

马来西亚华文独中教科书

高中适用

生物

中册

浙江教育出版社
董教总华文独中工委会统一课程委员会

马来西亚华文独中教科书

高中适用

生物

中册

陈志伟 主编

浙江教育出版社
董教总华文独中工委会统一课程委员会

高中适用

《生物》中册

美术编辑：曾国兴

行政编辑：黄宝玉

封面设计：曾国兴

版面设计：艺诚文化

电脑排版：杭州兴邦电子印务有限公司

© 郑重声明，此书版权归出版单位所有，未经允许，书上所有内容不得通过任何形式进行复制、转发、储存于检索系统，或翻译成其它语言的活动。

© Dong Zong

Hak cipta terpelihara. Mana-mana bahan atau bahagian dalam buku ini tidak dibenarkan diterbitkan semula, disimpan dalam cara yang boleh dipergunakan lagi, atau ditukar kepada apa-apa bentuk atau apa-apa cara, baik dengan elektronik, mekanikal, fotokopi, rakaman, pengalihan bahasa dan sebagainya tanpa mendapat kebenaran secara menulis daripada pihak penerbit terlebih dahulu.

© Dong Zong

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, translated in any other languages, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

编辑单位：

浙江教育出版社

董教总华文独中工委会统一课程委员会

Unified Curriculum Committee of

Malaysian Independent Chinese Secondary School Working Committee (MICSS)

出版发行：

马来西亚华校董事联合会总会（董总）

United Chinese School Committees' Association of Malaysia (Dong Zong)

Blok A, Lot 5, Seksyen 10, Jalan Bukit, 43000 Kajang,

Selangor Darul Ehsan, Malaysia.

Tel: 603-87362337

Fax: 603-87362779

Website: www.dongzong.my

Email: support@dongzong.my

印刷：

Swan Printing Sdn Bhd.

版次：

2018年11月第1版

印次：

2020年10月第3次印刷

编审团队

学科顾问：韩慧敏

主 编：陈志伟

编 写 者：范 锯 甘耀平 金京生 曹冬林 陈 玥
陈菲菲 沈 洋

编审委员：江邦智 梁玉英 陈艳彬 陈逸飞 卜一峰
苏慧珊 郑慧敏

责任编辑：郭慧花 张静雅

责任校对：冯 岩

鸣 谢

本书承蒙编审团队协助编写与审阅，老师协助审稿及提供意见，站酷海洛、周洁琪提供了图片，谨此致谢忱。

董教总华文独中工委会统一课程委员会 启

2018年11月

编辑说明

1. 本教材是根据董教总华文独中工委会统一课程委员会生物学科委员会拟定的《生物科课程标准》（以下简称课标）编写。课标拟定时参考了我国教育部颁发的中学新课程纲要以及世界各地中等教育生物学课程纲要及标准。
2. 本教材分为上、中、下三册，分别供高中一、二、三年级学生使用。
3. 教学预计需要330节。每节40分钟，高一建议每周5节，高二建议每周4节，高三建议每周4节。
4. 本教材设有“主要内容”“学习目标”“问题探讨”“理性思维”“实验”“活动”“科学方法”“科学轨迹”“科学·技术·社会”“知识补给站”“自我检测”等栏目，力求体现现代科学思想与现代教育理念，其目的是帮助学生把握学习重点，理解科学本质，为此后的学习与研究奠定良好的基础。
5. 本教材力图体现科学的本质特征。除了系统介绍生物学知识外，突出科学方法的学习，希望藉由问题探讨、实验探究、理性思维等教学活动，帮助学生逐步领悟科学思想方法的精髓，并逐步养成实证的思维方式以及建立在事实与逻辑基础上的理性思维。本教材强调学生的主动学习，教材文字力求简明、浅显易懂，图文并茂，尽量运用学生熟悉的情境来解释生物学的概念和原理，同时也把社会道德伦理及与环境相关的价值观念适当融入其中，藉此引发学生对生物学的兴趣。
6. 本教材有与之配套的教师手册，内容包括概要（包括教学内容的结构与特点）、教学目标、课时建议、教学重难点、教学建议（包括情境创设、教学过程、难点处理）、参考答案、参考资料等。教学有法，教无定法，贵在得法，期望教师手册能起到抛砖引玉的作用。
7. 教材的编写，非一蹴而就。教材的完善，更需要使用者提出宝贵的批评与建议。本教材若有错误、疏漏或欠妥之处，敬请师生及读者及时指出，以便修订时改进。

董教总华文独中工委会统一课程委员会
高中生物编审团队
2018年11月

目 录

c o n t e n t s

第 10 章 生态系统

10.1 种群	3
10.2 生态系统	12
10.3 物质循环与能量流动	21
10.4 生态系统类型	28

第 11 章 生态保育与可持续发展

11.1 人类对生态环境的影响	43
11.2 生态保育	52
11.3 低碳生活与可持续发展	59

第 12 章 生殖

12.1 什么是生殖	75
12.2 人类的生殖系统	81
12.3 第二性征与激素	86
12.4 生命是如何发生的	92
12.5 常见的避孕方法	100
12.6 人工辅助生殖技术	105
12.7 植物是如何延续生命的	110

第 13 章 细胞分裂

13.1 有丝分裂	123
13.2 减数分裂	132
13.3 癌症的发生	140



第14章 遗传的物质基础

14.1 DNA是遗传物质的证据.....	155
14.2 DNA的结构是怎样的.....	165
14.3 遗传信息是如何传递的.....	171
14.4 遗传信息是如何表达的.....	176
14.5 基因突变.....	185

第15章 基因与遗传定律

15.1 基因分离定律.....	199
15.2 基因自由组合定律.....	210
15.3 性别决定与伴性遗传.....	218
15.4 常见的人类遗传病.....	225

第16章 应用遗传学

16.1 DNA重组技术.....	239
16.2 基因工程.....	248
16.3 PCR技术.....	258
16.4 基因工程的争议.....	263



第10章

生态系统



主要内容

- 着种群与生态系统
- 着物质循环与能量流动
- 着我国常见的生态系统

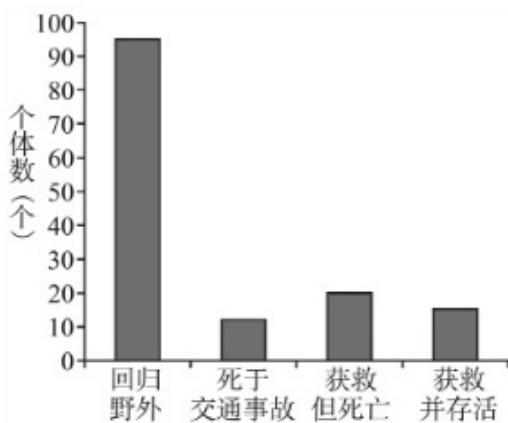


保护马来貘

2002年，我国启动了马来貘（Malayan tapir）保护项目。科学家运用无线电发射机、相机陷阱等方法，对马来貘进行了持续的监测，收集到了很多有关马来貘食物、栖息地、种群等方面的信息。2006~2010年，科学家又收集到了142例在马来半岛发现的马来貘的报告，这对了解野外马来貘种群数量的变化具有重要的意义。下图显示此142例马来貘的后续情况。



马来貘



马来半岛收集到的142例马来貘的后续情况

试想想

- 科学家如何获取马来貘等种群的数量信息？
- 生态系统中哪些因素会影响马来貘等种群的数量？
- 我国常见的生态系统类型有哪些？

学完本章以后，你就能回答以上问题。

10.1 种群



学习目标

- ★ 概述种群的含义，举例说明常见的种群增长模式。
- ★ 描述生态系统中常见的种间关系，预测一个种群的变化会如何影响其它种群的变化。
- ★ 根据所提供的数据判断两个种群的相互关系。

马来犀鸟

马来犀鸟（*rhinoceros hornbill*）因嘴形粗厚而直，嘴上盔突形似犀牛角而得名。马来犀鸟形态优美、色彩艳丽，是我国的国鸟。它们栖息于热带、亚热带海拔不超过1400 m的山地雨林中，主要以果实、昆虫、蜥蜴、蛇以及鸟类等为食。



图 10-1 马来犀鸟



问题探讨

1. 哪些因素会影响马来犀鸟的种群数量？
2. 种群增长的方式是怎样的？

种群（population）是指在一定时间和空间内同种生物的所有个体。例如，你所在的校园有草、树、鸟、蚯蚓或者鱼等，它们分别属于各自的种群。

种群的大小是指种群内个体数量的多少。单位面积或体积中个体的数量称为种群密度（population density），它是反映种群结构的重要特征参数。



种群密度的调查方法

科学家保护一种野生动物或植物，首先要调查保护区内这种野生动植物的种群密度。生态学上调查种群密度的常用方法有样方法（quadrat method）和标志重捕法（capture-recapture method）。

样方法一般先在被调查种群的分布范围内随机选取几个样方（图10-2）。通过计数每个样方内的个体数，求得每个样方内的种群密度。最后将这些样方内的种群密度取平均值，作为该种群的种群密度估计值。这种方法可用于植物的种群密度调查。但对于那些活动范围大、运动能力强的动物，直接计数就很困难，这时可采用标志重捕法。

标志重捕法分为捕捉、标记、再捕捉、识别标记和计算五个步骤。例如，要调查某个池塘中鱼的数量，可将随机捕获的30条鱼全部做上标记，然后将这些鱼放回池塘中。几天后，使用相同的方法再次撒网捕鱼。假设再次捕捉到40条鱼，其中6条是有标记的，则可估算出该池塘中鱼的数量为： $N = \frac{M(30) \times n(40)}{m(6)}$ 条。



图 10-2 样方法的取样

种群特征

在自然生态系统中，有些种群的数量是始终保持相对稳定的，有些种群的数量会以年为单位发生波动，还有些种群的数量会随着环境的复杂变化偶尔发生改变。因此，仅仅了解种群密度的变化，还不能反映种群数量的变化趋势，还需要了解种群的其他特征，如出生率、死亡率、迁入和迁出、性比率等。

出生率和死亡率 种群的大小随着出生率和死亡率的变化而变化。出生率

(natality) 是指单位时间内出生个体数占种群总个体数的比率，死亡率 (mortality) 是指单位时间内死亡个体数占种群总个体数的比率。例如，2015年某地平均每10万人中出生1210人，死亡750人，则该地的出生率为 $\frac{1210}{100000} \times 1000\% = 12.1\%$ ，死亡率为 $\frac{750}{100000} \times 1000\% = 7.5\%$ 。种群的自然增长率为出生率减去死亡率，即 $12.1\% - 7.5\% = 4.6\%$ 。因此，出生率和死亡率决定了种群消长的速率。



理性思维

分析 为什么老鼠在人人喊打的情况下，种群数量仍然很大？

讨论 为什么大熊猫、马来貘等生活在有专人照顾的保育中心，种群数量仍不能迅速增长？

迁入和迁出 迁入 (immigration) 和迁出 (emigration) 是种群数量变化的次要因素。一些生物存在因个体迁入或迁出导致种群数量出现变化的现象。例如，东方蜂鹰 (oriental honey buzzard) 和灰面鹫鹰 (grey-faced buzzard) 春季在中国北方、日本等温带地区筑巢并繁殖，秋季就会迁移到东南亚越冬。第二年春天，它们再飞回北方。每年的春天或冬天，这些温带地区的东方蜂鹰和灰面鹫鹰都会发生数量的增加或减少。



图 10-3 蜂鹰

性比率 性比率 (sex ratio) 是指种群中雌雄个体数目的比率。大多数生物与人一样，性比率是1:1。如果性比率偏离1:1，会直接影响种群的出生率。例如，人们利用人工合成的性引诱剂诱杀棉花田中的棉铃虫雄性个体，破坏其正常性比率，使很多雌性个体不能完成交配，从而明显降低这种害虫的种群密度。

种群成长模式 随着时间的变化，种群的出生率、死亡率的波动以及环境条件的改变，都会引起种群个体数量变化。生态学家将种群数量增长的情况分为两种典型模式：J型增长和S型增长。

J型增长 1859年，一位英国人带了24只野兔来到澳大利亚定居。澳大利亚国土辽阔，本来没有野兔，但有茂盛的牧草。这些野兔属于外来物种，在气候适宜，空间充裕，食物丰富，没有鹰、狐狸等天敌的情况下，开始没有任何限制地疯狂繁殖（图10-4）。70年后，数量达到惊人的100亿只。



图 10-4 疯狂繁殖的野兔

像这样，在资源和空间无限及没有天敌的条件下，种群数量会快速增长，这种种群数量的增长方式称为指数增长。因其增长曲线形似字母“J”，也称为J型增长。图10-5表示细菌种群的指数增长，一个细菌经过12小时共36代的繁殖，理论上可以增长到68 719 476 736个。

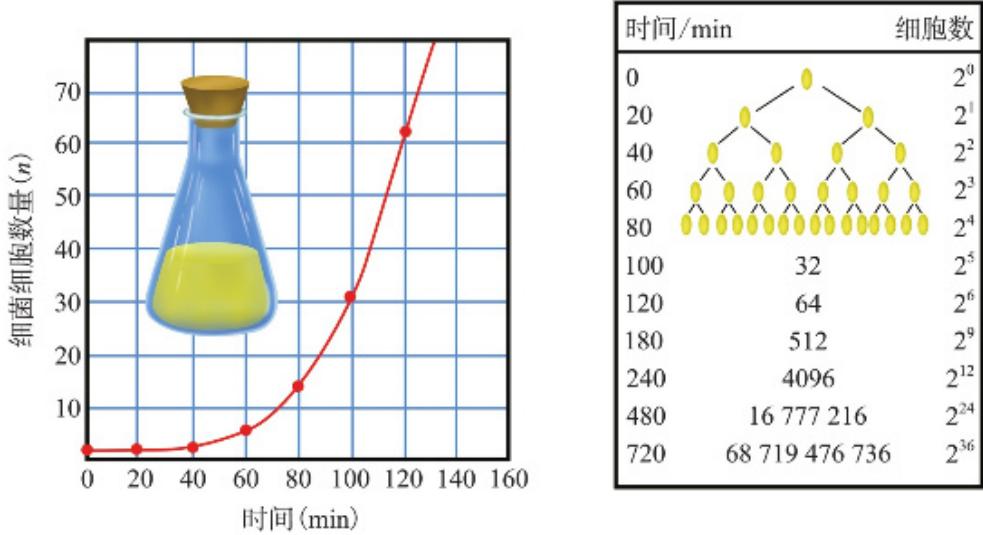


图 10-5 细菌种群的 J 型增长

S型增长 当牧民在一片肥沃的草原上放牧时，他会想像自己的牛羊数量能够持续不断地增长。但是事与愿违，他的牛羊数量并未像澳大利亚的野兔那样出现“J”型增长。这是因为自然界的资源和空间总是有限的，同时一种生物也会受天敌等其他生物的制约。这样，一个种群的数量很难呈现指数增长，而呈现为S型增长（图10-6）。

在S型增长的过程中，种群数量在最初的一段时间内增长缓慢，之后就会迅速增加。种群密度上升后，个体之间就会发生食物与空间的激烈竞争，环境阻力不断增大，种群的增长速度又开始变慢。最后，种群数量与环境达到平衡状态，种群大小就在环境容纳量附近上下波动（图10-6）。

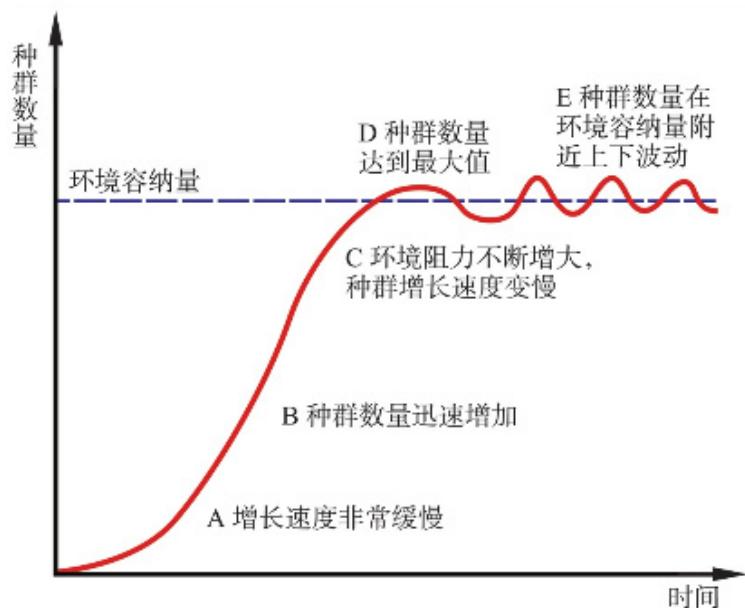


图 10-6 S型增长曲线

环境容纳量 (carrying capacity, 通常以 K 表示) 指的是在该环境中这个种群能长期维持的最大数量。 K 值只是反映种群数量的平均值。在自然界中, 有时种群的数量会在短时间内超过 K 值, 超过后可能会出现三种后果(图10-7)。

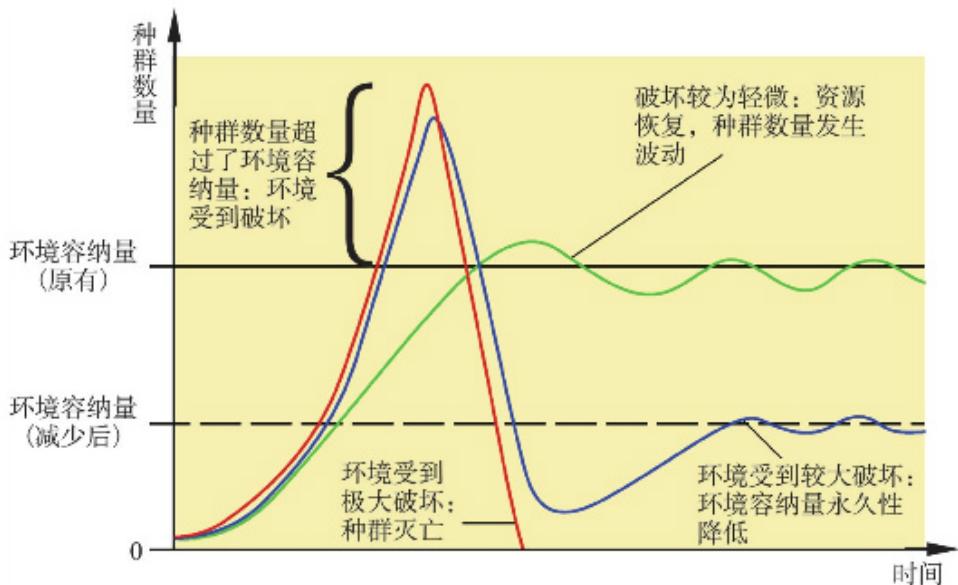


图 10-7 种群数量超过环境容纳量的后果

种间关系 在自然界中, 具有直接或间接关系的多种生物种群生活在一起, 它们之间具有复杂的种间关系。我们把在一定生活环境中的所有生物种群的总和叫做生物群落, 简称群落 (community)。

群落中主要的种间关系包括竞争、捕食、寄生、互利共生和片利共生。



竞争 竞争 (competition) 是指两种或两种以上的生物相互争夺资源和空间等。如生活在草原上的牛和羊，因食物相同而构成竞争。竞争的结果常表现为相互抑制，即两个种群数量都没有增加。在有些竞争中，也会出现一方占优势，另一方处于劣势甚至死亡的局面。

捕食 在捕食 (predation) 关系中，捕食者会食用其他的生物，被食用者称为猎物。如海鸥吃章鱼，海鸥就是捕食者，而章鱼就是猎物。海鸥的数量会因章鱼等食物的增多而增多，但这种种群增长是不会持续的。随着章鱼不断被海鸥捕食，其种群数量下降，于是海鸥的数量也会因章鱼数量的减少而减少。随着海鸥数量减少，章鱼数量又再增加。因此，自然界中捕食者和猎物的数量是起伏波动的（图10-8），它们之间的平衡如果被打破，将会造成严重的生态灾难。

寄生 一些生物（寄生者）寄居于另一种生物（寄主）的体内或体表，并从寄主体内获取营养以维持生存，一般寄主会受到不同程度的伤害。这种种间关系被称为寄生 (parasitism)。例如，肠道蛔虫的卵经消化道进入小肠发育为成虫，并不断从人体获取营养（图10-9）。很多寄生者离开寄主就不能独立生存。

互利共生 一些生物虽属不同物种，但会共同生活、互惠互利，这样的种间关系被称为互利共生 (mutualism)。例如，大豆在生长过程中，根部会逐渐出现一些瘤状小球，其内包含丰富的根瘤菌（图10-10）。根瘤菌会帮助大豆固定氮，大豆则为根瘤菌提供部分有机物。

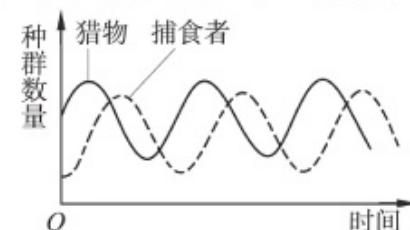


图 10-8 捕食者和猎物种群数量的变化曲线图



图 10-9 肠道蛔虫



图 10-10 大豆根瘤

片利共生 有时两种生物共同生活，一方受益，而另一方既没有获得益处，也没有受害，这样的种间关系称作片利共生 (commensalism)。如短印鱼会吸附在鲨鱼、蝠鲼等大型鱼类身上，以它们吃剩的食物残渣为食。

表10-1 物种之间的相互作用

关系种类	对物种 A 的影响	对物种 B 的影响
A 和 B 之间相互竞争	有害	有害
A 捕食 B	有利	有害
A 寄生 B	有利	有害
A 与 B 片利共生	有利	无利无害
A 与 B 互利共生	有利	有利



理性思维

推测 随着时间的变化，互利共生的两个种群的数量会发生怎样的变化？

讨论 为什么说群落中生物的相互作用是非常重要的？



活 动

根据数据判断两个种群的相互关系

草履虫（paramecium）是一类生活在水中的单细胞动物，喜欢生活在有机物含量较多的稻田、水沟或池塘中。常见的种类有大草履虫和双小核草履虫。

生物学家常通过比较两种草履虫在单独培养和混合培养时的种群密度变化，来判断两个种群的种间关系。

图10-11是小明单独培养和混合培养大草履虫和双小核草履虫的实验结果。请根据实验结果做出你的判断。

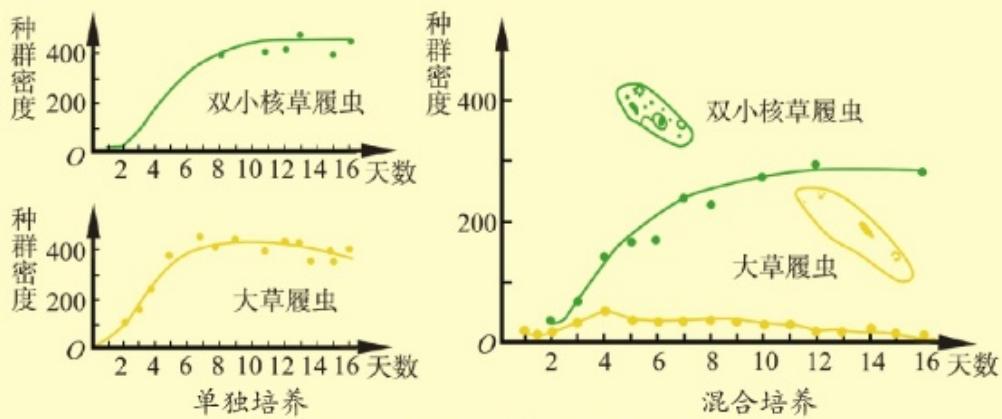


图 10-11 不同方式培养草履虫的实验结果



1. 提出问题 小明的实验想解决什么问题?
2. 建立假设 该实验结果支持的假设是什么?
3. 控制变数 实验的操纵性变数、反应性变数是什么?
4. 操作性定义 该实验的操纵性变数、反应性变数是怎么界定的?
5. 推测 如果两种草履虫是互利共生关系,混合培养时种群密度会如何变化?
6. 得出结论 依据小明的实验结果,能得出什么结论?



科学方法

数据处理

数据处理是实验探究过程中的重要环节。科学家在实验中收集大量的数据和资料等信息后,就要对数据进行分析统计,确定数据范围、平均值和众数等,根据数据范围作图和寻找异常数据,从中找出其规律性。

我们可以通过曲线图分析两个或者更多个变数之间是否存在一定的关系,从而判断实验结果是否支持你作出的假设。我们也可以通过已有数据的规律性模式,对变量间的关系作出一定的预测。



自我检测

- 1 种群是物种的具体存在单位,以下属于种群的是()
A. 某学校操场上所有的蒲公英 B. 一片森林中所有昆虫
C. 一个蚁穴中所有的雄蚊 D. 一片森林中所有蕨类
- 2 一个外来物种进入新环境后,其种群数量不可能出现的变化是()
A. 先呈J型增长后呈S型增长 B. S型增长
C. 先呈S型增长后呈J型增长 D. 逐渐减少至零

- 3 图10-12中，甲、乙、丙分别表示两个生物种群随时间(t)推移而发生的生物个体数量变化(n)。据图推测，它们表示的种群间关系依次是()

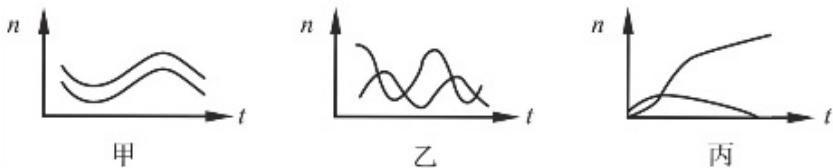


图 10-12 两种生物的数量变化曲线

- A. 竞争、捕食、共生
B. 共生、捕食、竞争
C. 竞争、共生、捕食
D. 捕食、竞争、共生
- 4 草履虫在适宜条件下增殖较快。现欲探究草履虫的种群增长方式，请根据以下提供的实验材料和用具，设计实验步骤，绘制用于呈现实验数据的坐标系，并预测实验结果。材料和用具：草履虫、培养液、显微镜、培养瓶等。答题时对草履虫的具体计数方法不作要求。
- (1) 设计实验步骤。
 - (2) 绘制一个用于呈现实验数据的坐标系，并注明坐标轴名称。
 - (3) 预测实验结果，并说明预测的依据。



10.2 生态系统



学习目标

- ★ 举例说明温度、阳光、土壤、雨量、盐度等非生物因素对生物与种群的影响。
- ★ 描述生物与生境之间的相互作用，概述群落与生态系统的概念。
- ★ 分析科技发展对生态系统的影响。

珊瑚礁

米粒大小的珊瑚虫一群群聚居，一代代繁衍，同时不断分泌出石灰石，并彼此粘合在一起。这些石灰石经过数百年乃至上千年的压实与石化，最终形成了珊瑚礁。珊瑚礁被称为“海洋的热带雨林”，里面有着种类丰富的浮游动植物以及藻类等，它们为珊瑚、海葵、牡蛎、海胆、海参、蟹、龙虾、蝴蝶鱼、海龟等生物提供了充足的食物。



图 10-13 珊瑚礁生态系统



问题探讨

1. 珊瑚礁生态系统中的鱼类与非生物环境之间是如何相互作用的？
2. 哪些因素会影响该生态系统中种群的数量？

生物世界是一个绚丽多彩、奥秘无穷的世界。生物之间既存在为生存而进行的竞争和搏斗，又存在互相依存、互惠互利的共生关系。正是这些错综复杂的相互关系，才形成了各种各样的生态系统。

生态系统

生物不会孤独地存在，总会和其他生物及非生物环境发生直接或间接的联系。生物间的相互联系构成了生物群落，而生物群落与它所处的非生物环境相互作用形成一个统一的整体，称为生态系统（ecosystem）。例如，我国沙巴的Tabin野生动物保护区就是一个生态系统（图10-14）。



图 10-14 Tabin 野生动物保护区的长鼻猴

生态系统是一个相对稳定的开放系统，是地球生物圈的基本功能单位。它的空间范围有大有小。大的如大陆、海洋、森林、草原等，小的如池塘、农田、菜地、校园等。如果把生物圈作为一个整体来看，地球上最大的生态系统就是生物圈，即由全部生物及其所处的非生物环境构成的整体。

地球上任何一个完整的生态系统，都是由生产者、消费者、分解者和非生物环境组成的。它们在物质循环和能量流动中各自发挥着特定的作用，并形成整体功能，使整个生态系统正常运行。

生产者(producer)主要包括绿色植物和某些能进行光合作用的细菌（如光合细菌、蓝细菌）。它们都是自养生物，能利用太阳能或能把从周围环境中摄取的简单无机物合成有机物，提供生物赖以生存的食物，在生态系统中起着生产的作用。

消费者(consumer)主要指以生产者生产的有机物为食物的各种动物。动物自己不能



生产食物，只能直接或间接地利用植物制造的有机物作为自己的营养物质和能量，以维持它们的生存，因此称为异养生物。

分解者(decomposer)主要包括细菌与真菌，也包括某些原生动物和食腐动物（如蚯蚓、白蚁、秃鹫等），它们是生态系统的“清洁工”。它们依靠分解动植物的残体、排泄物等取得营养物质和能量，同时又把构成动植物残体的复杂有机物分解为简单的无机物，并将它们归还大气、土壤和水，以供生产者再一次利用。

非生物环境是指生态系统中的各种无机物和自然条件。无机物质，如氮气、氧气、水及各种无机盐；自然条件，如光、温度、湿度、风、雨雪等。它们是生物赖以生存的物质和能量的源泉，并共同构成大气、水和土壤环境，成为生物活动的场所。

图10-15是一个池塘生态系统，其中水草、硅藻及其他藻类等属于生产者，鱼、水生动物等属于消费者，而水和淤泥中的细菌等微生物属于分解者。它们既分工又协作，使池塘生态系统能够很好地发挥作用。



图 10-15 池塘生态系统

食物链和食物网

俗话说，大鱼吃小鱼，小鱼吃虾米，虾米吃泥巴，这很好地描述了池塘生态系统中生物吃与被吃的关系。成语“螳螂捕蝉，黄雀在后”，也反映了自然生态系统中动物世界的弱肉强食。因此，在生态系统中，所有的动植物彼此之间都存在着一种吃与被吃的关系，构成了食物链（food chain）。在草原上，鹰吃蛇，蛇吃蛙，蛙吃蝗虫，蝗虫吃植物，就是食物链的一个典型例子（图10-16）。



图 10-16 食物链

通过食物链，消费者和分解者不断获得来自生产者固定的能量。由于能量每次传递都会损失掉一大半，所以食物链通常只有四五个环节。这些环节中，第一个环节的生物被称为第一营养级。依次类推，此后的环节分别称为第二、第三、第四、第五营养级。

生态系统中食物链通常分为两种类型：捕食食物链和腐食食物链。捕食食物链一般以植物为起点，由植物到小动物，再到大动物，后者捕食前者。植物→昆虫→青蛙→蛇→鹰，就属于这种类型。腐食食物链以死亡生物或现成有机物为起点。生物残体→蚯蚓→鸡→貂，就属于这种类型。

在生态系统中，食物链并不限于简单的直线形式。食物链中的每一个环节，不仅与上、下两种生物发生联系，而且还与周围很多种生物发生联系。这好像有一张无形的网和无数的网结，把所有生物直接或间接地联系在一起。生态系统中这种由很多食物链彼此交错连接而成的复杂的营养关系，叫做食物网（food web）。图10-17所示的是一个食物网的例子。

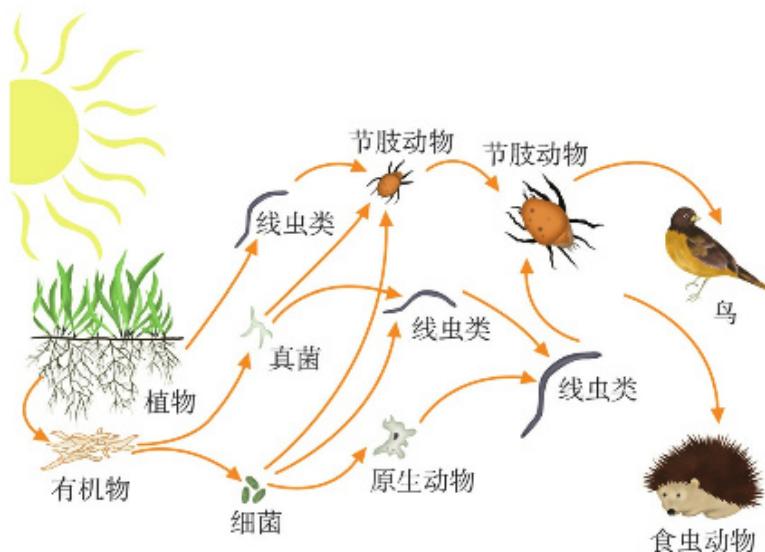


图 10-17 土壤中的食物网

生物种类越多，食物网越复杂，生态系统也越稳定。反之，生态系统就越不稳定，容易发生波动和毁灭。假如在一个岛屿的生态系统中只有草、兔子和狐狸构成一条食物链。在这种情况下，兔子一旦消失，狐狸就会饿死。但如果还存在一些其他的食草动物，那么兔子的消失对狐狸的影响就不会很大，因为狐狸可以捕食其他食草动物获得食物。

非生物因素对生物的影响

生物的生存必然受到其所处的非生物环境的影响，这些影响生物生存的非生物因素有温度、阳光、土壤、降水量、盐度等。

温度 温度是对生物影响最为明显的非生物因素之一。温度的高低会影响酶的活性，酶的活性的高低又会影响生物的新陈代谢。因此，生物必须生活在温度适宜的环境里。

过高的环境温度会引起生物个体伤亡。例如，珊瑚的耐温范围很窄，当海洋温度长时间升高 $1.5\sim2^{\circ}\text{C}$ ，就会造成珊瑚白化（图10-18）。

过低的环境温度会造成生物冻伤，甚至死亡。例如，将生活在热带的鳉鱼（图10-19）养在 10°C 的水中，它就会因呼吸中枢受冷刺激而死亡。

很多生物的分布受到环境温度的限制。例如， $24\sim32^{\circ}\text{C}$ 是香蕉生长的最适温度。因此，香蕉只能种植在热带地区，不能种植在温带地区。



图 10-18 珊瑚白化



图 10-19 鳉鱼

阳光 植物进行光合作用需要阳光提供能量。光照度会影响光合作用速率，因此，植物要生长在有充足光照的环境中。阳光还会影响植物的生长发育和开花时间，也会影响动物的活动。大多数动物适宜在白天阳光下活动，如雀鸟、猿猴等，但也有一些动物适宜在黑夜中活动，如蝙蝠、壁虎等。

土壤 植物通过根从土壤中吸收生长所需的水分、无机盐等。因此，植物的生长直接受土壤 pH 值、无机盐含量等的影响。例如，芒萁属于蕨类，适合生长在 pH 4.5 ~ 5.0 的酸性土壤上（图 10-20）。菠菜既不耐酸又不耐碱，最好种植在中性的土壤中（图 10-21）。



图 10-20 芒萁



图 10-21 菠菜

土壤中有机物的丰富程度会直接影响土壤动物的分布。例如，蚯蚓一般生活在有机物丰富的农田或菜地土壤中，不会生活在贫瘠的沙土中。



理性思维

- 解释 无土栽培的植物离开土壤为什么还能正常生长?
- 推测 蚯蚓松土对植物生长有何作用?

降水量 植物的蒸腾作用和光合作用都要消耗大量的水分。在自然生态系统中，由于没有灌溉，降水是补充植物生存环境中水分的重要来源。降水减少会使农作物减产。

降水量是决定植物分布的重要因素。热带雨林地区的年降水量通常在1800 mm以上，降水量会大于植物的蒸腾量。温带草原地区的年降水量在250~800 mm左右，只有草本植物和一些灌木能生存。沙漠地区的年降水量不足150 mm，且水分蒸发量大于降水量，故只有一些耐旱的植物才能生长。

盐度 盐度影响水生动物的分布、繁殖和生长发育。淡水鱼不具备排出多余盐分的功能，无法在海水中生存，但海水鱼可通过鳃主动排出盐分而调节渗透压。各种水生动物都保持着一定的体内渗透压，它们都适应于一定盐度的水环境，在淡水、海洋及近河口处分别生活着不同类型的水生动物。

世界每个地区海水的盐度分布不均。赤道一带由于降水量大，盐度较低；而两极地区的海域，由于温度低、蒸发弱，加上冰的溶解使得盐度也比较低。盐度最高的地区是蒸发量高而降水相对较低的中纬度地区（图10-22），因此每个地区鱼的种类也有所不同。

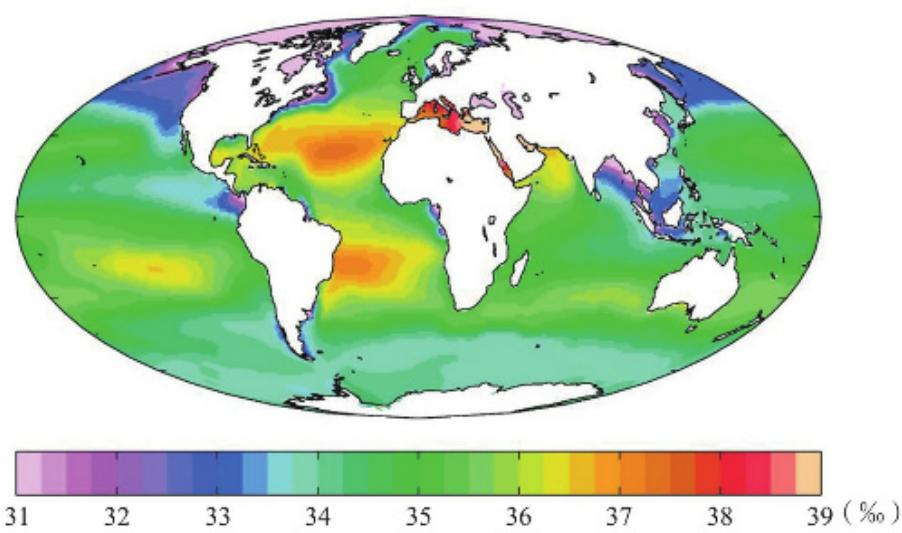


图 10-22 世界海水表层盐度分布

盐度还影响到植物的分布。海水具有高盐度，对于绝大多数的植物都是致命的。但是一些红树植物具有特殊的排出盐分的机制，这让它们能在潮间带扎根并繁衍后代。

生物与生境的相互作用

处在生态系统中的生物总是受到生物因素和非生物因素的影响。由于生存的需要，生物必须适应所处的环境，即生境（habitat）。生境影响生物的生长、发育等生命活动，但生物不只是被动的适应，它们也在改变生境。例如，仙人掌利用自身发达的根系，在极度缺水的沙漠中获取水分，并进行光合作用制造有机物，这些有机物为其他沙漠动物提供了食物。

生物不仅影响到生境中其他的生物，也会改变无机环境。例如，蚯蚓在土壤中活动，增加的土壤缝隙能改善土壤的通气和吸水能力。梭梭（saxaul）是沙漠地区常见的植物，耐旱耐寒，不怕风吹沙打，能起到防风固沙的作用（图10-23）。



图 10-23 沙漠中的梭梭

活 动

讨论科技发展对生态系统的影响

20世纪60年代开始，人们意识到生态环境的问题越来越严重。很多人把科技的迅速发展作为生态危机产生的一个原因。但在寻找解决危机的方法时，人们又需要借助科技的力量。那么，科技发展对生态系统究竟有怎样的影响呢？

目的要求

- 收集科技发展影响生态系统的资料。
- 正确认识科技发展与生态系统的关系。

活动提示

- 针对科技发展对生态系统影响的某一方面（如化学污染、生态修复），通过互联网、学术期刊、专业书籍等途径，收集相关正面或负面影响的资料。
- 将收集到的资料进行整理归类，注明资料的来源，通过辩论等形式，分享科技发展对生态系统影响的信息，感悟科技发展的两面性。



理性思维

1. 论证 有人认为，在发展经济的过程中环境污染是不可避免的。环境污染可以待经济发展后再用科技手段来治理。你认同这种观点吗？请说出你的论证依据。
2. 讨论 人类应怎样处理与自然的关系？



自我检测

- 1 分解者是生态系统的重要成分。下列哪种生物属于分解者？（ ）
A. 硝化细菌 B. 蚯蚓 C. 团藻 D. 蓝细菌
- 2 大雁是出色的空中旅行家。每当秋冬季节，它们就从老家西伯利亚一带成群结队飞到南方过冬。第二年春天，它们又结伴回到西伯利亚产蛋繁殖。大雁的行为是受到以下哪种非生物因素的影响？（ ）
A. 阳光 B. 降水量 C. 温度 D. 食物
- 3 在图 10-24 所示的食物网中，由于某种原因蚱蜢大量减少，蚯蚓数量将会（ ）
A. 增加 B. 减少 C. 基本不变 D. 可能增加也可能减少

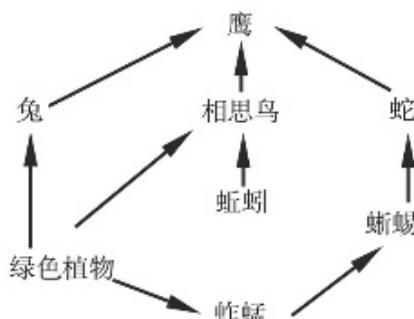


图 10-24

- 4 请举例说出生态系统中影响种群大小的因素。

10.3 物质循环与能量流动



学习目标

- ★ 解释能量在各营养级之间的贮存和传递。
- ★ 描述生态系统中的碳循环和氮循环。
- ★ 说明碳循环和氮循环对维持生命的重要性。

赛达伯格湖

1936年，英国生态学家坦斯利（Arthur George Tansley）提出了生态系统的概念，使生态学的研究对象从个体、种群、群落转向了更符合地球实际的生态系统。近一个世纪以来，许多生态学家对生态系统理论和实践做出了巨大贡献，美国生态学家林德曼（Raymond Laurel Lindeman）就是其中一位。



图 10-25 赛达伯格湖

为了揭示生态系统中物质和能量运转的规律，林德曼对美国50万m²的赛达伯格湖（Cedar Bog Lake）进行了野外调查和定量研究，发现生态系统的能量流动是单向的、逐级递减的，能量在相邻两个营养级间的传递效率大约是10%~20%（图10-26），标志着生态学的研究开始从定性走向定量。他的这项工作是生态系统中能量流动研究的经典，成为后来许多关于动植物群落中能量流动研究的基础。

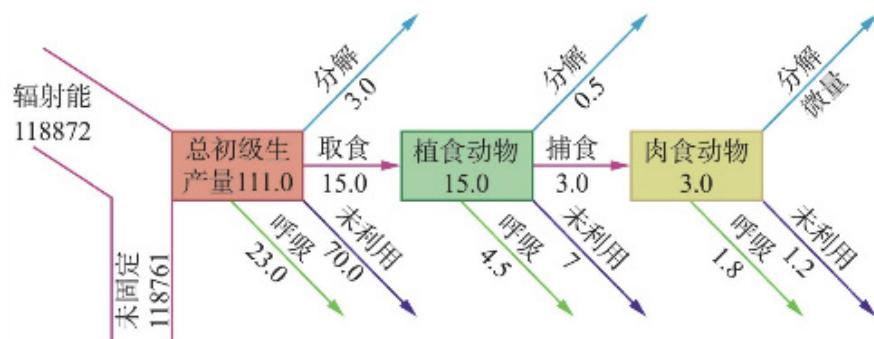


图 10-26 赛达伯格湖的能量流动分析



问题探讨

1. 赛达伯格湖内的物质循环是如何进行的?

2. 进入生态系统的能量又是怎样流动的?

生态系统不断地依靠太阳为其提供能量,许多与生命活动相关的物质(如碳、氮、磷、水),以多种形式在生态系统中不断地被循环利用。例如,你头发中的碳原子可能来自于一个香蕉。再往前,它可能来源于煤炭等化石燃料燃烧产生的二氧化碳。再往前,它可能来源于几千万年前的一棵大树……

碳循环

碳循环是指碳元素在自然界的循环状态。碳循环在生态系统中具有特别重要的作用,因为碳是所有有机分子的骨架,是最基本的生命元素。

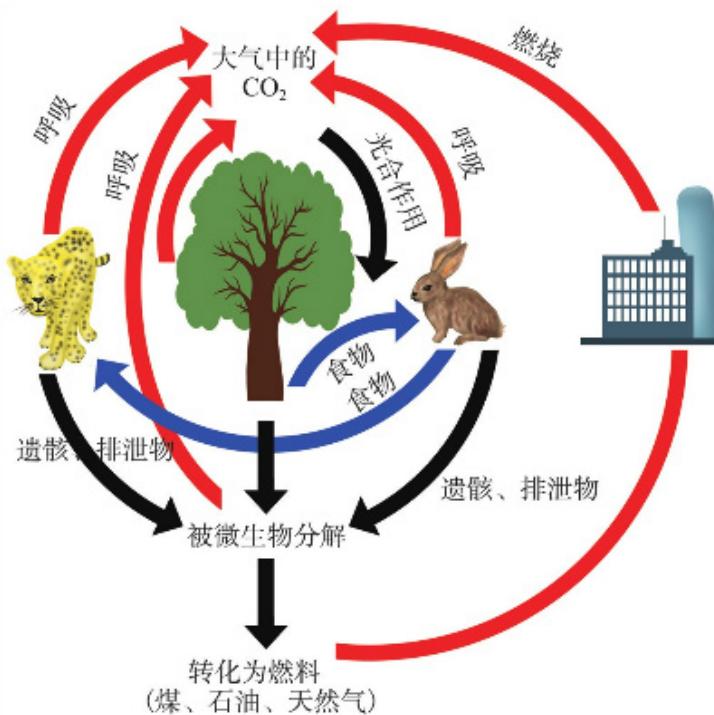


图 10-27 碳的循环

碳循环的途径主要有5条（图10-27）。一是植物通过光合作用不断地把无机碳转变为有机碳。据估计，地球陆地上每年有 $2 \times 10^{13} \sim 3 \times 10^{13}$ kg碳被固定到有机化合物中；二是动物通过捕食将食物中的有机碳同化为自身的有机碳；三是通过动植物每时每刻进行的呼吸作用，把有机碳转变为二氧化碳后又返回到大气；四是动植物的遗体残骸被细菌、真菌等分解者分解，有机碳又转变为二氧化碳回到大气；五是通过石油、煤炭等化石燃料的燃烧，把有机碳转变为二氧化碳直接排入大气中。据估算，人类每年因能源消费向大气排放了 2×10^{13} kg 的二氧化碳，极大地增加了大气中二氧化碳的含量，引发了地球的“温室效应”，对全球的生态平衡造成了巨大的破坏。

大气中的二氧化碳会随着气流在整个地球大气层中扩散。因此，碳的循环是在整个生物圈范围内进行的。



科学·技术·社会

全球变暖问题的讨论

近十年来，全球变暖问题日益严重。人们将全球变暖的主要原因归为温室气体，特别是近一个世纪以来大量燃烧煤炭和石油等化石燃料，排放出大量的CO₂等多种温室气体。

2006年，纪录片《难以忽视的真相》（An Inconvenient Truth）上映。该片讲述了全球气候变暖及环境恶化所带来的灾难，并在最后呼吁保护环境、减缓暖化。但也有一些科学家对温室气体导致全球变暖的观点持怀疑态度，认为地球气候长久以来一直处于不断变化过程中，期间存在各种复杂原因，而不是如“全球变暖”支持者所说的，仅仅是由于二氧化碳排放引起的。

2007年，英国广播公司播出了纪录片《全球变暖大骗局》（The Great Global Warming Swindle），讨论了全球变暖的议题。影片最后的结论认为，太阳活动可能才是变暖的主因。

虽然对于全球变暖的成因还有一些不同的观点，但通过对全球变暖问题的讨论，已唤起人们对地球环境的保护意识。



理性思维

1. 论证 温室气体导致全球暖化的观点还有哪些证据?
2. 反驳 面对有人对全球暖化问题的质疑，你将如何回应?

