产物。

学业检测

1. 果蝇的眼睛具有红色眼色素时，表现为红眼，而红色眼色素的形成须经一系列生化反应，每一个反应涉及的酶都受相应基因控制。

(1) 从基因与性状的关系来讲，果蝇的眼色是_____控制生物性状的实例。

(2) 现有一只白眼果蝇，出现白眼果蝇的原因可能有哪些？

2. 检测某正常人 4 种细胞中的部分物质，结果如下表。

检测 结果	细胞种类	皮肤表皮细胞	未成熟的红细胞	甲状腺细胞	胰岛 B 细胞
检测物质					
酪氨酸酶 mRNA	+	-	-	-	-
血红蛋白 mRNA	-	+	-	-	-
胰岛素 mRNA	-	-	-	-	+
黑色素	+	-	-	-	-
血红蛋白	-	+	-	-	-
胰岛素	-	-	-	-	+

说明：+ 表示含有，- 表示不含有。

据表回答下列问题：

(1) 4 种细胞基因种类是否相同？

(2) 能体现基因通过控制蛋白质结构直接控制生物性状的是_____。

(3) 由此可见，细胞分化的本质是_____。

(4) 4 种细胞中，tRNA 种类是否相同？

3. 据报道，在胚胎睾丸发育期给予怀孕大鼠烯菌酮，子代中雄性个体的生殖能力会降低。后来即使不再给予烯菌酮，这种雄性个体生殖能力降低的现象仍然会延续到之后的三代。

(1) 若以上情况属实，请从表观遗传角度对“这种现象仍然会延续到之后的三代”进行解释。

(2) 试举出几例自然界中的表观遗传现象。

(3) 试讨论环境对生物性状的影响，其可能的机制有哪些？



学业要求

重要概念	节次	学科素养
亲代传递给子代的遗传信息主要编码在DNA分子上。	第一节	<ul style="list-style-type: none"> ◆概述多数生物的基因在 DNA 分子上，有些病毒的基因在 RNA 分子上。 ◆通过分析 DNA 是遗传物质的证据，体会科学家的研究历程，掌握科学探究的基本方法，培养基于事实和证据进行演绎推理的科学思维方法。
	第二节	<ul style="list-style-type: none"> ◆概述 DNA 分子是由四种脱氧核苷酸构成，通常由两条碱基互补配对的反向平行长链形成双螺旋结构，碱基的排列顺序编码了遗传信息。 ◆阐明 DNA 分子作为遗传物质所具有的特征，形成结构与功能观，认识生物的统一性和复杂性。 ◆通过分析 DNA 分子模型的建立过程及构建 DNA 双螺旋结构模型的活动，体验模型与建模的科学思维方法。
	第三节	<ul style="list-style-type: none"> ◆概述 DNA 分子通过半保留方式进行复制。 ◆通过分析 DNA 复制的相关实验，培养尊重事实和证据，崇尚严谨和务实的求知态度。
	第四节	<ul style="list-style-type: none"> ◆概述多数生物的基因是 DNA 分子的功能片段。 ◆概述 DNA 分子上的遗传信息通过 RNA 指导蛋白质的合成。认识生命的统一性与独特性，形成科学的自然观。
	第五节	<ul style="list-style-type: none"> ◆分析基因—蛋白质—性状的关系，形成生命的物质观。 ◆概述细胞分化的本质是基因选择性表达的结果，生物的性状主要通过蛋白质表现。 ◆概述某些基因中碱基序列不变但表型改变的表观遗传现象，认识生物的复杂性。



榜样人物

发现双螺旋结构背后的故事

1953年4月25日，英国《自然》杂志刊登了题为“核酸的分子结构——脱氧核糖核酸的一个结构模型”的论文。这篇论文揭示了DNA的分子结构，是整个生物科学的一次重大革命，它极大地促进了生物科学在分子水平上的研究。这个重大的发现是由37岁的英国科学家克里克和25岁的美国科学家沃森完成的。但是，DNA双螺旋结构的发现其实是建立在诸多科学家的成果之上的。

1944年，薛定谔在《生命是什么》一书中，以通俗的语言阐明了用物理学的观点研究生命现象的重要性。这本书激励了不少当时研究物理学的科学家转而研究生活学。例如，学物理学出身的克里克正是受其思想影响，毅然转向生物学研究。

构建DNA双螺旋结构的工作还受到了其他人卓越工作的激发：一是英国生物物理学家威尔金斯和英国女科学家富兰克林（图1-39）拍摄的DNA X射线衍射照片；二是美国哥伦比亚大学生物化学家查加夫关于DNA分子中嘌呤和嘧啶碱基定量关系的研究；三是美国化学家鲍林关于蛋白质分子结构的研究。其中，富兰克林具有重大的贡献。可以说，没有富兰克林的贡献，DNA结构的发现可能会推迟几年。

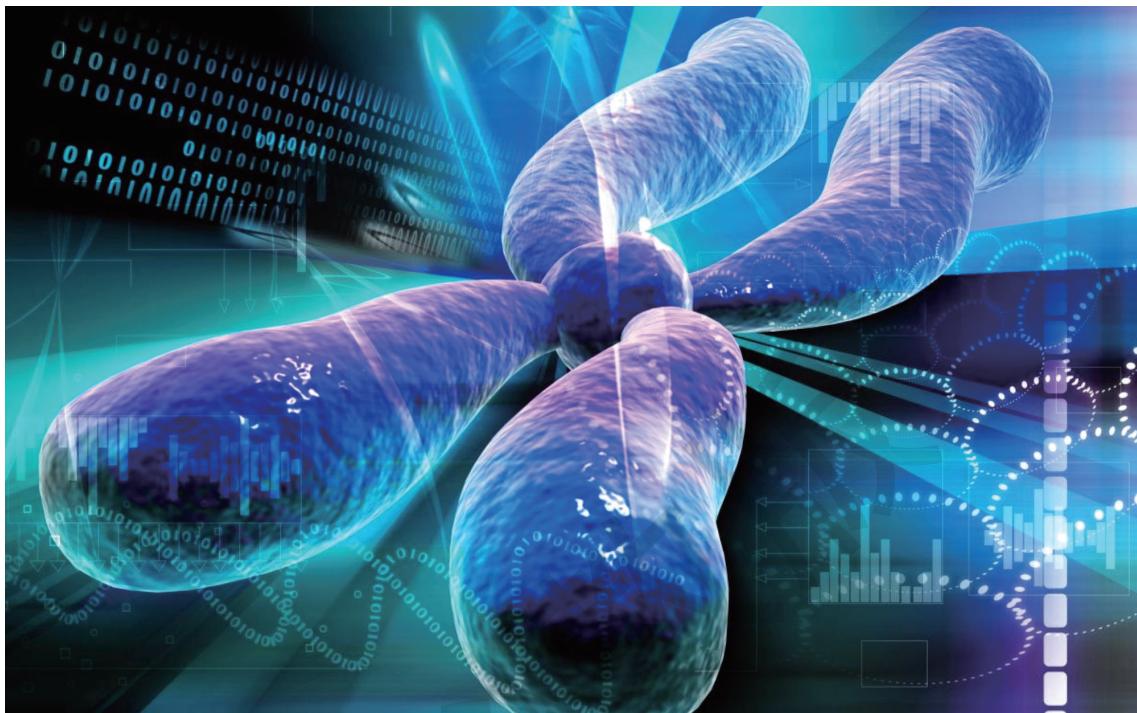
富兰克林早年毕业于剑桥大学物理化学专业。1945年获得博士学位后，她前往法国学习X射线衍射技术。回国之后，富兰克林与威尔金斯一起运用X射线衍射技术研究DNA的结构，1952年得到了DNA分子的X射线衍射图像。正是以DNA的X射线衍射图像为基础，DNA的双螺旋结构才被构建出来。

当时英国社会的宗教、种族、妇女地位等因素在一定程度上影响了富兰克林的成功。克里克也在DNA结构发现40周年的纪念文中提到“富兰克林的贡献没有得到足够的肯定”。但这些并没有影响富兰克林的工作热情。后来，她又领导了关于烟草花叶病毒与脊髓灰质炎病毒的研究。即使到1956年9月发现长了肿瘤，她仍继续工作，并发表十多篇论文。为纪念富兰克林的杰出工作，2003年，伦敦国王学院将一栋新大楼命名为“富兰克林—威尔金斯楼”。



图1-39 富兰克林

第二章 有性生殖中的染色体变化



染色体是遗传物质的主要载体，携带着遗传信息，在亲代与子代之间通过减数分裂和受精作用有规律地传递，维持了物种遗传物质的稳定。1875年，德国动物学家赫特维希（O. Hertwig）观察了海胆的受精过程，发现精细胞进入卵细胞才导致两种细胞核融合。然而令人疑惑不解的是，两个细胞核融合后本应染色体数量加倍，而实际上后代细胞中的染色体数量与亲代细胞中的染色体数量相同。为什么会出现这样的结果？在有性生殖过程中，染色体发生了怎样的变化？染色体上携带的遗传信息是如何从亲代传递给子代的？





课题研究

探索生殖细胞形成中染色体数量的变化

人的生命起始于受精卵，而受精卵是由精子和卵细胞相互识别、结合而形成，因而亲代是通过生殖细胞将遗传信息传递给子代的。人的体细胞中有 23 对染色体，受精卵的染色体数量与体细胞相同。

提出问题

在生殖细胞形成过程中，染色体数量发生了怎样的变化？

制订并实施研究计划

1. 怎样作出假设？

- ◆根据已学知识作出假设，如生殖细胞是通过有丝分裂形成的。
- ◆还可以提出其他合理假设，如 DNA 不复制，细胞分裂一次；DNA 复制一次，细胞连续分裂 2 次。

2. 怎样演绎推理？

- ◆可用橡皮泥、卡片或绘图过程简图等形式进行演绎推理。
- ◆根据以上不同的假设，推理生殖细胞及受精卵中的染色体数量。
- ◆分析假设推理的结果能否维持每代体细胞中染色体数量不变。

3. 怎样验证假设？

- ◆以玉米、水稻等植物的花药为材料，进行实验。
- ◆在适当的时期采集植物的花药，经固定、染色、压片等操作后，在显微镜下观察染色体的变化。

成果交流

1. 展示小组制作的橡皮泥、卡片或绘图构建的模型，并从科学性和艺术性等方面进行比较。
2. 交流小组作出的假设及推理方案，并评价假设的合理性。
3. 领悟假设—演绎—验证的研究思路，体会模型建构的研究方法，并尝试利用该研究思路及方法解释其他生物学观点和现象。



图 2-1 精子包围卵细胞扫描电镜图

第一节 减数分裂产生染色体数量减半的生殖细胞



图 2-2 显微镜下蝗虫体细胞染色体

19世纪与20世纪之交，染色体行为及其在遗传中重要的研究是一个极为令人关注的领域。1883年，比利时细胞学家贝内登(É. van Beneden)观察马蛔虫受精过程时，发现精细胞和卵细胞的染色体数量只有体细胞的一半，而受精后的细胞染色体数量又恢复正常。1902年，美国遗传学家萨顿通过观察蝗虫精子发生时染色体的行为，发现染色体总是成对出现，同一对染色体形态大小极其相似，不同对染色体则差异显著(图2-2)。是什么样的过程导致精细胞和卵细胞的染色体数量只有体细胞的一半？为什么有性生殖中生殖细胞的染色体数量只有体细胞的一半？染色体成对出现有什么重要意义？

一、精细胞的形成过程

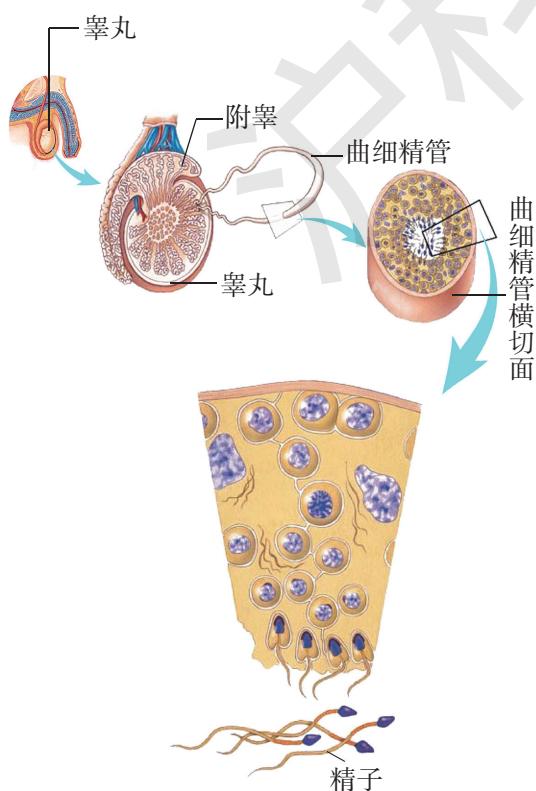


图 2-3 人的睾丸及精子的产生

早在1891年，德国细胞学家博韦里(T. Boveri)就已确认了生殖细胞染色体数量减半的普遍性。1905年，法默(J. Farmer)和穆尔(J. Moore)把进行有性生殖的生物中，生殖细胞通过分裂使染色体数量减半的分裂方式称为减数分裂(meiosis)。