氮循环

氮是蛋白质和核酸的组成成分，对生物体的组成、代谢和遗传具有特别重要的作用。氮气占大气总量的78.12%，但面对这么多的氮气，绝大多数生物只能“望氮兴叹”。氮气进入生态系统循环是一个复杂的过程，涉及许多种生物。氮循环可以分成四个阶段：固氮作用、氨化作用、硝化作用和脱氮作用（图10-28）。

固氮作用可通过三条途径将大气中的氮转入生态系统。一是固氮细菌，如根瘤菌、蓝细菌将空气中的氮转化为含氮化合物；二是在闪电的作用下，氮气和氧气结合成二氧化氮，然后溶于雨水形成亚硝酸和硝酸，并随雨水进入土壤与无机盐形成亚硝酸盐和硝酸盐；三是工业上通过哈柏法（Haber process）将氮气转变成氨，再制成硝酸和硝酸盐。

氨化作用是把蛋白质水解为氨基酸，进而转变为氨的过程。动植物的遗体残骸中的含氮废物都会被细菌和真菌分解，产生氨，氨溶于水形成铵盐。

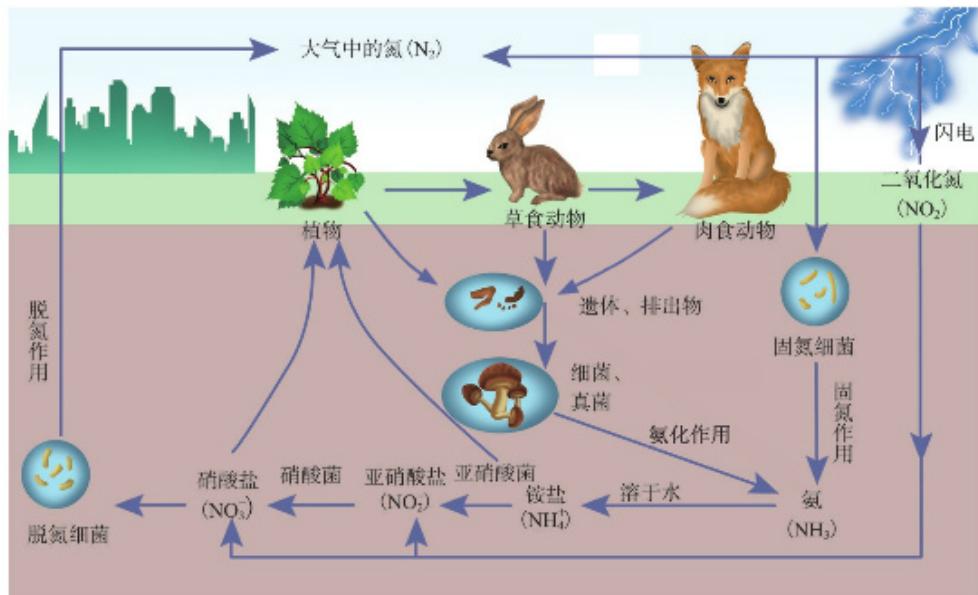


图 10-28 氮的循环

硝化作用是氨氧化为硝酸盐的过程。土壤中的细菌把铵盐氧化为亚硝酸盐与硝酸盐。植物的根部能吸收硝酸盐并用来合成蛋白质。

脱氮作用是与硝化作用相反的过程。土壤中的一些脱氮细菌可将硝酸盐转变成氮气，氮气又回到大气中。

能量流动

所有生物的新陈代谢、生长发育、繁殖、运动等都需要能量。太阳每天为地球输送了大约 10^{19} kJ的能量，但大约只有1%的能量能被植物通过光合作用转化为化学能。太阳能沿着“太阳能→植物→植食动物→肉食动物”的方向流动，这就是生态系统中的能量流动（energy flow）。能量流动是单向的、逐级递减的。

绿色植物所获得的能量，不可能全部被植食动物所利用。因为绿色植物本身的生命活动消耗了大部分能量。绿色植物的根系、茎秆、果壳以及枯枝落叶等部分组织，往往不能被植食动物食用。即使被食用的那部分，也不可能被全部消化吸收，总有一部分以粪便形式排出体外。因此，植食动物所利用的能量，一般仅为绿色植物所含能量总量的十分之一左右。同样道理，肉食动物所利用的能量，一般也仅为被食动物所含能量总量的十分之一左右。

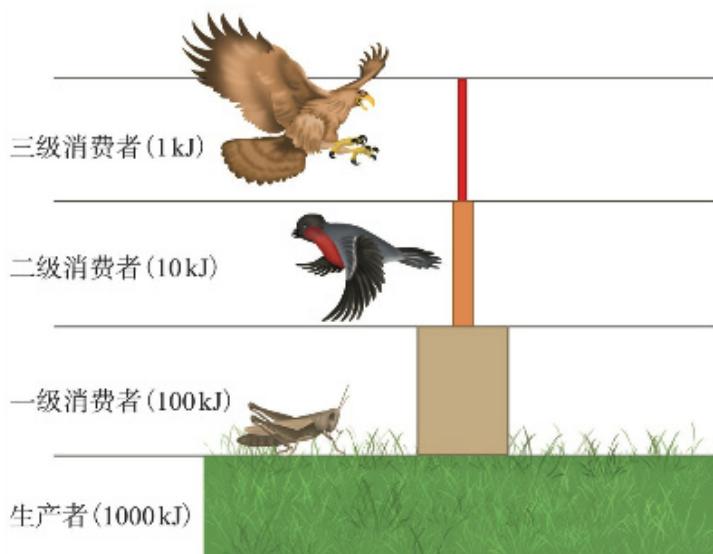


图 10-29 能量金字塔



由此可知，营养级越高，在生态系统中能量就越少，所能供养的动物数量也越少。一般说来，能量沿着“生产者→一级消费者→二级消费者→三级消费者”逐渐流动，后者所获得的能量大体等于前者所含能量的十分之一。这就是说，在能量流动过程中，约有十分之九的能量被损失掉。对于这种数量上的关系，人们称之为“十分之一定律”。这个定律是由美国生态学家林德曼于1942年发现的。

人们在研究生态系统的食物链和食物网结构时，把每个营养级有机体的生物量、能量及个体数量，按营养级的顺序排列起来，绘制成图，图形与金字塔的形状相似。图10-29所示的是草原生态系统“能量金字塔”的一个例子。

“十分之一定律”不仅向人们展示了能量在生态系统的流动中存在严格的数量关系，而且还提示人们，生态系统中各营养级的有机体之间，必须保持严格的数量关系才能保持生态平衡，尤其是位居能量金字塔顶端的捕食者的个体数量不能太多，这对生态系统的稳定至关重要。

生态系统的稳定性

赛达伯格湖、亚马逊森林、北极苔原等在地球上已经存在很久了。这些自然生态系统经常遭受洪涝、火灾等的破坏以及人类活动的干扰，但现在依然基本保持原有生态系统的景观，依然能维持生态系统的正常功能。生态系统经长期的发展过程逐步形成了生物与非生物质、能量之间，以及生物与生物之间相对稳定平衡的状态，称为生态系统的稳定性（stability of ecosystem）。

生态系统通过自我调节能力实现其稳定性。一条河流不会因为流入一些生活废水就破坏其正常功能。因为河流能通过物理沉降和分解者的分解作用，迅速分解废水中的有机物，河流中的原有生物种类和数量也不会受到明显影响。当然，生态系统的这种自我调节能力是有限的。当生活废水源源不断地流入时，河流水质就会慢慢变差，生活在其中的动植物和微生物就会受到影响。


自我检测

1 图10-30是自然界碳循环的简图，图中的甲、乙、丙分别代表()

- A. 甲为生产者，乙为分解者，丙为消费者
- B. 甲为消费者，乙为分解者，丙为生产者
- C. 甲为分解者，乙为生产者，丙为消费者
- D. 甲为生产者，乙为消费者，丙为分解者

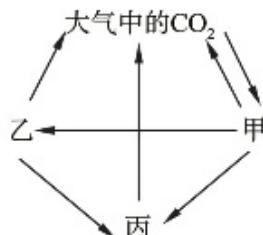


图 10-30

2 “螳螂捕蝉，黄雀在后”所隐含的食物链中具有的营养级至少有()

- A. 2 级
- B. 3 级
- C. 4 级
- D. 5 级

3 如果一个人的食物有 $\frac{1}{2}$ 来自绿色植物， $\frac{1}{4}$ 来自羊肉， $\frac{1}{4}$ 来自小型肉食动物。假如能量传递效率为10%，那么该人每增加1 kg体重，约消耗植物()

- A. 10 kg
- B. 28 kg
- C. 100 kg
- D. 280 kg

4 一些素食主义者主张禁食肉类，多吃素食。他们认为从能量流动的角度分析，食用肉类比食用素食消耗更多生产者固定的能量。你认同他们的主张和理由吗？请说明你的主张和理由。



10.4 生态系统类型



学习目标

- ★ 辨识我国常见的生态系统。
- ★ 收集及报告与我国生态系统相关的资料。

国家公园

国家公园(Taman Negara)地处马来半岛的蒂蒂旺沙山脉之中，位于彭亨、吉兰丹和登嘉楼三州交界处，占地4343km²，是世界上最古老的热带雨林，约在白垩纪形成，已有一亿三千万年历史，比刚果和亚马逊热带雨林还要古老，其生物多样性非常丰富。

迄今为止，在国家公园内已发现超过3000种植物。哺乳动物超过150种，其中包括亚洲象、马来亚虎、云豹、马来貘、马来熊、长臂猿、印度野牛等珍贵动物。鸟类约470种，其中包括凤头鹰雕、红颈绿鸠、凤头眼斑雉、凤冠孔雀雉等珍稀鸟类。除此之外，还有许多种类的爬行动物、两栖动物、淡水鱼和昆虫等。国家公园内的大汉河(Sungai Tahan)也是濒危物种吉罗鱼的保护地。



云豹

吉罗鱼

凤头鹰雕

图 10-31 国家公园



问题探讨

1. 政府设立国家公园对保护生态系统有什么意义？
2. 我国常见的生态系统有哪些？

生态系统是生物学组织体系中最高的层次。地球各地因气候、地形和其他环境条件的不同，分布着不同类型的生态系统。这些生态系统相互交织在一起，组成了地球上最大的生态系统——生物圈（biosphere）。

生态系统的类型

生态系统一般分为自然生态系统和人工生态系统两种类型。自然生态系统还可以分为水域生态系统和陆地生态系统。人工生态系统包括农田、人工林、果园、城市等不同类型的生态系统。

自然生态系统 水域生态系统包括淡水生态系统和海洋生态系统。前者如江河、湖泊等，后者如近海区、珊瑚礁等。

陆地生态系统包括森林、草原、荒漠和苔原等。北半球的森林自北向南依次为针叶林、温带落叶阔叶林和热带雨林。草原约占陆地面积的12%，基本上由草本植物和灌木组成。荒漠又称沙漠，约占陆地面积的26%，极度缺水，只有少数沙漠植物和动物才能生存。苔原分布在环北冰洋地带，气候严寒，只有少数植物和动物能忍受这样的环境。

人工生态系统 人工生态系统是按照人类的需求而建立的生态系统。这种生态系统以人类活动为生态环境中心，如城市生态系统、人工林生态系统、果园生态系统等。人工生态系统的特点是：受人类社会的强烈干预和影响；易受各种环境因素的影响，并随人类活动而发生变化，自我调节能力差；系统本身不能自给自足，必须依赖外来能量的不断输入才能维持稳定。

我国常见的生态系统

我国处于赤道附近，属于热带海洋性气候，因此常见的生态系统有热带雨林、湿地、红树林。

热带雨林 热带雨林是地球上一种常见于约北纬10度、南纬10度之间热带地区的森林生态系统，主要分布于东南亚、南美洲亚马逊河流域、非洲刚果河流域、中美洲和众多太平洋岛屿。



热带雨林地区长年气候炎热，雨水充足，全年每月平均气温超过26℃，季节差异极不明显，生物群落演替速度极快。热带雨林是世界上物种最丰富的地区，其中的生物种类约占全球的一半。热带雨林向大气源源不断地供应氧气，因此，热带雨林被称为“地球之肺”。

我国热带雨林（如位于马来半岛的国家公园、沙巴州的丹浓谷自然保护区）中物种资源非常丰富，植物种类多达14000种，其中部分植物可提炼出香料、精油、松香、单宁等。动物种类也众多，其中哺乳动物200多种，鸟类600多种，蛇100多种，蜥蜴80多种，昆虫数千种。

热带雨林树木茂密且品种繁杂，形成了庞大的层状结构。由于阳光难以穿透层状结构而到达地面，所以底层的灌木丛并不多，这也为动物穿越树林提供了便利。

湿地生态系统 湿地是陆地与水域间的过渡区域。按照1971年签署的《湿地公约》，低潮水深不超过6 m的区域都称为湿地，如红树林、沼泽林、泥炭地等。柔佛州的丹绒比艾（Tangjung Piai）、龟咯岛（Pulau Kukup）和蒲莱河（Sungai Pulai）于2003年被国际湿地公约列为国际重要湿地，成为我国拥有最多国际湿地保留地的州属。蒲莱河也在国家自然计划（National Physical Plan）中，被列为一级环境敏感地带。我国政府也设立了不少保护区，以加强对湿地生物多样性的保护和管理。

湿地功能是多方面的。它可作为直接利用的水源或补充地下水；它能有效控制洪水和防止土壤沙化，还能滞留沉积物、有毒物、营养物质等，从而减少环境污染；它能以有机质的形式储存碳元素，降低温室效应；它还能起到保护海岸，使其不受风浪侵蚀的作用。因此，湿地被人们称为“地球之肾”。

红树林 红树林分布于亚热带地区和热带地区，主要生长在河口湾、潮间带等区域。红树根系发达，能在海水中生长。

红树利用本身茂密高大的枝体能有效地防风消浪，利用盘根错节的根系也能有效地滞留陆地来沙。红树林中沉积下来的有机物质能吸引很多的鱼虾来此生活，进而吸引各种鸟类前来觅食栖息。

我国红树林面积达56万公顷（图10-32），其中，西马9万公顷、沙巴34万公顷、砂拉越12万公顷。国家设立了一些红树林保护区，如雪兰莪州巴生河口、霹雳州马当红树林区、柔佛州的龟咯岛、砂拉越的拉让江三角洲等。



图 10-32 马来西亚红树林分布



知识补给站

马当红树林保护区

位于霹雳州的马当红树林保护区（Matang Mangrove Forest Reservation）是马来西亚最大的红树林。保护区位于霹雳州北部海岸，面积超过4万公顷。1906年，这片红树林就被列为永久森林保护区，并于1950年成为红树林保护区。这也是世界上管理最好的红树林保护区。

红树林为上百种鸟类提供栖息地，其中两个小岛Pulau Kelumpang和Pulau Terong为濒危鸟类乳白鹳（milky stork）和秃鹳（lesser adjutant）提供繁衍后代的场所。

海洋生态系统 海洋占据地球70%以上表面积，是一个庞大的生态系统。陆地生态系统主要按照生物群落进行划分，但海洋生物群落之间联系紧密，流动性大，缺乏明显的分界线，可按照海区大致划分为近海区和远洋区。

其中，近海区的珊瑚礁是地球上最丰富多彩、最有价值，也是最为复杂的生态系统之一。虽然它们的面积不到海洋的0.2%，却是近四分之一海洋生物的家园。珊瑚礁结构可以保护近海区免于遭受风暴浪潮的冲击，是天然的防波堤。珊瑚礁还是海底的“医药箱”，包括海绵、珊瑚和海兔在内的很多生物，都能够制造抗炎、抗病毒、抗肿瘤或抗



细菌效果显著的分子。美丽的珊瑚礁还能吸引众多观光客，创造巨大的旅游收入。

珊瑚礁生态系统 我国处于印度洋和太平洋之间，拥有4500 km的海岸线，珊瑚礁覆盖面积约为4006 km²。珊瑚种类在半岛逾480种，东马550种，我国常见的珊瑚礁生物有绿海龟、鹦哥鱼、海星、海参、管虫等。登嘉楼州的热浪岛(Pulau Redang)、彭亨州的刁曼岛(Pulau Tioman)、沙巴州的西巴丹岛(Pulau Sipadan)等地都有珊瑚礁生态系统，也是国际著名的潜水胜地，其中沙巴多处海域更是位于“珊瑚三角洲”范围内。

我国政府也设立了不少保育区与海洋公园，以加强对珊瑚礁生态系统生物多样性的保护和管理。



珊瑚三角洲

珊瑚三角洲(Coral Triangle)位于太平洋西部，是被马来西亚、印度尼西亚、菲律宾、所罗门群岛、巴布亚新几内亚及东帝汶所环绕呈三角形的水域。这片区域面积是美国面积的一半、澳大利亚大堡礁的10倍，有着世界上最丰富的海洋生物物种。

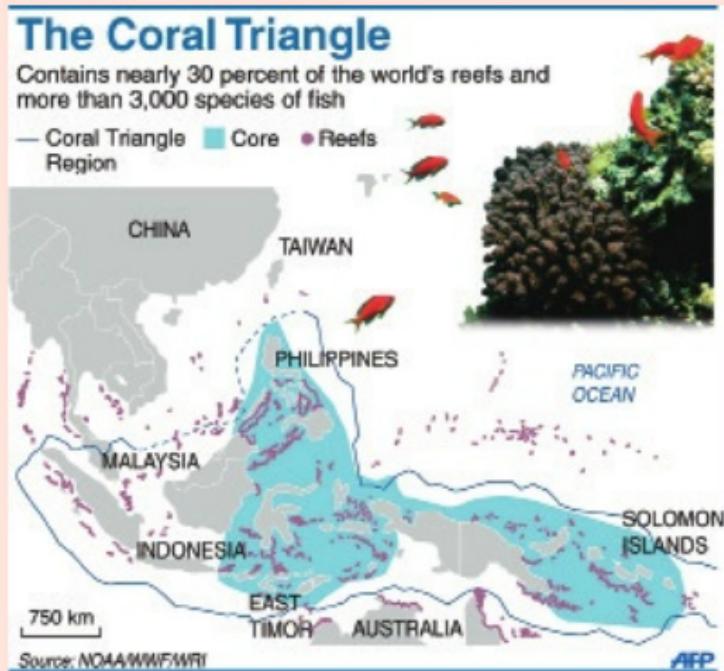


图 10-33 珊瑚三角洲



活 动

调查我国的生态系统

我国从东到西，每个州都有大片的原始雨林。这些雨林终年郁郁葱葱、遮天蔽日。我国拥有4500 km长的海岸线，沿线分布着众多的红树林。红树林中禽鸟飞翔，水中鱼虾成群。你了解我们身边的这些生态系统吗？这些生态系统的成分有哪些？

目的要求

1. 收集我国有关生态系统的资料。
2. 简述我国的生物资源状况。
3. 提出保护生态系统的合理化建议。

活动提示

1. 选取你所在地区常见的生态系统类型，通过互联网、学术期刊、专业书籍等途径，收集有关生态系统的资料。
2. 对收集的资料进行归类分析，注明资料的来源。
3. 通过海报、PPT、口头交流等形式，与同学分享我国生态系统的相关信息。



理性思维

1. 报告 如果你是导游，你会怎样介绍我国常见的生态系统？
2. 交流 向同学介绍你曾经参观过的生态保育区。
3. 问题解决 你认为应该如何做好生态系统的保护和开发工作？

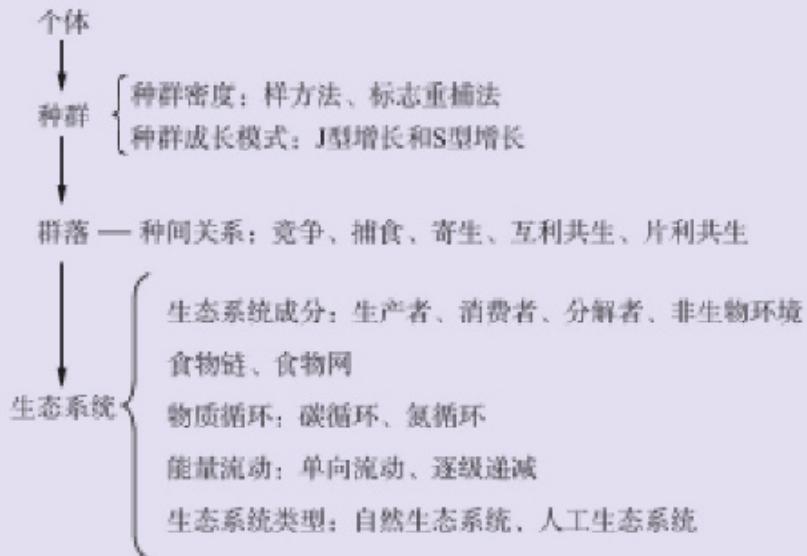


自我检测

- 1 下列关于生态系统的叙述中，不正确的是（ ）
 - A. 沼泽地、泥炭地、红树林和沿海滩涂等都属于湿地
 - B. 森林生态系统的营养级比农田生态系统的复杂
 - C. 海洋生态系统是地球上具有最丰富生物基因库的生态系统
 - D. 黄羊、跳鼠等善于奔跑的动物一般生活在草原生态系统
- 2 湿地具有重大生态价值。下列关于其功能的叙述，不合理的是（ ）
 - A. 湿地能够吸收二氧化碳，制造氧气
 - B. 在多雨季节，湿地可以起到调节流量和控制洪水的作用
 - C. 有的湿地可以用来改造为农田，以增加粮食产量
 - D. 湿地通过物理沉降或生物分解等方式净化污水
- 3 对于湿地、热带雨林等生态系统，有人认为“没有利用就是最好的利用”。请举例论证你的观点。



本章小结



种群是指在一定时间和空间内同种生物的所有个体。种群的出生率、死亡率、迁入和迁出、性比率等特征可以反映种群数量的变化趋势。在气候适宜、空间充裕、食物丰富的条件下，种群数量增长呈现J型增长。在资源和空间有限的条件下，种群数量增长会呈现S型增长。不同种群的种间关系有竞争、捕食、互利共生、片利共生和寄生等。

生物间的相互联系构成了生物群落。生物群落与它所处的非生物环境相互作用形成一个统一的整体，称为生态系统。任何一个完整的生态系统的成分，都是由生产者、消费者、分解者和非生物环境组成。这些生物成分之间的营养关系构成食物链和食物网。非生物环境中的温度、阳光、土壤、雨量、盐度等影响着生物生存。反过来，生物也会改变非生物环境。

生态系统的基本功能是物质循环和能量流动。物质循环是指一些物质以多种形式在生态系统中循环利用的过程。碳循环是生物圈最重要的物质循环。通过碳循环，大气中的二氧化碳和生物群落中的有机物进行物质转换。氮循环对生物体内的蛋白质、核酸等物质合成很重要。能量流动与物质循环相伴随。能量在食物链传递过程中是单向的，不可逆的，且随着营养级会呈现逐级递减。各个营养级之间的能量传递效率大约为十分之一，即“十分之一定律”。

生态系统一般分为自然生态系统和人工生态系统两种类型。我国常见的自然生态系统类型有热带雨林、湿地和海洋生态系统。



习题

1. 下列生物的种群密度调查中，最合适用标志重捕法的是（ ）
A. 调查农田中田鼠的种群密度 B. 调查农田中田螺的种群密度
C. 调查土壤中蝇蛆的种群密度 D. 调查水中大肠杆菌的种群密度
2. 科研人员对某种野生动物的种群进行研究，得到其种群密度与出生率、死亡率的关系曲线（如图 10-34）。下列叙述与图示结果不符的是（ ）

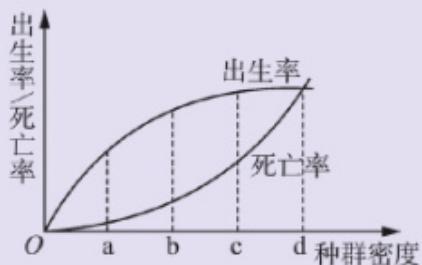
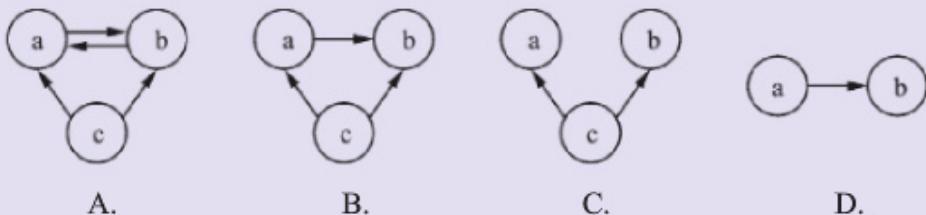


图 10-34 种群密度与出生率、死亡率的关系

- A. 该野生动物的种群增长曲线呈 S 形
 - B. b 点时，种群数量将达到最大环境容纳量
 - C. 食物、空间和天敌等因素导致死亡率增加
 - D. 该种群密度为 d 时，自然增长率为 0
3. a、b 表示两种生物，c 为生物的生活环境，箭头表示能量流动的方向，其中能够表示双小核草履虫与大草履虫关系的是（ ）



4. 胃幽门螺杆菌是目前所知唯一能够在人胃中正常生存的微生物。胃幽门螺杆菌与人的关系是（ ）
A. 片利共生 B. 捕食 C. 寄生 D. 竞争

5. 人们利用化学合成的性引诱剂诱杀某种农田害虫的雄性个体，破坏其种群正常的性比率。据此推测，该害虫种群密度将（ ）

- A. 明显减少 B. 明显增加 C. 先增后减 D. 相对稳定

6. 由于人类活动的影响，一些池塘或湖泊出现了大量浮游植物，水体变绿。因此，有人建议通过投放鱼苗来改善水质。表10-2表示部分淡水鱼的食性。最适宜投放哪种鱼苗？投放后该鱼种的种群数量增长曲线为哪种类型（ ）

表10-2 某些淡水鱼的食性

种类	青鱼	鲢鱼	鲫鱼	鲤鱼
食性	螺蛳	浮游植物	浮游动物	杂食

- A. 青鱼，S型 B. 鲢鱼，S型

- C. 鲫鱼，J型 D. 鲤鱼，J型

7. 碳在生物群落与无机环境之间的循环主要依靠的生理过程是（ ）

- A. 光合作用和蒸腾作用 B. 细胞呼吸和蒸腾作用

- C. 光合作用和呼吸作用 D. 光合作用和主动运输

8. 假设一级消费者从生产者获得能量的数值相同。在下列食物链中，能给猫头鹰提供最多能量的是（ ）

- A. 绿色植物 → 鼠 → 猫头鹰

- B. 绿色植物 → 鼠 → 蛇 → 猫头鹰

- C. 绿色植物 → 蚱蜢 → 青蛙 → 蛇 → 猫头鹰

- D. 绿色植物 → 蚱蜢 → 蜘蛛 → 蜥蜴 → 蛇 → 猫头鹰

9. 图10-35表示人工农业生态系统，对大棚的温度、二氧化碳浓度等可适当控制。对该生态系统分析不合理的是（ ）

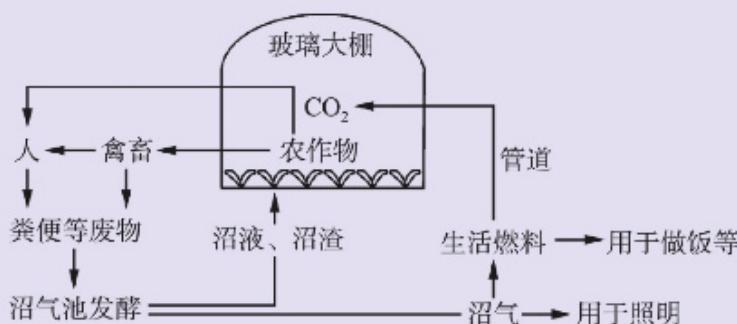


图 10-35 人工农业生态系统



- A. 此生态系统能够实现物质的循环利用
B. 此生态系统能够实现能量的多级利用
C. 此生态系统能够提高能量的利用率
D. 玻璃大棚内能够实现碳元素的自给自足
10. 小球藻是良好水质的重要标志，它易被鱼类等水生生物消化利用。鱼腥藻不易被水生生物捕食，其数量增多会导致水质恶化、变臭。生物学家研究了这两种藻的种间关系，获得了如图 10-36 所示的实验结果。

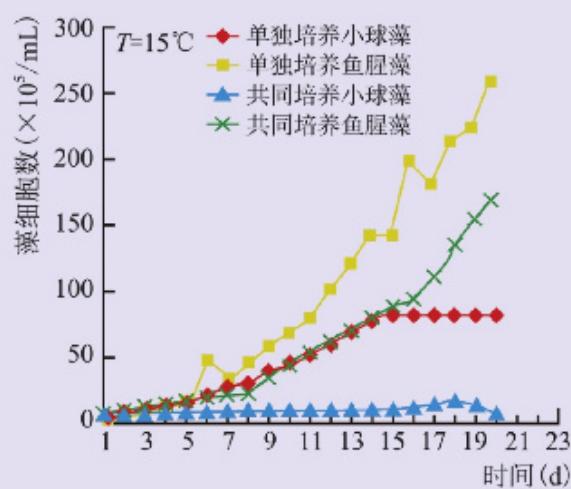


图 10-36 小球藻和鱼腥藻的生长曲线

- 请据图回答：
- (1) 小球藻和鱼腥藻属于生态系统的哪种组成成分？
 - (2) 在 1~20 天之间，单独培养的鱼腥藻种群数量呈现何种种群成长模式？
 - (3) 单独培养时的小球藻环境容纳量为多少？改变哪些条件可能会增加小球藻的 K 值？
 - (4) 推测小球藻和鱼腥藻的种间关系。
11. 1942 年，生态学家林德曼对赛达伯格湖的能量流动进行定量分析，得到如图 10-37 所示的数据。
- 据图回答以下问题：
- (1) 进入该生态系统的总能量是多少？这部分能量在生物群落中是以何种形式流动的？
 - (2) 该生态系统中，能量从第一营养级流到第二营养级的传递效率是多少？
 - (3) 该生态系统中输出的能量是通过何种生理过程实现的？

(4) 分解者在该生态系统中有什么作用?

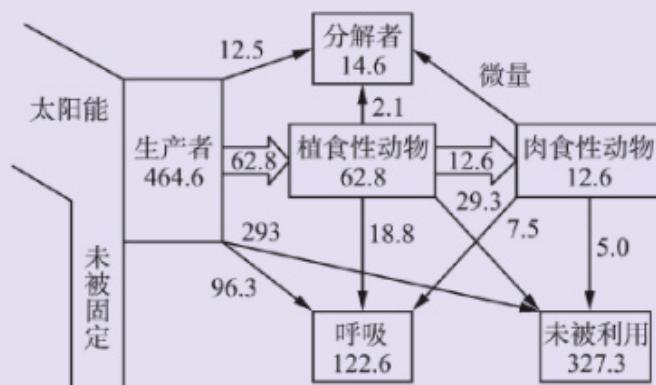


图 10-37 赛达伯格湖能量流动分析

12. 尝试构建第二营养级生物的能量输入和输出模型。



第11章

生态保育与可持续发展



主要内容

■ 人类对生态环境的影响

■ 生态保育

■ 低碳生活与可持续发展



狼回来了

20世纪初，人们为了保护美国黄石国家公园中的鹿群，把当地的狼群猎杀殆尽。鹿群因为没有天敌，数量快速增加，树叶和土地表面的草几乎被鹿群吃光，缺乏植被的大地一天天地扩大，其他物种也随之大量消失。此后，人们只好又从别处引入狼群，期望重新建立黄石国家公园的生态平衡。



狼与麋鹿

试想想：

- 为什么黄石公园要重新引进狼？
- 人类活动对生态平衡有什么影响？
- 人类应如何进行生态保育？

学完本章以后，你就能回答以上问题。

11.1 人类对生态环境的影响



学习目标

- ★ 举例说明人类活动如何影响生态环境。
- ★ 举例说明我国生态环境遭到不同程度的破坏。

伦敦烟雾事件

1952年12月4日至9日，逆温层笼罩伦敦，大量工厂生产和居民燃煤取暖排出的废气难以扩散，积聚在城市上空。伦敦城被黑暗的迷雾笼罩，马路上几乎没有车，人们小心翼翼地沿着人行道摸索前进。直至12月10日，强劲的西风才吹散了笼罩在伦敦上空的恐怖烟雾。在烟雾持续的5天时间里，死亡人数达5000多人，在烟雾过去之后的两个月内又有8000多人相继死亡。此次事件被称为“伦敦烟雾事件”，成为20世纪十大环境公害事件之一。



图 11-1 伦敦烟雾事件



问题探讨

1. 伦敦烟雾事件发生的原因是什么？
2. 人类对生态环境有什么影响？
3. 我国环境面临哪些威胁？



人类是地球上对别的生物影响最大的生物。由于生物之间的许多关系是短时间内看不见、摸不着的，因此，我们常常在不知不觉中对周围的生物发生了影响而没有察觉。直到问题严重到不能被忽略时，我们才会意识到问题的根源就在人类自身。

人口增长

在人类漫长历史的大部分时期，人口数量都处于很低的水平（图11-2）。随着1万年前农业的出现和生产力的提高，人口才开始缓慢而持续地增长。18世纪的工业革命使地球上的人口开始激增。1950年，世界人口达到25亿。到1987年，倍增到50亿。当今世界的人口增长率为1.7%，若按此增长速度，到2050年将达到100亿。

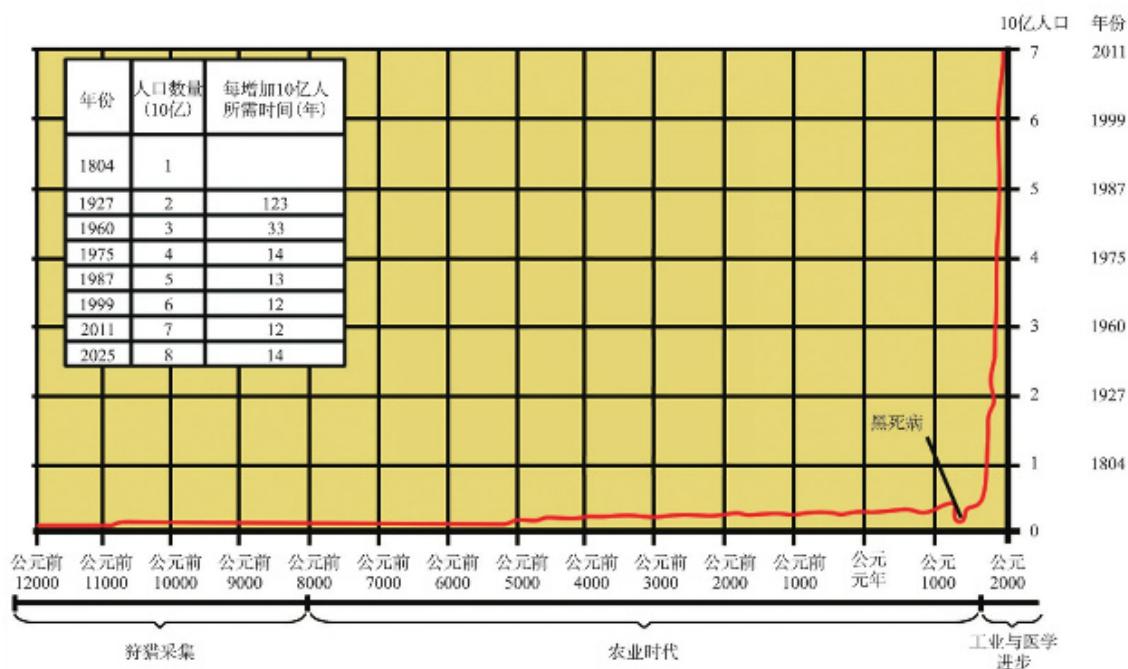


图 11-2 人口的增长

随着人口的增长，人类对谷物等粮食和燃料的需求也在持续增加，而人均耕地面积却在减少，这就促使人们过度利用耕地和开垦出更多农田，从而破坏生态系统，造成人口增长的恶性循环。

人口增长还增加了对水、矿物等自然资源的消耗。

目前，人口增长对环境的影响超过已往任何时候，森林被开垦、城市化、物种生存受到压力、污染和气候变化等，都严重影响生态系统的稳定性。



理性思维

1. 说明 举例说明人口急剧增长还可能带来哪些经济和社会方面的问题?
2. 辩论 面对急剧增加的人口, 是否有必要在人口增长较快的国家推行“计划生育”政策?

森林面积减少

森林是地球上非常重要的生态系统,也是地球的基因库,尤其是热带雨林,几乎保存着当今世界上一半以上的动植物物种。同时,森林在生物圈的物质循环和能量转换中起着重要作用。

在我国,红树林广泛分布在沿海的潮间带,既是海岸的天然防护林,又是潮间带多种贝类、甲壳类、鱼类的栖息繁衍地,也是多种水鸟营巢繁殖的处所。由于人类的围海造地和人工养殖以及建筑、薪柴之需,其面积日益缩小。

2010年我国热带雨林面积大约200450 km²,森林保留地覆盖国土的56.4%,其中27.4%属于原始森林。随着经济发展,大量森林遭砍伐或开垦种植油棕等经济作物,短短三年内消失的森林面积高达47200 km²。

由于人为因素造成的大面积森林减少(图11-3),以及由此导致的资源匮乏和环境恶化问题,已引起许多国家的重视,并已采取措施加以控制。例如,在北美和欧洲,森林砍伐已经得到控制,森林面积出现增多的现象。

毁林容易造林难,我们每一个人都应该从自己做起,热爱一草一木,积极参加植树造林活动,为保护地球出力。

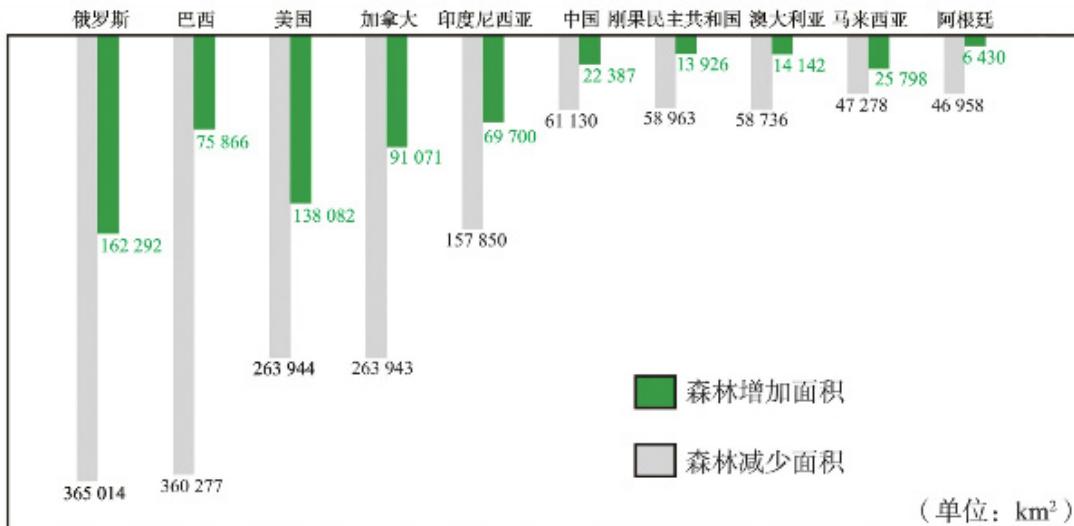


图 11-3 2001—2012 年森林净损耗量最多的十个国家



理性思维

1. 讨论 森林面积日益减少的原因是什么？
2. 分析 森林生态系统的破坏对人们的日常生活有哪些影响？

环境污染

环境污染主要是指人类活动产生的有害物质进入环境，并在环境中扩散、迁移、转化，使生态系统的结构与功能发生变化，对人类及其他生物的生存和发展产生不利影响的现象。

空气污染 空气污染是指能直接或间接危害健康或环境的物质进入大气层所造成的污染。空气污染可因火山爆发、森林火灾等自然活动导致，也可因人们从事生产和生活活动而造成。人为的空气污染主要来自工业、交通运输、生活和农业活动。

近年来，工厂和交通工具排出的废气已成为空气污染最主要的原因。在化石燃料的燃烧过程中会产生大量的二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫、二氧化氮、悬浮颗粒和重金属等污染物。农业上使用肥料会释放二氧化碳、氮氧化物、硫化物等，动物粪便在分解的过程中则会排放甲烷，因此大型农场的迅速发展，加剧了空气污染。

大气中的二氧化碳和甲烷等的浓度增加，会使地球平均温度上升，导致全球暖化及气候变化。一氧化碳会降低红细胞的带氧能力，导致头昏、头痛、恶心，甚至死亡。二氧化硫和二氧化氮会刺激眼睛和呼吸道的黏膜，加剧哮喘病人和呼吸道疾病患者的症状，长时间接触可能会减弱肺部功能及降低抵抗力。悬浮颗粒可通过呼吸道沉积于肺部，引起慢性呼吸道炎症、肺气肿、肺癌等疾病。重金属中的铅可蓄积在人体内，损害神经系统和肾脏，妨碍身体制造血红蛋白。

当二氧化硫、二氧化氮等酸性气体大量溶解于雨水中，会形成pH小于5.6的酸雨。酸雨会侵蚀建筑物表层，也会降低土壤和水域的pH值，使植物和水中生物死亡，降低农业产量，破坏生态平衡。

土壤污染 人类每天都会丢弃大量的垃圾，如罐头、瓶子、废纸、塑料制品、剩饭剩菜等。据调查显示，我国人平均每天大约生产1.3 kg的垃圾，每人每年平均生产475 kg的垃圾。那么，自然界中分解者分解这些垃圾的速度是否赶得上人类产生垃圾的速度呢？答案是来不及。于是，这些固体垃圾就形成了一座座垃圾山。

除了垃圾，杀虫剂、化肥、放射性物质等也属于土壤污染物。比如，DDT是一种沿用多年的杀虫剂。1972年，经科学家研究发现，DDT会随着食物链进入各个营养级中，从庄稼、昆虫、鱼类、小动物进入秃鹰体内，且浓度逐渐升高（图11-4）。由于秃鹰体内含有较高浓度的DDT，使产下的鸟卵的外壳太薄易碎，致使幼鸟不易存活，从而直接导致该种群数量的急剧下降。

土壤污染通常会使当地植被退化，甚至变成不毛之地，同时土壤动物也会变得稀少甚至绝迹，其生物多样性比未受污染的地区会显著下降。

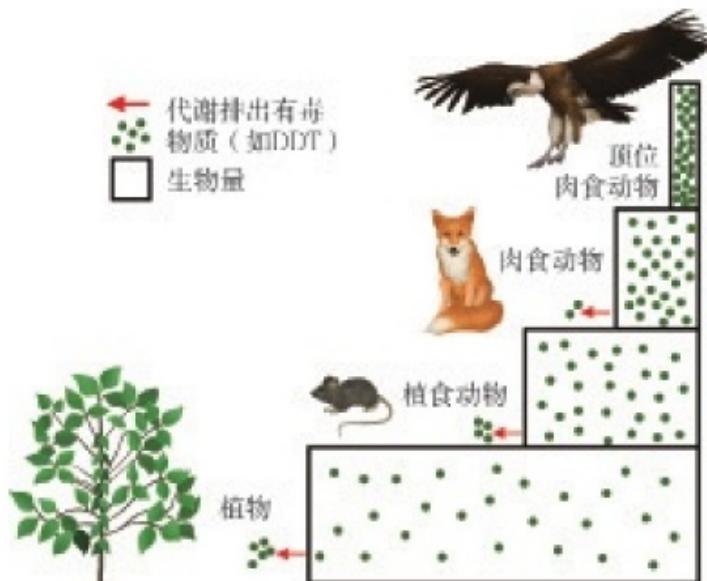


图 11-4 DDT 沿食物链集聚

水体污染 水体污染主要是未经处理的污水排入河流、湖泊和海洋等水体，超出水体的自净能力，导致水质发生变化。工业废水常含有多种有毒的化学物质包括汞、铅、铬、砷等重金属和毒性有机物等，直接排入水中将造成严重污染。重金属会抑制酶的功能，对神经系统等造成损伤，引发中毒甚至死亡。例如，1956年日本熊本县水俣湾的居民因食用了受汞污染的海产，而出现痉挛、运动失调、语言和听力障碍等症状，许多人最后因无法治疗而死亡。