哺乳动物的精子是在睾丸中形成的(图2-3)。睾丸中有许多弯弯曲曲的曲细精管，曲细精管中有大量精原细胞。当雄性动物性成熟后，睾丸里的部分精原细胞经过减数分裂形成精细胞(图2-4)。

在减数分裂前的间期，精原细胞内染色体进行了复制，细胞核体积增大，成为初级精母细胞，随后进入2次连续的细胞分裂，即减数第一次分裂(减Ⅰ)和减数第二次分裂(减Ⅱ)。

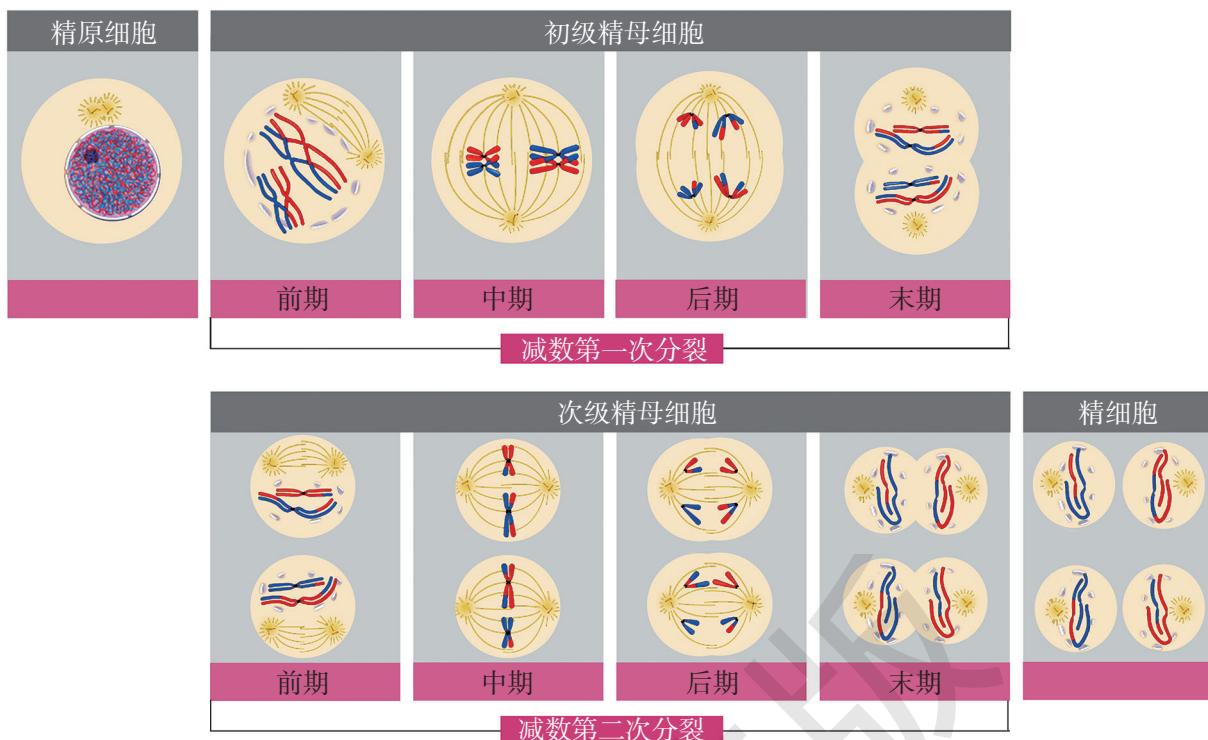


图 2-4 哺乳动物精细胞形成过程图解

减 I 与有丝分裂相比具有非常鲜明的区别，主要表现在减 I 前期和减 I 后期。减 I 前期持续时间较长，其间最显著的特点是同源染色体两两配对，这种现象称为联会（synapsis）。同源染色体是指形态和大小一般都相同的一对染色体，其中一条来自父方，一条来自母方。联会后的一对同源染色体含有 4 条染色单体，称为四分体。四分体中的非姐妹染色单体之间往往会发生交叉并互换一部分片段，这种遗传物质的局部互换，具有非常重要的遗传意义（见第四章）。

减 I 中期，成对的同源染色体都排列在细胞中央的赤道面上。减 I 后期，在纺锤丝牵引下，配对的同源染色体彼此分离，分别移向细胞的两极。这样，细胞的每一极只得到各对同源染色体中的一条，即细胞一极的染色体彼此均为非同源染色体。随着细胞质的分裂，形成 2 个子细胞，称为次级精母细胞。与初级精母细胞相比，每个次级精母细胞中的染色体数量减少一半，但每条染色体上的着丝粒连着 2 条姐妹染色单体。

减 I 与减 II 之间通常没有间期或者间期时间很短，染色体不再复制。减 II 过程与有丝分裂过程非常相似。减 II 后期每条染色体的着丝粒一分为二，姐妹染色单体分开，

成为 2 条染色体。在纺锤丝的作用下，2 条染色体分别移向细胞两极，并随着细胞质的分裂进入 2 个子细胞。这样，2 个次级精母细胞形成了 4 个精细胞。



模型建构

模拟或观察减数分裂过程中染色体的变化

通过模型建构来解释某些生物学现象，可使这些现象变得直观易懂。模拟染色体在减数分裂过程中的行为，可以加深对其认识和理解。

目的要求

以 2 对染色体为例，模拟减数分裂中染色体行为变化，观察子细胞中染色体数量变化，体会生命变化的规律性。

材料器具

彩色橡皮泥或者彩色纸（至少准备 3 种颜色，如红色、黄色、蓝色等）、大头针、A3 大小的白纸、减数分裂固定装片等。

活动程序

- 选择 3 种颜色的橡皮泥，其中 2 种用来制作染色体，第三种用来制作着丝粒。例如，红色和黄色用来模拟染色体（红色染色体代表来自母方，黄色染色体代表来自父方），蓝色用来模拟着丝粒，制作好 2 对复制后的同源染色体（图 2-5）。