图 11-5 水俣病



农业用的杀虫剂和除草剂随着雨水和地下水流入河流，使河水具有毒化学物质，影响生物生存。这些化学物质会积存于生物体内，并通过食物链最后积聚于人体，使人的内分泌系统出现功能异常、免疫力降低或诱发癌症。

家庭和农业污水中，常含有大量的氮和磷，流入水体后，会使水体富营养化（eutrophication），导致藻类和细菌等大量繁殖（如图11-6），不但威胁其他水中生物的生长，还可能引起多种传染病。水体中的有机物被微生物分解时需消耗大量氧气，从而破坏水体中氧的平衡，使水体缺氧造成水生生物死亡。水中有机污染物被好氧微生物分解时所需的氧量称为生化需氧量（biochemical oxygen demand, BOD）。它反映了在有氧的条件下，水中可被降解的有机物的含量，是重要的水体污染指标。



图 11-6 水体富营养化

热污染 热污染主要是由大气中过量的二氧化碳、甲烷、工厂排出的热水、冷气机排放的热气或建筑物镜面反射等因素所导致。热污染可以污染地球的大气循环和水循环系统，从而加剧全球气候变暖。

大气中的二氧化碳、甲烷、水蒸气等温室气体，可以防止地表热量辐射到太空中，形成温室效应，具有调节地球气温的功能。但是如果二氧化碳等含量过高，就会使过多来自太阳的热量存留在地表和大气中，促使地球气温逐渐升高，导致全球变暖问题。如果全球变暖持续加剧，地球两极的冰雪将会融化，造成海平面上升、沿海低地和岛屿消失，还会引起全球气候变化，导致干旱、水灾等极端的天气现象，人类生活受到威胁。同时也会破坏生态平衡，使许多物种面临灭绝的风险。

热污染对水体的危害也很大，热废水排入水体之后，能使水温升高。随着水温的升高，氧在水中的溶解度会降低，水中生物的新陈代谢加快、耗氧量增加，细菌分解有机

物的能力增加，导致水体处于缺氧状态，从而使水中生物受到威胁。水温超过鱼类产卵和孵化最适宜温度时，能使鱼类的繁殖率降低。此外，水温上升有利于微生物的增殖，容易引起疾病流行。



科学·技术·社会

太平洋垃圾岛 (Pacific Garbage Island)

在广袤无垠的北太平洋上，有一片地方聚集着大量的浮游微生物，但几乎没有鱼类，也几乎没有渔船或货轮在这里航行。这里聚集着百万公斤的垃圾，其中绝大部分是塑料制品。有人把面积达343万km²的太平洋垃圾带（如图11-7），称为“垃圾岛”，还有人把它称为“八大大陆”。垃圾岛的形成与环流有关。环流是洋流旋转形成的环状系统，环流中央区域流速比较慢，随水流漂浮的垃圾容易聚集在该处。

“太平洋垃圾岛”有多个，其中位于加利福尼亚州与夏威夷间海域的垃圾岛的面积相当于四个马来西亚，形成了东太平洋上的垃圾场。这座漂浮在海面上的巨物汇聚了过去多年来人类丢弃的垃圾，从洗发水瓶、塑料玩具、轮胎，到塑料游泳镜、拖鞋，无奇不有。

生态学家们警告，这些漂浮在海洋上的垃圾将对水生生物构成严重威胁。例如，鸟类会错误地将塑料当成食物，引起消化系统功能异常，最终将因此死亡。

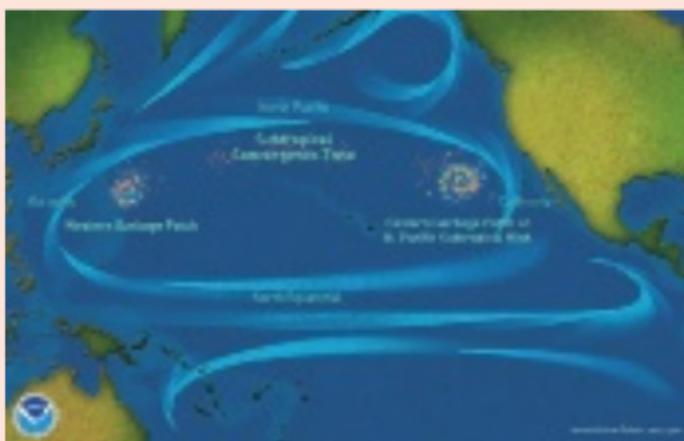


图 11-7 太平洋垃圾岛



活 动

角色扮演法模拟各单位在环境保护中的作用

背景：某住宅区附近新建了一个橡胶加工厂，机器的噪声打破了该区昔日的宁静，干扰了居民的休息。然而，这个橡胶加工厂却解决了一部分居民的就业问题。这个矛盾怎样解决？围绕这个矛盾，橡胶加工厂厂长、居民、环保部门工作人员进行了沟通。

请快速阅读你要扮演的角色的描述，然后认真考虑如何扮演这个角色。进入角色前，请不要与其他两位合作者讨论即席表演的事情。请运用想象使表演持续10分钟。

角色一：橡胶加工厂厂长

你是橡胶加工厂厂长，你想增加工厂生产的产量，但由于机器的噪声，干扰了居民休息，引起了居民向环保部门的投诉。

角色二：居民

你是该区居民，新建的橡胶加工厂的机器噪声严重干扰了你的休息，你去找厂长理论无果，于是向环保部门投诉。

角色三：环保部门工作人员

你是环保部门工作人员，收到该区居民的投诉后，首先向橡胶厂厂长了解情况，然后与双方进行沟通，有效避免了两者之间的矛盾。



理性思维

- 分析 结合上述情境，工厂可以通过哪些途径减少噪音的污染？
- 辨析 个人、企业和政府部门在环境保护中所起的作用相同吗？
- 评估 了解我国推行的环境政策，评估这些政策的完善性及有效性。


自我检测

- 1 在城市道路的某些住宅地段可以看到两侧设有3~4 m高的隔板，安装这些隔板是为了（ ）
 A. 阻挡车辆产生的噪声，减小噪声的污染 B. 阻止车辆排放的废气外流
 C. 保护车辆安全行驶 D. 体现高架道路设计的美观
- 2 人们为提高粮食产量，曾采取以下措施，其中已证明不可取的是（ ）
 A. 发展农业科学，培育高产优质的粮食品种
 B. 合理使用农药、化肥，科学灌溉
 C. 大规模围湖造田，开垦森林扩大耕地
 D. 实行农地规划，加强农田经营和管理
- 3 在生活污水的处理中经常用到微生物。为了提高污水处理效率，下列措施中不合理的是（ ）
 A. 利用诱变育种技术选育微生物新品种
 B. 向污水处理池中通入空气
 C. 将污水池密封，不让空气进入
 D. 控制污水池的温度
- 4 阅读下面的材料，回答相关的问题。

某沿海湖泊藻类数量比十年前增长了五倍，部分监测点每升水中的藻类数量已超过一亿个，整个湖面已有 $\frac{2}{3}$ 的面积达到中等富营养化状态，如不加以治理，水中生物将会因全部富营养化而“窒息死亡”。

- (1) 水中藻类数量异常增多的现象主要来自哪些污染？
- (2) 水体的富营养化现象不会导致（ ）
 A. 鱼类窒息死亡 B. 湖泊水质恶化
 C. 藻类植物大量死亡 D. 湖泊深度由浅变深
- (3) 如果要在较短时间内使该沿海湖泊中的藻类植物大量减少，你觉得采取下列哪一措施最为有效？（ ）
 A. 大量引入肉食性鱼类 B. 完全除去摄食浮游动物的鱼类
 C. 完全除去肉食性鱼类 D. 大量引入以浮游动物为食的鱼类
- (4) 针对上述湖泊富营养化现象，提出几条治理的措施。



11.2 生态保育



学习目标

- ★ 举例说明环境的改变对人类生活的影响。
- ★ 认同生态保育的重要性，增强环保意识。

金马仑高原

金马仑高原海拔约1500 m，气候凉爽，是我国著名的度假胜地。这里除了出产茶叶，也是马来西亚最大的温带蔬菜与花卉种植区。近年来，金马仑高原大部分地区的山林都被开发，以进行农业用途和屋业发展，导致原始森林急速萎缩、水土流失、土崩、水灾、气温上升等环境问题，对生态系统造成严重的破坏，并影响农作物的产量和居民的生活。



图 11-8 金马仑高原的生态遭到破坏



问题探讨

1. 导致金马仑土崩发生的原因是什么？
2. 我们可以采取哪些措施避免发生土崩？

人类离不开阳光、空气、水、土壤等环境要素，人和环境是密不可分的。自然环境提供了人类需要的生活资源，但自然环境的变化也会对人类的生存和发展产生严重的影响。

环境改变对人类的影响

环境对人类的生存和健康意义重大，适宜的生活环境，有利于人类的生存和发展。反之，如果对人类生产和生活活动中产生的各种有害物质处理不当，使环境受到破坏，不仅损害近期的人类健康，而且还会威胁子孙后代（图11-9）。



赤潮导致水生生物大量死亡，破坏渔业和水产资源。



气候改变导致部分地区极端天气频发，常受水灾或旱灾的威胁。



森林滥伐导致植被减少、水土流失。



温室效应引起全球气候变暖，两极冰川加速融化，海平面上升。



空气污染，使人群呼吸系统疾病的发病率升高。

图 11-9 环境改变带来的影响



生态保育

生态保育是指人类对生态环境的妥善管理，既要保护天然生境、维持生物多样性、善用天然资源等，又要对濒危生物进行培育和对被破坏生态系统进行重建。

生态保育在为经济和社会提供可持续的发展的同时，也为子孙后代留下极其重要的物种资源。生态保育并不是对自然资源不加以开发利用，而是边开发利用，边对现有生物资源做适当的保护和管理。因此，利用与保育之间是不相悖的，甚至可以是相辅相成的。

地球是所有生物共同享用的生物圈。人类不能只知索取不知保护，更不能只图眼前利益而不顾长远利益。因此，我们要采取切实可行的措施，对生态系统进行保育（图11-10）。



保护现有资源，保护与重建自然生态。如建立自然保护区、设立海洋公园与湿地公园，保护野生生物及其生态环境，使其不会面临灭绝的威胁。

避免过度开发。如实行休渔制度，在鱼产卵繁殖期禁止捕鱼活动，维持鱼类数量。严控渔网网眼尺寸，限制捕捞幼鱼。



发展可持续能源。如以太阳能发电替代煤和石油发电。

减少污染。居民应树立 5R 意识，即减少 (reduce)、回收利用 (reuse)、循环利用 (recycle)、维修保养 (repair) 和拒用不环保产品 (refuse)。如使用环保袋、减少使用农药与化石燃料等。



保护濒危生物。如棱皮龟 (*Dermochelys coriacea*)、马来王猪笼草 (*Nepenthes rajah*) 等。

图 11-10 生态保育措施

生物多样性是保持生态系统稳态的重要原因。生态系统中的生物种类越多，食物网越复杂，生态系统的自我调节与修复能力就越强；反之，则越弱。

例如，自20世纪20年代狼群从黄石公园绝迹后，白杨树的数量就开始减少，因为幼枝嫩叶会被鹿群迅速吃掉。70年后，重新引进的狼群虽然对白杨树的生长没有直接作用，但它的重返使公园内麋鹿的数量减少了一半，剩下的麋鹿也不再在它们感到危险的区域啃食幼枝嫩叶。这样，公园的生态平衡又开始慢慢恢复到以前那种比较自然的状态。

理性思维

1. 说明 举例说明生物资源是可以被合理开发利用的。
2. 发散思维 你还可以想出其他生态保育措施吗？



实验 11-1

设计并制作生态瓶，观察其稳定性

生态瓶是在有限的空间内，根据生态系统的根本原理，将生态系统的各种成分进行合理组织构建的一个人工模拟的微型生态系统。那么，我们如何制作一个稳定的生命瓶呢？

目的要求

1. 设计一个生态瓶，关注生态瓶中的组成成分。
2. 制作一个生态瓶，观察这一人工生态系统的稳定性。

材料用具

浮萍、水草和蕨类植物等。水生小动物（如小鱼、螺、小乌龟等）。玻璃瓶（或标本瓶）、凡士林、水、砂子等。

实验步骤

1. 瓶子处理：洗净标本瓶，并用开水烫一下瓶子和瓶盖。
2. 放砂注水：在瓶中放入1 cm厚的砂子，再加水至瓶子容积的4/5。
3. 投放生物：待瓶内水澄清后，放入水草和水生动物。
4. 加盖封口：瓶子加盖，并在瓶盖周围涂上凡士林。
5. 放置瓶子：在瓶上贴标签，注明制作日期、制作者姓名。将制作好的小生态瓶，放于阳面窗台上（要避免阳光直接照射）。
6. 观察记录：每天观察一次生态瓶内各种生物的活动状态或数量变化，并进行记录。（水草绿色，为存活；发黄、变黑、柔软下沉，即为死亡。小螺外壳灰绿，能运动，为存活；外壳变白，而且浮起，即为死亡。）

四、实验结果

表11-1 实验结果记录表

天数	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天
水草						
小螺						
小乌龟						
.....						



理性思维

- 设计** 在设计生态瓶时，要考虑生态系统的哪些组成成分？
- 预测** 你的生态瓶经过多长时间能达到比较稳定的状态？
- 推测** 达到稳定状态后，你的生态瓶内各成分的数量会发生怎样的变化？
- 设计** 找出最佳的设计方案，分析小生态瓶中能维持生态系统稳定的原因。



自我检测

- 1 海洋渔业生产中，合理使用网眼尺寸较大的网具进行捕捞，有利于资源的可持续利用。下列解释不合理的是（ ）
 A. 更多幼小的个体逃脱，得到生长和繁殖的机会
 B. 减少捕捞强度，保持足够的种群基数
 C. 维持良好的年龄结构，有利于种群数量的恢复
 D. 改变性别比例，提高种群出生率
- 2 近年来，沙巴州沿海经常发生赤潮现象，主要是由于（ ）
 A. 环境污染导致藻类大量繁殖 B. 温室效应导致水温升高
 C. 人类大量捕捞鱼类 D. 人类活动导致鱼类食物不足



- 3 下列行为都是人们为了解决某些环境问题而采取的措施，哪一项措施最容易导致相反的效果？（ ）
- A. 制造效力更大的杀虫剂和农药
 - B. 寻求更好的控制人口的办法
 - C. 利用养殖业的废弃物生产沼气解决燃料短缺问题
 - D. 建设太阳能发电站，减少燃煤发电
- 4 确认你所在地区的一个生态环境问题，探讨这一问题产生的原因，并提出解决该问题的若干建议。

11.3 低碳生活与可持续发展



学习目标

- ★ 描述什么是低碳生活。
- ★ 举例说明什么是可持续发展。
- ★ 关注身边的环境问题，认识保护环境的重要性。

温室效应

科学研究表明，自从工业革命以来，由于人类活动的影响大大增强，大气中的温室气体浓度急剧增加。以二氧化碳为例，其浓度从工业革命之前的280 ppm上升到2015年的400 ppm。短短100多年，二氧化碳的浓度值增长了40%以上，由此加剧了温室效应，导致地球平均温度上升。

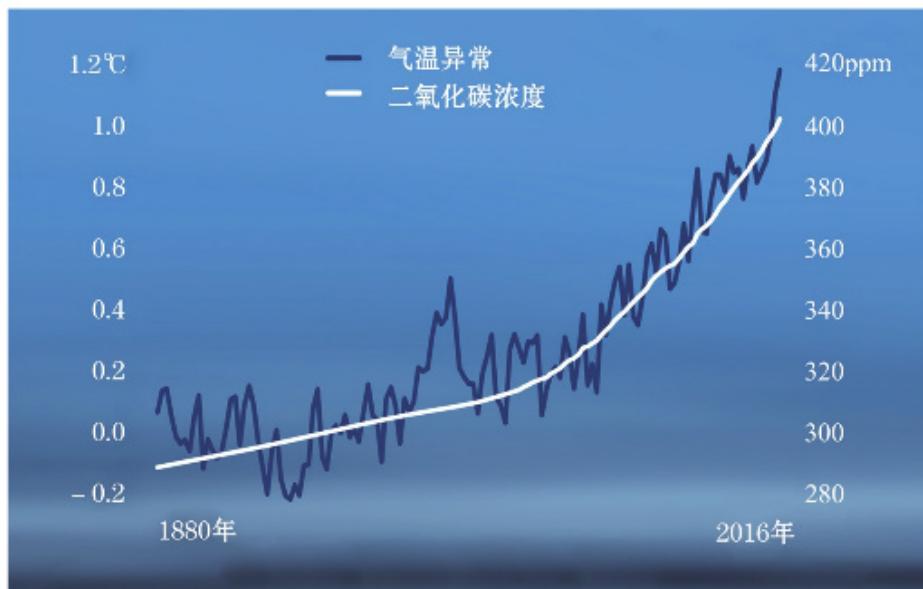


图 11-11 全球大气二氧化碳浓度及平均气温的变化



问题探讨

1. 有哪些因素会引起全球变暖？
2. 为减少排放二氧化碳等温室气体，应采取哪些措施？

我们生活在一个碳的世界里，岩石圈、生物圈、水圈中处处都有碳的存在。碳在自然界中的循环，让地球成为适合生命存在的温暖家园。随着人类社会的发展，人们不断地认识碳、使用碳，获取生产生活所需的各种材料和能量。但自工业革命以来，人类向大气排放的二氧化碳等吸热性强的温室气体逐年增加（图11-12），直接影响了碳的循环，破坏了地球上的碳平衡，引起了世界各国的关注。

1997年12月，联合国气候变化框架公约参加国制定了《京都议定书》（Kyoto Protocol），其目标是“将大气中的温室气体含量稳定在一个适当的水平，以期减少温室效应对全球环境所造成的影响”。

《京都议定书》的问题在于它并不考虑碳足迹，它是基于生产过程中的碳减排，而非消费过程中的碳减排，而碳足迹或者说碳消费与用户端息息相关。《京都议定书》是以欧洲视角来制定的碳减排方案，对于全球煤炭问题几乎没有采取任何措施。它要求一些国家减排而另一些国家则不需减排，这种有区别的责任分配使一些国家缺乏积极性，另一些国家则认为受到了不公平的待遇，更有一些碳排放大国拒绝签署或很快退出。这些深层缺陷导致这一议定书最终走向失败。

2015年12月，联合国气候变化框架公约近200个缔约方在气候变化巴黎大会上达成《巴黎协定》（Paris agreement）（图11-12）。这是继《京都议定书》后第二份有法律约束力的气候协议，为2020年后全球气候治理格局“建章立制”。这份协议标志着全球气候治理模式的改变，在人类应对气候变化进程中具有重要历史意义。

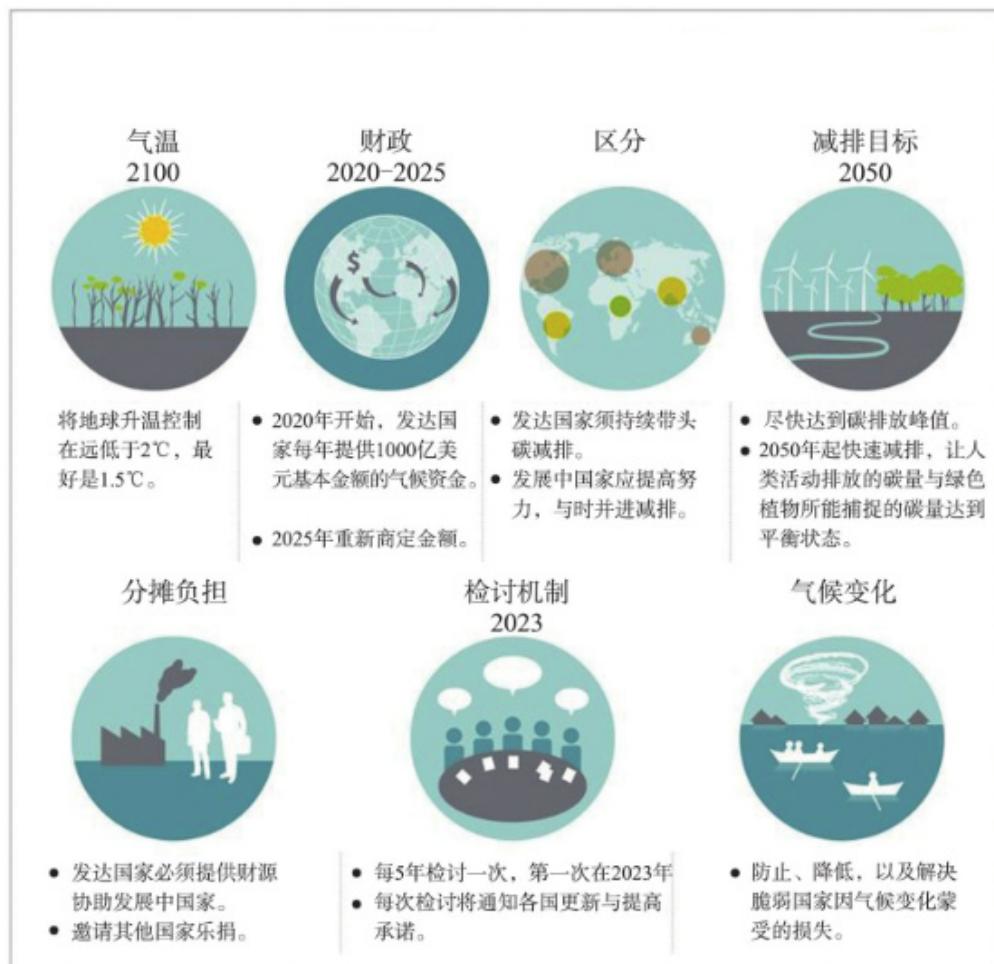


图 11-12 《巴黎协定》内容摘要



知识补给站

碳足迹

生活中，对于在烹饪、制冷、照明和驾驶汽车等能源消费过程中直接产生的碳排放，每个人都有直观的感受，但购买商品和服务而间接产生的碳排放，因为没有直观感受，容易被人们忽略。

碳足迹（carbon footprint）是指某一产品或活动在生产、运输、销售及使用过程中排放的温室气体总量。例如，消费1 kg牛肉，在饲料作物种植、饲料加工、养殖、运输、屠宰、仓储、包装、废弃物处理、冷冻保鲜和烹饪等所有环节，释放的温室气体其作用相当于20.51 kg二氧化碳；消费1 kg白萝卜，则相当



于0.014 kg二氧化碳。

利用碳足迹来计算碳排放，从最终环节的产品回溯统计，把生产、运输、储藏、销售、服务、消费和废弃等所有环节的碳排放全部计算在内，比起以往只基于生产过程统计的方式，能够更加全面地反映人类活动中的碳排放量。用碳足迹来衡量商品或服务的环保指数，可敦促企业用低碳方式生产或提供服务，为保护环境做出贡献。

碳足迹的好处还在于，它将消费与碳排放直接联系了起来，能够更全面、更直观地帮助每个人认识自己对全球变暖造成的影响，提升人们的环境责任意识。统计得知，全球个人消费的碳排放量占全球消费碳排放量的64%，但不同收入人群产生的碳排放量有着巨大的差别，全球10%的最富裕人群产生了全球约50%的碳排放量，全球1%最富裕人群的人均碳足迹是全球10%最贫困人群的175倍。由此可知在发达国家推行低碳生活方式，能够更有效地降低碳排放量。

低碳生活

低碳生活（low carbon living），简单地说就是提倡大家从自己的生活习惯做起，控制或者注意个人的二氧化碳排放量，为降低全球二氧化碳排放量做出贡献。低碳生活是一种低能量、低消耗、低开支的生活方式。

我们日常生活中的衣、食、住、行等，都会直接或间接地排放二氧化碳（表11-2）。

表 11-2 日常生活中二氧化碳的排放量

汽车	一辆每年在城市中行驶里程达到2万km的大排量汽车释放的二氧化碳为2t。发动机每燃烧1L燃料向大气层排放的二氧化碳为2.5kg。
电脑	使用一年平均间接排放10.5kg二氧化碳。
洗衣机	间接排放二氧化碳量年均7.57kg。
卤素灯泡	间接排放二氧化碳量年均10.8kg。
冰箱	间接排放二氧化碳量年均6.3kg。
冷气机	使用1小时排放的二氧化碳为0.6kg。



活 动

计算碳排放量

人们日常生活中许多事项都涉及二氧化碳的排放。依据表11-3中给出的碳排放量计算式，算一算一个月中自己家庭相应项目的碳排放量。

表11-3 自己家的碳排放量

项目	使用量	二氧化碳的排放量计算公式	二氧化碳的排放量(kg)
家庭用电(千瓦·时)		使用量×0.96	
家用自来水(m ³)		使用量×0.93	
家用天然气(m ³)		使用量×2.77	
小轿车用汽油(L)		使用量×2.7	

- 参考表11-3中的项目，统计自己家一个月的使用量。
- 根据换算公式，计算家庭二氧化碳的总排放量和人均排放量。
- 查阅日常生活中还有哪些事涉及二氧化碳的排放。



理性思维

- 计算** 假设一棵成年树木一年能够吸收18 kg二氧化碳，那么一年共要栽多少棵树才能吸收自己一家所排放的碳？
- 讨论** 可以通过哪些措施减少自己家庭的碳排放量？
- 创新** 从网上下载碳足迹计算器，从更多方面统计碳排放量，并实践低碳生活。

倡导和实践低碳生活，是每个公民义不容辞的责任。我们应从身边小事做起（图11-13）。

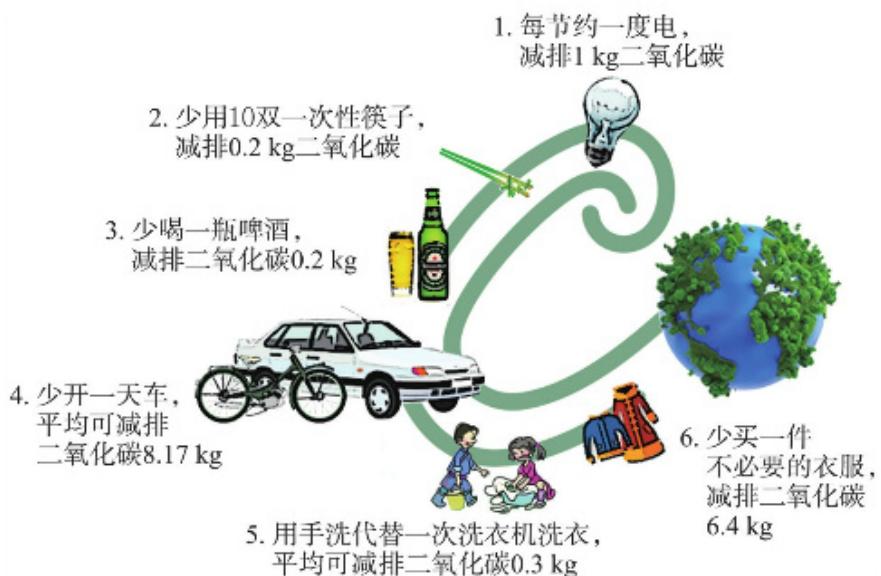


图 11-13 低碳生活从我做起

资源回收

随着社会经济的发展，城市人口不断增加，资源消耗量迅速增长和废弃物产生量不断增加等问题也日益严峻。因此，如何有效地对垃圾实行分类回收和资源化利用，已经成为世界各国共同关心的问题。

目前，资源回收已成为一种将物资不断循环利用的经济发展模式，是集再生资源回收、分拣、转运、加工利用、集中处理为一体的产业化格局。

日本最先提出了“循环型社会”的构想，并建立了完善的资源循环型环保产业体系。其主要做法是：

- 建立起完备的循环经济立法体系并严格执行。
- 制定鼓励循环型社会发展的经济优惠政策。
- 发展垃圾回收和再资源化利用的“静脉产业”，建立一批生态工业园区。
- 通过绿色采购，为环境友好型产品创造市场需求。
- 强化和明晰政府部门推进循环型社会的管理职能和职责。
- 加强科技研究，发挥公众参与和中介组织作用。

垃圾在循环利用前，须先进行分类。日本的垃圾分类非常细致，家庭垃圾被分为可燃垃圾、不可燃垃圾、资源垃圾和大件垃圾四大类，其下又详细分类，例如资源垃圾可以分为矿泉水瓶、玻璃瓶、纸、铝罐、铁罐等。每种垃圾都要按规定的收集时间放在指定收集处。垃圾分类过程中的具体要求很详细，以矿泉水瓶为例，要拧下瓶盖、撕掉包

装纸，还要清洗干净、踩扁后装进回收袋里放到收集处。

日本生活垃圾处理走向循环经济之路是全社会共同努力的结果，不仅是依靠法律体系建设、政府的管理，还有全体公众自觉遵守分类规则。其中最重要的是长期系统的宣传教育，从小培养公民的环境保护意识。

可持续发展

第二次世界大战以后，世界各国大力推进工业化，以谋求国民生产总值的迅速增长，但与此同时也面临人口增长、资源匮乏、环境恶化等严峻的挑战。为了人类的生存和发展，联合国于1983年成立“世界环境与发展委员会”（World Commission on Environment and Development），对世界环境面临的问题及应采取的战略进行研究。

1987年，“世界环境与发展委员会”发表了影响全球的报告《我们共同的未来》，提出“可持续发展”的概念。从单纯考虑环境保护，到把环境保护与人类发展结合起来，提出了既能满足当代人的需求，又能保护环境，且不危及后代生存发展的模式。可持续发展战略强调环境与经济的协调发展，追求人与自然的和谐。其核心是建立在生态平衡基础上健康的经济发展，鼓励对环境有利的生产和建设，提倡用包括保护环境和维护生物多样性等多项指标去衡量发展。

2015年9月，世界各国领导人在联合国峰会上通过了新的可持续发展目标（Sustainable Development Goals），这份包括17项目标的纲领性文件（图11-14），旨在呼吁所有国家共同采取行动，在2030年消除极端贫穷、减少不平等和不公正以及遏制气候变迁。



图 11-14 17 个可持续发展目标



联合国可持续发展目标

2015年在联合国峰会上通过的可持续发展目标，建立在千年发展目标所取得的成就之上，在致力于消除贫穷的同时，也实施促进经济增长，满足教育、卫生、社会保护和就业机会等社会需求，以及应对气候变化和环境保护的战略。

千年发展目标（Millennium Development Goals）是2000年联合国峰会通过的计划，期盼在15年内实现八大目标：消灭贫穷饥饿、普及基础教育、促进两性平等、降低儿童死亡率、提升产妇的保健、对抗病毒、确保环境永续及全球伙伴关系。千年发展目标2015年的成果评估报告中指出：全球赤贫人口大减，教育领域性别平等得到显著改善，数百万人的生命被挽救了，同时改善了更多人的境遇。报告也承认取得的成绩是不均衡的，很多领域还存在着差距。工作尚未完成，在新的发展时期还要继续。

可持续发展目标于2016年1月1日正式生效，希望在2030年之前达成以下17个目标：

1. 在全世界消除一切形式的贫困。
2. 消除饥饿，实现粮食安全，改善营养状况和促进可持续农业。
3. 确保健康的生活方式，促进各年龄段人群的福祉。
4. 确保包容和公平的优质教育，让全民终身享有学习机会。
5. 实现性别平等，增强所有妇女和女童的权益。
6. 为所有人提供水和卫生的环境，并对其进行可持续管理。
7. 确保人人获得负担得起的、可靠和可持续的现代能源。
8. 促进持久、包容和可持续的经济增长，促进充分的生产性就业和人人获得体面工作。
9. 建造具备抵御灾害能力的基础设施，促进具有包容性的可持续工业化，推动创新。
10. 减少国家内部和国家之间的不平等。
11. 建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区。

12. 采用可持续的消费和生产模式。
13. 采取紧急行动应对气候变化及其影响。
14. 保护和可持续利用海洋和海洋资源以促进可持续发展。
15. 保护、恢复和促进可持续利用陆地生态系统，可持续管理森林，防治荒漠化，制止和扭转土地退化，遏制生物多样性的丧失。
16. 创建和平、包容的社会以促进可持续发展，促进法制建设，在各级建立有效、负责和包容的机构。
17. 加强可持续发展全球伙伴关系。



自我检测

- 1 下列哪一措施最可能是与可持续发展的原则不相符合的？（ ）
- A. 人工鱼塘生产者的能量小于消费者的能量 B. 捕猎成体，禁捕幼体
- C. 森林的采伐量小于生长量 D. 休渔期禁止捕鱼活动
- 2 据图 11-15 判断，下列叙述不符合生态学原理的是（ ）

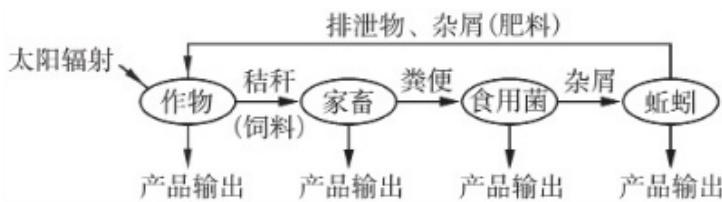


图 11-15

- A. 物质多级利用，实现了良性循环
- B. 每一级生产环节都获得产品，提高了生态经济效益
- C. 由于食物链延长，系统总能量利用效率降低
- D. 由于各级产品都可以利用，减少了废物和污染



3 图 11-16 为碳循环示意图。

- (1) 参与碳循环过程的主要物质是何种物质? 图中哪个途径的增强会导致大气中二氧化碳含量不断上升, 并进而导致产生何种环境问题?
- (2) 煤是“高碳”能源, 通过燃烧, 碳主要以什么形式进入大气圈? 根据图 11-16 提出减少碳排放量和降低温室效应的措施。
- (3) “周一请吃素”, 这是巴黎环保会议中支持环保的进步青年提出的一个新理念, 这一理念也得到了广大环保人士的支持。试从碳循环角度分析该理念的合理性。
- (4) 松土是许多地方栽培植物中经常使用的一项措施。但是现在有些专家认为松土会加剧全球变暖, 结合示意图分析这一观点的合理性。

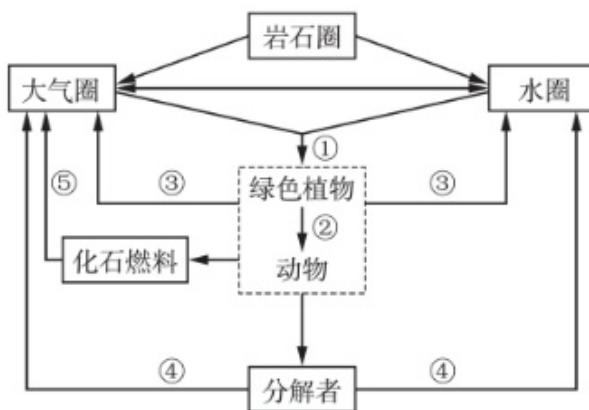
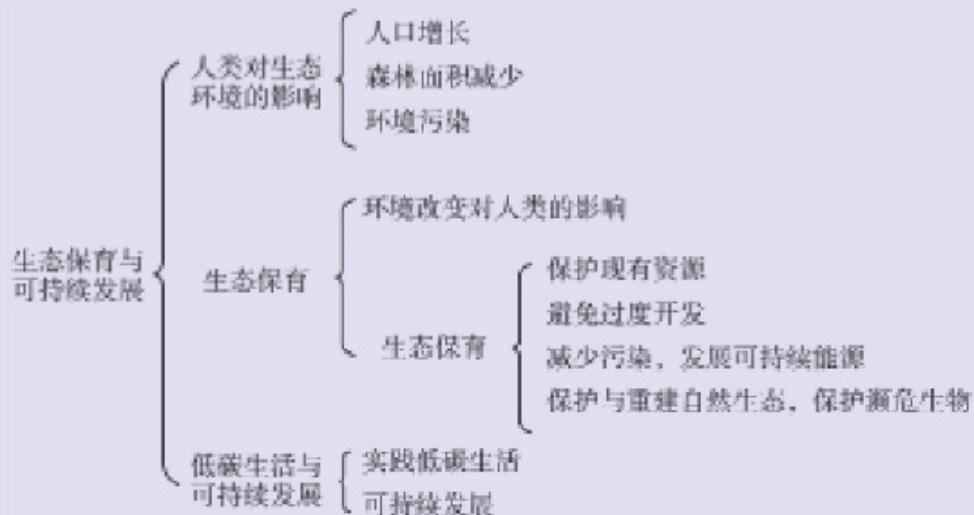


图 11-16



本章小结



人类是地球上对别的生物影响最大的生物。人口增长对环境造成巨大的压力，控制人口数量关系到人类的存亡和发展。近些年来，日益严重的全球性生态环境问题（如森林面积减少和环境污染）已引起全人类的关注。

自然环境的改变会对人类产生影响。自然环境与人类活动是相互影响、相互制约的。生态保育是指人类对生态环境的妥善管理。生态保育的目的不是为保育而保育，而是为了经济、社会的持续发展，为了给子孙后代留下极其重要的物种资源。我们要采取切实可行的措施，对生态系统进行保育。

低碳生活就是提倡大家从自己的生活习惯做起，控制或者注意个人的二氧化碳排放量。低碳生活是一种低能量、低消耗、低开支的生活方式。倡导和实践低碳生活，走可持续发展之路，已成为每个公民在建设生态文明时代义不容辞的责任。



习题

1. 自然林区的马尾松一般不容易发生虫害，但在一些人工马尾松林中常会发生严重的松毛虫危害，其主要原因是（ ）
A. 松毛虫繁殖力强，当地气候适合松毛虫生存 B. 生态系统稳定性差
C. 马尾松抗虫害能力差 D. 生态系统复杂
2. “低碳生活”“低碳技术”的基本理念是节能减排。下列做法不符合此理念的是（ ）
A. 用旧报纸制作铅笔杆 B. 大力发展火力发电
C. 垃圾回收处理用于发电 D. 燃油汽车改用天然气作燃料
3. 随着环境污染不断加剧，可能引起海洋表层浮游植物大量死亡，从而进一步加剧温室效应，这是因为浮游植物死亡会使（ ）
A. 大气中二氧化碳增加 B. 大气中臭氧增加
C. 海洋表层无机物增加 D. 海洋表层含氧量增加
4. 人类社会和经济可持续发展的基础是（ ）
A. 物种丰富 B. 科技进步 C. 人类增多 D. 生物圈稳定
5. 据统计表明，进入 21 世纪后，每年至少有一种鸟类或者哺乳动物从地球上消失，造成野生动物濒危和灭绝的主要原因是（ ）
A. 自然灾害 B. 动物病毒
C. 天敌过多 D. 人类活动对生态系统的破坏
6. 图 11-17 显示当河水被粪便污染时，河水中物质 X 及含氮化合物的浓度变化。物质 X 代表什么？造成物质 X 在 b 和 c 之间的曲线变化的原因是什么？（ ）

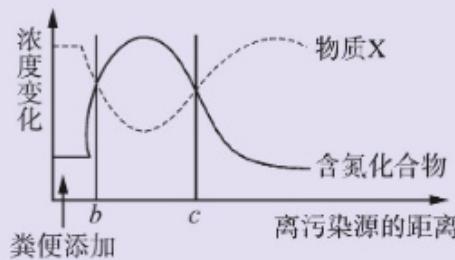


图 11-17

- A. 物质X是 O_2 ；河水被污染后，水中微生物数量增加，导致 O_2 浓度下降
 B. 物质X是 CO_2 ；河水被污染后，水中植物数量增加，导致 CO_2 浓度下降
 C. 物质X是 O_2 ；河水被污染后，水中植物数量增加，导致 O_2 浓度下降
 D. 物质X是 CO_2 ；河水被污染后，水中生物大量死亡，导致 CO_2 浓度下降
7. 下列哪项是环境保护工作者所不允许的？（ ）
 A. 消灭有害生物 B. 植树造林
 C. 建立自然保护区 D. 宣传环境知识，增强环保意识
8. 人类对环境应持的正确态度是（ ）
 A. 最大限度地扩大自然保护区
 B. 增加向环境索取物质和能源
 C. 协调人类自身发展、生产发展与环境发展的关系
 D. 停止或减缓人类的发展，使环境恢复原始面貌
9. 表11-4表示某地哺乳动物和鸟类生存受到威胁的各主要原因及其比例。

表11-4 哺乳动物和鸟类生存受威胁的原因

原 因	偷猎 (%)	丧失栖息地 (%)	生物入侵 (%)	其他原因 (%)
哺乳动物	31	32	17	20
鸟 类	20	60	12	8

- (1) 请根据这些数据绘制柱形图，横坐标表示每类动物受威胁的各种原因，纵坐标表示具体数值。
 (2) 这两类动物生存受到威胁的主要原因分别是什么？为什么？
 (3) 应怎样保护这两类动物？
10. 图11-18表示某工业区某日空气污染浓度的等值线图。

请据图回答：

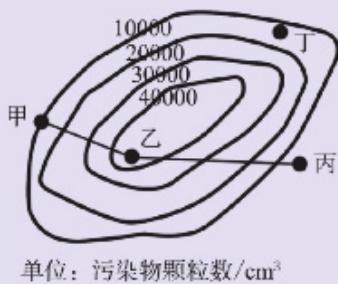
单位：污染物颗粒数/ cm^3

图 11-18

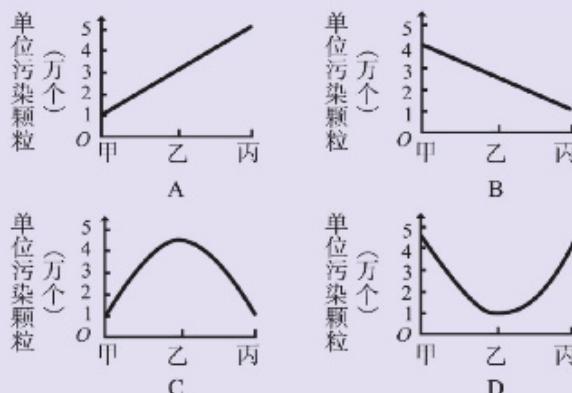


图 11-19

- (1) 根据图 11-18 分析判断，主要的污染源是在哪个位置？
- (2) 从甲到乙再到丙，沿线污染物浓度的变化可用图 11-19 中的哪一曲线表示？
- (3) 该区域种植了大面积的人工柳杉林，平均密度达 120 株/亩，分析其在生态环境中所起的主要作用。
11. 苔藓植物对空气污染十分敏感。某地空气中主要污染源是化工厂排出的废气，请利用下列提供的材料用具，用葫芦藓的生长情况为检测指标，研究在无污染、轻度污染、中度污染和重度污染的情况下葫芦藓的生长情况。请在已有基础上补充和完善实验步骤，并预测实验结果。
- 材料用具：栽有生长状况相同葫芦藓的花盆 4 个，透明塑料袋，50 mL 注射器，双面胶纸等。
- (1) 实验步骤。
- ① 取一大号塑料袋排尽空气，收集化工厂废气。
- ②
- (2) 预测实验结果。

A photograph of a young man and woman smiling, with a baby in the foreground.