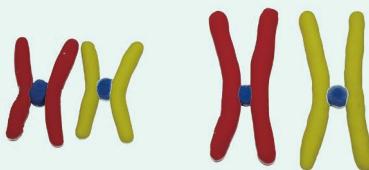


图 2-5 制作好的染色体

- 在 A3 纸上画一个足够大的细胞（要能容纳制作好的染色体），在细胞内画出中心体（也可以用其他颜色的橡皮泥模拟中心体）和纺锤体，把制作好的染色体放在细胞中。

- 依次模拟减 I 过程中同源染色体的联会、分离，减 II 过程中着丝粒分裂，姐妹染色单体分开，染色体移向细胞两极等各个重要环节（图 2-6）。



图 2-6 模拟减 I 后期的染色体行为

4. 有条件的话,可通过观察减数分裂固定装片,识别减数分裂过程中染色体联会、形成四分体、同源染色体分离等行为以及染色体的数量变化,根据观察结果,绘制减数分裂不同时期细胞简图。

分析讨论

1. 同源染色体的制作为什么需要选用不同颜色?
2. 染色体数量减半是如何模拟的?发生在减数分裂的哪一期?
3. 对照减数分裂的全过程,该活动中没有模拟到的染色体行为有哪些?
4. 减数分裂结束时形成的子细胞中有多少条染色体?自己小组的子细胞模型中只含红色染色体的配子有几个?

对雄性动物来说,一个精原细胞经过减数分裂形成4个精细胞。每个精细胞中染色体数量都只有精原细胞的一半。同时,减数分裂过程中,每对同源染色体中的2条染色体随机分配到子细胞中,同时非同源染色体发生自由组合,导致所产生配子的染色体组成也是多种多样的。请思考:产生多种类型的配子对生物的多样性有何意义?

精细胞经过复杂的形态变化,最终形成精子。精子的头部含有细胞核,尾部很长,可以游动。

阅读空间

有性生殖与配子

配子是生物进行有性生殖时产生的成熟生殖细胞,包括雌配子和雄配子。高等动物产生的雌配子通常称为卵,雄配子通常称为精子。在生物进化过程中,雄配子和雌配子是分别向着运动和贮存养料两个方向发展的。受精时,雌雄配子结合形成合子,又叫受精卵。这种产生配子并形成合子(受精卵),再由合子发育成新个体的生殖方式叫有性生殖。

绝大多数高等生物都是通过有性生殖繁衍后代的。在有性生殖中,由遗传组成存在差异的两性配子结合成合子,使合子发生遗传物质的重组,从而使后代产生丰富的遗传变异,有利于提高后代生命力和对环境的适应能力。

二、卵细胞的形成过程 >>

哺乳动物的卵细胞是在卵巢中形成的，卵巢内有许多发育程度不同的卵泡，卵原细胞经染色体复制成为初级卵母细胞，初级卵母细胞经减数第一次分裂形成次级卵母细胞，该过程发生在卵泡中。次级卵母细胞进入输卵管，遇到精子后开始减数第二次分裂，产生卵细胞（图 2-7）。

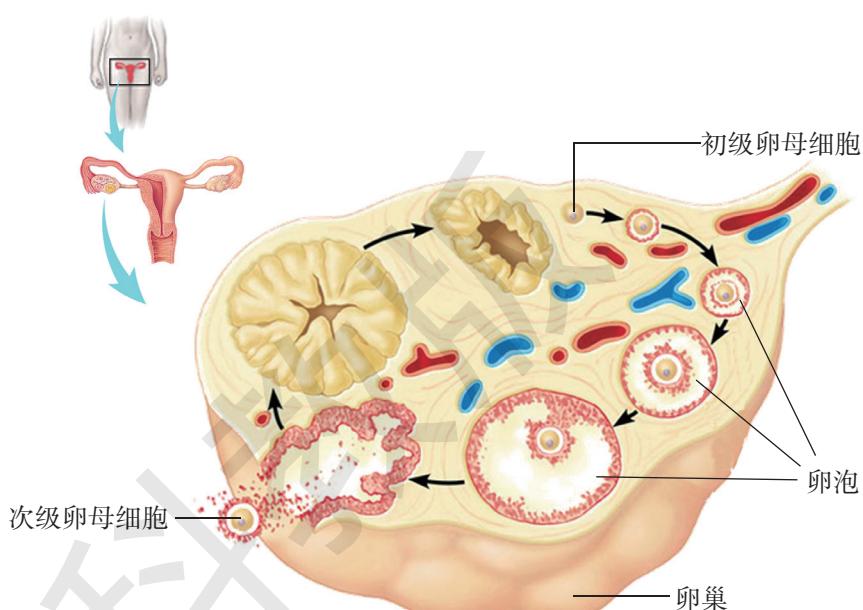


图 2-7 人的卵巢及卵细胞的产生

卵细胞形成过程中染色体的行为与精细胞形成过程中染色体的行为大体上是相同的。卵细胞与精细胞形成过程的主要区别是：初级卵母细胞在减Ⅰ后期细胞质发生不均等分裂，形成 2 个大小悬殊的细胞，大的叫次级卵母细胞，小的叫极体。两者继续进行分裂，次级卵母细胞在减Ⅱ时又发生了一次细胞质的不均等分裂，形成一个大的卵细胞和一个小的极体，原先的极体则均等分裂为 2 个极体。这样，一个卵原细胞最终形成一个大的卵细胞和 3 个小的极体（图 2-8）。3 个极体不久后退化消失，一个卵原细胞最终只形成一个卵细胞。卵细胞形成过程中的这种不均等的细胞质分裂，可以保证将来形成的受精卵有充足的营养物质供早期胚胎发育利用。