第12章

生殖



主要内容

- 男生殖及其类型
- 女人类的生殖系统
- 第二性征与激素
- 常用的避孕方法
- 人工辅助生殖技术
- 植物生命是如何延续的



人口膨胀

有史以来，地球上的人从来没有像这么多。全球人口从1800年的10亿，激增到2016年的74亿。因此，我们必须了解人类的生殖过程，以便采用不同的节育方法，来控制人口的过度膨胀。此外，要养活这么多的人，就需要繁殖更多的动植物。那么，动植物的自然生殖过程是怎样的呢？



密集的人群

试想想：

- 什么是生殖？
- 人类的生殖是如何发生的？
- 动植物是如何延续生命的？

学完本章以后，你就能回答以上问题。

12.1 什么是生殖



学习目标

- ★ 举例说明有性生殖与无性生殖的含义。
- ★ 理解植物有性生殖与遗传变异的关系。

蚯蚓

蚯蚓的生殖方式十分奇特。一条蚯蚓身上，既有雌性生殖器官，又有雄性生殖器官。当蚯蚓身体前段出现白色的环带时，说明蚯蚓已到性成熟期，会进行交配。交配时，两条蚯蚓头尾相互交错，腹部紧紧粘附在一起（图12-1）。受精卵经20天左右就会孵出幼蚓。



图 12-1 蚯蚓的交配



问题探讨

1. 什么是生殖？
2. 蚯蚓的生殖方式是怎样的？



自然界的每一个生物都有一个从出生到死亡的过程，它们的生命都是有限的。为了使生命得以延续，生物就要不断地繁殖出后代，这个过程就称为生殖（reproduction）。生殖是产生新生命的复杂过程，是生物的重要特征之一（图12-2）。



图 12-2 生殖是生物的重要特征之一

生物的生殖方式是多种多样的，但其基本形式只有两种：无性生殖（asexual reproduction）和有性生殖（sexual reproduction）。

无性生殖

不经过两性生殖细胞的结合，直接由母体产生新个体的繁殖方式叫无性生殖，所产生的新个体保持了亲本的遗传性状。无性生殖可以免去寻找和选择配偶的难题，迅速产生很多后代，扩大种群数量。例如，大肠杆菌繁殖一代需要20分钟，最佳条件下8小时后，1个大肠杆菌可繁殖出 1.7×10^7 个大肠杆菌，10小时后可超过10亿个。

有些生物通过分裂来进行无性生殖。例如，细菌通过一分为二进行无性生殖（图12-3a）；生活在池塘的草履虫，可以通过细胞分裂形成两个新的、相互独立的草履虫（图12-3b）；水螅会在自己身上复制出称为芽的小水螅。然后，这个芽与母体分离，独立生活，成为一个新的水螅（图12-3c）。

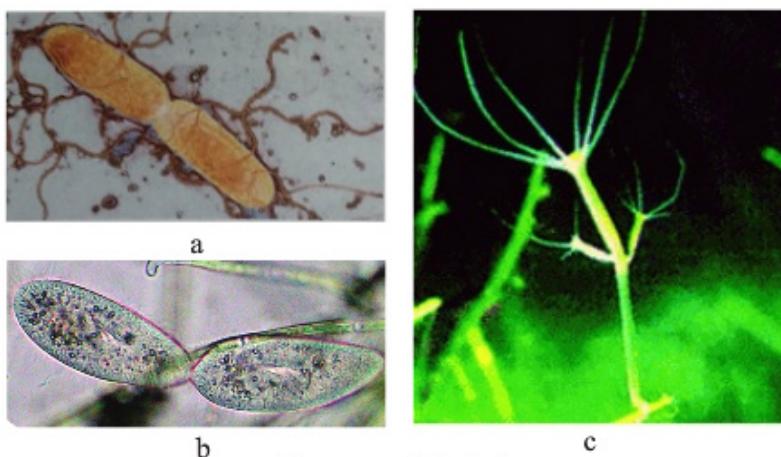


图 12-3 无性生殖

有性生殖

经过两性生殖细胞的结合，产生合子，再由合子发育成新个体的繁殖方式叫有性生殖。大多数动物和有花植物是依赖有性生殖繁殖后代的。有性生殖需要两个亲本，其过程涉及减数分裂（详见第13章）和受精作用。

通过有性生殖产生的后代会形成新的基因组合，有时会受某些特殊因素的影响发生基因突变（详见第14章）。这些突变的新个体在自然选择作用影响下，不断地向有利于生存繁衍的方向演化。所以，有性生殖对于生物的生存与演化具有重要的意义。



理性思维

1. 无性生殖保持了亲本的遗传性状，此特征使该物种对环境的适应有何影响？
2. 说明许多生物如细菌同时能进行无性生殖和有性生殖的意义。



知识补给站

有性生殖从同配到卵配的演化

配子生殖是指经过两性配子的受精作用形成新个体的生殖方式，是有性生殖的高级阶段。按配子的大小、形状和性表现可分为三种类型：

同配生殖。两性配子在形状、大小、结构和运动能力上均相同的原始生殖类型，如衣藻。同配生殖属于较简单的一种有性生殖方式。

异配生殖。一些简单的单细胞生物在演化过程中，产生了另一种生殖方式——异配生殖，即产生的两个配子在形态、大小和结构方面有区别，且有性别分化，大小配子融合形成合子，合子长成新个体，如实球藻、空球藻等。

卵配生殖。为了更好地适应环境变化，生物在演化过程中又出现了异配生殖的最高级方式——卵配生殖，即相结合的雌、雄配子高度特化，其大小、形态和性表现都明显不同，成为卵细胞和精子，经过受精，融合为受精卵，再发育成新个体。卵配生殖是高等植物和多数动物具有的一种有性生殖方式。



生物的生殖也像生物的其他生理功能一样，有着不断由低级到高级、由简单到复杂的演化过程。在几十亿年的漫长岁月里，生物经历了无数次的曲折与反复，最终由同配生殖演化为异配生殖，最后又演化为复杂的卵配生殖。



实验 12-1

植物有性生殖与遗传变异的关系

玉米是重要栽培作物中单性花雌雄同株、异花、风媒授粉的作物，具有明显的遗传变异性。玉米顶部的是雄花，花粉量多而轻，靠风力传播。茎节上的是雌花，节间雌花授粉后子粒膨大成熟（图 12-4）。

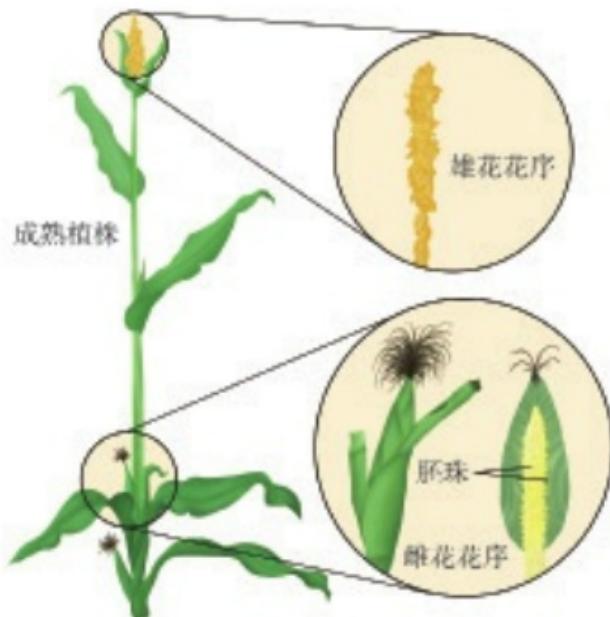


图 12-4 玉米的花

设想你是一位玉米育种专家，遇到这样的情况：品种 A 子粒多，但不抗叶斑病；品种 B 子粒少，但抗叶斑病。你能用什么方法既把两个品种的优良性状结合在一起，又能把双方的缺点去掉？请设计一个实验方案来解决这个问题。

实验目的

- 理解植物有性生殖与遗传变异的关系。
- 通过实验方案的设计，初步了解植物有性杂交技术。

实验器材

玉米品种 A 与品种 B、剪刀、回形针、透光防水袋、纸牌、铅笔、大头针、小刀、镊子等。以上器材供你选用，你可以根据实验需要进行增删。

设计实验

- 为什么要使用套袋、授粉、收获、贮藏等技术？
- 应观察父本、母本及其子代的哪些性状？
- 实验需要多少时间？为什么来年还要再播种并继续观察各项性状？
- 预测该实验会出现怎样的结果，理解玉米有性生殖与遗传变异的关系。
- 与同组同学充分讨论后，确定小组的实验设计方案。
- 与全班同学交流，认真倾听老师与同学的修改建议，进一步完善实验设计方案。

下面介绍的作物杂交技术可能对你的实验设计有所帮助。

1. 套袋

在母本品种中，选择生长健壮的植株，在雌蕊尚未抽丝前套袋隔离（图 12-5）。在父本品种中选择已初步开花的植株，将其雄蕊用纸袋套上，袋口用回形针扣紧。父本套袋与取花粉的间隔时间应在 12 小时以上，这样，散落在父本雄蕊的其他植株的花粉已基本上丧失活力，从而避免了花粉的混杂。

2. 授粉

采集花粉最适宜的时间一般是上午 8~11 时。采集花粉时，一手将父本植株的顶部稍稍向下弯曲，另一



图 12-5 套袋



手轻拍纸袋，使花粉落在纸袋中，抽出纸袋，将袋口摺紧，并快速将纸袋中的花粉均匀地抖落在母本雌花的花丝上。授粉完毕，立即将纸袋套在已授粉的雌花上，袋口用回形针扣紧。再用铅笔在纸牌上写上父母本的名称与授粉日期，将纸牌挂在植株的适当位置上。

3. 收获与贮藏

将收获的杂交种子，晒干后置于干燥处贮藏。来年再播种，观察子粒、穗长、抗叶斑病等各项性状。



理性思维

1. 讨论 讨论有性生殖与遗传变异的关系。
2. 总结 选择玉米做实验的优点有哪些？
3. 预测 假如现在有两种类似的植物，一种只进行有性生殖，另一种只进行无性生殖。再过一万年后，哪一种植物存在的可能性更大？为什么？



自我检测

- 1 自然界中绿色开花植物的主要生殖方式是（ ）
A. 细胞分裂生殖 B. 出芽生殖
C. 孢子生殖 D. 有性生殖
- 2 与无性生殖相比，有性生殖的优点主要表现在通过有性生殖（ ）
A. 可增加遗传物质重组的机会 B. 可保持亲、子代遗传性状的一致
C. 产生的子代都是二倍体 D. 可在短时间内迅速增加子代数量
- 3 无性生殖与有性生殖两者最大的区别是（ ）
A. 是否产生生殖细胞 B. 是否实现两性生殖细胞结合
C. 后代有无性别之分 D. 亲代有无性别之分
- 4 菠萝蜜既能进行无性生殖，又能进行有性生殖。
 - (1) 若想保持某种菠萝蜜现有的性状，则应采取哪种生殖方式进行繁殖？为什么？
 - (2) 若想培养菠萝蜜的新品种，则应采用哪种生殖方式进行繁殖？为什么？

12.2 人类的生殖系统



学习目标

- ★ 简述男女生殖系统的结构。
- ★ 描述精子各结构的功能。

人为什么有男女之分

人体的每个细胞中都有46条染色体，它们就像是一张张带着父母遗传信息的记忆卡。这其中有一对十分特别的染色体决定了人类的性别，称为性染色体。父亲的性染色体组合是XY，母亲的性染色体组合是XX。当父亲的精子与母亲的卵细胞结合时，若组合成XY，受精卵就发育成男性。若组合成XX，则发育为女性（图12-6）。



问题探讨

1. 人类两性生殖系统的结构是怎样的？
2. 精子各结构有什么功能？

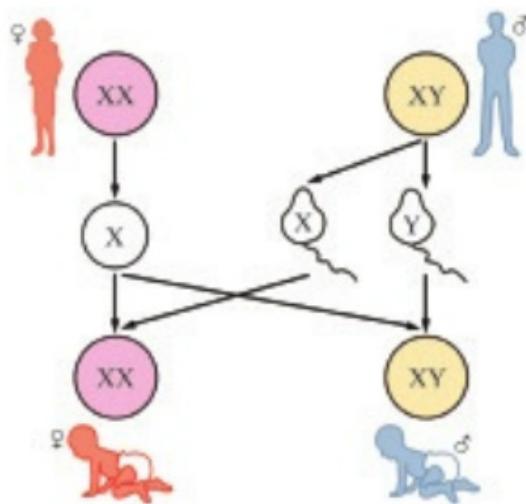


图 12-6 人类的性别决定

生殖系统是生物体内与生殖密切相关的器官的总称。生殖系统具有产生生殖细胞、繁殖新个体、分泌性激素和维持两性性征等功能。人类的生殖系统男女有别，二者在染色体、配子、生殖器官和躯体等不同水平上，均表现出两性特有的差异，即性征（sex character）。



男性生殖系统

男性生殖系统由睾丸、输精管道、附属腺、阴囊和阴茎等组成。睾丸位于腹腔外的阴囊中，能产生精子和分泌睾丸酮。输精管道包括附睾、输精管、射精管和尿道。附属腺包括精囊腺、前列腺和尿道球腺（图12-7）。

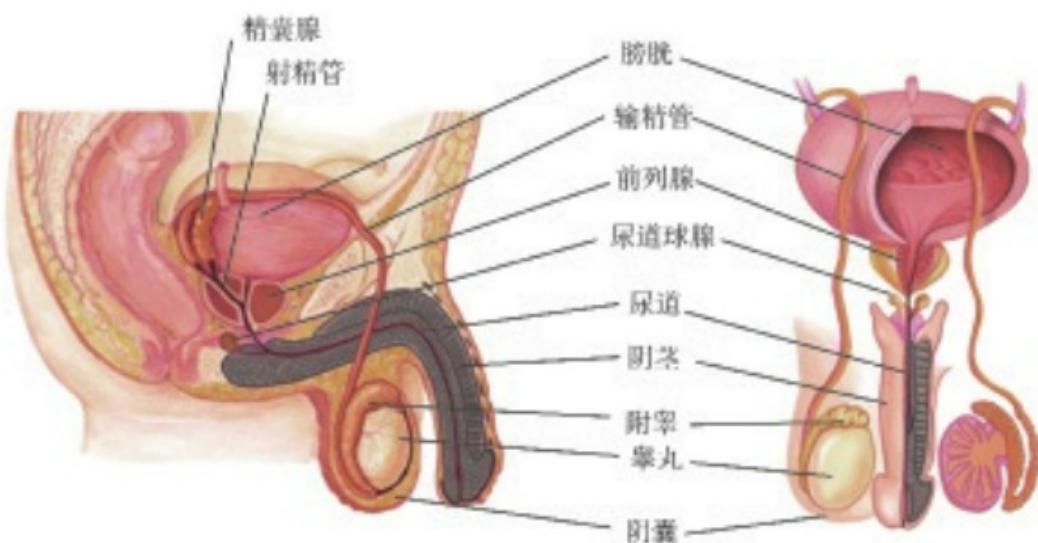


图 12-7 男性的生殖系统

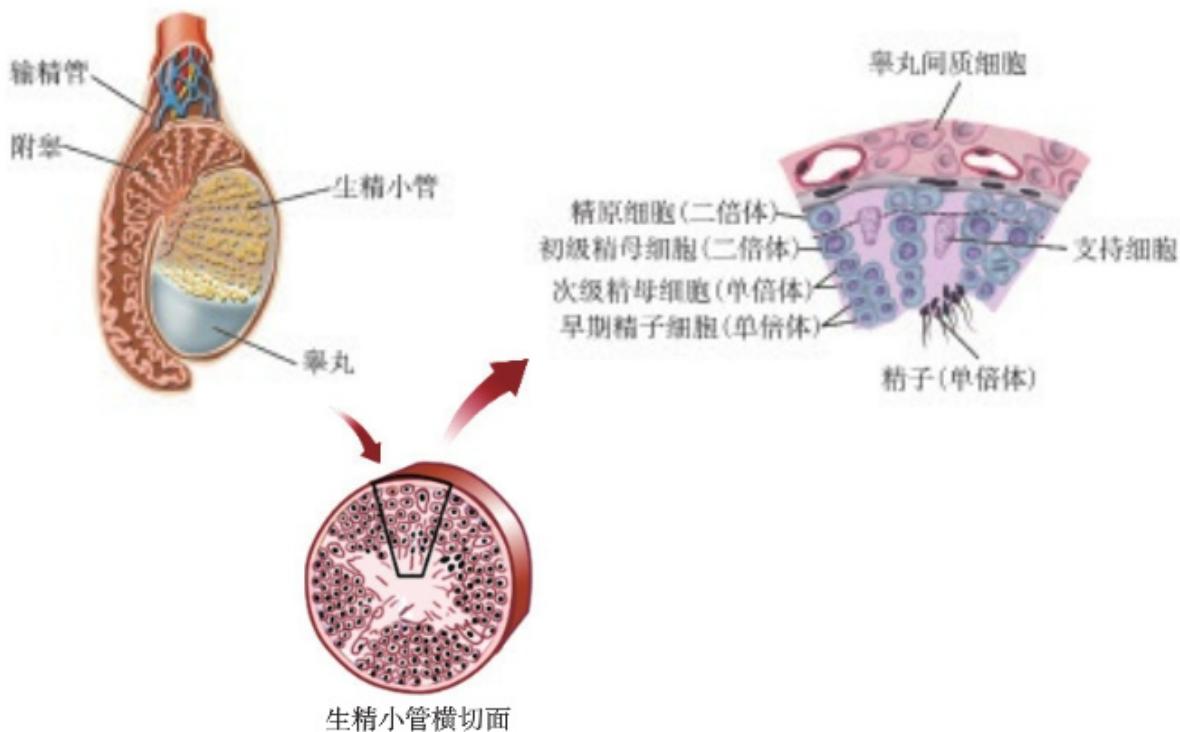


图 12-8 精子的形成

男婴在出生前，睾丸已经在胎儿的腹腔内形成，怀孕后期再下降到阴囊内。阴囊内有两个睾丸，每个睾丸内含有近1000条生精小管(seminiferous tubule)，是产生精子的地方。生精小管之间的睾丸间质细胞(interstitial cell)可分泌睾丸酮，生精小管内的支持细胞(sustentacular cell)为精子的发育提供营养(图12-8)。

精子的形状像蝌蚪，由头部、中部和尾部三部分组成。头部较小，便于进入卵细胞，里面有细胞核。头部的顶端是顶体，能释放出水解酶消化卵膜上的物质，帮助精子进入卵细胞。精子的中段呈短圆柱状，内有大量的线粒体，能为精子的运动提供能量。精子的尾部较长，是典型的鞭毛结构，能推动精子向前游动(图12-9)。

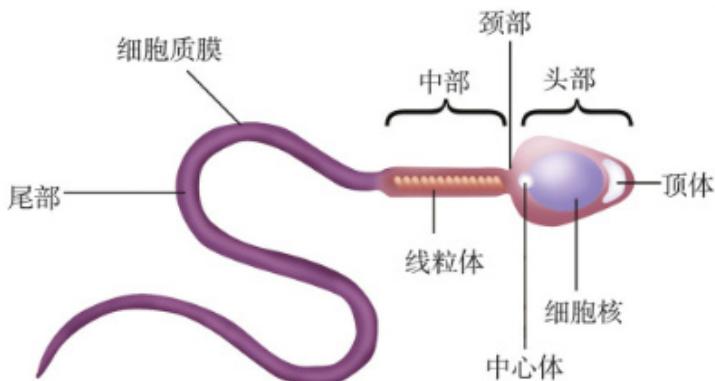


图12-9 精子的结构

精子形成后进入附睾暂时贮存。当性兴奋时，精子从附睾进入输精管，再通过射精管进入尿道射出体外。精囊腺、前列腺和尿道球腺能分泌液体，与精子混合形成精液(semen)，这些液体可活化精子，有利于精子的生存和运动。精液为弱碱性，有助于中和女性阴道的酸性环境。性成熟的男子产生的精子极多，每毫升精液中含有一亿个左右。

女性生殖系统

女性生殖系统由卵巢、输卵管、子宫、阴道、阴蒂和阴唇等组成。卵巢有两个，位于腹腔下部，子宫的两侧，是产生卵细胞的地方，并能分泌雌激素。输卵管是连接卵巢与子宫的管道，它能通过肌肉的收缩以及纤毛的摆动，将卵巢产生的卵细胞送入子宫。子宫位于膀胱与直肠之间，其外形酷似一个倒置的梨，是孕育胎儿的场所。子宫的开口位于子宫颈下端，它通向阴道，成为一个与外界相通的出口(图12-10)。

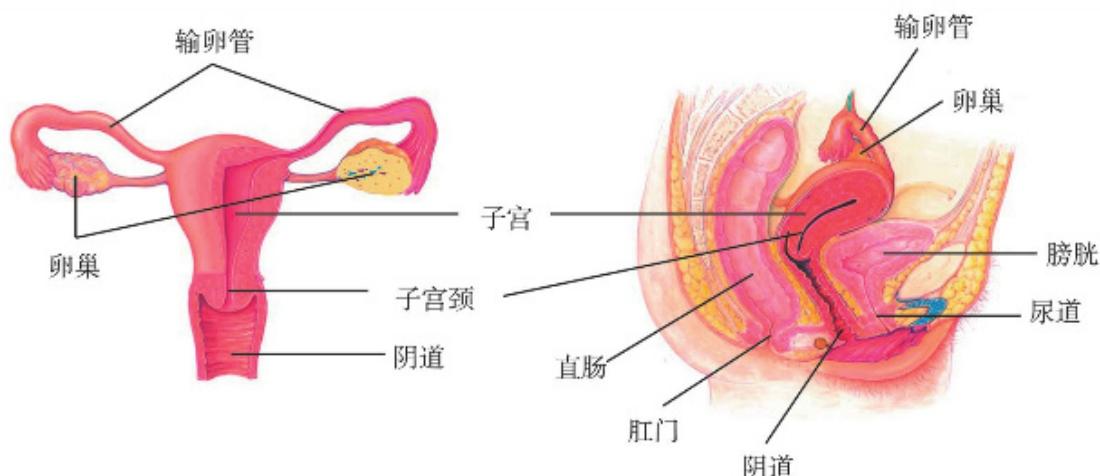


图 12-10 女性生殖系统

女婴出生时，每个卵巢内大约含有100万个卵泡。卵泡由许多卵泡细胞和一个卵母细胞组成。随着女性的生长发育，这些细胞大多数被分解掉，到了青春期女性的卵巢内只含有约4万个卵泡。

女性进入青春期，每个月通常只排出一个卵细胞（图12-11）。在女生的一生中，只有约400个卵泡成熟并排出卵细胞。

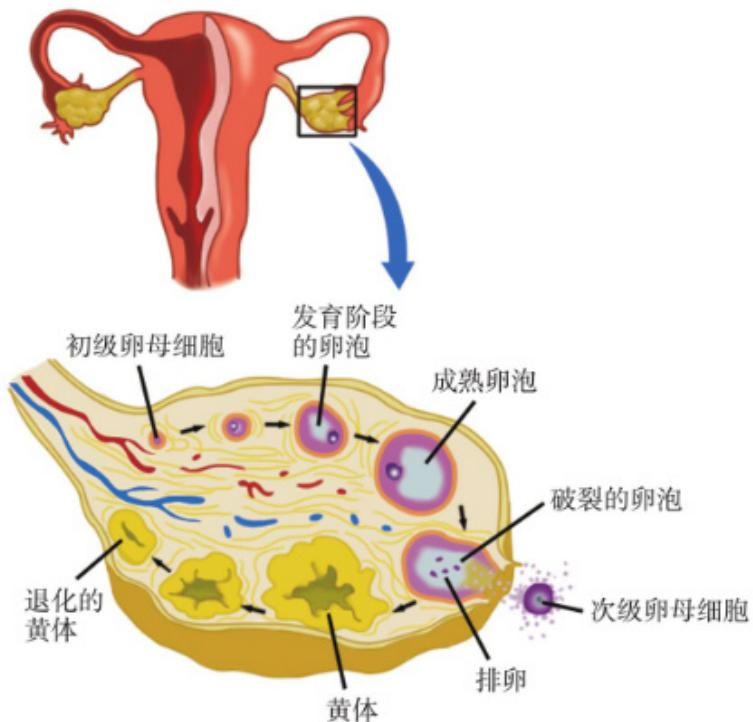


图 12-11 卵细胞的产生过程



理性思维

1. 批判性思维 为什么女性在50岁左右会停止排卵?
2. 分析 有资料表明,近年来女子性成熟的年龄提前了,收集关于这种现象和可能原因的资料进行分析。



自我检测

- 1 男性的精液含有以下哪些结构的分泌物? ()
I 尿道 II 前列腺 III 精囊腺 IV 睾丸间质细胞
A I, IV B II, III C I, II, III D II, III, IV
- 2 女性生殖系统中子宫的主要功能是 ()
A. 分泌雌性激素 B. 产生卵细胞
C. 卵细胞发育的主要场所 D. 胚胎发育的主要场所
- 3 下列哪条是精子进入尿道的路径? ()
A. 附睾 → 睾丸 → 输精管 → 射精管 → 尿道
B. 睾丸 → 附睾 → 输精管 → 射精管 → 尿道
C. 睾丸 → 附睾 → 射精管 → 输精管 → 尿道
D. 睾丸 → 射精管 → 输精管 → 附睾 → 尿道
- 4 精子形成的过程中,细胞中很多结构会消失,而细胞核和线粒体都保留下,对这一现象怎样理解? 为什么精子中的线粒体集中在中段?



12.3 第二性征与激素



学习目标

- ★ 简述人体内性激素对第二性征的维持与调节。
- ★ 解释女性的月经及月经周期。

烦恼的青春痘

青春年华，正是人生最珍贵的黄金岁月。然而，“青春”二字却常常伴随着一颗一颗恼人的痘痘爬上面庞，令人避之不及，烦恼不断。事实上，“青春痘”不仅是青春期常见的症状，在不少成年人的颜面、胸背部也会出现，会影响个体的身心健康。已知性激素分泌过多是产生“青春痘”的原因之一。



图 12-12 青春痘



问题探讨

1. 青春痘与激素有什么关系？
2. 儿童向青年的转变是如何发生的？

在青春期中，随着身体的生长发育，两性个体的生殖系统逐渐成熟，身体的生理特征逐渐完成了从儿童到青年的转变，这一变化受到内分泌系统分泌的性激素的调控。

青春期与激素

对于男性来说，青春期一开始，下丘脑就会产生促性腺激素释放激素（gonadotropin-releasing hormone, GnRH），引起垂体释放促卵泡激素（follicle-stimulating hormone, FSH）和黄体生成素（luteinizing hormone, LH）。这两种激素随血液循环到达睾丸，FSH刺激生精小管里的支持细胞促进精子的发育，LH则引发睾丸间质细胞产生睾丸酮。当睾丸酮在血液中的含量增加时，就会抑制垂体产生FSH和LH，精子数量的增加也会促使支持细胞分泌抑制素（inhibin），抑制垂体产生FSH，这是一种负反馈调节（图12-13）。睾丸酮能促进并维持男性第二性征，如男性性器官的生长发育和维持、精子的产生、体毛的生长、变声等。

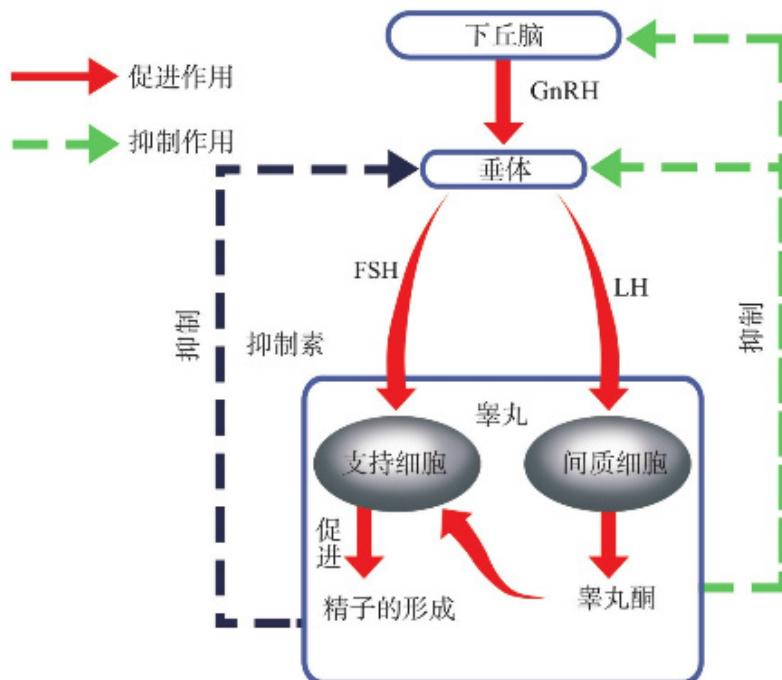


图 12-13 性激素对男性生殖系统的调控

和男性一样，女性青春期的发生也是从下丘脑向垂体发出信号，引起FSH和LH的产生与释放开始的。在女性体内，FSH能刺激卵巢内的卵泡发育，并引起卵泡细胞释放雌激素。当血液中的雌激素含量达到某个水平（低剂量）时，便会抑制垂体分泌FSH，以确保每个月经周期只有一个卵泡发育成熟。在排卵前24小时，卵泡细胞大量释放雌激素，高剂量的雌激素会刺激垂体产生LH，形成LH高峰。LH能促进卵巢排卵和形成黄



体，并刺激黄体分泌黄体酮和部分雌激素。黄体产生的这些激素通过负反馈抑制下丘脑和垂体的活动，停止FSH和LH的分泌（图12-14）。雌激素和黄体酮能激发并维持女性的第二性征，如卵细胞的产生、乳房的发育、阴毛的生长、骨盆变宽、出现月经周期等。

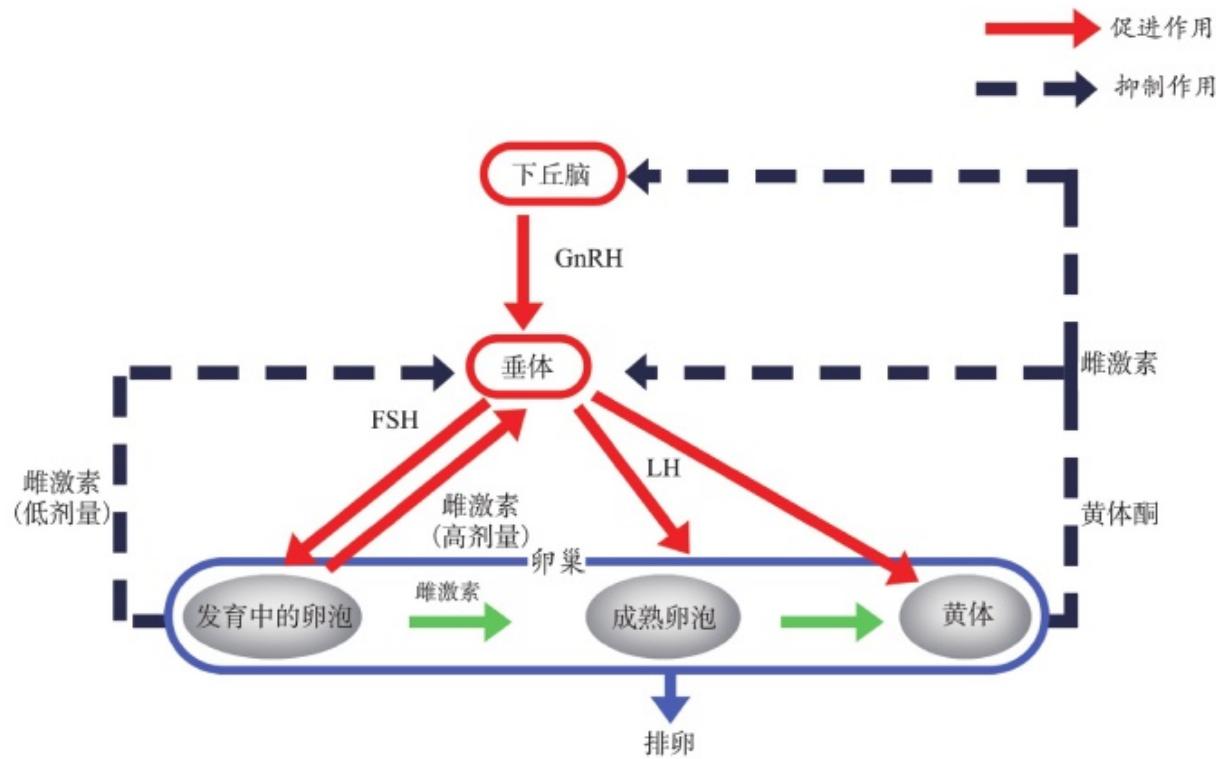


图 12-14 性激素对女性生殖系统的调控

表12-1表示哺乳动物中一些常见的性激素及其作用。

表12-1 哺乳动物部分性激素及其作用

性别	激素	作用
雄性	促卵泡激素 (FSH)	刺激精子的形成
	黄体生成素 (LH)	刺激睾丸中的间质细胞产生睾丸酮
	睾丸酮	刺激精子的形成，刺激并维持男性第二性征
雌性	促卵泡激素 (FSH)	刺激卵泡生长和雌激素的分泌
	黄体生成素 (LH)	促进排卵，促进黄体发育，刺激黄体分泌黄体酮和雌激素
	黄体酮	完成子宫的怀孕准备，帮助维持第二性征
	雌激素	刺激并维持第二性征，定期刺激子宫为怀孕准备
	催产素	刺激子宫收缩，诱导泌乳反射
	催乳素	刺激乳汁产生

月经周期与激素

进入青春期的女性，卵巢会日渐成熟，出现排卵的现象。在激素的调节下，女性生殖系统会周期性地产生卵细胞，并出现子宫内膜增厚随后脱落的现象，称为月经周期。月经周期长短因人而异，平均为28天左右。在月经周期中，通常只有一侧的卵巢排出一个卵细胞，进入其中的一条输卵管。

月经周期变化一般分为四期，即行经期、卵泡期、排卵期和黄体期（图12-15）。

行经期为月经周期的第1~4天。由于黄体的退化，血液中的黄体酮（孕激素）和雌激素含量下降，子宫内膜就会脱落，从阴道排出。

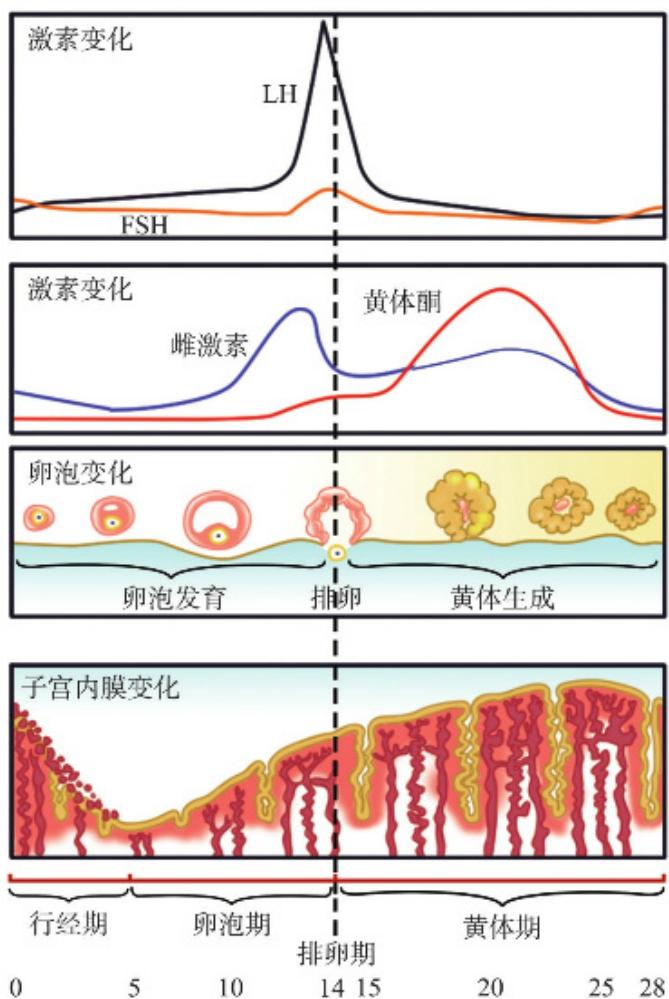


图 12-15 女性的月经周期

卵泡期为月经周期的第5~14天。下丘脑刺激垂体，促其分泌FSH到血液中。卵巢在FSH作用下，使卵泡中未成熟的卵子成熟化。当卵泡开始生长时，它产生的雌激素引



起子宫内膜的增生。随着卵泡的发展，雌激素不断上升，约十天左右，含量高至可使垂体分泌LH。

排卵期为月经周期的第14天。LH的快速上升可使卵巢在周期的第14天释放出卵细胞。

黄体期为月经周期的第15~28天。排卵后，释放出卵细胞的卵泡就变成黄体。黄体能分泌雌激素与黄体酮，黄体酮含量的上升可使女性体温上升。如果卵细胞排出后遇精子受精，之后形成的胎盘会分泌人类绒毛膜性腺激素（human chorionic gonadotropin, HCG），使黄体继续分泌黄体酮和雌激素，子宫内膜继续增厚，不会脱落。如果卵细胞排出后没有受精，黄体退化，黄体酮和雌激素水平下降，转入行经期。



知识补给站

男女体内的雌雄激素

有的人认为男性体内只存在雄激素，女性体内只存在雌激素。其实，无论男女，体内都同时存在雌雄两种激素。女性体内的雌激素含量高，雄激素含量低，男性则相反。因此，男女体内皆含有雌雄激素，是一种正常的生理现象。

男性血液中的雌激素是在周边组织（如皮肤）由睾丸酮转化而来。睾丸的间质细胞和支持细胞也能分泌少量雌激素。成年男性每天分泌和合成雌激素的量约为30~40 μg 。

女性血液中的睾丸酮水平约为男性的 $\frac{1}{10}$ （女性是25~100 ng/dL，男性是250~1200 ng/dL），主要在卵巢和肾上腺合成，此外在脂肪、肌肉等组织中也能合成小部分。睾丸酮不仅是合成雌激素的前体，而且也是维持女性正常生殖功能的重要激素。雌激素虽能使生殖器官发育完善，并和黄体酮共同把女性的月经周期表现出来，但这并不意味着雌激素和黄体酮能代表卵巢的全部功能。在女性的生命周期中，睾丸酮扮演着重要的角色。


自我检测

- 1 下列关于人体青春期体内激素及其作用的描述，不合适的是（ ）
- 促卵泡激素（FSH）是女性体内的激素，男性体内没有的
 - 睾丸酮能刺激精子的形成，刺激并维持男性第二性征
 - 黄体酮能完成子宫的怀孕准备
 - 催产素能刺激子宫收缩，诱导泌乳反射
- 2 图12-16表示男性体内性激素对男性生殖系统的调节过程，下列关于①②③④的调节过程的描述与图示结果不符的是（ ）
- 过程①表示睾丸酮会抑制支持细胞的活动
 - 过程②表示精子的数量会抑制垂体的活动
 - 过程③表示GnRH促进垂体分泌FSH和LH
 - 过程④表示睾丸酮会抑制下丘脑和垂体的活动

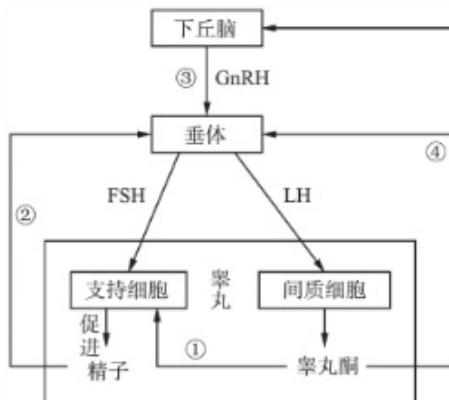


图 12-16

- 3 图12-17表示女性的月经周期过程中其体内两种激素的浓度变化情况。下列叙述与图示结果不符的是（ ）
- 时段Q中发生排卵过程
 - 时段P的子宫内膜比时段R厚
 - 时段P中卵巢内没有黄体
 - 子宫内膜开始脱落发生在时段S

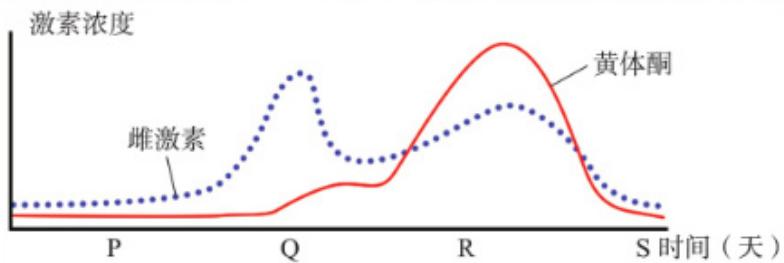


图 12-17

- 4 请描述成熟女性月经周期中各种激素水平的变化对卵泡的发育和子宫内膜变化的影响。



12.4 生命是如何发生的



学习目标

- ★ 叙述受精作用的发生过程。
- ★ 简述胚胎发育的过程。

多胞胎

家里的孕妇要是生了双胞胎，估计一家人都会非常高兴。不过，你见过十胞胎吗？1964年4月20日，巴西的一名农妇一胎生下八男二女计十胎。这十位兄弟姐妹个个健康活泼并成家立业，成为世界上多胎一次存活的最高记录。



图 12-18 多胞胎



问题探讨

1. 多胞胎是怎样发生的？
2. 受精卵是如何发育成为婴儿的？

卵细胞从卵巢中释放到输卵管后，能存活1~2天，而精子能在女性体内存活2~3天，所以在排卵期前三天到排卵期后二天内发生性行为，都比较容易受精。受精后，人类奇妙的生命发生过程就开始了。

受精过程

男性射精时的精子数量可达2~3亿个，但最后只有数百个精子能遇见卵细胞（图12-19）。卵细胞被这些精子包围，通过激烈的争夺，最终只有一个精子能穿过卵细胞的细胞膜，完成受精过程（图12-20）。

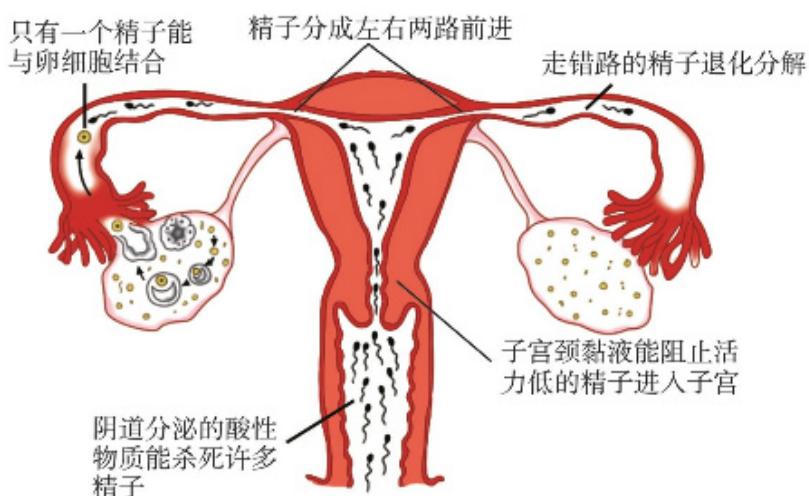
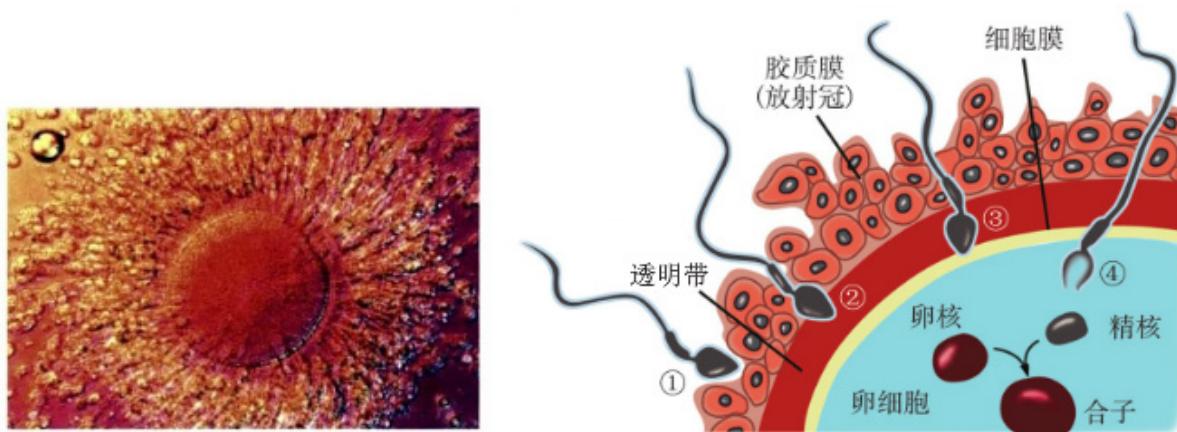


图 12-19 精子到达卵细胞的途径



①精子到达放射冠，顶体释放顶体酶溶解放射冠和透明带；②精子穿过透明带；③精子的细胞膜与卵子的细胞膜结合；④精核进入卵中，与卵核融合，产生二倍体的合子。

图 12-20 受精过程



受精的过程

受精使得精子的一组染色体进入卵内，是胚胎发育的开始。精子与卵细胞接触后融合为二倍体受精卵的过程是非常复杂的，其过程如图12-21所示。

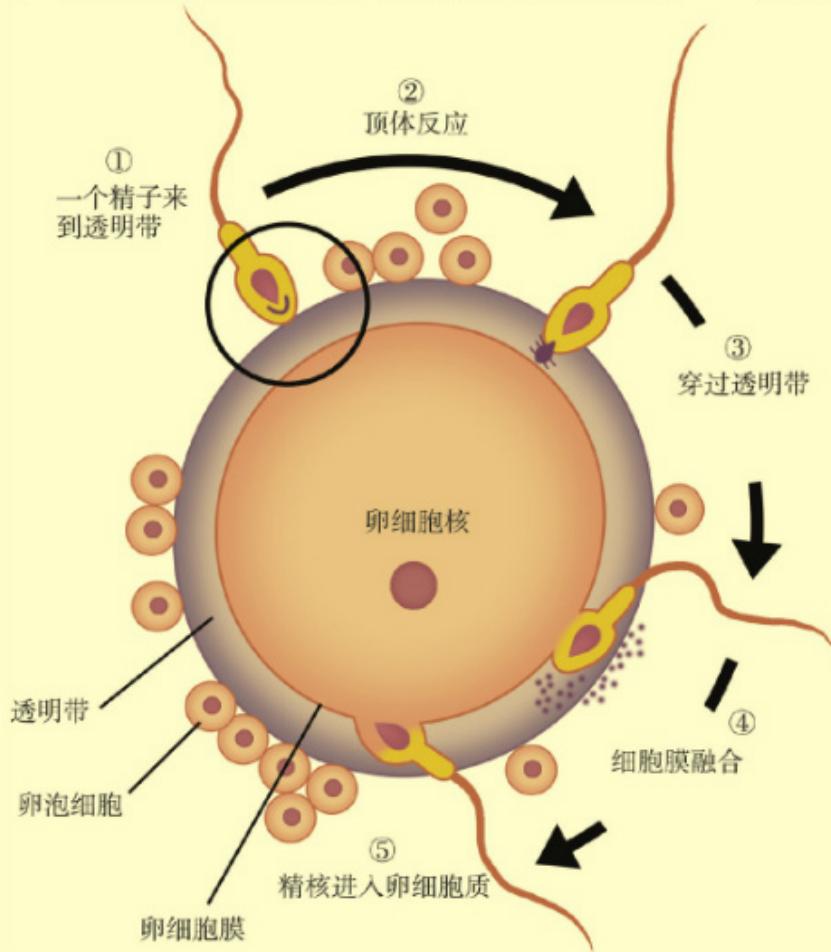


图 12-21 受精过程

1. 穿越放射冠 当精子与放射冠接触时，顶体被激活并释放顶体酶，称为顶体反应（acrosome reaction）。顶体酶中的透明质酸酶等溶解放射冠，顶体素等消化透明带，打开精子进入次级卵母细胞的通道。

2. 穿越透明带 在顶体酶的消化作用下，精子穿越透明带进入卵周间隙，精子头侧面与卵细胞膜相接触。

3. 细胞膜融合 精子头部细胞膜与卵细胞膜紧贴并相互融合，精核及细胞质随即进入卵细胞细胞质内，精子的细胞膜融入卵子的细胞膜中，两者合二为一。

4. 受精卵形成 在精子穿入的激发下，次级卵母细胞被活化，启动减数第二次分裂，形成一个成熟的卵细胞和一个第二极体，后者则进入卵周间隙。卵核和精子核融合，形成二倍体细胞即受精卵（图12-22），又称合子。

人类受精过程具有单精受精的特性，单精受精是通过皮质反应和透明带反应实现的。精、卵细胞膜的融合，可激发受精卵细胞膜下方细胞质中的皮质颗粒，释放蛋白水解酶等进入卵周间隙，称为皮质反应（cortical reaction）。皮质反应使透明带上的精子受体结构发生改变，导致透明带不能再与其他精子结合，同时也使透明带变硬，防止多精入卵和多精受精的发生，保证了人类的单精受精，此过程称为透明带反应（zona reaction）。