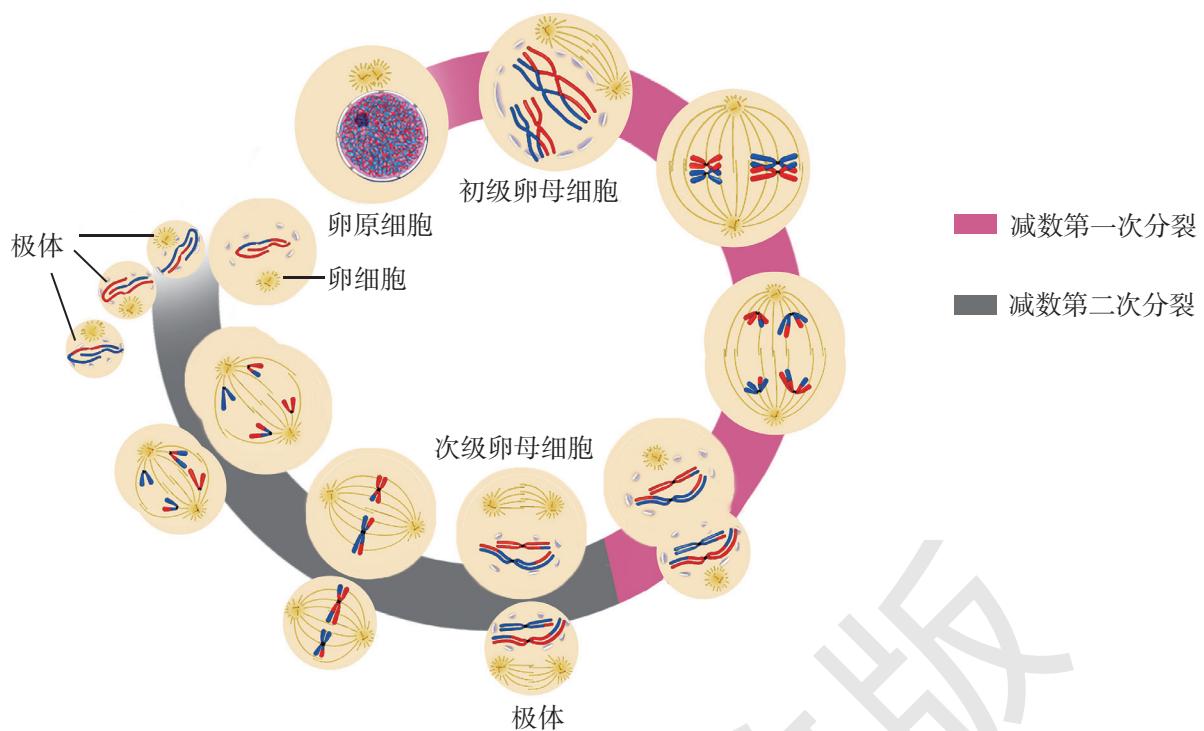


图 2-8 哺乳动物卵细胞形成过程图解

总之，在减数分裂过程中，染色体只复制一次，而细胞连续分裂 2 次，每对染色体相互分离，并被分配到 2 个子细胞中去，结果是，每个生殖细胞中染色体数量只有精（卵）原细胞的一半。同时，染色体携带的遗传信息也将随着配子传递给子代。

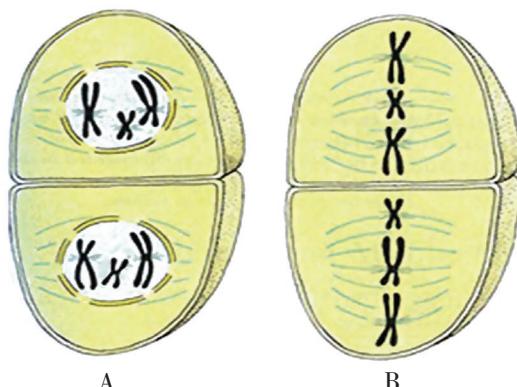
学业检测

1. 在 19 世纪末期，人们对动植物细胞有丝分裂与减数分裂中染色体的行为进行了大量研究，这与薄片切片机的发明有很大关系。切片机能够切出足够薄的连续切片供显微观察，使得在显微镜下观察动植物细胞染色体的效果大为改观。右图为某植物减数分裂过程中的部分细胞切片的示意图，请据图回答：

(1) A 图表示_____时期，判断依据是_____。

(2) B 图表示的细胞进入下一时期时，细胞内的染色单体数目为_____条，特点是_____。

(3) 该植物体细胞中染色体数目是_____。



条，导致配子中染色体数量减半的原因是_____。

(4) 与有丝分裂相比，减数分裂最显著的特点是()。

- A. 染色体进行了复制
- B. 姐妹染色单体分离
- C. 同源染色体相互分离
- D. 核仁核膜有规律地消失和重建

2. 细胞学家贝内登发现马蛔虫的受精卵中，染色体的数目为4，而卵子与精子中的染色体数都为2，但未能指出这种变化的意义。1887年，魏斯曼提出减数分裂的意义在于遗传物质的减半。

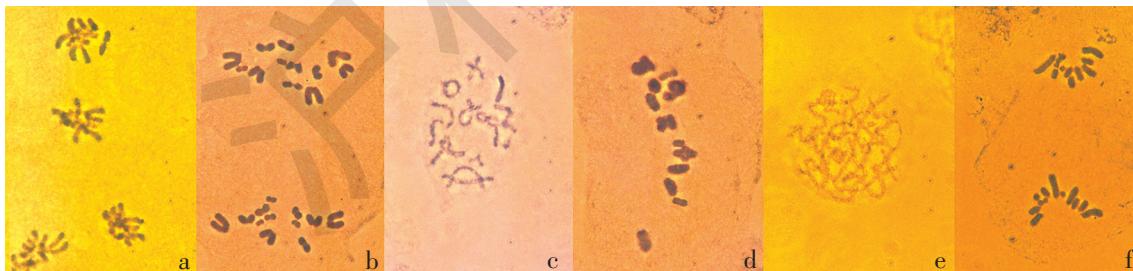
(1) 处于分裂过程中的动物细胞，排列在赤道面上的染色体的形态和大小各不相同，该细胞可能是()。

- | | |
|-----------|-----------|
| A. 体细胞 | B. 精细胞 |
| C. 初级精母细胞 | D. 次级卵母细胞 |

(2) 减数分裂过程中，染色体数量减半对于生物而言有什么意义？

(3) 对于贝内登的遗憾，你认为在科学探究过程中除了需要细致地观察、严谨地记录数据外，还需要哪些能力和因素？

3. 本节的“模拟或观察减数分裂过程中染色体的变化”活动程序4中，如果观察的是蝗虫精原细胞减数分裂固定装片，可以推测一个精原细胞的连续分裂过程吗？若可以的话，这一做法能够成立的前提是什么？下图的a-f是蝗虫精原细胞减数分裂的部分时期的图片，请通过观察染色体的特点，将其按照减数分裂的过程排序。