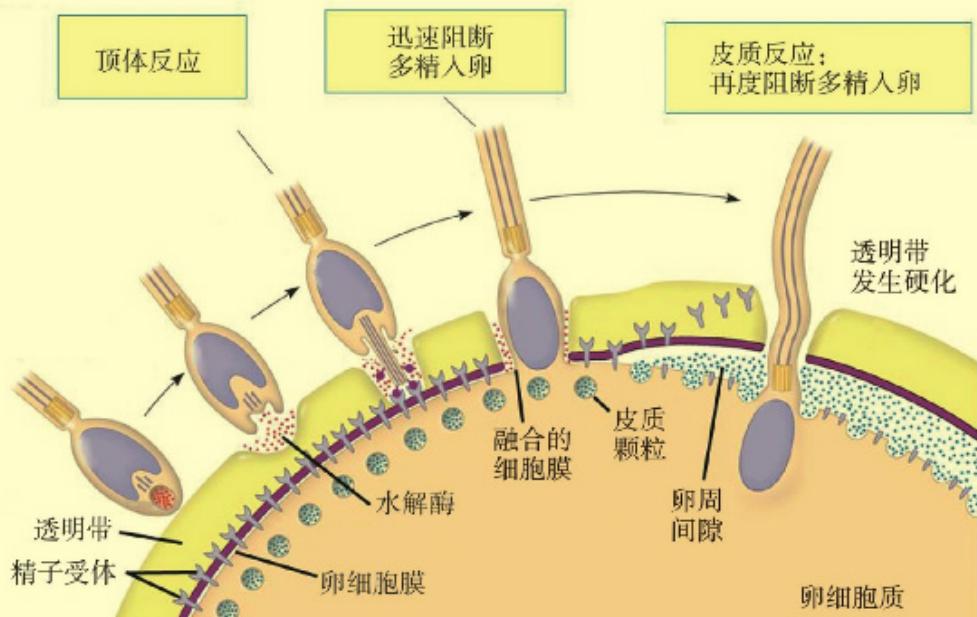


图 12-22 皮质反应和透明带反应



理性思维

1. 概述 概述受精的生物学意义。
2. 讨论 影响受精的条件有哪些？



胚胎发育

卵细胞在输卵管内受精后，女性便进入妊娠期，又称为怀孕。刚形成的受精卵并不马上分裂，大约经过30小时，受精卵才开始进行有丝分裂，称为卵裂。卵裂后会形成桑椹胚，进而形成囊胚（图12-23）。

植入子宫壁的囊胚会继续发育，形成胚胎。大约经过一个月的时间，囊胚的表面一层滋养细胞会分化出四种胚外膜（羊膜、绒毛膜、卵黄囊膜和尿囊膜），构成生命的支撑系统。同时囊胚的内细胞团分化成为内、中、外三个胚层，进一步形成胎儿的各种组织、器官（图12-24）。怀孕约280天后，婴儿就可以出生了。

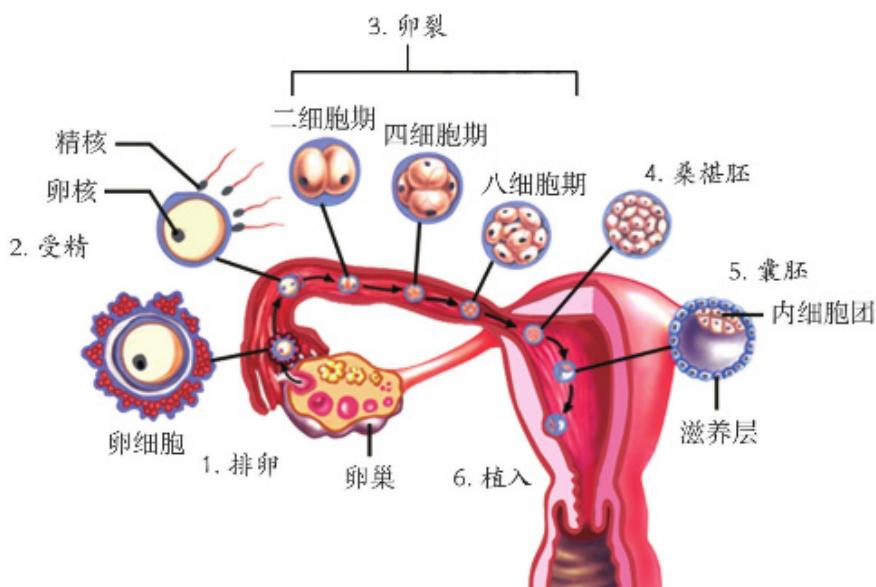


图 12-23 卵裂的过程



图 12-24 月龄两个月的胚胎

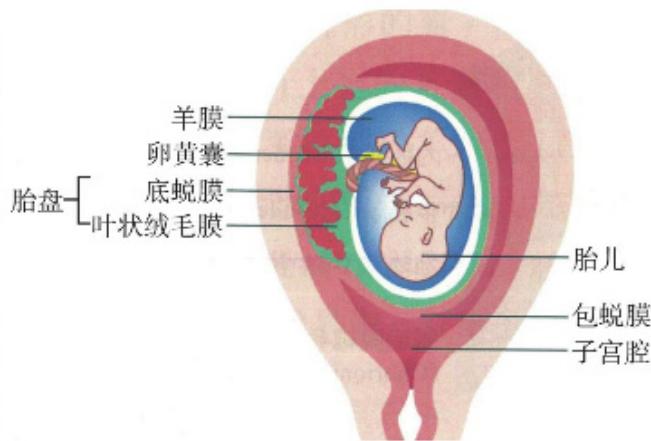


图 12-25 子宫内的胎儿

胎盘（placenta）是母体与胎儿之间进行物质交换的器官，是胚胎与母体组织的结合体（图12-25）。胎盘具有物质交换，防御屏障和分泌HCG、黄体酮和雌激素等重要生理功能。

羊膜（amnion）是胎盘的重要组成部分，包裹着胎儿。羊膜腔内充满羊水，胚胎在羊水中生长发育。羊水具有保护胎儿免受外界冲击和损害、防止与周围组织黏连的功能。



知识补给站

胎盘与脐带

于胚胎着床的部位，叶状绒毛膜与母体组织接合处称为底蜕膜。叶状绒毛膜（胎儿组织）和底蜕膜（母体组织）紧密融合在一起形成胎盘。胎盘于受精后一个多星期开始形成，正常足月的胎盘平均面积为 $15\times20\text{cm}^2$ ，重约450~500 g。

胎盘的绒毛膜绒毛间的空腔是母体和胎儿交换物质的地方。携带氧气和营养物质的母体血液，由一条脐静脉输送给胎儿，胎儿的二氧化碳和废物则由两条脐动脉送回胎盘。由于胎盘的底蜕膜和叶状绒毛膜相互紧密融合，其上的每个绒毛都有绒毛膜，可防止绒毛的毛细血管和母体血液直接接触，能让物质有效交换又不会导致血液混合，以维持胎儿循环系统封闭不受干扰。

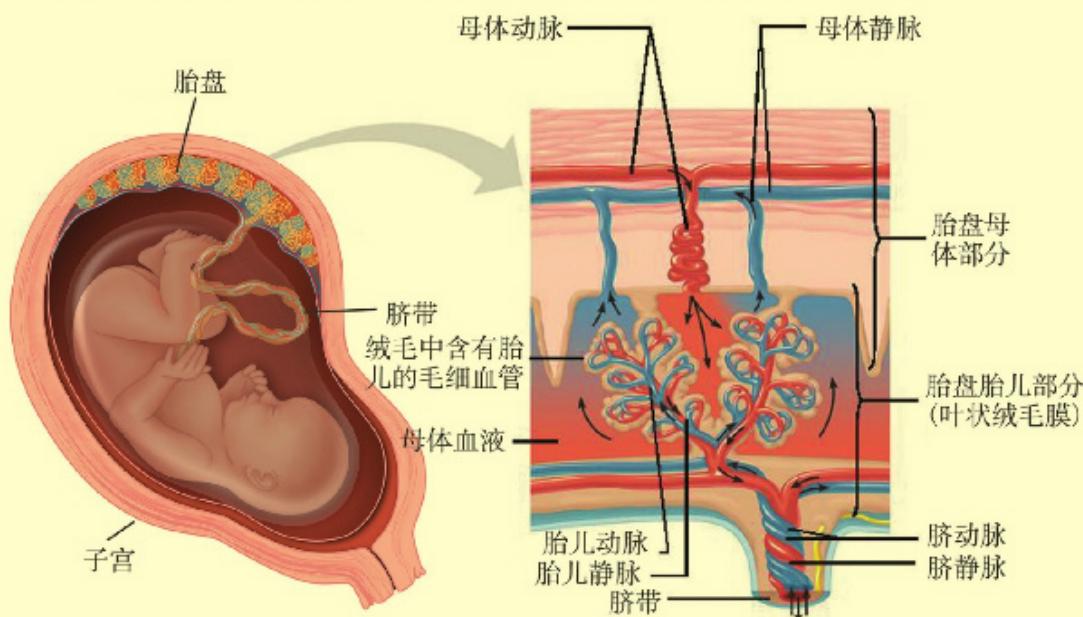


图 12-26 脐带和胎盘



脐带（umbilical cord）是连接胚胎脐部与胎盘间的一条索状物，是母体与胎儿进行物质交换的通道（图12-26）。脐带血将丰富的氧气和养料输送到胎儿体内，将代谢废物和二氧化碳送到胎盘，渗入母血排出体外。足月胎儿脐带大约与胎儿等长，约40~60cm，管径约1.5~2.0cm。



科学·技术·社会

吸烟对胎儿发育的影响

孕妇吸烟或吸入漂浮在空气中的烟气，烟气中含有尼古丁、焦油等很多有害物质，通过胎盘进入胎体，会引起胎儿轻度一氧化碳中毒，使母亲血液含氧量不足，严重时亦可能危害胎儿生命。

有科学家就母亲的吸烟习惯对胎儿发育的影响进行了研究。研究对象为丹麦欧登塞和奥尔堡两个城市在1984年4月至1987年4月妊娠的11695名妇女。研究方法是按照统一调查表，询问每个研究对象在妊娠期间的吸烟状况。产科资料取自研究对象分娩时所在医院的原始记录，然后进行统计学处理。研究发现，有吸烟习惯的孕妇，流产、早产、胎儿宫内发育迟缓、死胎及新生儿死亡的发生率，均高于不吸烟的孕妇；胎儿畸形特别是先天性心脏病、儿童弱智的机会也比一般孕妇多。

因此，如果夫妇计划生孩子，就应该在怀孕前戒烟。作为准妈妈，首先自己不吸烟，同时也要力劝准爸爸不要吸烟，不去或少去烟雾缭绕的娱乐场所，给胎中的宝宝提供一个洁净的生活环境。

分娩

胎儿在母体中发育成长到可以出生的程度时，便会发出生产的激素信号，接收到此激素信号的母体会促使让子宫收缩的激素作用加强，从而引起子宫收缩，分娩开始。分娩是指胎儿脱离母体作为独自存在个体的这段时期和过程。整个过程包括连续的三个阶段，或称三个产程。

第一产程为宫口扩张期，是指从产妇出现规律性的子宫收缩开始，到子宫颈口扩张至10 cm为止。这一阶段时间很长，初产妇一般为8~12小时，子宫发出强烈的收缩，胎儿被迫往产道（阴道）的方向移动。

第二产程为胎儿娩出期，是指从子宫颈口开全到胎儿娩出为止。这一阶段初产妇约需1~2小时。由于子宫有规律的收缩，胎儿沿着产道下降。这时期母亲也配合阵痛的波动，时而用劲，时而休息，帮助胎儿顺利进入产道并娩出。

第三产程为胎盘娩出期，是指从胎儿娩出到胎盘娩出的过程，一般在10~20分钟左右。胎儿娩出后，子宫再次收缩，使胎盘从子宫壁上剥落下来，排出体外。

女性的雌激素和黄体酮会抑制催乳素的分泌。分娩后，当胎盘排出时，雌激素和黄体酮的浓度迅速下降，对催乳素的抑制作用解除，垂体开始分泌催乳素，促进乳腺细胞分泌乳汁。

自我检测

- 1 精子的受精过程非常艰难，竞争率高达三亿分之一。下列哪项不是精子受精过程竞争率高的原因（ ）
 A. 阴道分泌的物质是碱性的，精子不容易存活
 B. 子宫颈分泌的黏液就像一道阀门，能阻止活力较低的精子进入子宫
 C. 女性子宫中的白细胞会大量吞噬精子
 D. 输卵管管壁上的纤毛是向子宫方向摆动的，阻止了精子的前进
- 2 到达卵细胞的精子只有一个会使卵细胞受精，其原因是（ ）
 A. 精子表面的蛋白质分子与卵细胞的受体蛋白专一性结合
 B. 精子到达卵黄膜时，精子头部的顶体会释放一种酶溶解卵黄膜
 C. 一个精子的细胞膜与卵细胞的细胞膜融合，整个卵细胞的细胞膜就会增厚变硬
 D. 精子的头部和尾部一起进入卵中，完成受精作用
- 3 下列能正确表示高等动物胚胎发育顺序的是（ ）
 A. 卵裂 → 受精卵 → 囊胚 → 组织器官的分化
 B. 卵 → 卵裂 → 组织器官分化
 C. 卵 → 囊胚 → 桑椹胚 → 组织器官的分化
 D. 受精卵 → 卵裂 → 桑椹胚 → 囊胚 → 组织器官的分化
- 4 简述受精的过程。



12.5 常见的避孕方法



学习目标

- ★ 说出常见的避孕方法。
- ★ 理解各种避孕方法的原理。

棉酚

1971年，中国科学家通过对部分不孕症较集中地区的调查，发现食用棉籽食物或棉籽油，可导致男性无精子而不育。通过大白鼠等实验证实，棉籽中抗生育的成分是棉酚（gossypol）。动物实验表明，棉酚能破坏睾丸生精小管中的精子、精细胞和精母细胞，破坏精子的发生过程，从而达到抑制生育的目的。



图 12-27 棉酚能用于男性避孕



问题探讨

1. 常见的避孕方法有哪些？
2. 避孕的原理是什么？

婚后的夫妻由于种种原因，有部分人希望能选择恰当的时间进行生育，这就需要采取预防性措施避免受孕，即避孕。避孕就是通过各种措施，干扰受孕或阻断妊娠过程，从而达到节制生育的目的。其原理就是抑制排卵、阻止精子和卵子的结合、阻碍受精卵着床，从而干扰受孕或阻断妊娠过程。

抑制排卵

正常成年女性的月经周期和排卵都是有规律性的。这种规律性是由体内某些激素周期性变化导致的。如果体内维持较高的雌激素水平，就能抑制排卵。因此，女性可以通过服用或注射雌激素或雌激素类似物来维持较高的雌激素水平，从而达到避孕的目的（图12-28）。



图 12-28 女性避孕药



知识补给站

女性避孕药

服用避孕药进行避孕，是一种比较安全、有效的避孕方法，能够大大减少妊娠的可能性。其优点是：①成功率比较高，坚持使用，能达到99%的避孕率；②具有可逆性，停药后即可再次怀孕；③紧急事后避孕药，能够做到紧急避孕。但也有一些副作用，如类似早孕反应，出血、闭经或经量减少、白带增多、胃痛、头痛、皮疹等。有些症状在坚持服药2~3月后会自然消失，或在停药后自行恢复正常。在出现不适时最好到医院就诊，听取医生意见并对症治疗。

常用的女性避孕药，大多由黄体酮和雌激素配伍而成，也有一些非甾体药物，它们能影响生殖过程中的不同环节，从而达到抗生育的目的。其避孕机制主



要是通过抑制排卵，改变子宫颈黏液，使精子不易穿透，或使子宫腺体减少肝糖的制造，让囊胚不易存活等，从而达到避孕的目的。

服用各种避孕药必须养成准确、按时、按量服用的良好习惯，不可随意改变或延长服药时间。不要漏服、迟服，发现漏服应于次日补服，否则易造成不规则出血或避孕失败。长期避孕者，应在医生指导下服用。



理性思维

1. 讨论 避孕药会不会导致不孕？
2. 交流 你有听过男性避孕药吗？收集男性避孕药的资料，并与同学进行交流。

阻止精子和卵子的结合

在避孕方法中，阻止精子和卵子的结合，是最常用的方法。一般可采用器具阻隔、体外射精、安全期避孕和绝育手术等方法。

器具阻隔是指采用某种器具阻隔精子和卵子的相遇，常用的有避孕套、宫颈帽（cervical cap）等（图12-29）。避孕套使用方便且没有副作用，避孕成功率一般可达到98%。宫颈帽是女用避孕工具，它是圆帽型的乳胶薄膜，性交前置于阴道内盖住子宫颈，使精子不能进入子宫，从而起到避孕作用，成功率可达95%。

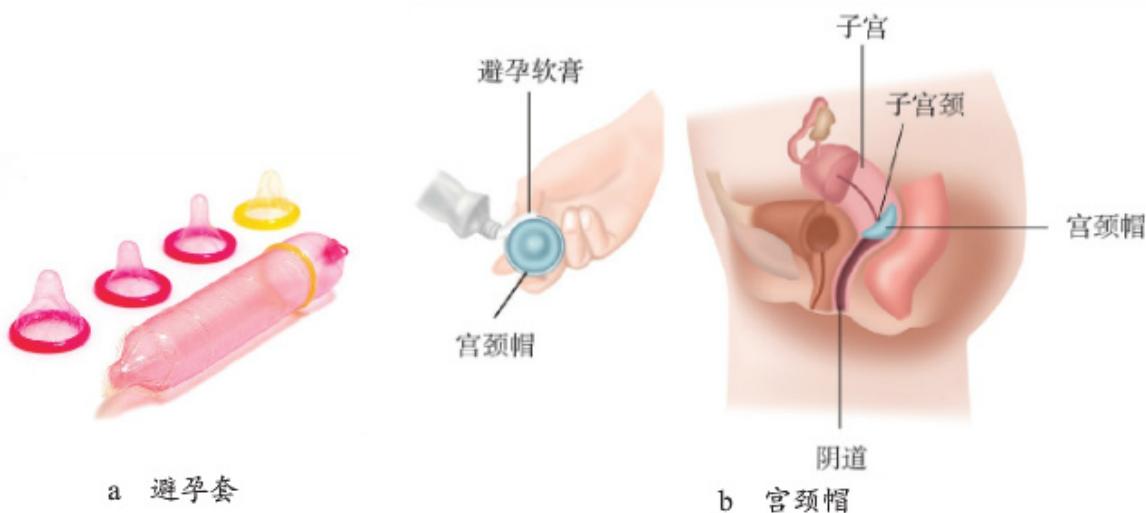


图 12-29 各种阻隔器具

在没有避孕工具时，男性也可采用将精液排在女性体外的方法避孕，即体外射精。但该方法对于避孕来说具有不确定性和不可靠性。

从青春期开始到停经之前，女性会出现周期性的月经现象。一般将排卵日的前五天和后四天，再加上排卵日在内的10天看作容易受孕的时间。在月经周期的其它时间里，女性不容易受孕，称为安全期。安全期避孕的推算方法如图12-30所示。由于排卵时间容易受情绪等因素影响，排卵不一定发生在第14天。因此，安全期避孕的方法失败率较高。



图 12-30 安全期的推算方法

如果希望能永久性避孕，男性较为合适的方法是进行绝育手术，如切断、结扎输精管（图12-31左），使精子不能排出，起到永久性避孕的效果。女性可结扎输卵管，阻止精子和卵子的结合（图12-31右）。

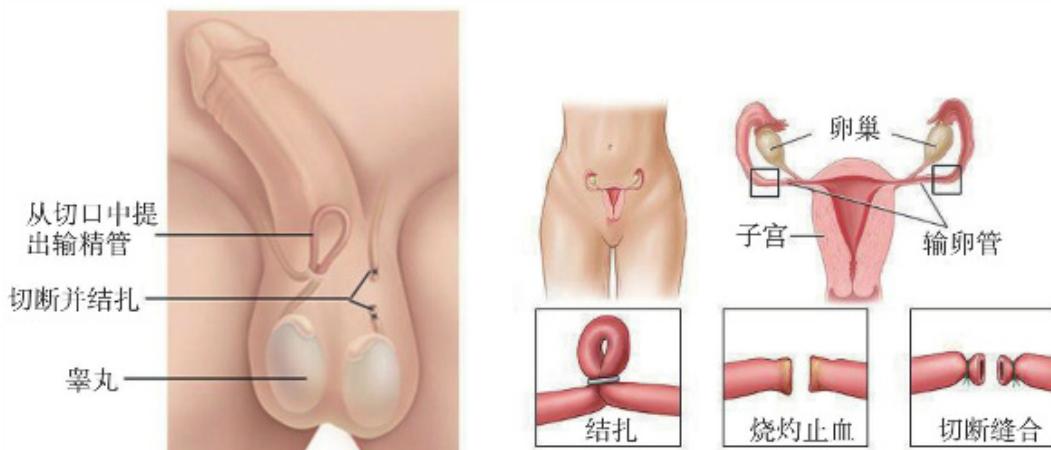


图 12-31 绝育手术



利用验孕试纸检测早期怀孕



验孕试纸是一种方便女性检测自己是否怀孕的产品，大部分药店都有售卖。

验孕试纸的验孕原理是通过检测尿液当中的人绒毛膜促性腺激素（HCG），来判断检测者是否怀孕。HCG 是由受孕妇女体内胎盘产生的一种糖蛋白类激素，由于分子量较小，可通过肾小球从尿中排出。在非妊娠妇女尿液中几乎不含有 HCG，所以测定尿中的 HCG 是诊断妊娠的可靠指标。

验孕试纸的使用方法：使用一次性尿杯或洁净容器收集尿液。将试纸带有箭头标志的一端浸入装有待检尿样的容器中（浸入时不要超过 MAX 线），约 3 秒钟后取出平放，5~10 分钟内观察检测结果。

结果判断：试纸条上端（对照线 C 线）和下端（检测线 T 线）均有色带出现，表示怀孕；只在试纸条上端（对照线 C 线）出现一条紫红色带而下端无色带出现，表示未怀孕；测试区无色带出现或仅出现一条紫红色线（检测线 T 线），表明检测失败或试纸无效，应重新测试（图 12-32）。



图 12-32 验孕试纸的使用方法



- 1 在避孕方法中，阻止精子或卵子形成最常用的方法是（ ）
A. 器具阻隔 B. 体外射精 C. 绝育手术 D. 避孕药
- 2 暂时不想要小孩的夫妇，一般采取哪种避孕方法比较好？（ ）
A. 服用长效口服避孕药 B. 使用避孕套
C. 放入宫内节育器 D. 结扎输卵管
- 3 下列使用避孕套的好处不包括（ ）
A. 使用安全、简便 B. 可配合杀精剂使用，增加避孕可靠性
C. 对勃起困难的患者有治疗作用 D. 可以预防性传播疾病的感染
- 4 为什么说“安全期避孕”不太安全？

12.6 人工辅助生殖技术



学习目标

- ★ 简述不能生育的原因。
- ★ 简述人工辅助生殖技术。

全球首个试管婴儿

20世纪70年代，有一对英国夫妇感情深厚，却因妻子输卵管堵塞无法生育后代而烦恼。幸运的是，他们遇到了致力于试管婴儿研究的爱德华兹(Robert Edwards)和斯特普托(Patrick Steptoe)。1977年11月10日，这位妇女接受了试管婴儿手术。令她无比惊喜的是，她竟然真的成功受孕了，并于1978年7月25日顺利地产下了世界上第一个试管婴儿——露易丝·布朗(Louise Brown)。



图 12-33 关于试管婴儿的报道



问题探讨

1. 试管婴儿是怎样产生的?
2. 什么是人工辅助生殖技术?

一对新人走进婚姻的殿堂后，在没有采取任何避孕措施的情况下，经过一年的时间仍不能正常受孕的，医学上就认为该夫妇中有人患有不育症，需要及时就医。人工辅助生殖技术就为这些想要孩子却不能生育的夫妇带来了福音。

不能生育的原因

导致育龄夫妇不能生育的原因很多，如男性精子量少、精子不活跃，女性排卵障碍、输卵管堵塞或子宫功能不正常等。由于原因多样，所以在治疗之前，要先诊断出病因，然后才能针对病因实施相应的人工辅助生殖技术。

另一方面，精神因素也是一种常见的原因。由于工作过于紧张，精神压力大，往往会导致不育。另外，酗酒、抽烟等不良生活习惯，也会导致不育。这些原因造成的不育，经过医生的诊断，患者进行相应的调整后，还是有机会能正常受孕的。

人工受精

如果女性输卵管与子宫都正常，但不能受孕，显然这是受精这个环节出了问题。其原因也有很多，如男性的精子量少、精子活力低、有射精障碍等。针对这些原因，可以采用人工方式将处理过的精液注入女性生殖道内，使女性受孕，即人工受精（artificial insemination）。

要进行人工受精，首先要促使卵泡成熟及排卵；其次要确定排卵期；第三要收集精液和受精（图12-34）；最后要通过超声波等技术监测受孕情况。当受精卵着床后，其生育过程与正常生育就完全一样了，直至顺利分娩。

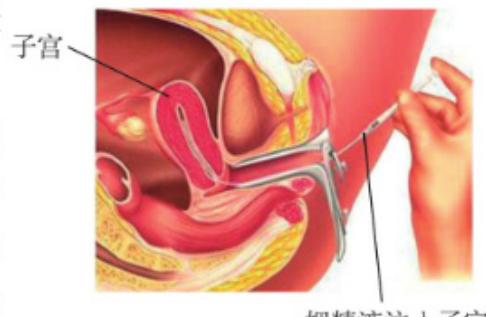


图 12-34 人工受精

体外人工受精

如果女性输卵管不正常，可通过体外人工受精（in vitro fertilization）形成受精卵，再将受精卵在体外培育成3~5天的早期胚胎，最后用胚胎移植方式使妇女受孕而生出婴儿（12-35），此技术也称为试管婴儿技术。

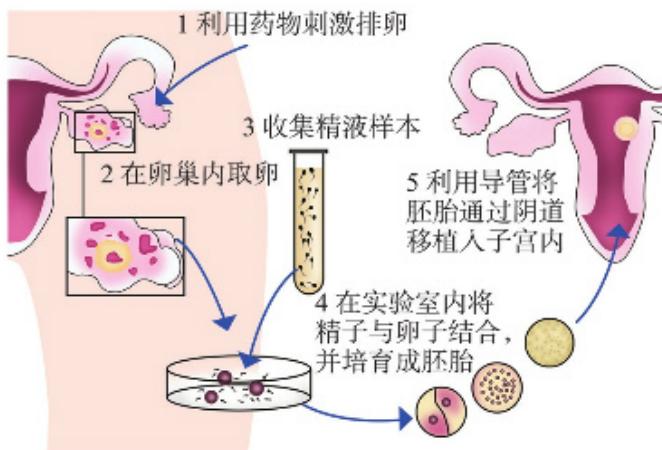


图 12-35 试管婴儿技术操作流程



理性思维

1. 讨论 讨论试管婴儿技术给人类社会带来的积极意义和争议。
2. 社会性科学议题 借腹代孕在某些国家是不合法的，然而在一些国家却又是合法的。请同学选择不同的立场进行辩论。



科学·技术·社会

早孕、人工流产在不同文化中的接受度

人工流产能是个全球性的话题。有关人工流产问题的争论主要是在胎儿的“生命权”与妇女的“选择权”之间展开的。关键的论点主要有两个：一方认为胎儿不仅附属于母亲，也是未来的生命；另一方认为妇女对自己的身体有控制权，是否人工流产是个人的问题。

在不同的国家因宗教、文化、人口政策的不同，对人工流产有不同的法令。

在我国，人工流产是违法的。《马来西亚刑事法典》第312条规定：任何人自愿地导致一名怀孕妇女人工流产，如果该项人工流产并非为了拯救该妇女的性命而善意为之，则必须判处以最高可达3年之监禁，或罚款，或两者兼施；如果该妇女所怀者为有生命的胎儿，必须判处最高达7年监禁，并可另加罚款。合法的流产手术是在有关医生顾及到母体的安全，或是造成母体的精神和心理上的伤害而施行的。

女性生殖器官在青春期处于生长发育阶段，还没有发育成熟，不必要的损伤有可能导致无法挽回的伤害。20岁以前身体各部分仍处于发育时期，而且这时的精力、记忆力、时间等各方面都处于学习知识的最佳阶段。若过早怀孕的话，胎儿与发育中的母亲争夺营养，对母亲健康和胎儿发育都不好，也会影响女性的身体、工作和学习等各个方面。

 **自我检测**

- 1 下列不孕症原因分析与人工辅助生殖技术不相吻合的是()
 - A. 输卵管正常, 子宫正常, 可采用人工受精
 - B. 输卵管不正常, 子宫正常, 可采用试管婴儿技术
 - C. 输卵管正常, 子宫不正常, 可采用体内受精, 借腹怀胎
 - D. 输卵管不正常, 子宫不正常, 可采用体外人工受精, 借腹怀胎
- 2 下列哪一项对人工受精的理解是不准确的? ()
 - A. 人工受精的女性, 其输卵管与子宫都是正常的
 - B. 人工受精是将精液注入女性的输卵管内, 以便于精子与卵子在输卵管中结合
 - C. 人工受精前首先需要进行排卵
 - D. 收集精液的时间要依据排卵时期而定
- 3 一位高龄妇女顺利地产下一个试管婴儿, 为这个家庭带来了福音。在生物学上试管婴儿技术属于()
 - A. 有性生殖, 体外受精
 - B. 无性生殖, 体内发育
 - C. 有性生殖, 体内受精
 - D. 无性生殖, 体外发育
- 4 什么是试管婴儿? 在什么样的情况下适合采用该人工辅助生殖技术?



12.7 植物是如何延续生命的



学习目标

- ★ 结合花的图形，指出花的结构。
- ★ 描述双受精过程。

蜜蜂传粉

据统计，在人类所利用的1300种植物中，有1100多种植物的授粉是由蜜蜂完成的。在传粉过程中，一只毛茸茸的蜜蜂身上能沾住50万~75万粒花粉，使植物得到充分受精的机会，从而在提高粮食作物的产量和质量方面发挥巨大的作用。如果没有蜜蜂，没有传粉，人类将丧失多数粮食、蔬菜、瓜果等赖以生存的资源。



图 12-36 沾满花粉的蜜蜂



问题探讨

1. 为什么植物需要授粉？
2. 植物是如何受精并形成种子与果实的？

植物繁衍后代的方式与动物一样，也包括无性生殖和有性生殖。植物营养体的一部分从母体脱离形成新个体的方式称为营养繁殖，这是一种无性生殖。藻类、苔藓和蕨类植物利用孢子（一种具有生殖功能的细胞）直接发育成新个体的过程，也是无性生殖。在各类植物中，被子植物又称为有花植物，是现今植物中种类最多、分布最广的一个类群，具有典型的根、茎、叶、花、果实和种子等器官。

花的结构

被子植物的生殖器官特化成为花的构造。花由花托、花被、雄蕊和雌蕊四部分组成（图12-37）。花被包括花萼和花冠。雌蕊由子房、花柱和柱头三部分构成，胚珠包被在子房内。雄蕊由花丝和花药组成。传粉受精后胚珠发育成种子，子房发育成果实。

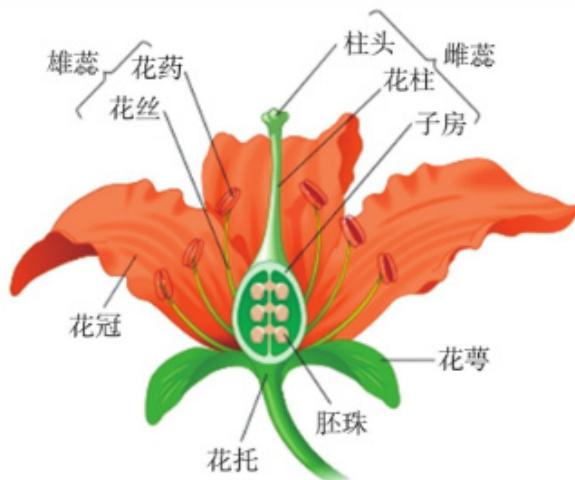


图 12-37 花的结构

传粉与受精

当花的雄蕊和雌蕊发育成熟，花粉便从花药的花粉囊中散出，并被传送到花的柱头上，接着发生受精作用。传粉与受精是被子植物完成有性生殖过程最重要的阶段，花粉与胚囊的发育成熟是完成传粉与受精的基本条件。

在花药内部的花粉囊中，一个二倍体的小孢子母细胞（花粉母细胞）经过减数分裂形成四个单倍体的小孢子。每个小孢子成熟后又经过一次有丝分裂形成两个细胞，其中一个是营养细胞，另一个是生殖细胞。当花粉粒落在柱头后，生殖细胞再分裂一次，形成两个精子。

雌蕊中的子房含有一个或多个胚珠，胚珠内有一个大孢子母细胞，经过减数分裂产生四个单倍体的大孢子。这四个大孢子中，三个退化，仅有一个继续发育成胚囊



(embryo sac)。这个大孢子继续生长，其细胞核经过三次有丝分裂，形成具有八个核的胚囊。接着，位于胚囊中部的两个核（称为极核）形成一个中央细胞，位于珠孔端的三个核形成一个卵细胞和两个助细胞（图12-38）。助细胞能分泌某种物质诱导花粉管进入胚囊。相对于珠孔的另一端的三个核形成三个反足细胞，它能将母体的营养物质转运到胚囊中。至此，八个核、七个细胞的胚囊完全发育成熟，可以接受花粉管输送来的精子，即开始进行受精过程。

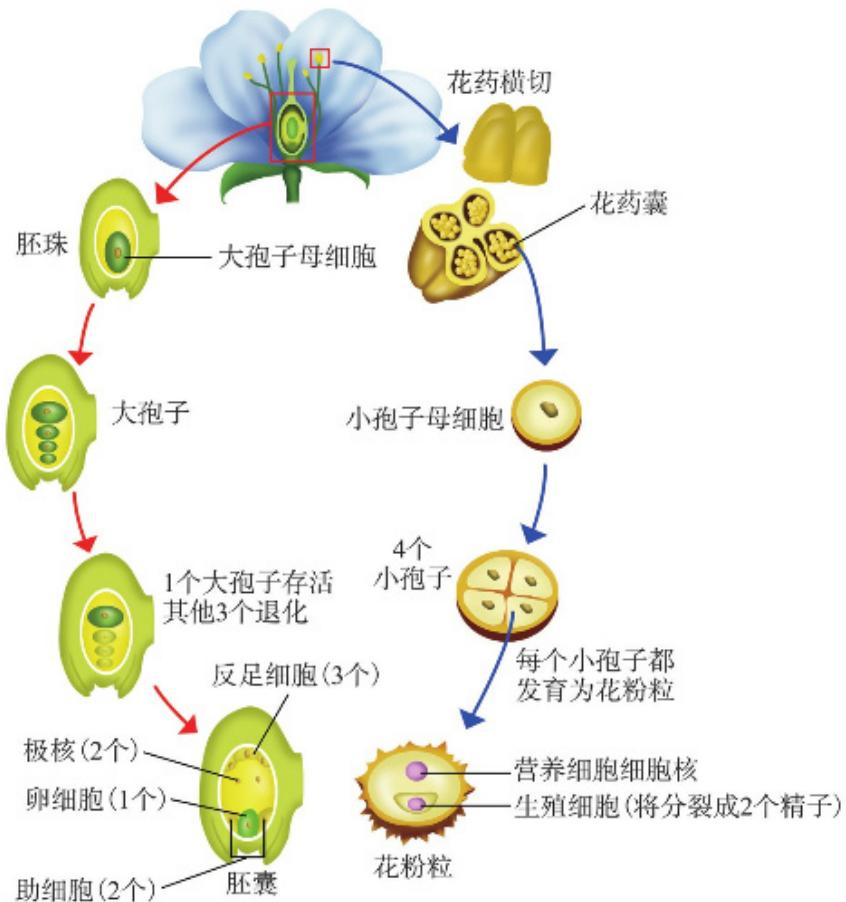


图 12-38 花粉和胚囊的发育

被子植物的受精作用从花粉在柱头上萌发开始。花粉囊散出的花粉借助于风、昆虫等媒介到达花的柱头，并在柱头上吸水膨胀，随后花粉粒的萌发孔处生成细长的花粉管。花粉管向下生长，进入花柱并由珠孔到达胚囊。此时，花粉管中的两个精子分别与卵细胞和中央细胞极核相结合，称为双受精（double fertilization）。一个精子与卵结合形成受精卵并成为二倍体的合子，将来发育成为新个体的胚，另一个精子与中央细胞极核结合，成为三倍体的受精极核并进一步发育成为胚乳（图12-39）。胚乳积累了淀粉、蛋白质、脂肪等营养物质，为胚的发育提供丰富的营养。有些种子里胚乳贮存的营养会

全部输送到子叶，种子里就没有了胚乳。

双受精是被子植物特有的现象，既保证了新个体从亲本获得双重的遗传信息，又使形成的种子具有与环境相适应的最大存活力。

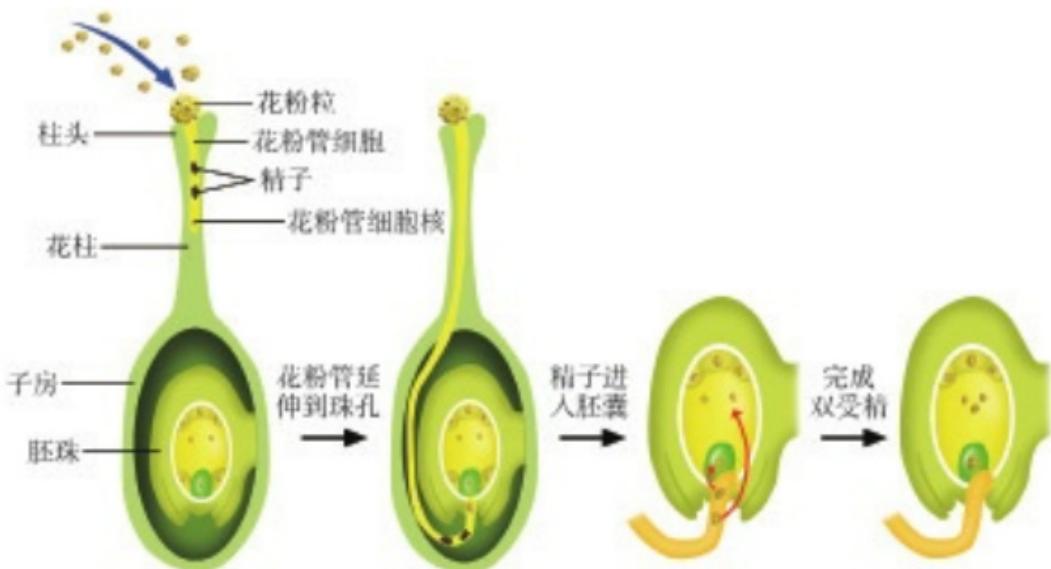


图 12-39 花粉管的萌发与双受精

自我检测

1 图 12-40 表示被子植物花的结构，下列描述不合理的是（ ）

- A. ①和②分别是花药和花丝，构成花的雄蕊
- B. ③、④、⑤分别是柱头、花柱、子房，构成花的雌蕊
- C. 花被由⑥花萼和⑦花冠组成
- D. 该朵花发育形成的果实中有一粒种子

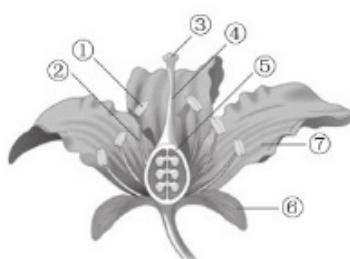


图 12-40

2 被子植物的双受精过程是指（ ）

- A. 两个精子分别与两个极核结合
- B. 两个精子分别与两个卵细胞结合
- C. 两个精子分别与一个卵细胞和一个极核结合
- D. 两个精子分别与一个卵细胞和两个极核结合

3 下列哪个过程没有在花粉和胚囊的发育过程中出现？（ ）

- A. 花粉囊中一个小孢子母细胞经过减数分裂形成四个小孢子

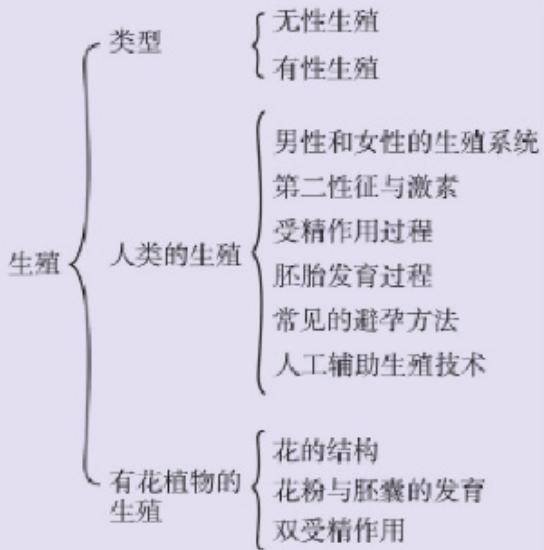


- B. 每个小孢子成熟后又经过一次减数分裂形成两个营养细胞
- C. 胚珠中一个大孢子母细胞经过减数分裂，产生四个大孢子
- D. 大孢子中的细胞核有丝分裂三次，形成了具八个核的胚囊

4 简述被子植物双受精的过程与意义。



本章小结



为了使生命得以延续，生物就要不断地繁殖出后代，这个过程称为生殖。生殖的方式可以分为无性生殖和有性生殖两种。人类进行的是有性生殖。

人类的生殖系统男女有别，二者在分子、染色体、配子、生殖器官和躯体等不同水平上均表现出两性特有的差异，即性征。两性生殖系统的功能包括进行性生活、产生生殖细胞、繁殖后代和分泌性激素。

人类的生命都是从一个小小的受精卵开始的，精子与卵子的结合确保了人类生命的不断延续。胚胎的妊娠期约为280天左右，发育成幼儿后从母体分娩出来。

避孕就是通过药物、器具等各种措施，干扰受孕或阻断妊娠过程，从而达到节制生育的目的。有些人患有不育症，但又希望有自己的孩子，那么人工辅助生殖技术可以帮助他们。

植物繁衍后代的方式也包括无性生殖和有性生殖。在各类植物中，被子植物又称为有花植物，是现今植物中种类最多，分布最广的一个类群，其生殖器官特化成为花的构造。花中的雄蕊和雌蕊通过进行特殊的双受精作用，会产生种子，子房也发育成果实。



习题

1. 一种名为“落地生根”的植物，能在叶缘上生出“不定芽”和“不定根”。当叶片脱离母体落在潮湿的地面上以后，就可以发育成一株独立生长的新个体。这种繁殖方式属于（ ）

- ①无性生殖 ②有性生殖 ③营养生殖 ④分裂生殖
A. ①③ B. ②③ C. ①④ D. ②④

2. 图 12-41 表示精细胞变形后所形成的精子，其内存在着大量的线粒体，能为精子的运动供能。这些大量的线粒体集中在精子的哪个部位？（ ）

- A. ① B. ② C. ③ D. ①②③

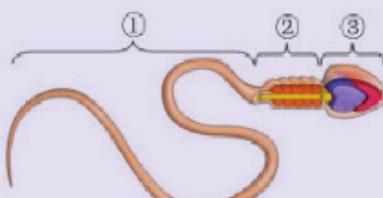


图 12-41

3. 图 12-42 中能代表卵裂过程中某种结构或物质变化的是（ ）

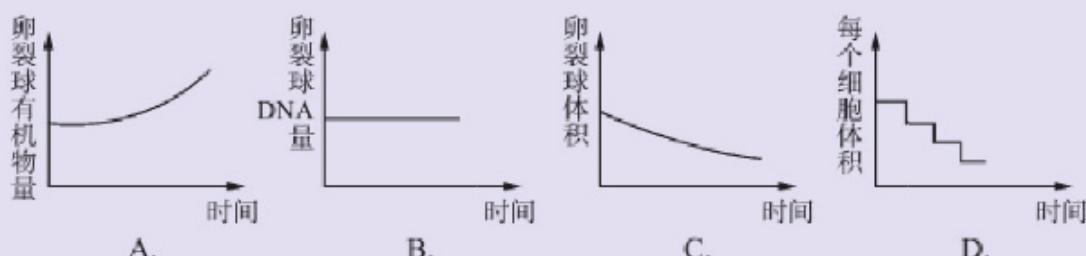


图 12-42

4. 图 12-43 表示女性体内三种激素在月经周期中的含量变化，受精作用最可能发生在哪个阶段？（ ）

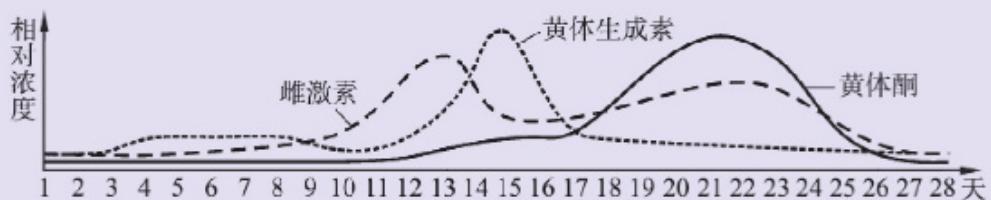


图 12-43

- A. 第 12 ~ 14 天 B. 第 14 ~ 16 天

- C. 第18~20天 D. 第21~23天
5. 下列哪项是女性排卵前黄体生成素(LH)分泌增加的主要原因? ()
- A. 雌激素增加 B. 雌激素减少
C. 黄体酮增加 D. 黄体酮减少
6. 图12-44所示为被子植物的配子体,发生双受精的细胞是()

- A. a与X, b与Y
B. a与Y, b与Z
C. b与X, b与Y
D. b与Y, b与Z

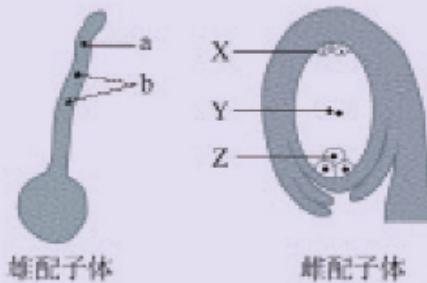


图12-44

7. 某雌雄异株的被子植物中,雄性的性染色体组成为XY,雌性的性染色体组成为XX。那么发生双受精后,其种子内胚和胚乳的性染色体组成可能为()
- A. 胚XX, 胚乳XX B. 胚XX, 胚乳XXX
C. 胚XX, 胚乳XY D. 胚XY, 胚乳XYY
8. 下列有关试管婴儿知识的叙述,不正确的是()
- A. 试管婴儿这项技术可以帮助一些不能生育的夫妇实现想要孩子的愿望
B. 试管婴儿是用人工方法将精子和卵细胞分别从人体内取出,在体外受精
C. 体外进行早期胚胎发育,将胚胎移植到子宫内发育成胎儿
D. 试管婴儿就是在试管内培育出一个孩子
9. 图中哪些结构的细胞具有相同的遗传物质? ()

- A ①②
B ①③
C ②③
D ①②③

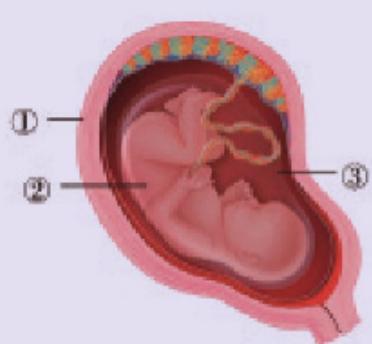


图12-45



10. 图 12-46 左图表示卵巢所分泌的两种激素在 28 天内的含量变化情况，右图表示卵巢内卵泡的发育过程。

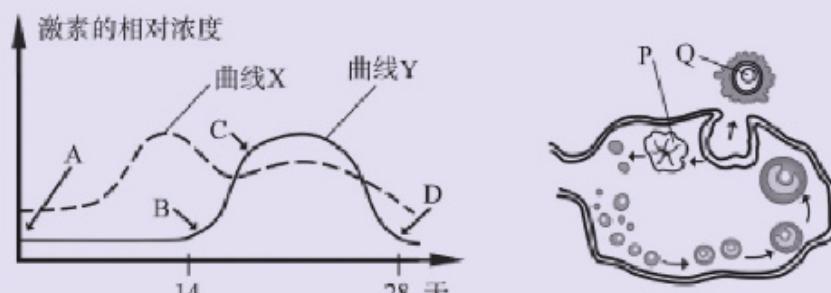


图 12-46

据图回答：

- (1) 曲线 X 和曲线 Y 各代表哪种激素的含量变化情况？
 - (2) 写出上述两种激素的功能。
 - (3) 右图中 Q 的释放，出现在曲线 Y 的哪个时间 (A、B、C 或 D)？
 - (4) 说明结构 P 在下列两种情况下所发生的变化：①发生受精作用；②卵子没有受精。
11. 图 12-47 表示成熟女性卵巢的切面图，abcd 分别代表四种细胞，①②③表示过程。据图回答：

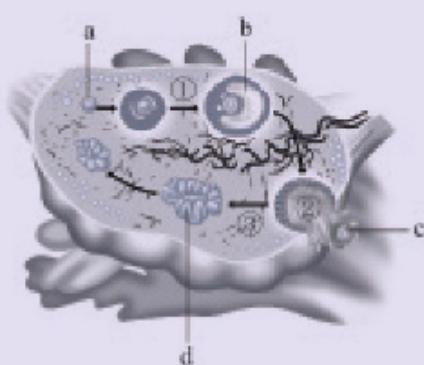


图 12-47

- (1) 分别是什么激素促使①②③过程的进行？
- (2) abcd 分别表示什么细胞？
- (3) 如果排出的卵没有受精，结构 d 会有什么变化？说明此变化与月经周期的关系。

12. 如图12-48是单核胚囊发育而成的具有七个细胞八个核的成熟胚囊。

据图回答：

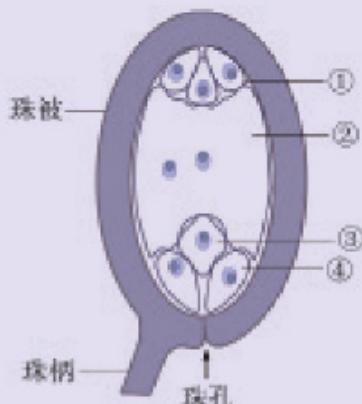
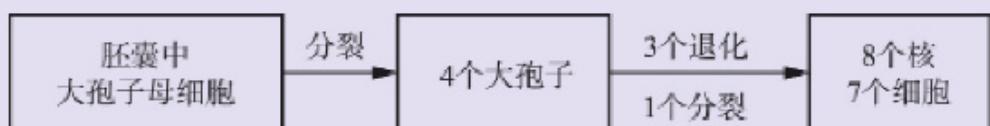


图 12-48

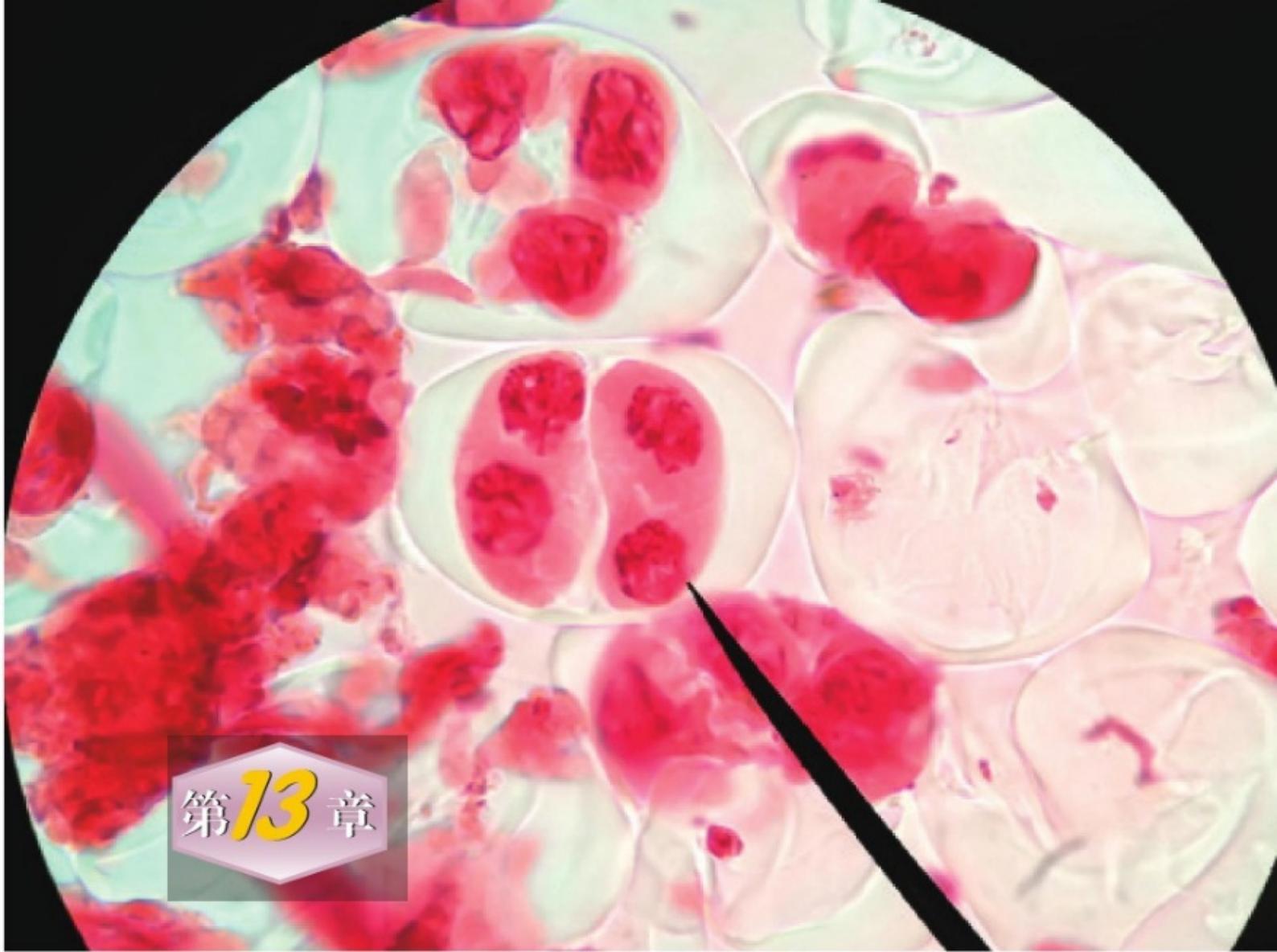
(1) 图中①②③④分别是什么细胞？



(2) 上述概念图中，胚囊的发育过程经历了几次细胞分裂？分裂方式如何？

(3) 图中的细胞①在胚囊发育过程中起到什么作用？

(4) 图中的细胞④在受精过程中起到什么作用？



第13章

细胞分裂



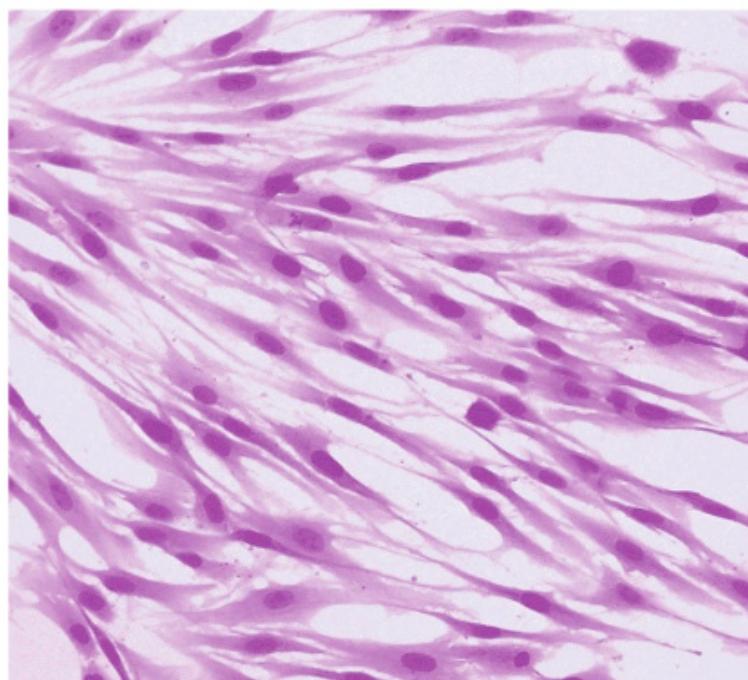
主要内容

- 着丝分裂
- 着减数分裂
- 着癌症的发生



细胞的寿命

生物学家早就发现一个有趣的事，就是每一种细胞的寿命都有一定的限度。在人工培养条件下，接近这个限度时，哪怕用最好的培养条件都拯救不了细胞死亡的命运。像人体的成纤维细胞，最多只能繁殖50代，到时就会趋于死亡。其他像老鼠的成纤维细胞只能分裂18代，龟的成纤维细胞能分裂110代，如此等等。



成纤维细胞

试想想：

- 为什么细胞的分裂次数是有限的？
- 细胞分裂是如何进行的？
- 细胞分裂与癌症有怎样的关系？

学完本章以后，你就能回答以上问题。

13.1 有丝分裂



学习目标

- ★ 描述真核细胞的细胞周期。
- ★ 简述有丝分裂的过程。
- ★ 绘制有丝分裂的流程图。

海拉细胞

你听说过一种名为“海拉”的细胞吗？它是取自一名美国妇女海莉埃塔·拉克斯（Henrietta Lacks）的子宫颈癌细胞，在人工培养条件下具有接近无限增殖的能力。自1951年拉克斯逝世至今已经整整60多年了，可它依然保持着24小时繁殖一代的速度，不断地分裂、生长。据推算，迄今为止培养出的海拉细胞已经超过了5000万吨。

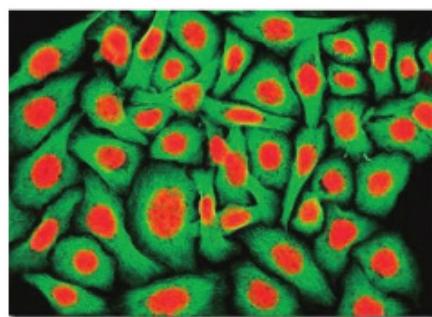


图 13-1 不死的海拉细胞



问题探讨

1. 海拉细胞是通过什么方式分裂增殖的？
2. 有丝分裂的过程是怎样的？

当你看书的时候，就有许多细胞在你体内生长、分裂和死亡，如足底和手掌的衰老细胞正在被替代、伤口正在愈合、肠道正在以每秒数百万个的速度产生新的细胞……这些过程往往都伴随着细胞的有丝分裂，即一个亲代细胞分裂为两个子代细胞。这些细胞在有丝分裂过程中，最突出的变化便是染色体的复制和平分。



染色体

染色体（chromosome）是1882年由德国胚胎学家弗莱明（Walther Flemming）在蝾螈幼体快速分裂的细胞中首次发现的。染色体是遗传物质的主要载体，这些遗传物质控制着细胞的结构和功能。图13-2所示的是被染成紫色后清晰可见的非洲血百合细胞核内的染色体。

在细胞生命的大部分时间里，染色体都是以染色质（chromatin）的形式存在的。染色质主要由组蛋白和DNA组成。在电子显微镜下，染色质看起来就像绳子上的串珠，每个串珠是一群组蛋白，称为核小体。细胞分裂前，必须把染色质长链组织起来，这好像收藏长绳子之前要把它卷起来一样。随着细胞开始分裂，染色质会被紧密组装，转变成染色体的形态（图13-3）。

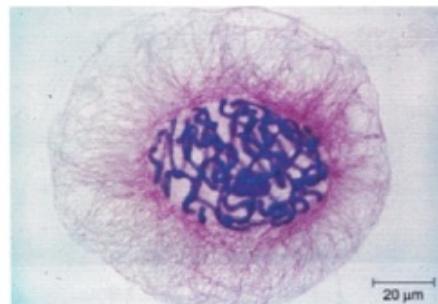


图 13-2 真核细胞的染色体

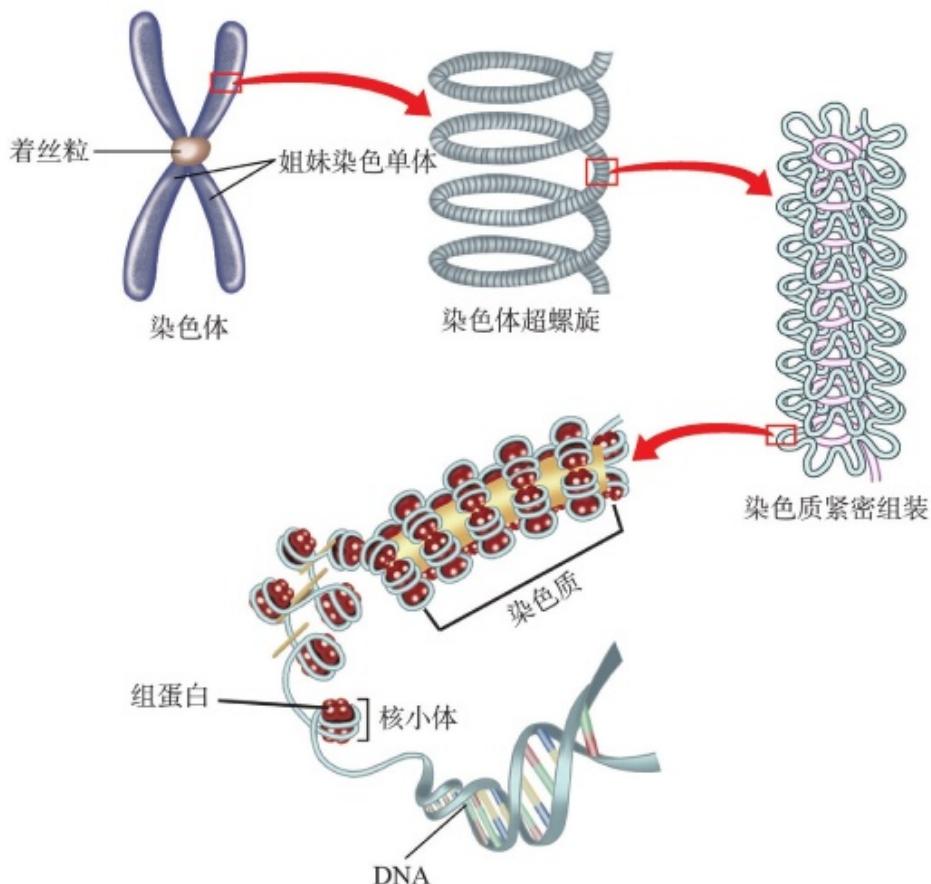


图 13-3 真核细胞的染色体

细胞周期

春天之后是夏天，白天之后是夜晚，涨潮之后是退潮……自然界中的许多事物就是这样周而复始地循环着，生命也不例外。细胞的生命循环存在于大部分生物之中。连续分裂的细胞，从上一次有丝分裂结束开始，到下一次有丝分裂结束为止所经历的整个过程称为细胞周期(cell cycle)。一个细胞周期要经历三个阶段：间期（interphase）、有丝分裂期（mitosis）和胞质分裂期（cytokinesis）。

间期

间期是有丝分裂的准备阶段，其中最重要的准备是完成了全套DNA的复制以及相关蛋白质的合成。间期可以划分为三个时期： G_1 期、S期和 G_2 期（图13-4）。

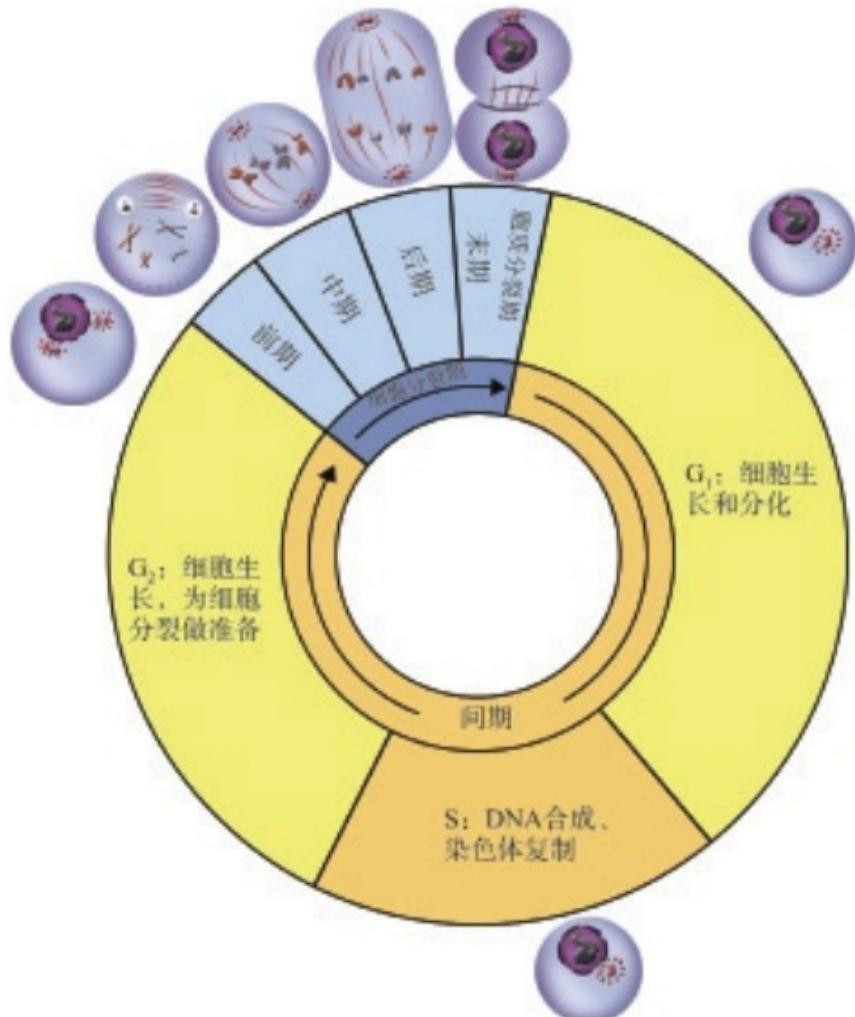


图 13-4 真核细胞的细胞周期



G₁期 细胞体积增大，代谢作用旺盛，主要进行RNA和蛋白质的合成，为S期DNA复制做准备。

S期 主要进行DNA的复制。复制后每条染色体上形成两条相同的姐妹染色单体（sister chromatids），每条染色单体上都含有一个复制好的DNA分子。

G₂期 细胞快速生长并大量合成细胞器和有丝分裂所需蛋白质，为接下去的有丝分裂做准备。

有丝分裂期

间期之后，细胞进入有丝分裂期。在有丝分裂期，染色质会高度螺旋化形成光学显微镜下可见的染色体，其上的两条姐妹染色单体由着丝粒（centromere）连接。着丝粒在有丝分裂期的特定时间一分为二，每条染色体的一对姐妹染色单体彼此分离，然后由附着在着丝点（kinetochore）上的纺锤丝（spindle fiber）牵引分离后的染色体，分别移向细胞的两极，从而保证新形成的每个子细胞都有一套完整的染色体，并具有相同的遗传物质。如果缺少着丝点，染色体就会失去附着到纺锤丝的能力，细胞分裂时染色体就会随机进入子细胞。

图13-5表示植物细胞的有丝分裂过程。动物细胞的有丝分裂过程与植物细胞基本一样。

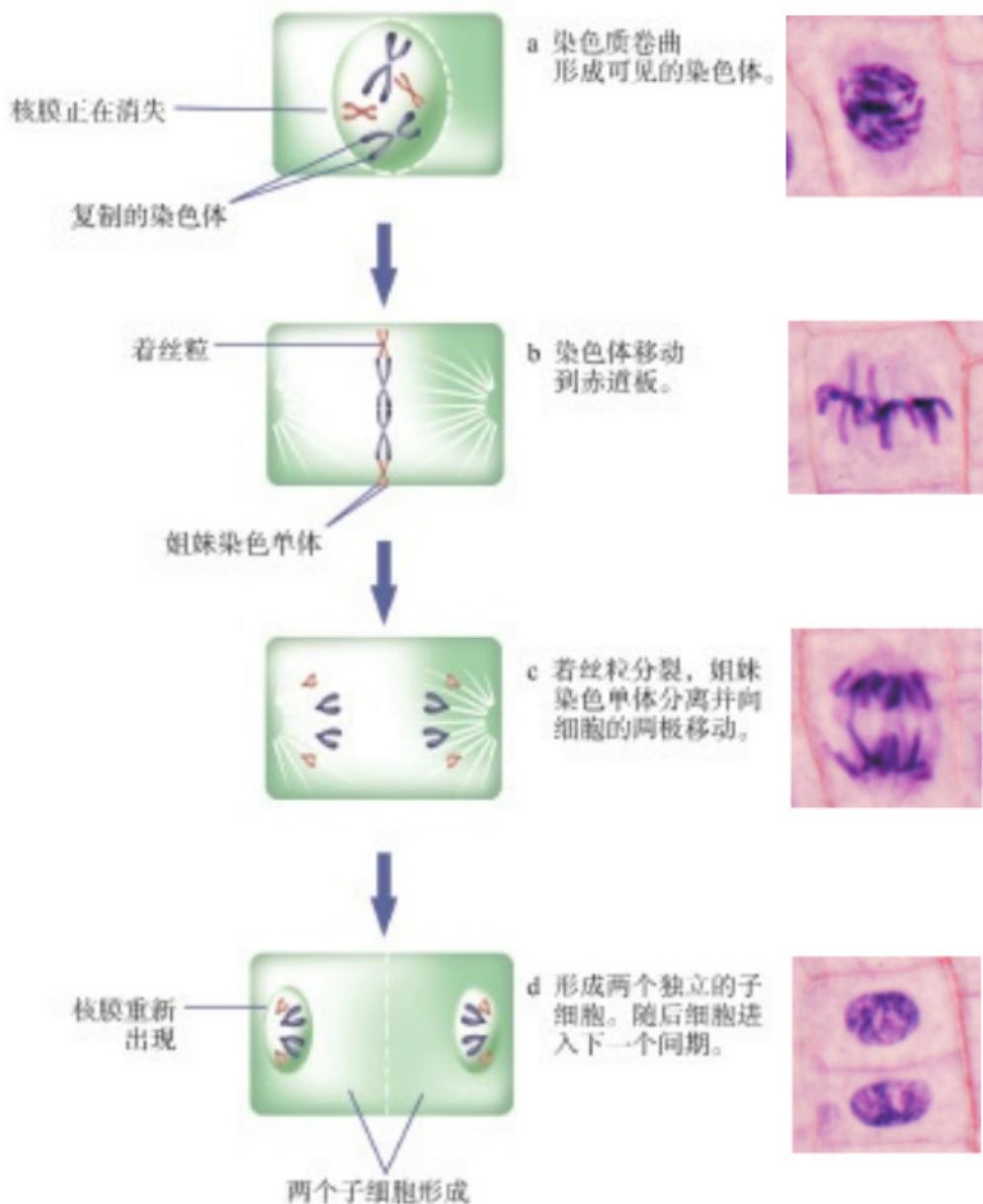


图 13-5 植物细胞有丝分裂期各阶段模式图（左）与显微镜下图片

胞质分裂期

有丝分裂后，细胞质开始分裂。动物细胞的细胞膜沿着赤道板（细胞中央位置）内陷，随着细胞周期的进展，逐渐形成两个完全分开的子细胞（图13-6左）。植物细胞具有坚硬的细胞壁，所以细胞膜不会内陷，而是由许多带有细胞壁前体物质的囊泡，在细胞的赤道板形成细胞板（图13-6右），然后在细胞板两侧形成新的细胞膜和细胞壁，逐渐形成两个子细胞。

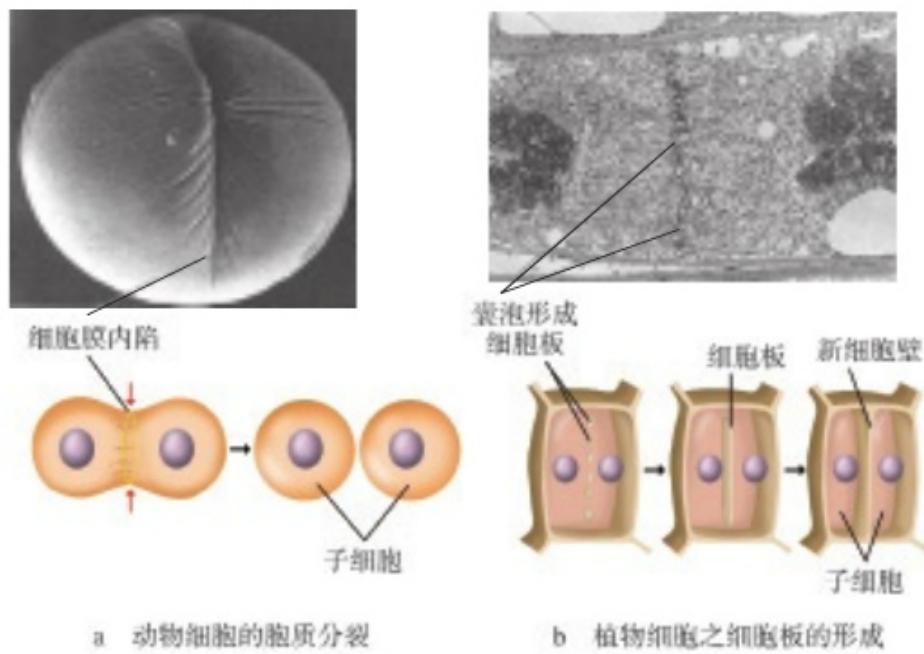


图 13-6 动物细胞和植物细胞的胞质分裂

细胞周期是一个细胞物质累积与细胞分裂的循环过程，其长短反映了细胞所处的状态。细胞周期的长短在不同的物种和不同的细胞间有些差异。例如，果蝇胚胎细胞的细胞周期只有8分钟，人类胃上皮细胞的细胞周期长12小时，人类肝细胞的细胞周期可长达5个月。

有丝分裂的重要性

有丝分裂中染色体上遗传物质的复制和平分，保证了遗传物质在亲代细胞和子代细胞之间的连续性和稳定性。对于单细胞生物而言，有丝分裂意味着新个体的产生。对于多细胞生物而言，有丝分裂则是个体生长发育及物种延续所必须的。有丝分裂能增加细胞数目，补充死去或受损的细胞。



1. 总结 在细胞周期中，哪些过程确保了子细胞与母细胞的遗传物质完全一致？
2. 写作 假如你是一个正在进行有丝分裂的细胞，请把分裂的过程编写成小故事，并与同学分享。



知识补给站

核分裂

核分裂（karyokinesis）是指细胞核的分裂。细胞分裂通常是核先分裂，然后以细胞质分裂而告终。核分裂是一个连续的过程，有时为了描述的方便，将核分裂人为地划分为前期、中期、后期、末期四个时期。

前期最显著的特征是染色质通过螺旋化和折叠，变短变粗，逐渐形成光学显微镜下可以分辨的染色体，每条染色体包含两个染色单体。在动物细胞有丝分裂期的前期，间期复制好的两个中心体在前期移向两极，两对中心体之间逐步形成一个梭形结构——纺锤体。纺锤体的成分是由微管组成的细丝（纺锤丝）。同时，核仁解体，核膜逐渐消失。核内的物质和细胞质彼此混合。

中期，纺锤体清晰可见。这时候，每条染色体的着丝点的两侧，都有纺锤体附着在上面。纺锤体牵引着染色体运动，使每条染色体的着丝粒排列在细胞中央的一个平面——赤道板上。分裂中期的细胞，染色体的形态比较固定，数目比较清晰，便于观察。

后期，着丝粒一分为二，每条染色体的一对姐妹染色单体彼此分离。随着纺锤丝的缩短，姐妹染色单体之间的距离加大，最终各自到达细胞的一极。

末期开始的标志是染色体到达细胞的两极。末期子核的形成，染色体解螺旋，核仁出现和核膜重新形成。



实验 13-1

绘制有丝分裂的流程图

在植物体中，有丝分裂常见于根尖、茎尖等分生区细胞。用高倍显微镜可以观察到植物细胞有丝分裂的不同时期。



实验目的

1. 通过观察洋葱根尖细胞的有丝分裂过程，识别有丝分裂各阶段的特征。
2. 绘制有丝分裂不同时期的细胞。
3. 绘制有丝分裂的流程图。

实验器材

洋葱根尖细胞有丝分裂永久装片、光学显微镜等。

实验步骤

1. 用低倍镜观察洋葱根尖细胞的永久装片，找到根尖分生区（此区细胞小，呈正方形，排列紧密，如图13-7所示）。

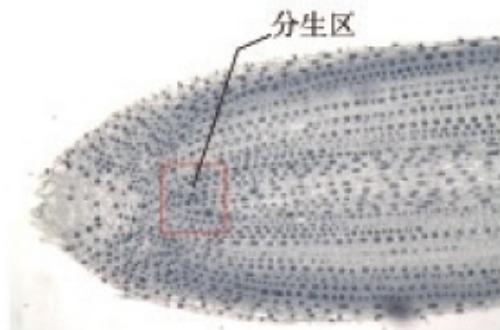


图 13-7 低倍镜下的洋葱根尖

2. 找到分生区后，换上高倍镜观察。
3. 找到具有不同染色体行为特征的细胞。
4. 将观察到的这些细胞绘制下来，根据所学，尝试排序。
5. 绘制有丝分裂的流程图（可参照图13-5）。



理性思维

1. 观察 在一个视野中，你所看到的那个时期的细胞比较多，为什么？
2. 流程图 根据所观察到的各时期细胞绘制流程图，其主要依据是什么？
3. 预测 异常的有丝分裂会对子细胞产生怎样的影响？



自我检测

- 1 下列有关一个细胞周期中染色体变化情况的描述，合理的顺序是（ ）
①染色质→染色体 ②染色体→染色质 ③染色体复制 ④姐妹染色单体分开，染色体数目加倍 ⑤染色体着丝点排列在赤道面上
A. ①②③④⑤ B. ③①⑤④② C. ②③⑤④① D. ④③⑤②①
- 2 保证两个子细胞中染色体形态和数目与亲代细胞完全相同的机制是（ ）
①染色体复制 ②着丝粒分裂 ③纺锤体牵引
A. ① B. ②③ C. ①③ D. ①②③
- 3 依据生理特点，鉴别一个正在进行有丝分裂的细胞是植物细胞还是动物细胞，最可靠的判断依据是（ ）
A. DNA分子是否复制 B. 自身蛋白质是否合成
C. 细胞质分裂成两部分的方式 D. 是否具有中心体
- 4 细胞周期会受到细胞内、外部各种因素的影响。组织损伤会引起损伤附近细胞的细胞周期改变，请提出一个能进行实验检验的假设，并写出对此假设进行检验的详细步骤。



13.2 减数分裂



学习目标

- ★ 概述同源染色体的概念。
- ★ 描述细胞减数分裂的过程。
- ★ 简述精卵细胞的形成过程。

配子

世界上的生物多以有性生殖的方式繁殖后代。若以有丝分裂方式产生配子，受精后发育成新个体，细胞内的染色体数目就会翻倍。然而我们知道，同种生物，无论是亲代还是子代，其细胞内染色体的数目是相对恒定的，如人 $2n=46$ ，果蝇 $2n=8$ ，大豆 $2n=40$ ，这是为什么呢？

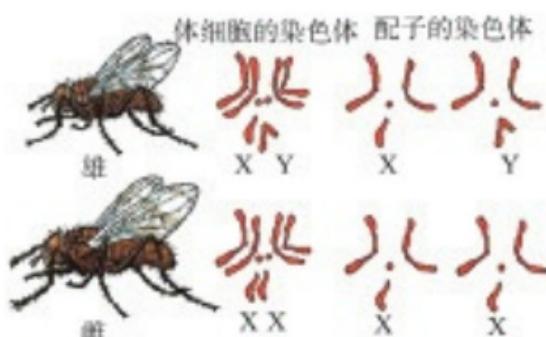


图 13-8 果蝇染色体



问题探讨

1. 为什么果蝇精、卵细胞的染色体数比体细胞少？
2. 什么是减数分裂？其过程是怎样的？

细胞进行有丝分裂时，子细胞染色体数目和种类与母细胞完全相同。如人体细胞有46条染色体，经过有丝分裂产生的子细胞也具有46条染色体。但如果人的精子和卵细胞中也各有46条染色体，那么受精后就会变成92条，长此以往，人的染色体数目就会越来越多，而人的染色体条数是恒定的，不能多也不能少，否则就会出现异常。如在人的细

胞中21号染色体多了一条，就会出现唐氏综合征。生物在配子形成的过程中，出现了减数分裂，产生的配子染色体数目为正常体细胞的一半。

同源染色体

自染色体首次发现以来，它在所有的真核生物细胞中陆续被发现，其数量随着物种不同而有很大差别。但对同一种生物而言，其体细胞中的染色体数目是相对恒定的，而且大多数生物的体细胞中染色体是成对存在的（用 $2n$ 表示），在生殖细胞中则是成单存在的（用 n 表示）。

例如，除去配子（卵细胞或精子），人体中的每一个细胞都是二倍体（ $2n$ ）细胞，有46条染色体，这46条染色体是成对存在的。每对染色体中的一条来自父本，另一条来自母本。这样成对的、大小形态一般都相同的染色体称为同源染色体（homologous chromosomes）（图13-9）。同源染色体的相同位置上都各有一个基因，它们控制的是同一性状。在细胞分裂前，每条同源染色体开始复制，产生相同的姐妹染色单体，由着丝粒相连。

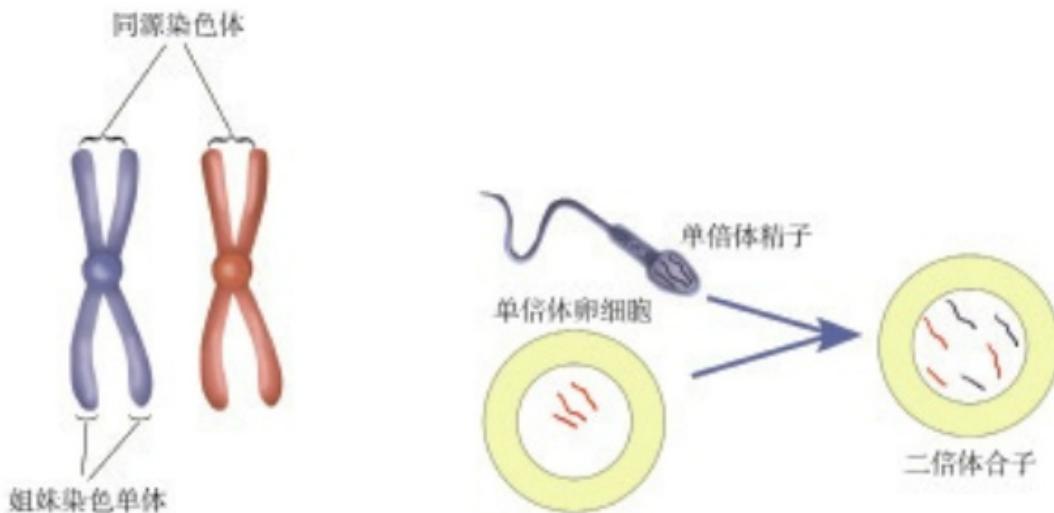


图 13-9 同源染色体

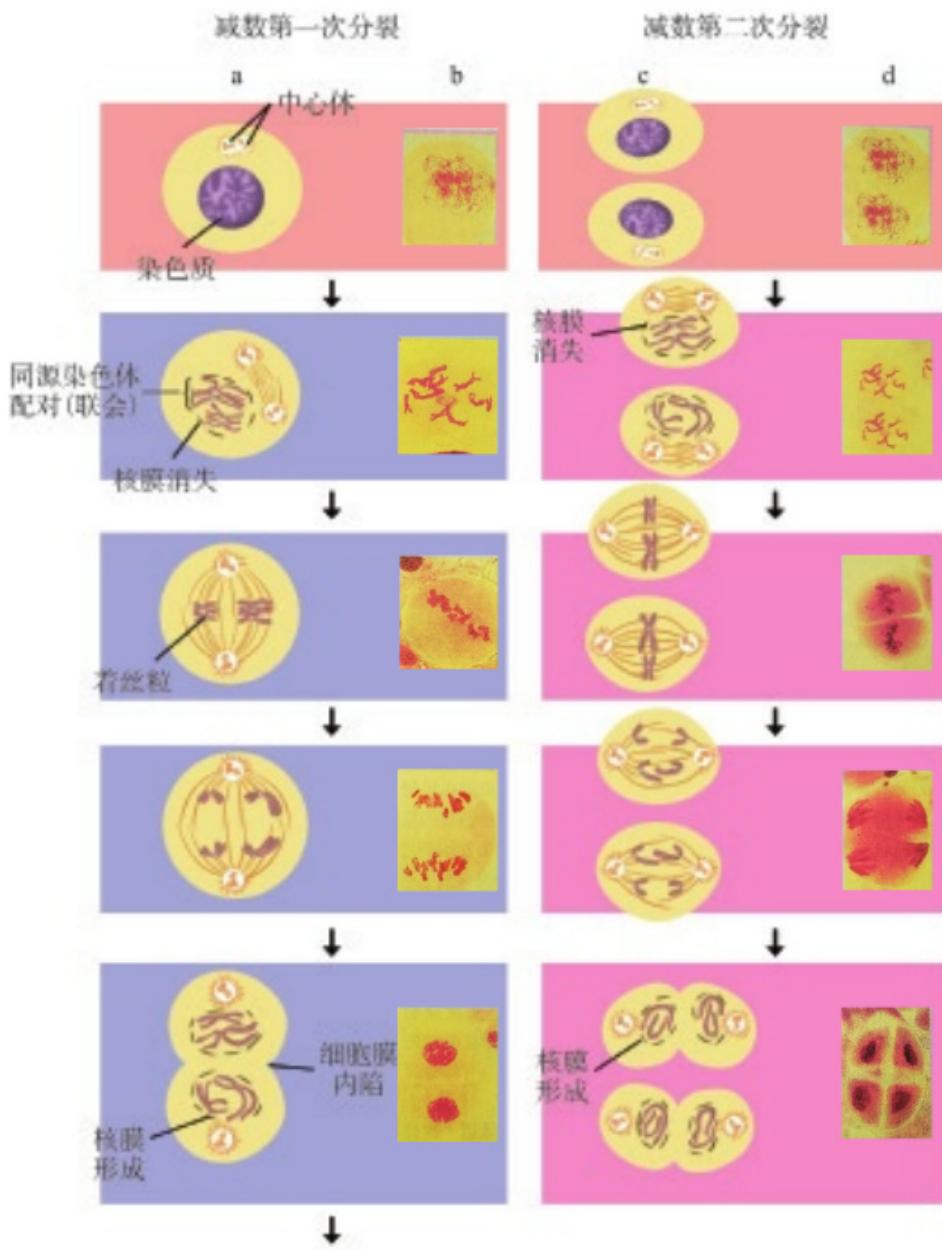
图 13-10 受精形成二倍体合子

二倍体生物产生的配子，只具有每对同源染色体中的其中一条，因此只含有单倍的染色体数，称为单倍体细胞。单倍体的精子和卵细胞中就不存在同源染色体，受精形成受精卵后又恢复为二倍体（图13-10），来自父本和母本的染色体也在受精卵中汇聚成同源染色体。



减数分裂

减数分裂（meiosis）是指有性生殖的个体在形成生殖细胞过程中发生的一种特殊的有丝分裂。减数分裂仅发生在生命周期某一阶段，它是有性生殖的原始生殖细胞（如动物的精原细胞或卵原细胞）成为成熟生殖细胞（精、卵细胞，即配子）必须经历的一个过程。它的特点是细胞经过两次连续的分裂，但染色体只复制一次，因此生殖细胞内的染色体数目为体细胞的一半。例如，狗的原始生殖细胞有78条染色体，经过减数分裂形成四个生殖细胞后，它们所含的染色体数为39条。



a、c 为动物细胞模式图，b、d 为植物细胞光学显微镜照片

图 13-11 细胞减数分裂过程示意图

减数分裂与有丝分裂一样，染色体的复制也是在分裂前的间期完成的。根据染色体的变化特征，可以把减数分裂分为第一次分裂和第二次分裂两个时期。图13-11表示植物细胞减数分裂的光学显微镜照片和动物细胞减数分裂的模式图。

减数第一次分裂

减数第一次分裂开始时，核膜、核仁消失，同源染色体相互配对，此现象称为联会（synapsis）。

由于每条染色体都含有两条姐妹染色单体，因此，配对后的每对同源染色体就含有四条染色单体，称为四分体（tetrad）。四分体中的非姐妹染色单体之间常常发生交叉（chiasma），并相互交换（crossing over）一部分染色体片段。交换的结果产生了新的基因组合，这是生物变异的重要来源（图13-12）。

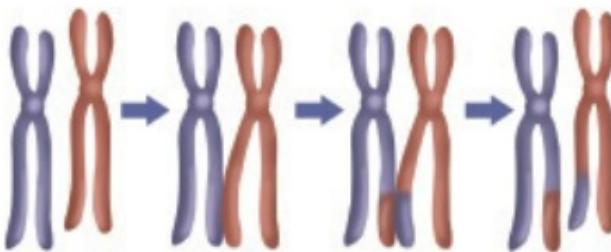


图 13-12 同源染色体的片段交换

随后，各对同源染色体随机排列在细胞中央的赤道板上，每条染色体的着丝粒与从细胞两极发出的纺锤丝相连。在纺锤丝的牵引下，配对的两条同源染色体彼此分开，分别朝相反的两极移动，但每条染色体的两个染色单体仍然与着丝粒连着。此时核仁及核膜重新出现，接着发生胞质分裂，形成两个子细胞。每个子细胞的染色体数目只有母细胞的一半，但每条染色体上具有两条染色单体。

减数第二次分裂

减数第二次分裂前染色体没有复制，减数第二次分裂的过程与减数第一次分裂相似，但分裂速度比第一次快。减数第二次分裂开始时，核膜、核仁再次消失，染色体缩短、变粗并排列在赤道板上，纺锤丝再度形成并附着在着丝粒上。在纺锤丝的牵动下，每条染色体的着丝粒分裂，染色单体彼此分开，向细胞的两极移动。染色单体聚集在细胞的两极，细胞内形成新的核膜围住这些染色单体。胞质分裂再次发生，最终形成四个具有单套染色体的子细胞。



精、卵细胞的形成过程

以哺乳类动物为例，其性腺中有许多原始生殖细胞。在睾丸中有精原细胞，在卵巢中有卵原细胞，它们的染色体数目与一般的体细胞相同。这些原始生殖细胞经过多次有丝分裂后，细胞开始长大，染色体复制，分别成为初级生殖母细胞，在雄性称为初级精母细胞，在雌性称为初级卵母细胞。

雄性动物性成熟后，睾丸里的一部分初级精母细胞($2n$)通过减数第一次分裂产生两个次级精母细胞(n)，次级精母细胞再通过减数第二次分裂产生四个精细胞(n)。精细胞再经过一系列的形态变化，最后形成四个精子(n)（图13-13）。