第二节 有性生殖中遗传信息通过配子传递给子代

1677 年，荷兰生物学家列文虎克（A. Leeuwenhoek）用自制的显微镜观察到人和动物的精液中含有会游动的小东西——精子（图 2-9）。随着细胞学说的发展、哺乳动物卵细胞的发现以及受精过程的显微观察，发现大多数动植物中精子和卵细胞结合形成的受精卵，才是下一代生命的起点。受精卵是如何形成的？受精卵的遗传信息与双亲的遗传信息有何关系？

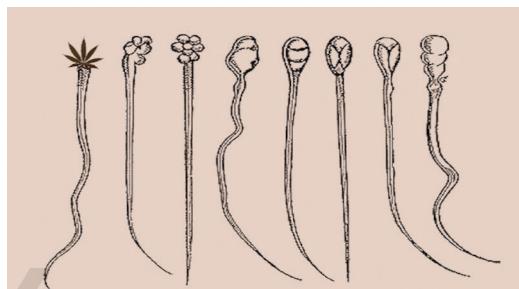


图 2-9 列文虎克描绘的精细胞

一、受精作用形成合子 »

人的卵巢位于输卵管附近，输卵管既是卵细胞转运的通道，也是受精作用的场所。通常情况下，女性每个月只有一个卵泡成熟并排卵。卵细胞由卵巢排出后，进入输卵管，等待与进入输卵管的精子相遇。

成年男性一次排出的精子数量很大，至少有一亿个，但是最后大约只有几百个精子与卵细胞相遇，而最终只有一个精子能和卵细胞结合，完成受精作用（图 2-10）。

受精作用是一个精子与一个卵细胞结合成为受精卵的复杂过程，是从精子识别卵细胞开始的。卵细胞质膜上有特殊的蛋白质，是精子特异性识别的受体。当一个精子接触到卵细胞时，精子的头部（含细胞核）先进入卵细胞，其尾部断裂，留在卵细胞外，随后水解消失。与此同时，卵细胞也发生一系列复杂的生理反应，阻止其他精子进入。随后精核与卵核融合，形成受精卵，完成受精作用。此后受精卵开始发育，经过细胞分裂、分化，孕育出新的个体。

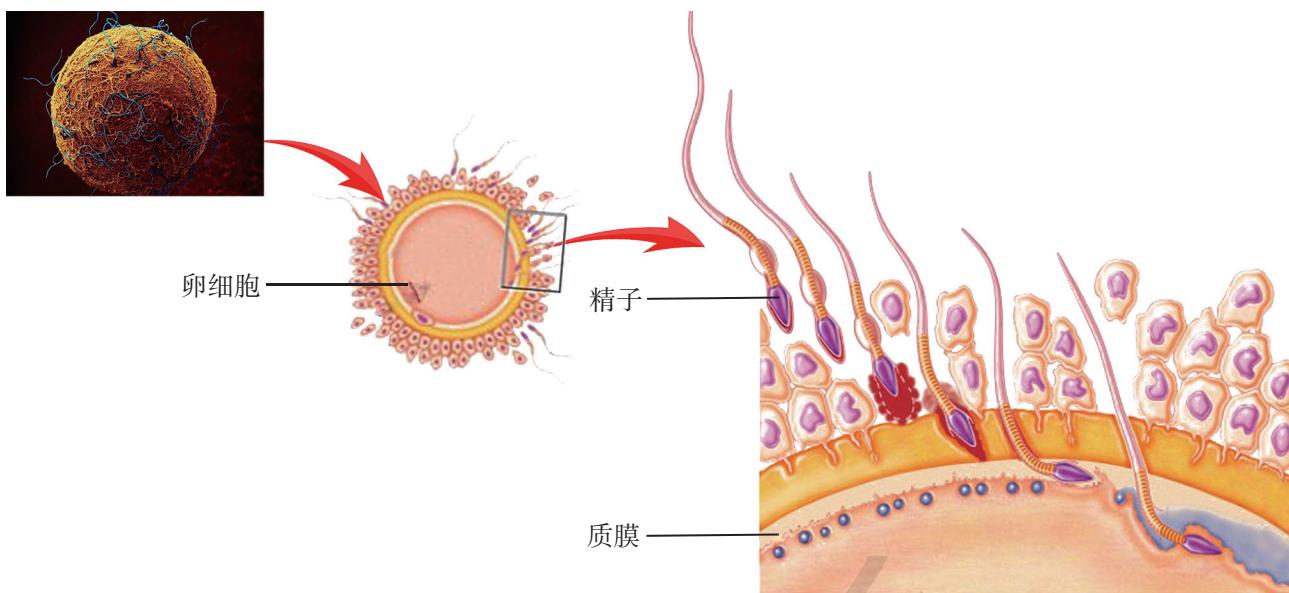


图 2-10 精子“围攻”卵细胞

阅读空间

生殖医学

生殖医学是一门新兴学科，涉及与生殖有关的诸多领域，如优生优育、不孕不育等。自1978年世界第一例“试管婴儿”在英国诞生以来，辅助生殖技术(ART)迅速发展。1988年，中国第一例“试管婴儿”于北京大学第三医院诞生。如今，全世界每年约1%~3%的新生儿是通过ART出生的。试管婴儿技术是先使精子和卵细胞在体外人工控制的环境中完成受精过程，待其发育至早期胚胎阶段后移植到女性子宫中，在子宫中孕育成胎儿。该技术已成为有效解决不孕不育问题的一个重要技术，为无数生育困难家庭带来福音。

目前生殖医学技术发展到建立冷冻胚胎库。在一个ART操作中，将部分或全部胚胎先进行冷冻保存，再对移植前的胚胎进行遗传诊断或筛查，评估后选择质量最好的胚胎进行移植。剩余的胚胎继续冷冻保存，用于后续移植过程。生殖医学工程实施不当也会带来不利影响，例如，选择胎儿性别的技术一旦被滥用，将导致男女比例失调等社会问题。

二、受精过程中染色体的变化

有性生殖须经过生殖细胞的结合才能形成新个体，与此同时生殖细胞中的染色体进入新个体。



模型建构

构建受精过程中染色体变化的模型

经过减数分裂，卵细胞和精子中的染色体数量均只有体细胞的一半。通过受精作用形成的受精卵，其染色体数量和组成如何呢？

目的要求

以 2 对染色体为例，观察和模拟受精过程，重点观察染色体组成在受精过程中 的变化。

材料器具

染色体模型、A3 纸、剪刀等。

活动程序

1. 在 A3 纸上画出精子的轮廓图，并沿着轮廓图边缘剪下。将一组染色体模型放入其中，制作精子模型（图 2-11）。

2. 在另一张 A3 纸上画出卵细胞的轮廓图，将一组染色体模型放入其中，制作卵细胞模型。制作时要考虑染色体的大小和颜色。

3. 拿起一个精子模型靠近卵细胞模型，将精子中的染色体融入卵细胞中，模拟受精作用过程中染色体的变化，观察并记录染色体数量和组成，并在图 2-12 所给区域内画出受精卵染色体组成，绘制时须考虑染色体的大小和颜色。