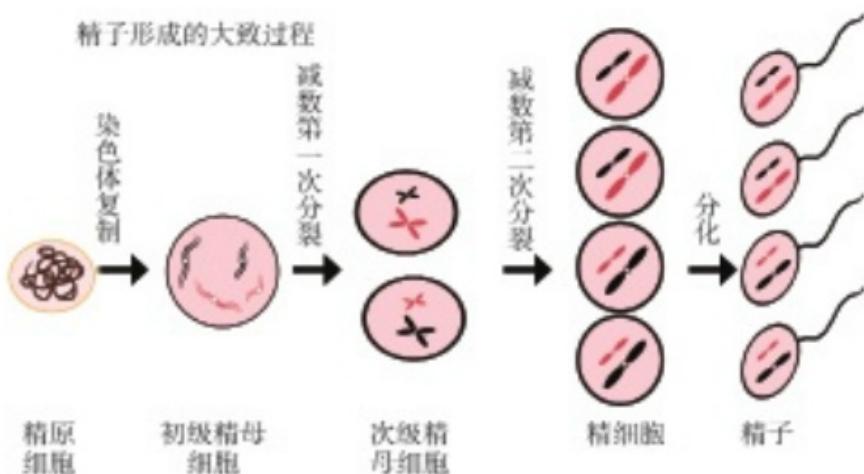


图 13-13 哺乳动物精子的形成过程

雌性动物性成熟后，卵巢里的初级卵母细胞($2n$)，通过减数第一次分裂产生一个较大的次级卵母细胞(n)和一个较小的第一极体(n)。次级卵母细胞(n)进行减数第二次分裂，产生一个卵细胞(n)和一个第二极体(n)，同时第一极体也会进行减数第二次分裂，形成二个第二极体。因此，一个初级卵母细胞进行减数分裂后，会产生一个卵细胞和三个极体（图13-14），极体会退化消失。

精子和卵细胞结合会形成受精卵。在受精卵内精核和卵核发生融合，所以，受精卵的染色体数目又恢复到原来体细胞的染色体数目($2n$)。

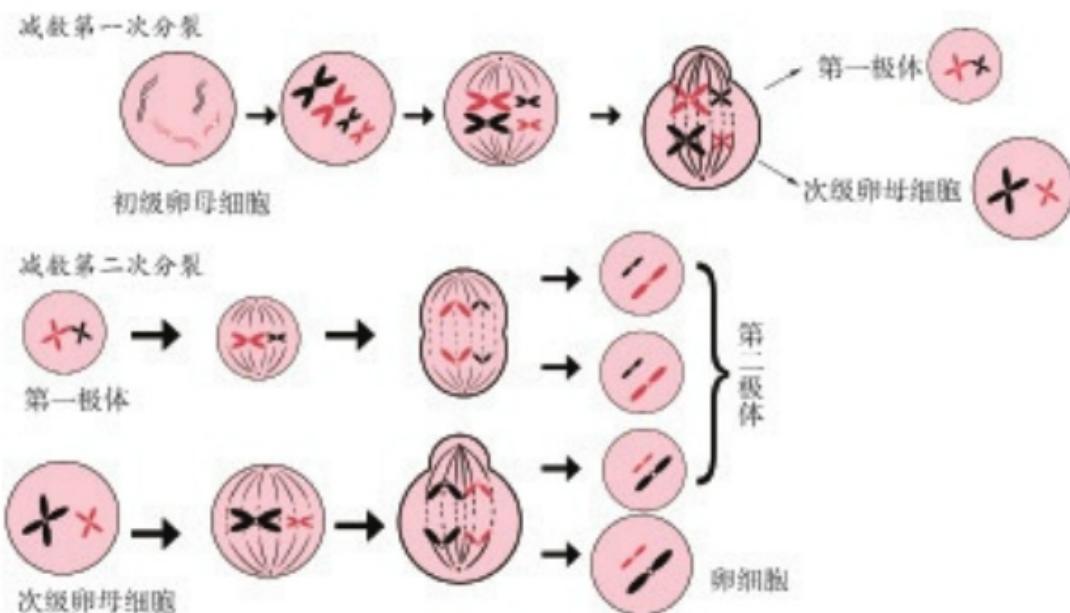


图 13-14 哺乳动物卵细胞的形成过程

减数分裂的意义

首先，减数分裂可保持生物染色体数目的恒定。减数分裂时核内染色体严格按照一定规律变化。经过减数分裂产生的四个子细胞，其染色体数目减少了一半。这样，雌、雄性细胞受精后染色体数目又可恢复为 $2n$ ，从而保证了亲代与子代之间染色体数目的恒定性，为后代的正常发育和性状遗传提供了物质基础，同时也保证了物种的相对稳定性。

其次，减数分裂为生物的变异提供了可能。在减数分裂过程中，同源染色体的非姐妹染色单体之间的片段会发生各种方式的交换。同时，同源染色体分离，非同源染色体自由组合，能产生各种类型的配子，为生物的变异提供了重要的物质基础，有利于生物的适应与演化。

理性思维

1. 比较 比较有丝分裂和减数分裂的异同。
2. 解释 为什么减数分裂是有性生殖所必需的？
3. 模型 用模型解释减数分裂的过程。



实验 13-2

绘制减数分裂的流程图

进行有性生殖的生物产生精子和卵细胞时都要进行减数分裂。在减数分裂过程中染色体和DNA都发生一系列变化，其实际情况如何，我们可以通过实验去探索。

实验目的

通过观察蝗虫的生殖母细胞减数分裂发生过程，及各个时期的染色体和细胞变化的特点，加深对减数分裂意义的认识，尝试绘制减数分裂的流程图。

实验器材

蝗虫的生殖母细胞减数分裂永久装片、玉米花药减数分裂装片、光学显微镜等。

实验步骤

1. 用低倍镜观察蝗虫的生殖母细胞（或玉米花药）减数分裂永久装片，找到目标后，换上高倍镜观察。
2. 运用所学相关知识，找到染色体行为具有不同特征的各期细胞，并把观察到的这些细胞绘制下来，尝试排序。
3. 绘制减数分裂的流程图。可参照图13-11，先绘制类似流程图，然后在其中绘制相应时期的染色体的标志性行为（以四条染色体，两对同源染色体为例）。
4. 小组交流，讨论是否有更好的流程图。



理性思维

1. 比较 列表比较精、卵细胞形成过程中的异同点。
2. 流程图 根据所观察到的各期细胞绘制流程图，绘制的主要依据是什么？



科学方法

比 较

比较是确定事物之间差异点和共同点的思维方法。其过程是先对有关事物进行分析，区分每个事物各方面的特征，再将有关事物按其特征进行对比，得出哪些方面具有共同点，哪些方面具有不同点，从而鉴别这些事物间的异同。通过比较，找出表面上差异极大的事物之间的本质上的共同点，找出表面上极为相似的事物之间在本质上的差异点。

为使比较能够顺利的进行，必须统一标准、循序渐进、分清主次。按照比较的目的，我们可以将比较分为三类。一是类似比较，即比较两个或两个以上对象的相同点；二是差异比较，即比较两个或两个以上对象的不同点；三是系统比较，即全面比较两个或两个以上对象的不同点和相同点。



自我检测

- 1 在减数分裂过程中，同源染色体出现一系列变化。下列不属于同源染色体概念的叙述是（ ）
 A. 一条染色体经过复制而形成的两条染色体
 B. 一条来自父方、一条来自母方的成对的两条染色体
 C. 在减数分裂中能联会的两条染色体
 D. 形状和大小一般都相同的两条染色体
- 2 公马有64条染色体，它产生的精子有32条染色体，这32条染色体来自此公马亲代的（ ）
 A. 父方 B. 父方一半、母方一半
 C. 母方 D. 父母双方的数目是随机的
- 3 在减数分裂过程中染色体的行为有同源染色体分离，非同源染色体自由组合等变化。下列属于减数分裂过程中的变化的是（ ）
 A. 减数第一次分裂，着丝粒分裂，同源染色体不配对



- B. 减数第一次分裂，着丝粒不分裂，同源染色体配对
- C. 减数第二次分裂，着丝粒分裂，同源染色体配对
- D. 减数第二次分裂，着丝粒不分裂，同源染色体不配对

4 图 13-15 中的细胞正在进行细胞分裂，根据图中的染色体情况，回答以下问题：

- (1) 这是哪一类细胞分裂？试说明理由。
- (2) 这个细胞有几条染色体？几条染色单体？
- (3) 这个细胞中哪些染色体是同源染色体？哪些是姐妹染色单体？
- (4) 这个细胞在分裂完成后，所产生的子细胞有几条染色体？

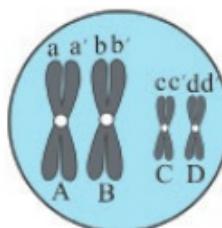


图 13-15

13.3 癌症的发生



学习目标

- ★ 简述癌细胞产生的原因。
- ★ 描述癌细胞的三个特征。
- ★ 描述可导致基因突变的外在因素也可能引发癌症。

失控的细胞

你知道吗？自从你出生以后，你身体的细胞就以一种可控的方式在健康地生长。然而，有时候控制细胞行为的遗传机制会失去作用，“突变”的细胞如同脱缰的野马，会不受控制地疯狂增殖。当失去细胞周期控制的“突变”细胞发育成肿瘤时，会破坏身体正常的细胞组织，并有可能导致可怕的癌症。

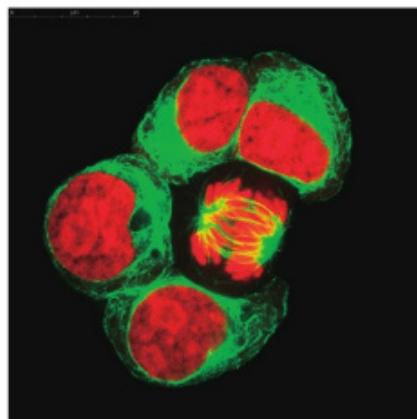


图 13-16 用荧光染料标记的血癌细胞



问题探讨

1. 癌症与基因有怎样的关系？
2. 癌细胞有哪些特征？哪些因素会诱发癌症？

我们知道人类的发育是从一个受精卵开始，通过有丝分裂增加细胞的数目，通过细胞分化形成特定形态功能的组织、器官与系统。这些复杂的过程，按部就班，有条不紊，基本上不会出现差错。这似乎表明，细胞在什么时间进行什么活动，是受控于一定的调控机制的。正常的细胞周期是通过多种因素来调控的，有环境因素和遗传因素，遗传因素是其中最为重要的。

原癌基因和抑癌基因

原癌基因（proto-oncogene）和抑癌基因（tumor suppressor gene）是细胞生命活动必需的两组基因。原癌基因主要是调控细胞增殖、分化和生长（正调节）；抑癌基因则抑制细胞生长并具有潜在抑癌作用（负调节）。在正常情况下，这两类基因相互制约，维持正负调节信号的相对稳定，形成体内调节控制细胞生长的重要机制。

当细胞被病毒感染、受到化学致癌物或辐射的作用时，原癌基因可突变为癌基因而使其功能放大，诱导细胞发生癌变，使细胞生长率高于正常水平，造成细胞过度增殖。另一方面，当抑癌基因发生突变、缺失或失活时，细胞的生长和增殖则不受抑制，而导致肿瘤的发生。



知识补给站

P53基因

P53是一种抑癌基因。P53基因的表达产物P53蛋白，在维持细胞正常生长、抑制恶性增殖中起着重要作用。P53基因时刻监控着细胞染色体DNA的完整性，一旦细胞染色体DNA遭到损坏，P53蛋白便与基因的DNA的相应结合部位结合，参



与DNA的复制与修复。如果修复失败，P53蛋白即启动程序性死亡（凋亡）过程诱导细胞自杀，阻止有癌变倾向的突变细胞的生成，从而防止细胞癌变。

当P53基因发生突变后，失去了抑制肿瘤增殖的作用，而突变本身又使该基因具备癌基因的功能，癌变基因转录失控导致肿瘤发生。在所有恶性肿瘤患者中，50%以上会出现P53基因的突变。

肿瘤和癌症

在大多数人的心中，癌症是非常可怕的。这种可怕源自对不治之症的恐惧。的确，临幊上癌症导致了很多死亡。但这主要是因为在癌症早期没有得到有效治疗，导致了癌细胞的转移。癌症并不可怕，转移，才是癌症致死的最主要原因。

肿瘤是一种基因病，但并非是遗传的。它是指细胞在致瘤因素的作用下，基因发生了改变，失去对其增殖的正常调控，导致异常增生。肿瘤可分为良性和恶性两大类。前者生长缓慢，与周围组织界限清楚，不发生转移，对人体健康危害不大。后者生长迅速，可转移到身体其他部位，还会产生有害物质，破坏正常器官结构，使机体功能失调，威胁生命。一些良性肿瘤如胰腺瘤、子宫瘤如不及时治疗，会发生恶变，造成与恶性肿瘤相同的后果。

恶性肿瘤也叫癌症，是目前危害人类健康最严重的一类疾病。恶性肿瘤组织由实质和间质两部分构成，肿瘤实质是肿瘤细胞，是肿瘤的主要成分，具有特异性。肿瘤间质起支持和营养肿瘤实质的作用，不具特异性，一般由结缔组织和血管组成，有时还可有淋巴管。

癌细胞特征

癌细胞具有三个显著的特征：不死性、迁移性和失去接触抑制。

不死性 正常细胞染色体的不正常变化，会启动细胞凋亡过程，使不健全的细胞发生凋亡。但在癌细胞中，与细胞凋亡相关的信号通路产生障碍，不会启动细胞凋亡过程，且会不受控制地持续分裂（图13-17），也就是说具有不死性。

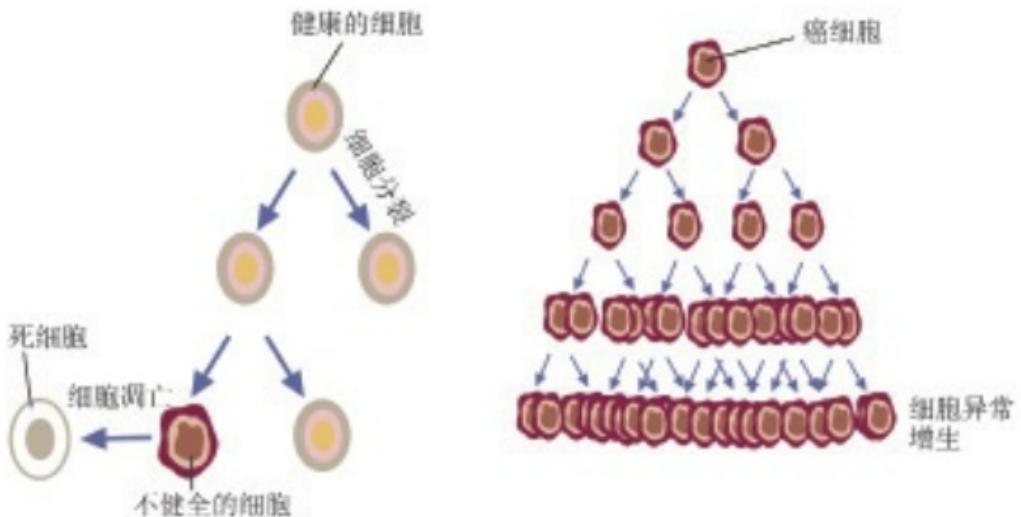


图 13-17 正常与异常细胞的分裂

迁移性 癌细胞侵入人体组织和血管，通过血管和淋巴管扩散、转移到身体的其他部位，再次侵入组织并在新的部位滋生继发性肿瘤，形成新的肿块（图13-18）。

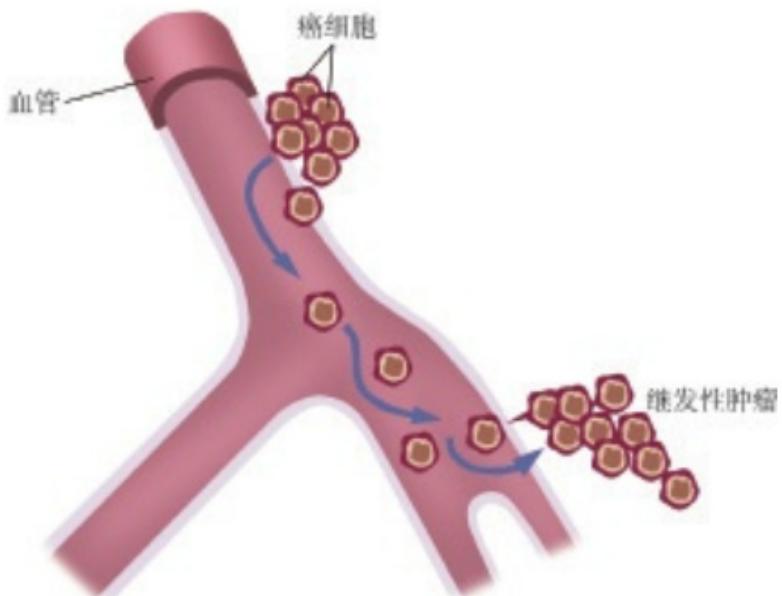


图 13-18 癌细胞的迁移

失去接触抑制 正常细胞在体外培养时具有贴壁生长和汇合成单层后停止生长的特点，即接触抑制现象，而癌细胞即使堆积成群，仍然可以不断生长（图 13-19）。

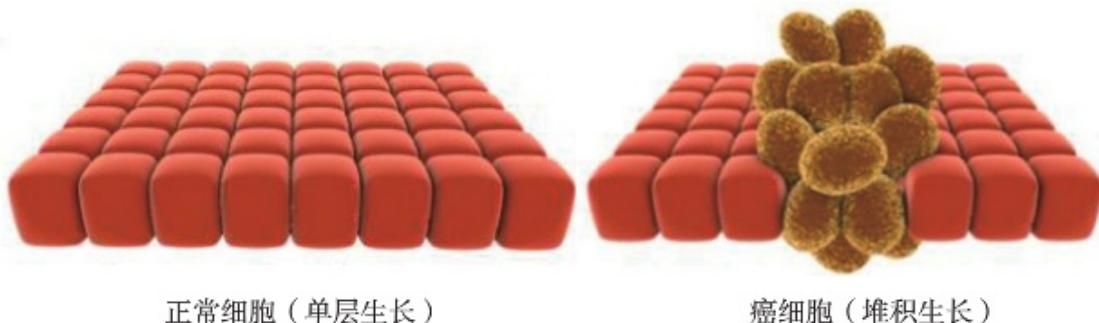


图 13-19 癌细胞失去接触抑制

癌细胞的诱因

环境中的致癌物会损伤细胞的DNA分子，使原癌基因和抑癌基因发生突变，导致正常细胞的生长和分裂失控而变成癌细胞。科学研究发现，人类肿瘤约80%是由于接触外界致癌物而引起的。根据致癌物的性质可分为生物、化学和物理致癌物三大类。

生物致癌物 生物致癌物主要包括病毒、细菌和霉菌等。如果它们感染了人的细胞，会将其基因整合到人的基因组中，可能引起细胞发生癌变。

化学致癌物 化学致癌物非常多，如亚硝胺类、重金属、塑化剂等都会引起基因发生突变，从而导致细胞癌变。

物理致癌物 物理致癌物主要是辐射，如紫外线、X射线等可引起染色体、DNA突变或激活潜伏的致癌病毒。



知识补给站

一级致癌物

生活中常见的一级致癌物有五种：黄曲霉素、亚硝胺、二恶英、尼古丁、苯并芘。

1. 黄曲霉素 (aflatoxin) 主要是由黄曲霉 (*Aspergillus flavus*) 和寄生曲霉 (*Aspergillus parasiticus*) 产生的次生代谢产物，在湿热地区霉变的食品和饲料，如花生、花生油、玉米、稻米、棉籽油等中最常见。
2. 亚硝胺 (nitrosamine) 常见于熏腊食品、化妆品、啤酒、香烟中。某些消化

系统肿瘤，如食道癌的发病率与膳食中摄入的亚硝胺数量相关。当熏腊食品与酒共同摄入时，亚硝胺对人体健康的危害就会成倍增加。

3. 二恶英 (dioxin) 主要来自焦油、沥青、塑料燃烧等。二恶英非常稳定，熔点较高，极难溶于水，可以溶于大部分有机溶剂，是无色无味、毒性严重的脂溶性物质，非常容易在生物体内积累，对人体危害严重。

4. 烟碱 (nicotine)，俗名尼古丁，是烟草的重要成分。尼古丁会使人上瘾或产生依赖性，重复使用尼古丁会加快心跳和升高血压并降低食欲。大剂量的尼古丁会引起呕吐以及恶心，严重时人会死亡。

5. 芬并芘 (benzopyrene) 是一种常见的高活性间接致癌物，主要来自烧烤、煎炸等高温烹调的食物，可通过空气和食物进入人体，积累在体内会降低免疫功能，引发肿瘤。



科学·技术·社会

癌症诊断治疗技术的发展

与其他疾病基本相似，肿瘤的诊断以病史和身体检查为最基本、最重要的诊断手段。身体检查包括 X 射线检查、超声检查、内窥镜检查、组织学活检、血液检查等，肿瘤标志物 (tumor marker) 的检查就是其中之一。

肿瘤标志物是指由肿瘤组织产生的反映肿瘤自身存在的化学物质，主要有以下几类：①癌胚蛋白，如甲胎蛋白、癌胚抗原；②肿瘤相关抗原，如 CA19-9、CA125；③酶，如乳酸脱氢酶、神经元特异性烯醇化酶、前列腺酸性磷酸酶；④特殊血浆蛋白，如 β -巨球蛋白、本周蛋白；⑤激素，如降钙素、绒毛膜促性腺激素、促肾上腺皮质激素。此外，原癌基因、抑癌基因及其产物也被越来越广泛地用作肿瘤标志物。肿瘤标志物可用于肿瘤的诊断、预后和疗效观察，在临幊上已应用了许多年。

肿瘤治疗有两种观点：一是将患者体内的肿瘤细胞全部清除或至少消灭足够的量，使患者在生存期内肿瘤不再复发；二是改变癌细胞的特性，使病程减慢甚



至完全停止。

肿瘤治疗的常规方法有手术、放疗和化疗三种。手术切除肿瘤的治愈率，取决于肿瘤的位置、大小和性质。有些肿瘤长在深部无法触及，或位于要害部位则不能用手术方法治疗。放疗就是用放射线（如X、 γ 射线）杀死肿瘤细胞，可以对肿瘤细胞进行体外照射，也可以置入放射源进行体内照射。放疗也会杀死正常的增殖较快的细胞，引起感染、出血、黏膜炎、脱发等。化疗主要是使用DNA合成抑制剂或细胞分裂抑制剂之类的细胞毒制剂来抑制肿瘤细胞，同样对所有分裂细胞具有杀伤作用，因而也会引起副作用。

目前还有一些新的治疗措施正在研究之中，如抑制血管生成、促进肿瘤细胞分化、免疫治疗、基因治疗等。



活 动

讨论现代科技对癌症治疗发挥的作用

目的要求

1. 通过收集有关癌症鉴定、诊断、治疗、预防和控制方面的文献资料，体会现代科技进步对癌症治疗做出的贡献。
2. 学会收集和处理生物学信息的途径和方法。

活动步骤

1. 可针对你感兴趣的某类癌症的检定、诊断、治疗、预防和控制，进行资料的收集和归类。
2. 资料可来源于互联网、医学杂志。收集时请标明资料的来源。
3. 你也可以到当地图书馆，通过检索查阅整理，学会在图书馆检索、查阅资料的一般方法。

4. 你还可以从你周围入手，调查你周围的癌症患者的实际情况，可以作为资料的来源之一。

5. 可通过制作海报、班级研讨会、分组讨论等形式，对收集到的资料进行交流讨论。



理性思维

1. 调查 了解哪种癌症最为常见？哪种癌症较难治疗或较易治疗？
2. 讨论 近年来发病率迅速上升的癌症是哪种？可能是什么原因？应如何治疗、预防和控制？

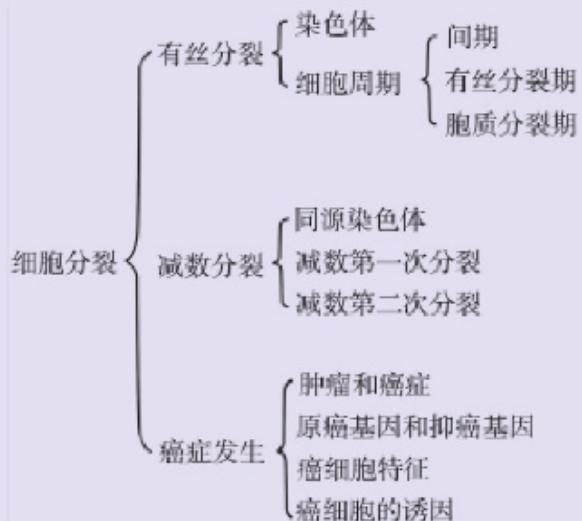


自我检测

- 1 下列关于癌细胞特征的相关叙述，其中哪一项不是其特征？（ ）
 A. 癌细胞可以进行正常的细胞分化 B. 能够无限增殖
 C. 癌细胞的形态结构发生了变化 D. 癌细胞可通过循环系统迁移
- 2 目前认为，正常细胞转化为癌细胞的根本原因是（ ）
 A. 癌细胞受到有害刺激 B. 原癌基因或抑癌基因突变
 C. 细胞发生转移 D. 抑癌基因高效表达
- 3 某人因经常吸烟而患肺癌，一段时间后，癌细胞扩散到了其他器官。这说明癌细胞（ ）
 A. 容易转移 B. 容易控制 C. 容易衰老 D. 容易凋亡
- 4 致癌物是引起癌的物质，请列出你家附近或者学校周围发现的潜在致癌物的名称。为减少与这些致癌物的接触，你应当怎么做？你能想出什么办法来降低这些致癌物的危害？



本章小结



生物体都要经历出生、生长、成熟、繁殖、衰老直至最后死亡的生命历程。细胞增殖的方式主要有有丝分裂和减数分裂。

细胞周期包括分裂间期和分裂期。有丝分裂的重要变化是：间期 DNA 复制导致染色体倍增，分裂期在纺锤体的作用下将复制后的亲代染色体平均分配到二个子细胞中，从而保证遗传性状的一致性。

减数分裂是一种特殊的有丝分裂，它包括连续的两次细胞分裂，但染色体只复制一次，因而由此产生的配子所含的染色体数目仅为原来母细胞的一半。高等动植物是通过有性生殖来繁殖后代，当它们产生雌雄配子时都要经过减数分裂。

原癌基因和抑癌基因均是细胞生命活动必需的基因。原癌基因和抑癌基因都是在细胞生长、增殖调控中起重要作用的基因。

癌症是细胞发生癌变后大量增殖而引起的疾病，与基因突变有关。癌细胞具有三个特征：不死性、迁移性和失去接触抑制。引起细胞癌变的外界致癌物有化学、生物和物理致癌物三类。远离这些致癌因素，可以降低癌症发病率。



习题

1. 哺乳动物的卵细胞形成过程与精子的形成过程相比，前者特有的现象是（ ）
 A. 染色体复制 B. 胞质不均等分裂
 C. 着丝粒分裂 D. 同源染色体分离
2. 下列为细胞周期中的若干现象：①核膜、核仁消失 ②着丝粒分裂 ③染色体复制 ④染色体排列在赤道板 其出现的顺序是（ ）
 A ①③②④ B ②①④③
 C ③①④② D ④③①②
3. 鸡的胚胎发育过程中，爪之间存在蹼状物，但破壳而出的小鸡爪之间没有蹼状物，这说明（ ）
 A. 细胞凋亡在胚胎时期就存在
 B. 鸡和鸭的细胞内遗传物质相同
 C. 后天的生活环境影响了鸡细胞内遗传信息的执行
 D. 只有对生物个体生存没作用的细胞才会凋亡
4. 在细胞有丝分裂间期，染色体复制的实质是（ ）
 A. 染色体数加倍 B. 同源染色体数加倍
 C. 染色单体数加倍 D. DNA数加倍
5. 动、植物细胞有丝分裂现象的不同之处有（ ）
 A. 染色体的复制和分配 B. 胞质分裂
 C. 染色体的螺旋化和复制 D. 染色体的解螺旋和染色体的分开
6. 下列人体细胞中，不含同源染色体的是（ ）
 A. 神经细胞 B. 初级卵母细胞
 C. 次级精母细胞 D. 精原细胞
7. 人类的精子细胞中有23条染色体，则在人类的初级精母细胞中，染色体、染色单体数目分别是（ ）
 A. 46、92 B. 46、46
 C. 23、46 D. 23、92



8. 某动物精原细胞有3对同源染色体，分别是A和a、B和b、C和c，下列4个精子来自于同一个精原细胞的是（ ）
- A. aBc、AbC、aBc、AbC B. AbC、aBC、abc、abc
C. AbC、Abc、abc、ABC D. abC、abc、aBc、ABC
9. 同种动物的一个精原细胞和一个卵原细胞，在其分别形成精子细胞和卵细胞的过程中，其不同点是（ ）
- A. 染色体的变化规律 B. DNA的变化过程
C. 子细胞的数目 D. 配子的数目
10. 图13-20表示某动物体细胞有丝分裂的间期(a)和有丝分裂期(bcde)。据图回答下列问题：
- (1) 在观察该生物体细胞有丝分裂装片时，大多数的细胞处于图中的哪个时期？
- (2) e时期以后，细胞的发育方向有两种可能。一种如图13-20所示，另一种是经过什么途径形成某种组织？
- (3) 测定某种细胞的细胞周期持续时间长短时，通常需要考虑温度因素，为什么？
- (4) 有人称恶性肿瘤为细胞周期病，其根据是调控细胞周期的基因发生了突变。你认同这种观点吗？为什么？
- (5) 治疗恶性肿瘤的途径之一，是用药物阻断癌细胞的时期a，其作用原理是什么？

11. 图13-21表示人类产生配子时的细胞减数分裂结果。

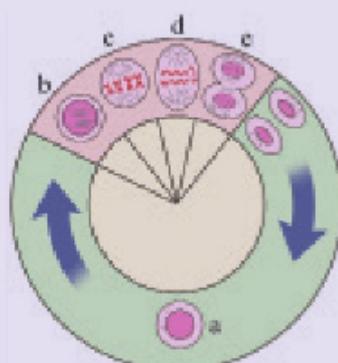


图13-20

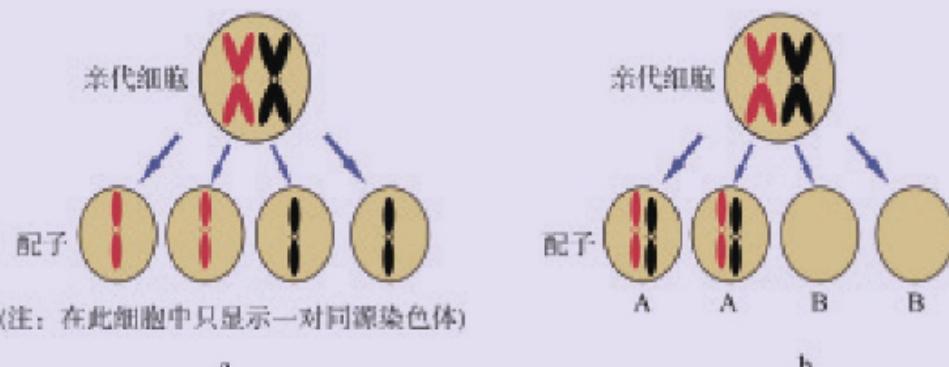


图13-21

请回答：

- (1) 根据图a写出两项细胞减数分裂的特征。
- (2) 图b表示一对同源染色体的不正常分离情况。配子A与配子B有什么不同？
- (3) 异常配子A与B产生的原因是什么？

12. 1911年，年仅30岁的劳斯(Francis Peton Rous)为了研究鸡的肉瘤(恶性肿瘤生长在结缔组织中成为肉瘤，而生长在上皮组织中则成为肿瘤)，做了以下的实验：他把鸡肉瘤组织取出来进行研磨，用一种连最小的细胞也无法通过的“筛子”过滤，然后把滤液注射到健康的鸡体内，结果鸡很快就长出了肉瘤。

请回答：

- (1) 根据以上内容，推测劳斯当时提出了一个什么观点？
- (2) 这个观点为以后细胞癌变的哪一种致瘤因子的研究提供了证据？
- (3) 请你设计一个模拟实验，来探究某种具体的物理或化学因子是否会致癌？
写出实验设计思路，并预测实验结果。



第14章

遗传的物质基础



主要内容

■ 着 DNA 是遗传物质的证据

■ 着 DNA 分子双螺旋结构模型

■ 着 遗传信息的传递与表达

■ 着 基因突变



侏罗纪公园

你也许欣赏过著名的科幻电影《侏罗纪公园》(Jurassic Park)。影片描述了生活在侏罗纪时代的一只蚊子，当它吸足恐龙的血后，不幸撞到松树树脂上。后来，树脂变成了琥珀。这个包裹着蚊子的琥珀化石被现代的一位遗传学家得到，他从蚊子身上提取了恐龙的遗传物质，将已绝迹6500万年的史前庞然大物复生，使整个努布拉岛成为恐龙的乐园，即“侏罗纪公园”。



试想想：

- 有可能建成“侏罗纪公园”吗？
- 为什么说DNA是生物主要的遗传物质？
- 遗传信息是怎样传递和表达的？

学完本章以后，你就能回答以上问题。

14.1 DNA是遗传物质的证据



学习目标

- ★ 概述DNA发现过程中的经典实验。
- ★ 初步学会DNA的提取方法。
- ★ 通过回顾科学家探索DNA的经典实验，了解科学发展的本质。

来自绷带脓液的发现

1868年，一位年轻的瑞士研究生弗雷德里希·米歇尔（Friedrich Miescher），从医院里收集了大量伤员使用过的绷带，绷带上的脓液和血液成了他最佳的实验材料。当他用弱碱溶液破碎细胞时，突然，一种奇怪的沉淀产生了。这种沉淀物的各种特性都与蛋白质不同，米歇尔意识到这一定是一种未知物。后经研究证实，这种未知物存在于细胞核中。他将这种未知物定名为“核质”，这就是后来人们熟知的DNA。



图14-1 米歇尔与他的实验室



问题探讨

1. 生物体中的DNA有什么作用？
2. 哪些证据可以证明DNA是遗传物质？



19世纪末，生物学家通过对细胞的有丝分裂、减数分裂和受精作用过程的研究，认识到染色体在生物的遗传中具有重要作用。生化学家通过分析发现染色体主要由DNA和蛋白质组成。所以，二者当中，必有一种是遗传分子。那么，究竟是哪一种呢？

格里菲斯的转化实验

肺炎链球菌 (*Streptococcus pneumoniae*) 是一种病原菌，存在着两种不同类型：光滑型 (Smooth, 简称S型) 和粗糙型 (Rough, 简称R型)。S型肺炎链球菌能产生荚膜，侵入人体内能导致肺炎，侵入小鼠体内能导致败血症。R型肺炎链球菌不产生荚膜，进入人或动物体内不会导致患病。

1928年，英国科学家格里菲斯 (Frederick Griffith) 利用肺炎链球菌与老鼠进行了一系列的生物学实验（图14-2）。

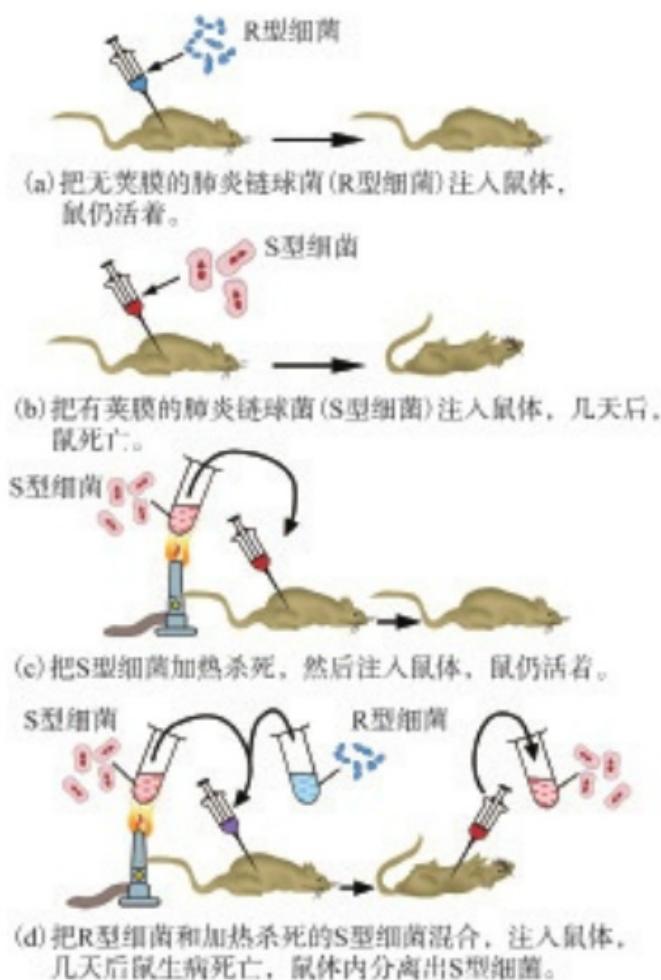


图 14-2 鼠体内肺炎链球菌的转化实验

格里菲斯惊讶地发现，当他把活的R型细菌和加热杀死的S型细菌混合，注入老鼠体内，老鼠患病死亡，并在老鼠体内发现活的S型细菌。格里菲斯分析，加热杀死的S型细菌内含有的某种物质，能将R型细菌转化成S型细菌，他将这个过程称为转化作用（transformation）。那么，这种物质究竟是什么？格里菲斯对此并未做出回答。但他的实验为基因是由DNA组成的这一发现奠定了基础。因为其他科学家推测，导致转化的物质很可能就是人们苦苦追求的遗传分子。



理性思维

1. 推测 高温处理后的S型肺炎链球菌中的哪些物质或成分发生了变化？
2. 分析 为什么用加热杀死的S型肺炎链球菌与活的R型肺炎链球菌混合后注射，会导致老鼠死亡？

埃弗雷等人的转化实验

1944年，美国科学家埃弗雷（Oswald Avery）等人在格里菲斯工作的基础上，对转化的本质进行了深入的研究。他们将加热杀死的S型细菌打破，提取出其细胞成分，再分别以蛋白质、RNA和DNA的水解酶处理，并将处理后的提取物分别与R型活菌混合后进行培养（图14-3）。结果发现，只有以DNA水解酶处理后的提取物，无法使R型细菌转化为S型细菌。根据此实验结果，埃弗雷判断提取物中引起肺炎链球菌发生转化的物质为DNA。

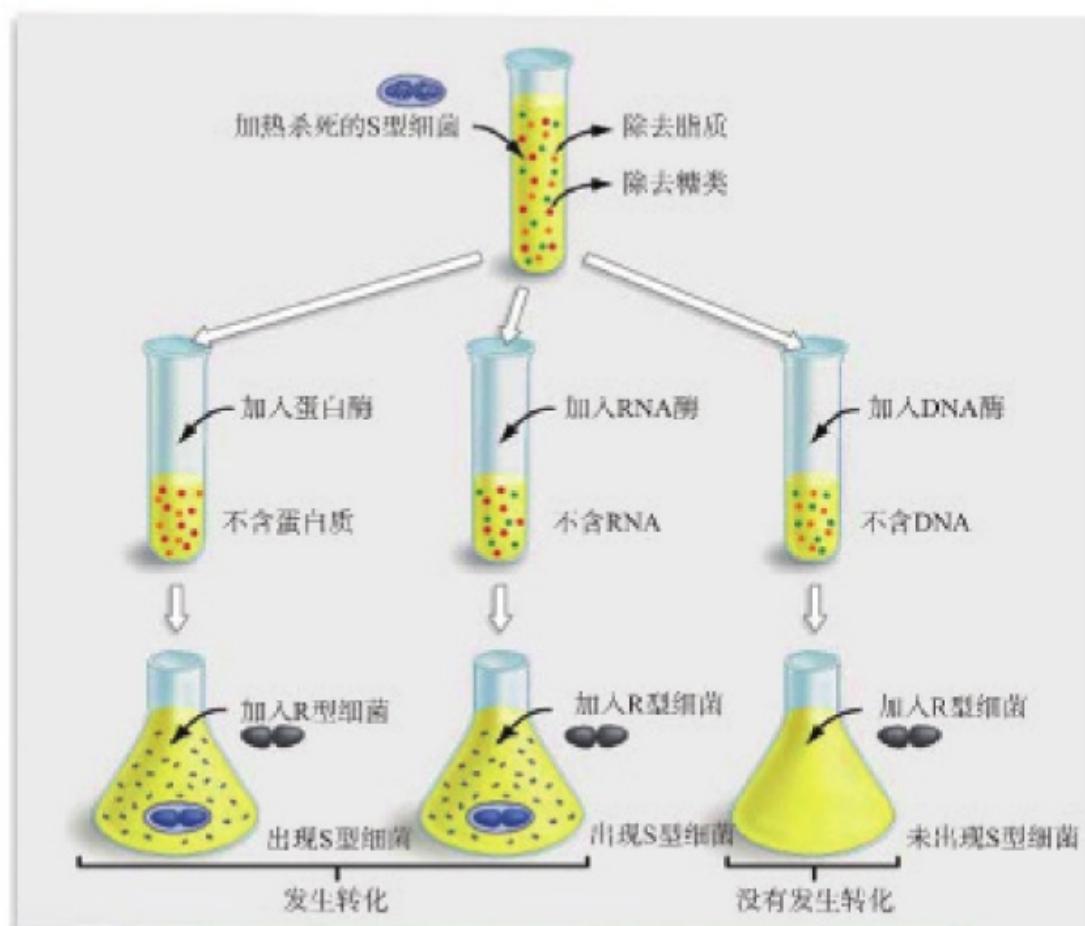


图 14-3 埃弗雷等人的转化实验



理性思维

分析 受到提纯实验技术的限制，埃弗雷等人所提纯的DNA中含有一定量的杂质，对于“DNA是遗传物质”的观点仍不能得到大部分科学家的认同。试想想，如何让实验结果更具有说服力？

赫尔希和蔡斯的噬菌体侵染实验

在接下来的十年中，关于DNA是生物遗传物质的证据不断积累。例如，1952年，赫尔希（Alfred Day Hershey）和蔡斯（Martha Chase）以噬菌体为材料，用放射性同位素³⁵S和³²P分别标记噬菌体的蛋白质和DNA，并用标记的噬菌体侵染细菌（图14-4）。通

过检测放射性标记的分布情况，最终意外地发现被侵染的细菌细胞内含有放射性标记的DNA，而细菌表面的噬菌体残余物中含有放射性标记的蛋白质。这一实验结果表明，进入细菌内部发生作用的是DNA而非蛋白质，DNA是噬菌体的遗传物质。这为证明DNA是遗传物质提供了令人信服的证据。

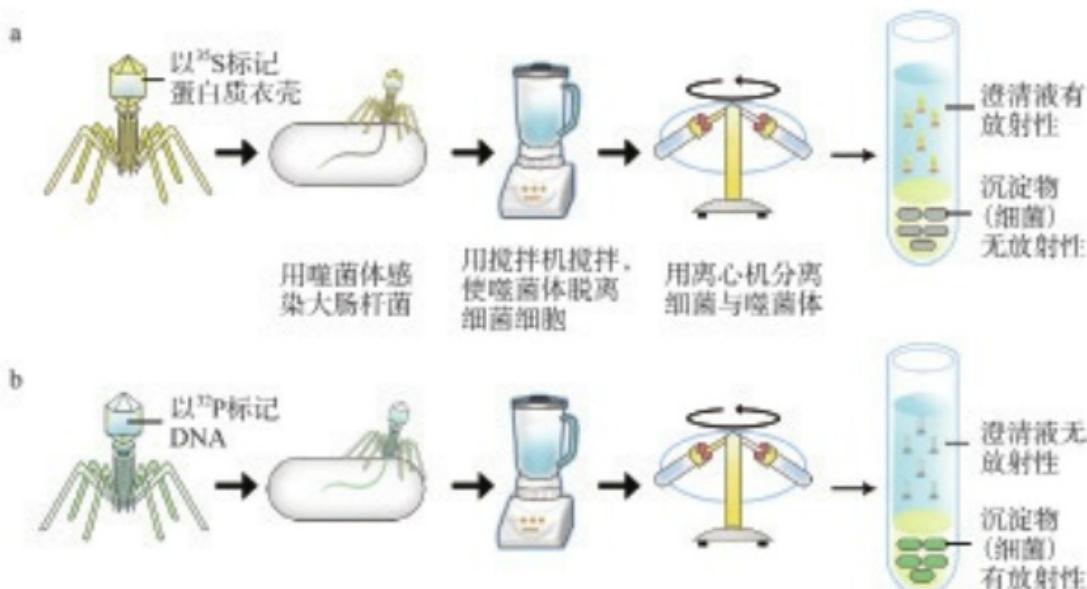


图 14-4 噬菌体侵染实验



理性思维

- 批判性思维** 许多科学家认为这一实验结果对证明DNA是遗传物质更具有说服力。你同意这个观点吗？为什么？
- 证据** 这一实验结果能证明蛋白质不是遗传物质吗？
- 讨论** 通过了解DNA的发现过程，讨论科学发展的本质。

从1928年格里菲斯的肺炎链球菌转化实验，到1944年埃弗雷的转化实验，再到1952年赫尔希和蔡斯的噬菌体侵染实验，前后经历了24年，人们才相信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。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。



知识补给站

噬菌体

噬菌体（bacteriophage）是能感染细菌的病毒，因部分能引起宿主的裂解，故称为噬菌体。噬菌体具有个体微小、无细胞结构、只含DNA或RNA一种核酸、一旦离开宿主既不能生长也不能复制等特征。

噬菌体的结构比较简单，一般分为头、尾两部。头部由蛋白质构成的衣壳组成，核酸位于头部内；尾部通常为一长管，有的噬菌体的尾部末端还有尾丝，用以吸附在细菌上（图14-5）。

当噬菌体与宿主细胞接触后，其尾丝尖端与宿主细胞的特异性受体接触，触发尾丝展开，进而吸附在宿主细胞表面。吸附后，尾管释放少量的溶菌酶破坏细菌的细胞壁，打开一个缺口，然后尾管伸入细胞壁内，把头部的DNA注入宿主细胞内，其蛋白质外壳则留在细胞壁外。

噬菌体DNA注入宿主细胞后，逐渐控制了细胞的代谢，使细菌的DNA合成停止，酶的合成受阻，然后噬菌体利用宿主细胞的场所、物质和能量，大量地复制子代噬菌体的DNA和合成噬菌体的蛋白质，并形成完整的噬菌体颗粒。噬菌体成熟后，在潜伏后期，溶解寄主细胞壁的溶菌酶逐渐增加，促使细胞裂解，从而释放出子代噬菌体，又去侵染邻近的细菌细胞。

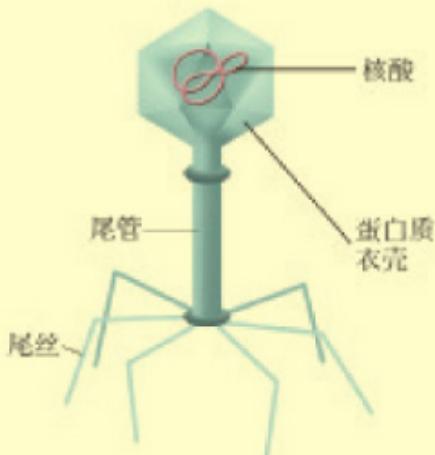


图 14-5 噬菌体



实验 14-1

DNA的提取与鉴定

一、实验目的

- 初步学会DNA的粗提取及其鉴别的方法。
- 仔细观察提取出来的DNA物质。

二、实验原理

- DNA在氯化钠溶液中的溶解度，是随着氯化钠的浓度的变化而改变的。当氯化钠量浓度为0.14 mol / L时，DNA的溶解度最低。利用这一原理，可以使溶解在氯化钠溶液中的DNA析出。
- DNA不溶于酒精溶液，但是细胞中的某些物质则可以溶于酒精溶液。利用这一原理，可以进一步提取出含杂质较少的DNA。
- DNA遇二苯胺(沸水浴)会染成蓝色，因此二苯胺可以作为鉴定DNA的试剂。

三、实验器材

天平、研钵、漏斗、滤纸或纱布、烧杯、试管、酒精灯、三角架、洋葱（或奇异果、草莓等）、洗洁剂、氯化钠，95%的冰酒精、二苯胺试剂（diphenylamine）等。

四、实验步骤

- 制取研磨液。称取洋葱10 g，剪碎，放入研钵中，加入1 mL洗洁剂和2-5 mL蒸馏水，充分研磨。研磨均匀后用滤纸或二层纱布过滤至烧杯中。
- 提取DNA。向烧杯内加1 g氯化钠固体，混合均匀。沿烧杯壁缓慢加入95%的冰酒精，一边加酒精一边用玻璃棒缓慢地沿一个方向轻轻搅拌。当酒精加入量约为50mL时开始有丝状物(即DNA)出现，并随着酒精量的增加而逐渐增加，缓慢搅拌使丝状物吸附在玻璃棒上。
- DNA的鉴定。取两支试管，编为1、2号，各加入3 mol/L 的氯化钠溶液4 mL，再向1号试管中加入用玻璃棒卷起的白色丝状物，振荡使其溶解，然后向两支试管中各加入2 mL 二苯胺试剂，沸水浴加热5分钟，静置数分钟后，观察两支试管有无蓝色出现。



(二苯胺有毒,要注意对自身的保护。)

五、结果与分析

1号试管与2号试管,分别出现什么颜色?为什么?