4. 用上一节“模拟或观察减数分裂过程中染色体的变化”活动中小组模拟的 2 对染色体形成的卵细胞，与另外一个小组模拟的 2 对染色体形成的精子，进一步模拟受精过程，仔细观察每一次模拟形成的受精卵中染色体组成的差异，并分析原因。

分析讨论

1. 如何模拟受精卵中的同源染色体？
2. 子代从双亲各继承了半数的染色体，在遗传性状上双亲对子代的贡献一样大吗？
3. 完成受精作用后子代的染色体数量恢复到与亲代相同，遗传信息是否也一样？
4. 人有 23 对染色体，从减数分裂和受精作用过程中的染色体组成来分析，解释人类的多样性和每个人的独特性。



图 2-11 制作好的精子模型

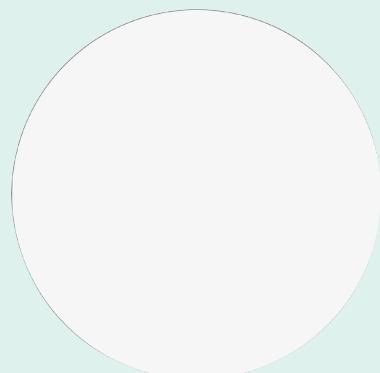


图 2-12 受精卵细胞模型

在精子和卵细胞结合形成受精卵时，彼此的染色体汇合在一起，染色体数量恢复到与亲代细胞相同，其中一半来自精子（父方），一半来自卵细胞（母方），使得新一代个体继承了双亲的遗传物质。

对进行有性生殖的生物来说，通过减数分裂和受精作用可以保持生物体世代之间染色体数量的恒定，使得亲代的遗传信息通过配子传递给子代，从而使遗传性状也保持相对稳定。同时，减数分裂形成的配子，其染色体组成具有多样性，这为生物的变异提供了物质基础；受精过程中精子和卵细胞的结合是随机的，导致形成的受精卵中的染色体组成呈现出多样性，这就为后代进行遗传信息的重新组合创造了条件。因此，减数分裂和受精作用对于生物的遗传、变异具有十分重要的意义。

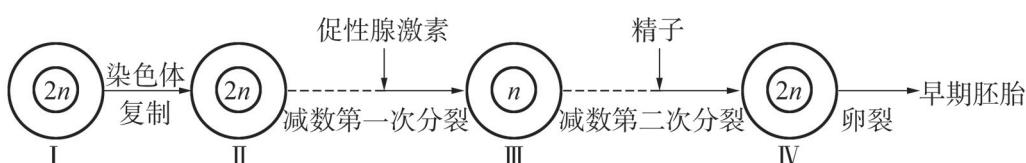
思维训练

绘制遗传物质变化曲线

真核生物的遗传信息主要存在于细胞核内的染色体上。在有性生殖产生新个体的过程中，伴随着减数分裂和受精作用的进行，物种的亲子代体细胞染色体数量始终保持一致。尝试以时间（减数分裂时期）为横坐标，细胞核中 DNA 含量（ $0\sim 4n$ ）为纵坐标，画出生物在繁殖过程中（包括减数分裂和受精作用）DNA 含量的变化曲线。

学业检测

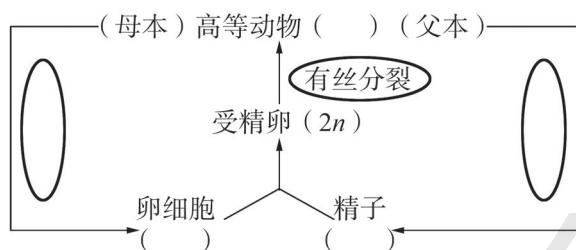
- 早在胚胎时期，人的卵原细胞就已陆续分裂、分化而产生了初级卵母细胞。初生女婴的 2 个卵巢中共有初级卵母细胞约 200 万个，它们都已进入减数第一次分裂的前期，并滞留在前期。卵原细胞减数分裂形成成熟卵子的过程，只有在促性腺激素和精子的诱导下才能完成。下图为人类卵细胞及早期胚胎的形成过程示意图（ n 表示染色体数）。



(1) 据图分析,下列叙述错误的是()。

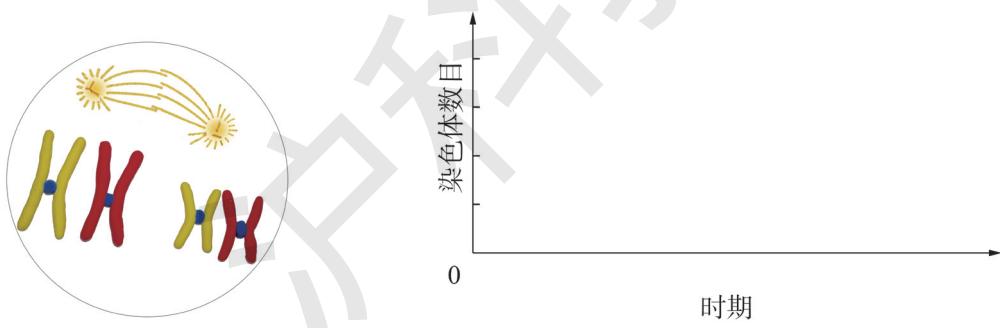
- A. 次级卵母细胞形成的过程需要激素调节
- B. 细胞Ⅲ只有在精子的作用下才能形成成熟卵子
- C. Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ细胞分裂后期染色体数目相同
- D. 细胞Ⅳ的卵裂方式为有丝分裂

(2) 完成下列关于减数分裂与受精作用的概念图:



2. 当现代生命科学研究变得更加量化,建立数学模型就变得越来越重要。数学模型是针对某种事物系统的特征或数量依存关系,采用数学语言来描述系统的特征及其内部联系或与外界联系的模型。

(1) 请利用染色体模型模拟精原细胞的减数分裂,并在下面的坐标系中画出减数分裂过程中细胞核内的染色体数目变化。



(2) 细胞所含的同源染色体对数与形成的配子类型有什么关系?请继续利用染色体模型模拟细胞的减数分裂,完成下表(不考虑交叉互换)。

个体精原细胞所含同源染色体对数	精子的类型	个体卵原细胞所含同源染色体对数	卵细胞的类型
1 对	2 种	1 对	2 种
2 对		2 对	
3 对		3 对	
n 对		n 对	

(3) 人的体细胞中有23对染色体，那么人在形成精子或卵细胞时，可能产生多少种类型的配子？受精作用后形成的受精卵又有多少种类型？这对生物多样性的形成有什么意义？

学业要求

重要概念	节次	学科素养
减数分裂产生染色体数量减半的精细胞或卵细胞。 有性生殖的生物体的遗传信息通过配子传递给子代。	第一节	◆ 阐明减数分裂产生染色体数量减半的精细胞或卵细胞。 ◆ 通过模拟减数分裂过程中染色体变化，体验模型与建模的科学思维方法。
	第二节	◆ 说明进行有性生殖的生物体，其遗传信息通过配子传递给子代，阐明减数分裂和受精作用在遗传信息传递中的意义。 ◆ 通过模拟受精过程中染色体数量变化，体验模型与建模的科学思维方法。 ◆ 运用细胞减数分裂模型，阐明遗传信息在有性生殖中的传递规律，领悟推理的科学思维方法。

科学生活

用显微镜观察染色体上的基因

美国遗传学家摩尔根利用果蝇研究其眼色的遗传时，通过艰辛的探索，最后利用一只白眼雄果蝇设计了巧妙的实验，才把一个特定的基因和一条特定的染色体——X染色体联系起来，从而用实验证明了基因在染色体上。随着科技的进步，现在已经能用显微镜清晰地观察基因在染色体上的位置，这依赖于一项重要的技术——荧光原位杂交技术（FISH，图2-13）。

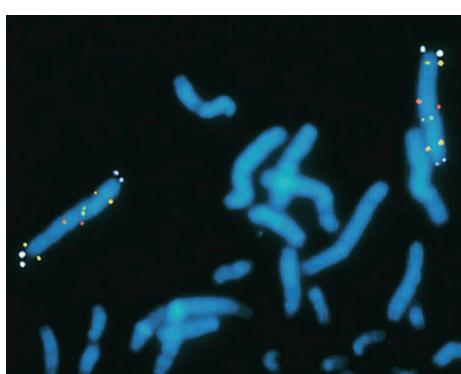


图2-13 荧光显微镜观察基因在染色体上的位置（放大倍数：1000×）

荧光原位杂交技术是在放射性原位杂交技术基础上发展起来的一种非放射性分子生物学和细胞遗传学结合的新技术。它的基本原理是先将DNA（或RNA）探针用特殊的荧光染料标记，然后将探针直接杂交到染色体上，通过荧光染料发出的荧光，在荧光显微镜下检测DNA序

列在染色体上的定位，进行定性和相对定量分析（图 2-14）。FISH 具有安全、快速、灵敏度高、探针能长期保存、能同时显示多种颜色等优点，不但能显示中期分裂相，还能显示间期相。

由于该技术可测定基因等 DNA 序列在染色体上的位置，因此被广泛应用于细胞遗传学、肿瘤生物学、基因作图、基因扩增、产前诊断及哺乳动物染色体进化研究等领域。例如，可以用 FISH 技术检测患者细胞中的染色体结构变异现象。图 2-15 为某淋巴瘤患者的淋巴细胞中检测出第 14 号和第 18 号染色体易位，红色标记的第 14 号染色体和绿色标记的第 18 号染色体发生易位后，呈现出黄色的双色融合现象。此外，FISH 技术还可用于 21 三体综合征的检测和诊断。

FISH 技术将分子生物学与细胞生物学有机地连接起来。尽管目前杂交率还无法达到 100%，特别是在应用较短 cDNA 探针时存在杂交效率明显下降的问题，但随着各种新型分子探针，以及更为精密高端的光学显微镜和功能强大的计算机分析系统的不断问世，上述问题将会逐步得到解决，该技术的作用正变得日益重要，应用领域也不断扩展。FISH 技术在研究领域的巨大潜力与光明前景将引领我们进入全新时代。

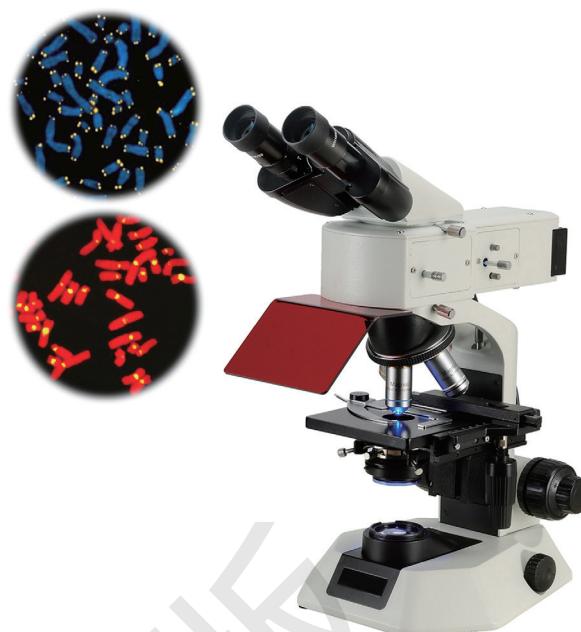


图 2-14 荧光显微镜及镜下看到的染色体探针杂交结果（放大倍数：1000×）

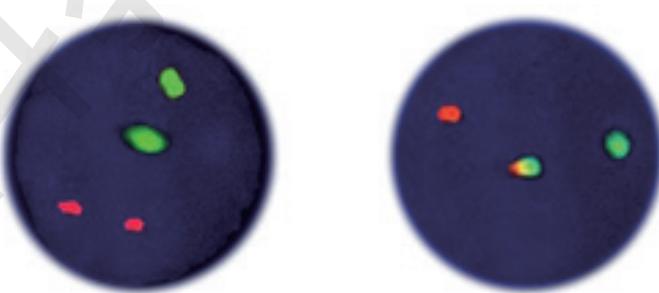


图 2-15 某淋巴瘤患者染色体易位 FISH 诊断图（左为正常细胞，右为异常细胞）（放大倍数：1000×）