理性思维

1. 分析 为什么洋葱要切碎切细,并充分研磨?
2. 讨论 制取研磨液时为什么要加入洗洁剂?



知识补给站

烟草花叶病毒的侵染与重组实验

根据病毒所含核酸种类,我们可将病毒分为DNA病毒和RNA病毒。RNA病毒不含DNA,那么在这种病毒中,遗传信息是否存在与RNA分子中呢?

一、侵染实验

1956年,美国学者库兰特(Fraenkel-Courat)用化学的方法将烟草花叶病毒(tobacco mosaic virus)的RNA与蛋白质分开,分别去侵染烟草。单用病毒的蛋白质接种,不能使烟草感染。单用病毒的RNA接种,则可以使烟草感染,叶片出现病斑(图14-6)。如果用RNA酶处理提纯的RNA,再接种到烟草上,则完全失去侵染力。这说明在不含DNA的烟草花叶病毒中, RNA是遗传物质。

二、重组实验

库兰特还采用分离与聚合的方法,把烟草花叶病毒的RNA与霍氏车前病毒(Holmes' ribgrass virus)的蛋白质衣壳结合,重新合成杂合的病毒颗粒,用它感染烟草植株。结果所产生的新病毒颗粒与提供RNA的病毒完全一致,即亲本的

RNA决定了后代的病毒类型，而与蛋白质无关（图14-7）。这个重组实验也证明了RNA是遗传物质。

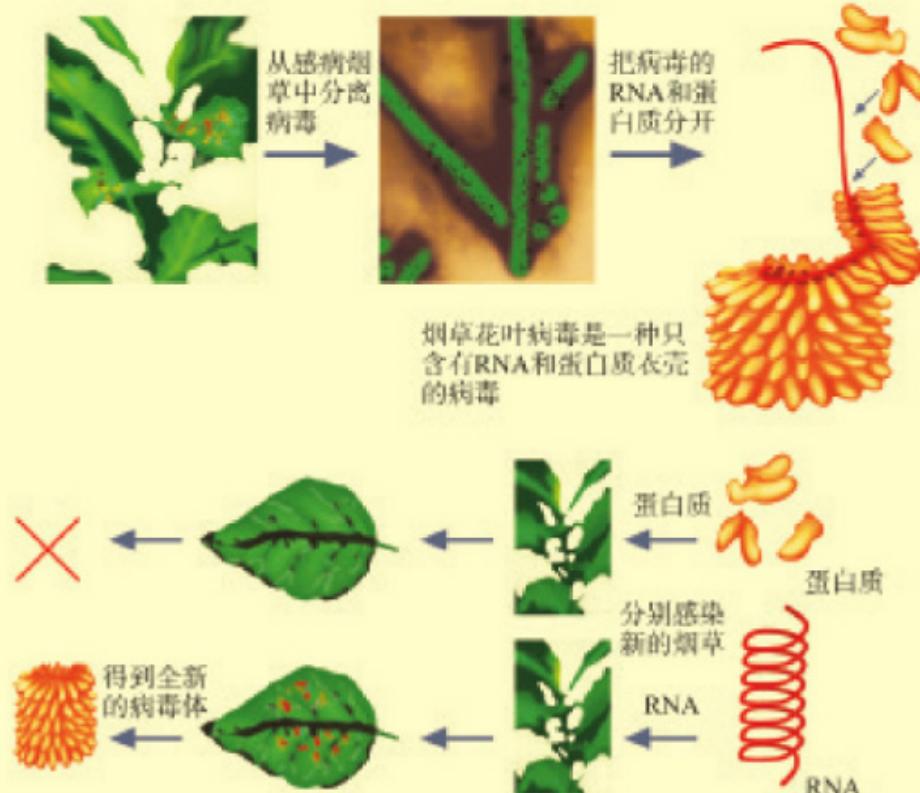


图 14-6 烟草花叶病毒的组成成分侵染烟草的实验

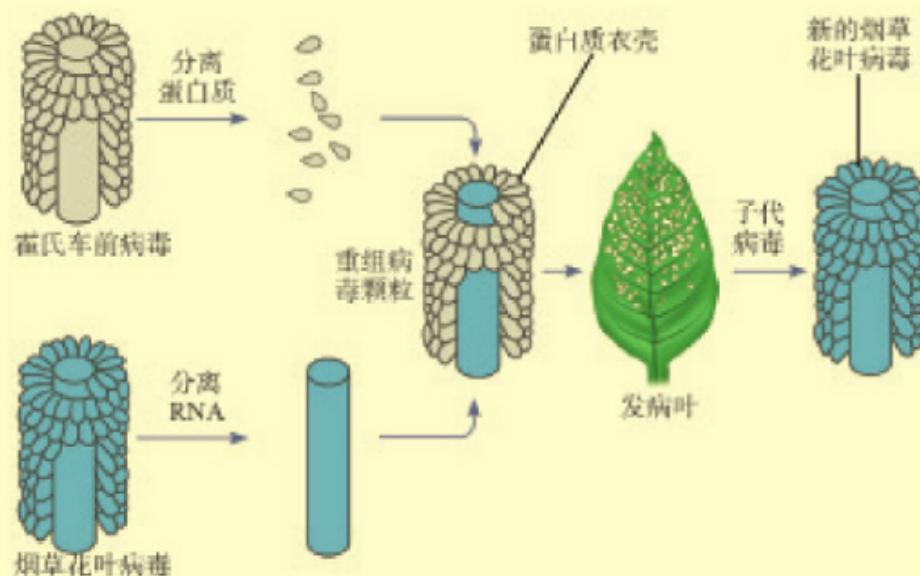


图 14-7 病毒重组实验证明 RNA 是遗传物质



自我检测

- 1 甲、乙为两种不同的病毒，经病毒重建形成“杂交病毒”丙（图 14-8）。用病毒丙侵染植物细胞，在植物细胞内产生的新一代病毒可表示为（ ）

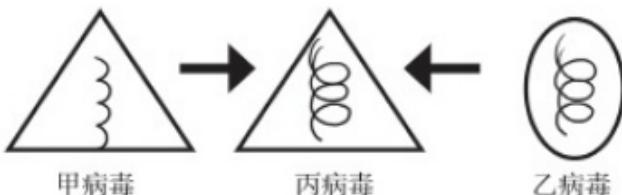
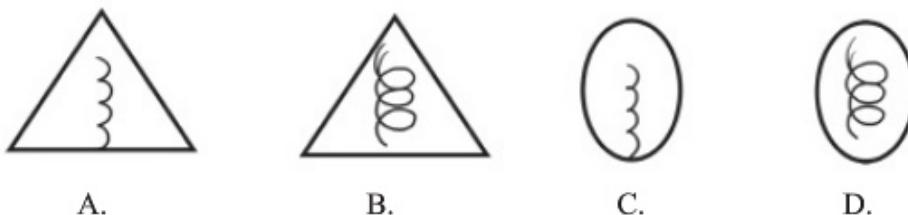


图 14-8



- 2 用洋葱进行 DNA 粗提取和鉴定实验时，以下操作不合适的是（ ）

- A. 用蛋白酶纯化过滤后的研磨液中的 DNA
- B. 加入洗洁剂后用力进行快速、充分的研磨
- C. 加入冰酒精后用玻璃棒轻缓搅拌
- D. 加二苯胺试剂摇匀后沸水浴加热

- 3 下列能作为“DNA 是遗传物质”的有力证据的是（ ）

- A. 不少学者认为，蛋白质是一切生命活动的体现者
- B. 加热杀死的 R 型细菌促成了 S 型细菌的转化
- C. 染色体在生物遗传中具有重要作用，而染色体主要是由蛋白质和 DNA 组成的
- D. 噬菌体侵染细菌的实验表明，在噬菌体中，亲、子代之间具有连续性的物质只是 DNA

- 4 若用³²P 标记的噬菌体侵染大肠杆菌进行实验，发现有 0.8% 的放射性出现在上清液中。多次实验后仍有此现象。请你就噬菌体的侵染过程进行分析。

14.2 DNA的结构是怎样的



学习目标

- ★ 概述DNA分子的双螺旋结构。
- ★ 制作DNA双螺旋结构模型。

优雅的螺旋

如果你对把外出旅游要穿的衣服打包进一个小小的行李箱感到沮丧，那就看看细胞是如何打包的！人体几乎每一个细胞都含有大约60亿个DNA碱基对，完全展开约有2 m长，可细胞却把这么长的DNA折叠后，“塞”进了直径只有10 μm 的细胞核中。这相当于在一个网球内塞进了一根长达20 km的细线。



图 14-9 北京中关村的DNA双螺旋结构模型雕塑

问题探讨

1. 细胞是怎样精密地组合DNA的？
2. DNA的结构是怎样的？有何意义？



我们已经知道DNA是生物的遗传物质，但这并没有回答一些关键性的遗传问题，如DNA具有怎样的结构？DNA是怎样进行复制并传递给下一代的？

DNA的组成

DNA分子的基本单位是脱氧核糖核苷酸。每分子脱氧核糖核苷酸都由三部分组成：一分子磷酸基团、一分子脱氧核糖和四种碱基中的一种。在DNA中发现的碱基是腺嘌呤（adenine, A）、鸟嘌呤（guanine, G）、胸腺嘧啶（thymine, T）和胞嘧啶（cytosine, C）。因此，就产生了四种不同的脱氧核糖核苷酸（图14-10）。

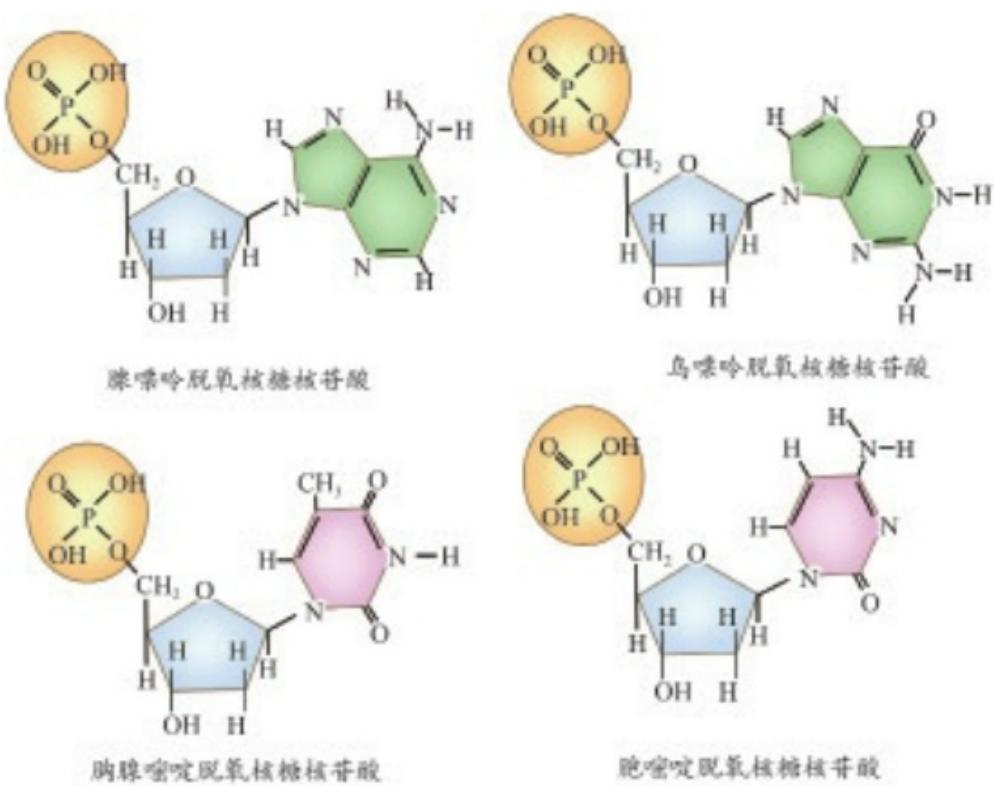


图 14-10 DNA 中的脱氧核糖核苷酸

DNA的双螺旋结构

英国剑桥大学的科学家沃森（James Watson）和克里克（Francis Crick）在前人研究的基础上，于1953年提出了DNA双螺旋结构模型。该模型显示，DNA是由两条脱氧核糖核苷酸链组成的，这两条链反向平行，形成一个双螺旋结构，很像一个螺旋式的梯子（图14-11 a）。如果把这梯子拉直，就可以看到它的结构组成（图14-11 b）。梯子的两边是由脱氧核糖和磷酸间隔地连接起来，构成基本骨架。每一级的阶梯就是由每一边内

侧的碱基对通过氢键相连组成的。碱基配对遵循碱基互补配对原则，即A与T通过两个氢键相连配对，G与C通过三个氢键相连配对（图14-11c）。因此，只要确定一条链的碱基顺序，另一条链的碱基顺序也就确定下来了。例如，如果一条链上的序列是A-T-G-C-C-A，另一条链上的序列一定是T-A-C-G-G-T。

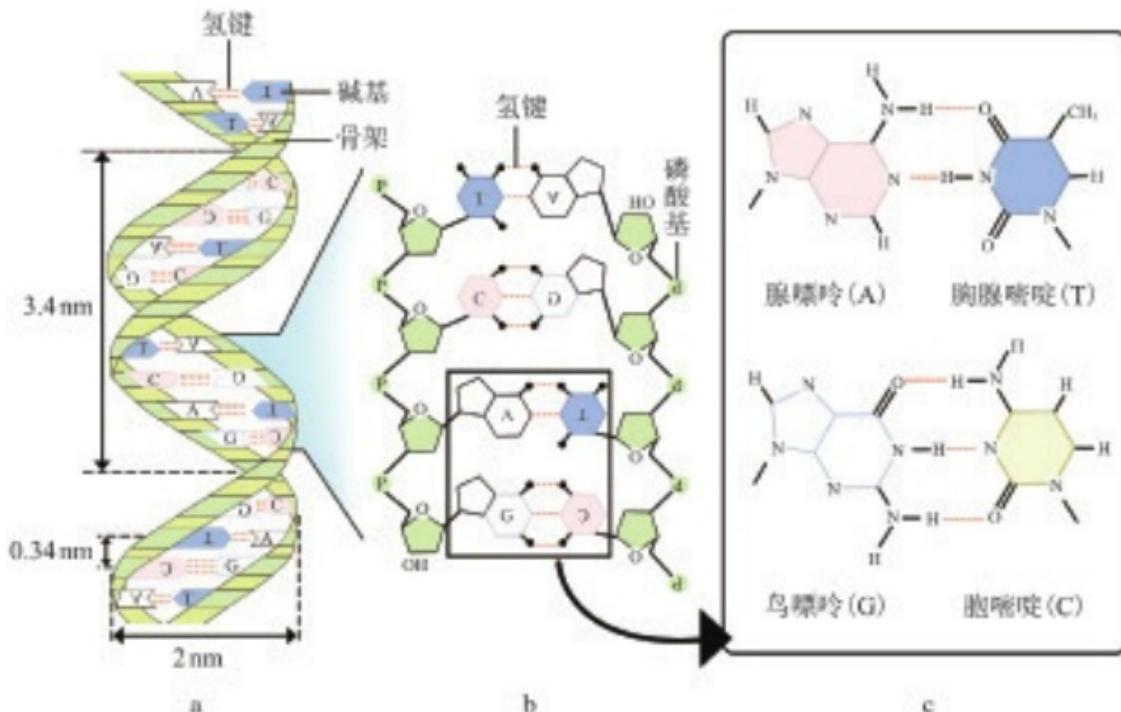


图 14-11 DNA 双螺旋结构模型

至此，人们终于明白，长期苦苦寻找的遗传信息就蕴藏在仅有的四种碱基的排列顺序之中。



活 动

制作DNA双螺旋结构模型

用模型解释许多生物学现象时，这些现象就会变得容易理解。在这个活动中，你将使用模型去理解DNA的分子结构。

目的要求

- 直观地了解DNA的组成、三维空间结构和各种化学键在DNA三维空间结构形成中的作用。



2. 通过模型的制作，深入了解DNA双螺旋结构的特点和DNA作为遗传物质的特性。

3. 能用口头或书面形式清楚地解释模型与原型的异同点。

材料用具

纸盒、六种不同颜色的彩纸，粗、细两种铁丝、订书机和订书针、剪刀、胶水、透明胶带、10仙硬币、钳子等。

方法步骤

1. 制作基本成分

将纸盒拆卸成一块块的纸板，两面都粘上同一种颜色的彩纸（如红色，两面都红色），制作出六种颜色的纸板。

磷酸的制作：用圆圈表示磷酸，在一种颜色的纸板上用10仙硬币用力压出圆圈的痕迹，再用剪刀剪下若干个圆圈，磷酸就制作好了。

脱氧核糖的制作：用正五边形表示脱氧核糖，先制作出一个正五边形，然后在另一种颜色的纸板用已制作出的正五边形为模板，画好若干个正五边形，最后再用剪刀剪下若干个正五边形，脱氧核糖就制作好了。

碱基的制作：用四种不同颜色及形状分别表示四种碱基（ATGC），并用剪刀剪出不同形状的碱基若干个。

2. 制作基本单位

用订书机将一个碱基与一个脱氧核糖订在脱氧核糖的第一碳原子部位制成核苷，然后再订上一个磷酸，就制作出DNA的基本单位——脱氧核糖核苷酸。

3. 制作DNA单链

将若干个四种脱氧核苷酸用订书机订在一起制作出一条单链。

4. 制作DNA双链

以制作好的单链为模板，根据碱基互补配对原则，将一个个脱氧核糖核苷酸连在一起，A与T订两个订书针表示含有两个氢键，G与C订三个订书针表示含有三个氢键，形成双链，最后将两条长约0.8 m的细铁丝用透明胶带固定在双链的两侧。

5. 形成DNA双螺旋结构模型

用粗铁丝制作两个长方形的方框，最后将DNA双链外侧的两根细铁丝分别固定在两个方框一端，双手握住方框，旋转一定角度形成DNA双螺旋结构模型。



理性思维

1. 应用 制作DNA双螺旋结构模型过程中，如何准确把握各种“成分”之间的位置关系和连接方式？
2. 解释 用模型解释DNA的分子结构有哪些优点。
3. 解释 尝试运用模型解释基因突变（详见14.5）。



科学轨迹

被遗忘的英国玫瑰：罗莎琳德·富兰克林

在DNA双螺旋模型的构建中，没有人会忘记沃森和克里克。然而，却鲜有人知罗莎琳德·富兰克林（Rosalind Franklin）（图14-12a）在DNA双螺旋模型构建中所做的贡献。

当年，富兰克林通过研究DNA的X光绕射影像（图14-12b），推测DNA为直径约2nm的细长分子，且有两种构造重复出现。一种约每0.34nm会出现，即相邻碱基对间的距离；另一种约3.4nm会出现，即螺旋结构的每一转。这个观察结果是碱基配对的第一个实验证据，也是沃森和克里克建构DNA结构模型的重要线索。

后续有关DNA结构的研究表明，DNA为右旋的螺旋构造，与沃森和克里克当年提出的模型相符，但数据上略有差异。每一转螺旋含10.5个碱基对，称为B-DNA（图14-12c）。而A-DNA（图14-12d）也是右旋的螺旋构造，直径约2.6nm，每一转螺旋含11个碱基对，通常是DNA在脱水形成晶体的过程中出现，目前尚未确认其存在于细胞内。DNA的大部分区域为B-DNA构造，但碱基G与C交替重复出现的片段为Z-DNA（图14-14e）构造，Z-DNA为左旋的螺旋构造，因结构骨架呈现锯齿形而得名，一般认为此构造与基因的调控有关。

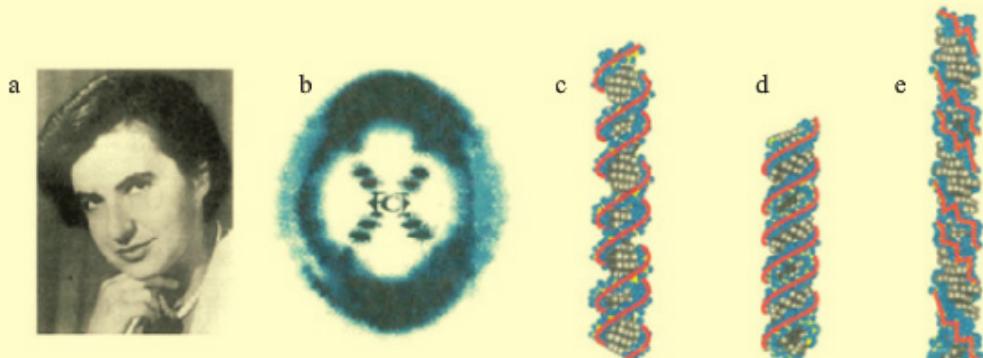


图 14-12 富兰克林与 B-DNA、A-DNA 及 Z-DNA

富兰克林为DNA双螺旋结构的发现做出了不可磨灭的贡献。英国政府为了纪念这位英年早逝而没有获得诺贝尔奖的科学家，特设定了“罗莎琳德·富兰克林奖”，这个奖项专门发给那些优秀的女科学家们。



自我检测

- 1 组成 DNA 结构的基本成分是()
①核糖 ②脱氧核糖 ③磷酸 ④腺嘌呤 鸟嘌呤 胞嘧啶 ⑤胸腺嘧啶 ⑥尿嘧啶
A. ①③④⑤ B. ①②④⑥ C. ②③④⑤ D. ②③④⑥
- 2 下列哪项关于双链 DNA 分子的叙述是不合理的? ()
A. 若一条链 A 和 T 的数目相等，则另一条链 A 和 T 的数目也相等
B. 若一条链 G 的数目为 C 的两倍，则另一条链 G 的数目为 C 的 0.5 倍
C. 若一条链的 A : T : G : C = 1 : 2 : 3 : 4，则另一条链相应碱基比为 2 : 1 : 4 : 3
D. 若一条链 G : T = 1 : 2，则另一条链 C : A = 2 : 1
- 3 某 DNA 分子中 A + T 占整个 DNA 分子碱基总数的 44%，其中一条链上的 G 占该链碱基总数的 21%，那么，对应的另一条互补链上的 G 占该链碱基总数的比例是()
A. 35% B. 29% C. 28% D. 21%
- 4 简述 DNA 双螺旋结构模型的要点。

14.3 遗传信息是如何传递的



学习目标

- ★ 概述 DNA 复制的方式。
- ★ 列举 DNA 半保留复制的实验证据。

复印

有些重要的文件要留下完全相同的副本，通过复印机复印就可以完成。那么，作为遗传物质的DNA，在传递遗传信息的时候，是如何由一份“复印”成两份并遗传给子代的呢？沃森和克里克在英国的《自然》杂志上发表的论文中这样写道：“我们不由自主地想到，我们假设的碱基配对原则很可能就是基因复制的机理”。



图 14-13 沃森和克里克在研究 DNA 双螺旋结构模型



问题探讨

1. 遗传信息是如何精确地“复印”给子代的？
2. 什么是DNA的半保留复制？有何意义？



DNA双螺旋模型建立以后，又一个问题摆在了科学家的面前：DNA是如何传递遗传信息的？

在沃森和克里克构建DNA双螺旋模型的时候，就对DNA的复制进行过大胆的推测：“我们的DNA模型实际上是一对模板，每一模板与另一个互补。我们设想，在复制前氢键断开，两条链松开、分离，然后每条链作为形成自己新链的模板，最后我们从原先仅有的一对链得到两对链，而且准确地复制了碱基序列。”

1958年，梅瑟生（Matthew Stanley Meselson）和史达（Franklin William Stahl）用¹⁵NH₄Cl培养大肠杆菌，使细菌内新合成的DNA全部被氮的同位素¹⁵N标记，然后将被¹⁵N标记的细菌移至含¹⁴NH₄Cl的培养基中培养，之后在每一次复制后分离出DNA，并利用只含¹⁵N的DNA比重最大、含¹⁵N和¹⁴N的DNA比重次之、只含¹⁴N的DNA比重最小的特性加以分析，实验结果确认了DNA半保留复制的特性。这一实验的过程和结果如图14-14所示。

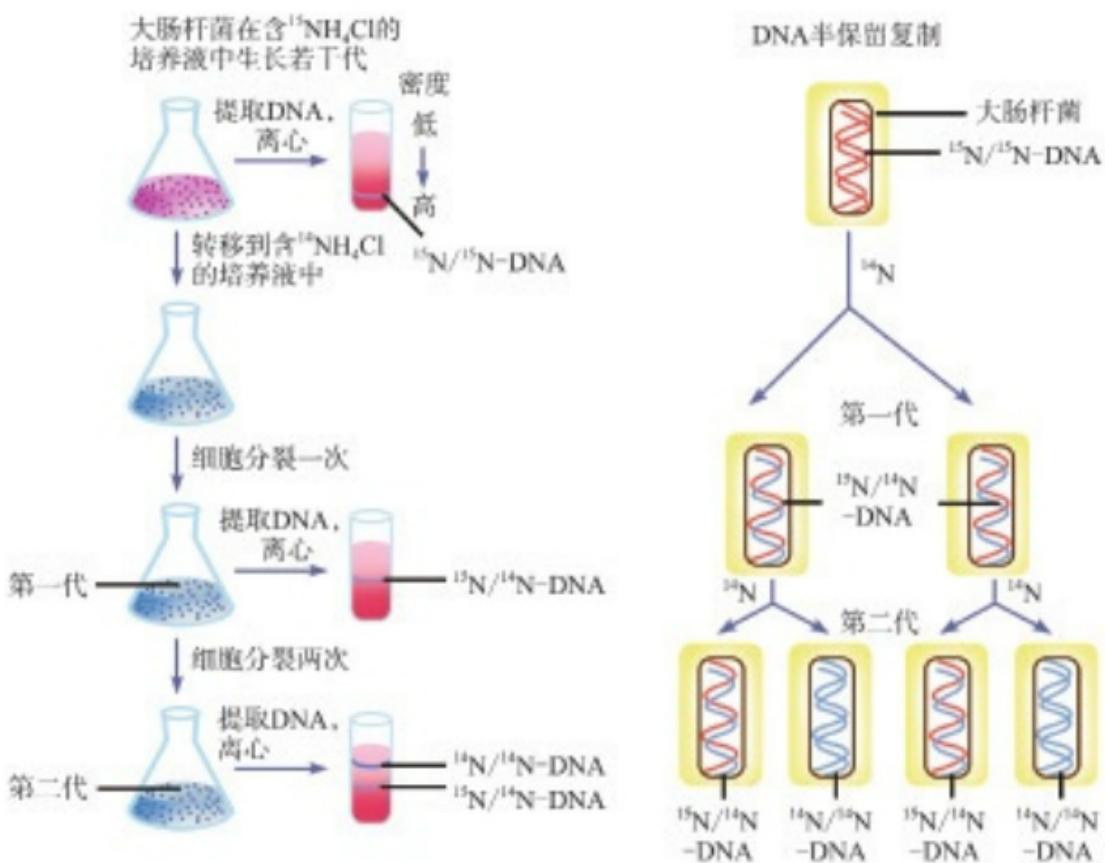


图 14-14 证明 DNA 半保留复制的实验



理性思维

- 比较 第一代与第二代细胞的DNA分子的双链组成有什么区别？
- 交流 依据实验结果，说说DNA复制有什么特点？

DNA复制开始时，DNA分子首先利用细胞提供的能量，在DNA解旋酶（ helicase）的作用下，氢键断裂，双螺旋结构打开，形成两条模板链（母链）。然后，以解开的母链为模板，在DNA聚合酶（ polymerase）的作用下，使细胞中游离的四种脱氧核糖核苷酸与母链上的碱基互补配对，各自合成与母链互补的子链。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母链又盘绕成双螺旋结构（图14-15）。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。

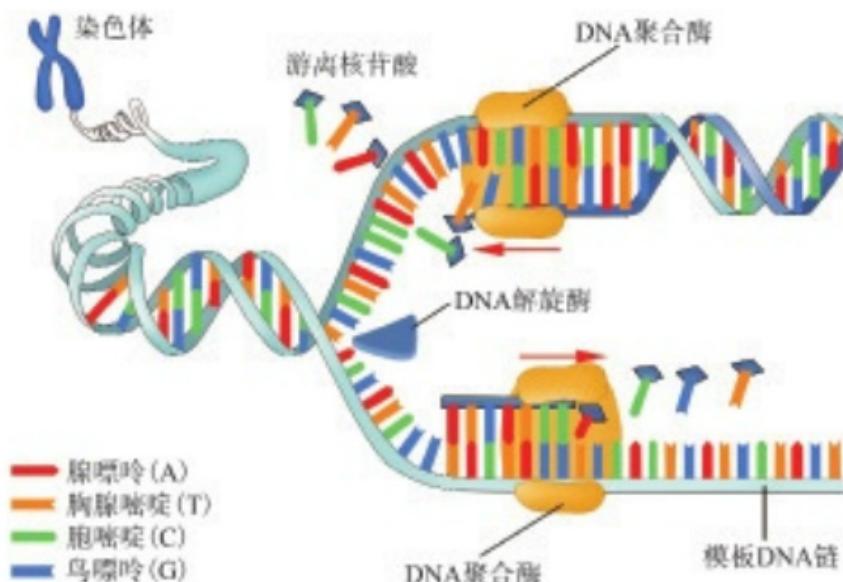


图 14-15 DNA 复制的过程

由于子代DNA分子中各含一条母链和一条新合成的子链，所以DNA的这种复制方式就称为“半保留复制”（ semi-conservative replication）（图14-16）。DNA就是以这样的方式将自身所含的遗传信息传递给下一代的。

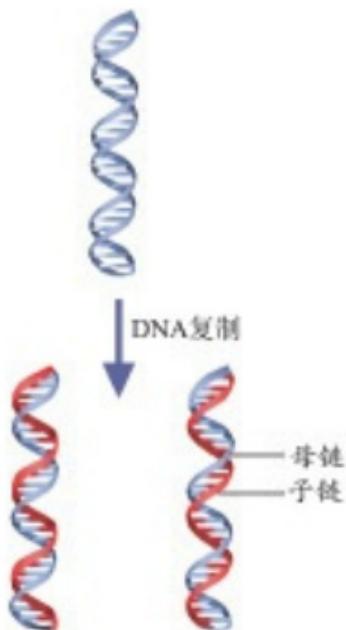


图 14-16 DNA 的半保留复制



理性思维

1. 推测 如果细胞中的DNA还没有复制就进行有丝分裂，结果会怎样？
2. 分析 分析DNA在复制前要先解旋的原因。



自我检测

- 1 一般情况下 DNA 能准确复制，其原因是（ ）
① DNA 的双螺旋结构为复制提供模板 ② DNA 复制发生于细胞周期的间期 ③ 碱基互补配对是严格的 ④ 产生的两个子代 DNA 均和亲代 DNA 相同
A. ②④ B. ②③ C. ①④ D. ①③
- 2 在一个细胞周期中，DNA 复制过程中的解旋发生在（ ）
A. 两条 DNA 母链之间 B. DNA 子链与其互补的母链之间
C. 两条 DNA 子链之间 D. DNA 子链与其非互补母链之间
- 3 某 DNA 分子含有 500 个碱基对，其中一条链上 $A : G : T : C = 1 : 2 : 3 : 4$ 。该 DNA 分子连续复制数次后，消耗周围环境中含 G 的脱氧核苷酸 4500 个，则该 DNA 分子复制了（ ）
A. 3 次 B. 4 次 C. 5 次 D. 6 次

- 4 为验证 DNA 的半保留复制，科学家设计了如下实验：将³H 标记的蚕豆根尖细胞移入普通培养液中，让其连续分裂两次，然后提取处于第二次分裂后期细胞中的染色体 DNA 进行离心并检测其放射性。请参照图 14-17 ①②③，在④中标出 DNA 分子可能出现在试管中的位置，并在括号中写出各自的比例。

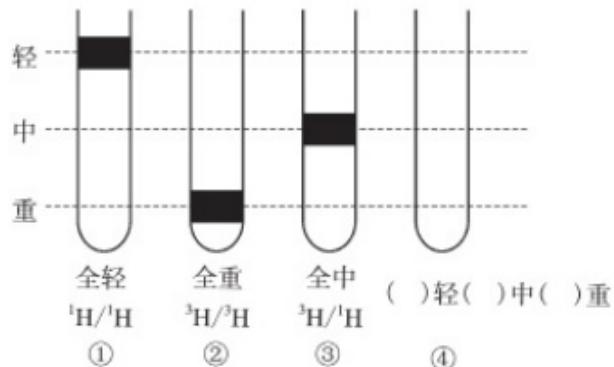


图 14-17



14.4 遗传信息是如何表达的



学习目标

- ★ 概述转录与翻译的过程、结果与意义。
- ★ 归纳 DNA 分子的功能。
- ★ 解释中心法则。

我们与黑猩猩相似吗

在动物园里与黑猩猩对视，是一件有趣但也有点恐怖的事。我们可以立刻指出它与人的差别，但与人相似的体形、灵巧的手指、生动的表情，却又让人难以否认它与自己的相似，不禁疑心究竟是谁在看谁。DNA证据表明，黑猩猩与人类基因组的DNA序列的相似度约为99%，黑猩猩是人类的近亲。



图 14-18 黑猩猩与人类



问题探讨

1. 黑猩猩与人类的DNA序列只有1%的差异，怎会如此不同？
2. 基因中蕴含的遗传信息是如何表达的？

基因是位于核酸上具有功能的特定碱基序列，是遗传物质最小的功能单位。DNA分子的碱基序列很长，但是目前发现的基因只占序列的一小部分（图14-19）。以人体的22号染色体为例，约五千万个碱基对当中只有五百多个基因。



图 14-19 DNA 中的基因

当沃森和克里克建立起DNA的双螺旋模型后，对于生命奥秘的探索并没有结束。因为人们发现，在细胞内不仅存在DNA这一种核酸，而且还有存在着另一种核酸——核糖核酸（RNA）。那么，这种RNA到底起什么作用呢？

后来的研究表明，RNA最主要的作用是与生物体内蛋白质的合成有关，它就是那个把DNA中的遗传信息流向蛋白质的“翻译官”。此过程要经过转录、翻译等步骤。

转录

DNA分子不能直接合成蛋白质，要通过媒介分子RNA指导蛋白质的合成。我们把遗传信息从DNA传递到RNA的过程，叫做转录（transcription）。转录过程主要发生在细胞核内。转录分三个步骤：起始、延伸和终止（图14-20）。

起始 在每个基因的起点附近，都有一段称为启动子（promoter）的特殊碱基序列。当RNA聚合酶结合到启动子上时，启动子附近的DNA双链局部解开，转录开始（图14-20a）。

延伸 转录开始后，RNA聚合酶以DNA的一条链为模板链，沿模板链行进，解开DNA双螺旋，催化核糖核苷酸根据碱基互补配对原则（即A-U，T-A，C-G，G-C），形成RNA链（图14-20b）。

终止 在基因的末端有一段终止转录的特定碱基序列，称为终止子（terminator）。当RNA聚合酶抵达终止子，RNA聚合酶与DNA脱离并释放RNA链（图14-20c），转录终止。

转录终止后，DNA恢复完整的双螺旋（图14-20d），RNA可以从细胞核移动到细胞质以进行翻译过程，RNA聚合酶则可能会移动到另一个基因处，再次开始转录。

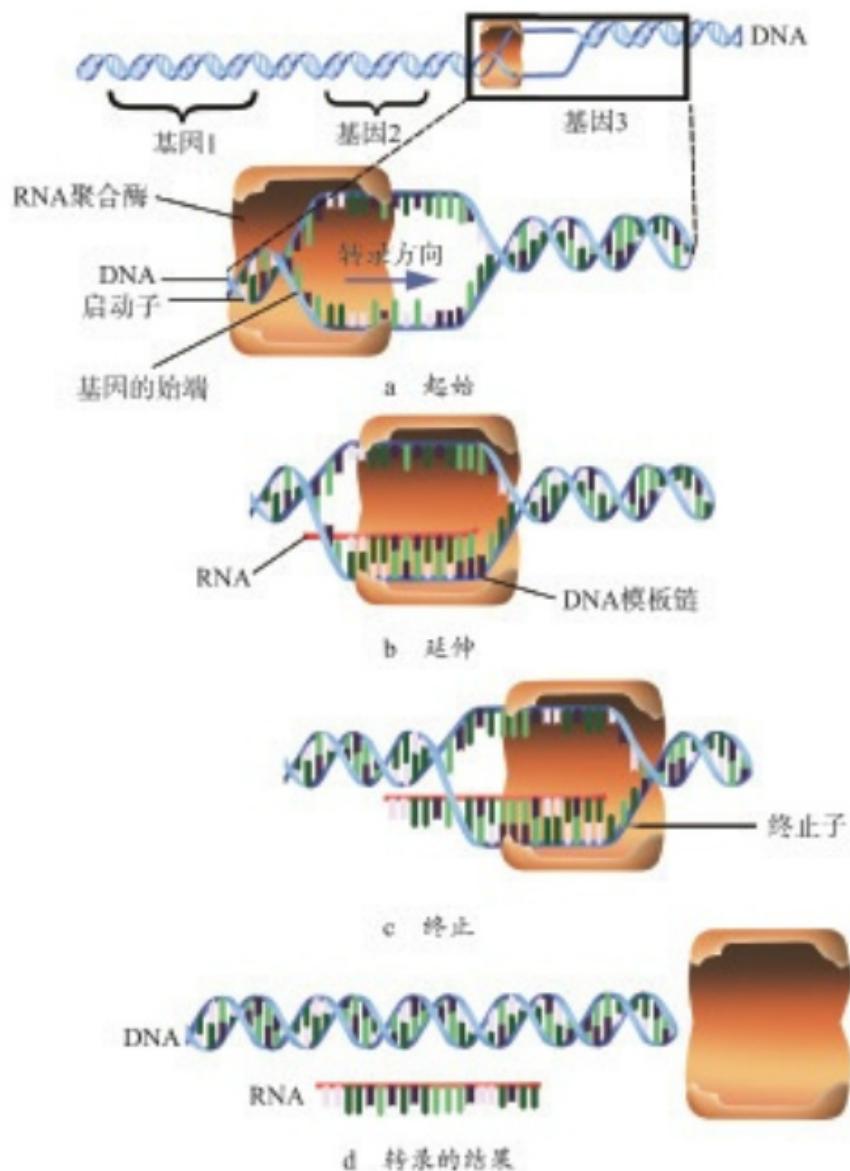
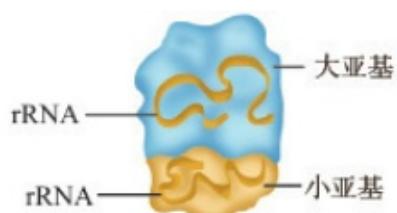


图 14-20 转录过程

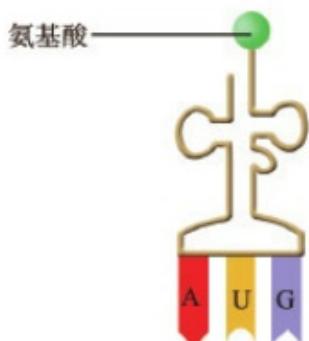
DNA转录形成的RNA有三种：信使RNA（messenger RNA, mRNA）、核糖体RNA（ribosomal RNA, rRNA）和转运RNA（transfer RNA, tRNA），它们在合成蛋白质的过程中分别起着不同的作用（图14-21）。



(a) 信使 RNA (mRNA)



(b) 核糖体 RNA (rRNA)



(c) 转运 RNA (tRNA)

图 14-21 DNA 转录形成的三种 RNA

那么，这三种RNA是怎样完成蛋白质合成任务的呢？遗传密码的破译，揭开了其中的奥秘。



遗传密码的破译

20世纪50年代，细胞生物学家们已经达成共识：DNA将自己所携带的信息转录给RNA，再由RNA这个翻译官执行合成蛋白质的命令。那么，RNA是怎样“指导”蛋白质的合成呢？

RNA有四种碱基，而蛋白质主要由20种氨基酸组成，如果由三个碱基决定一个氨基酸，这样的碱基组合可以达到64种，足以决定生物体内的20种氨基酸。

遗传学上把mRNA上决定一个氨基酸的三个相邻的碱基，称为一个密码子（codon）。而tRNA的一端是携带氨基酸的部位，另一端有三个碱基，都只能专一地与mRNA上特定的三个碱基配对，称为反密码子（anticodon），每一种tRNA只能识别并转运一种氨基酸。



遗传密码的发现

1954年，物理学家伽莫夫（George Gamov）根据在RNA中存在四种核糖核苷酸，而在蛋白质中存在20种氨基酸的对应关系，做出一个数学推理：如果一个核苷酸代表一种氨基酸的话，只能决定四种氨基酸（ $4^1=4$ ）；如果两个核苷酸编码一种氨基酸的话，则可决定16种氨基酸（ $4^2=16$ ）；如果三个核苷酸编码一种氨基酸的话，就可决定64种氨基酸（ $4^3=64$ ）。如果四个核苷酸编码一个氨基酸的话，就可决定256种氨基酸（ $4^4=256$ ）。

由于细胞内存在20种氨基酸，所以前面2种编码方式显然是不可能的。虽然第四种编码方式可以确保产生20种氨基酸，但是它却不符合生物在数亿年演化过程中的经济原则。因此，伽莫夫认为只有 $4^3=64$ 这种模式是最理想的，并提出假设：mRNA中三个核苷酸编码一个氨基酸。此假设于1961年被克里克和布伦纳（Sydney Brenner）所证实。

1965年，科学家们通过大量的实验破译了全部遗传密码。表14-1中共有64个密码子。AUG是起始密码子，由于AUG同时也编码甲硫氨酸，所以所有的蛋白质的氨基酸序列最初都是由甲硫氨酸开始的。UAA、UAG和UGA是终止密码子。当核糖体遇到这三种终止密码子中的任何一种时，翻译终止。

表14-1 遗传密码

		第二位核苷酸									
		U		C		A		G			
第一位 核 苷 酸	U	UUU	苯丙氨酸 (Phe)	UCU	丝氨酸 (Ser)	UAU	酪氨酸 (Tyr)	UGU	半胱氨酸 (Cys)	U	第三位 核 苷 酸
		UUC		UCC		UAC		UGC		C	
		UUA	亮氨酸 (Leu)	UCA		UAA	终止 密码	UGA	终止密码	A	
		UUG		UCG		UAG		UGG	色氨酸 (Trp)	G	
	C	CUU	亮氨酸 (Leu)	CCU	脯氨酸 (Pro)	CAU	组氨酸 (His)	CGU	精氨酸 (Arg)	U	第三位 核 苷 酸
		CUC		CCC		CAC		CGC		C	
		CUA		CCA		CAA	谷氨酰胺 (Gln)	CGA		A	
		CUG		CCG		CAG		CGG		G	
	A	AUU	异亮氨酸 (Ile)	ACU	苏氨酸 (Thr)	AAU	天冬酰胺 (Asn)	AGU	丝氨酸 (Ser)	U	第三位 核 苷 酸
		AUC		ACC		AAC		AGC		C	
		AUA		ACA		AAA	赖氨酸 (Lys)	AGA		A	
		AUG	甲硫氨酸 (Met) 或起始密码	ACG		AAG		AGG		G	
	G	GUU	缬氨酸 (Val)	GCU	丙氨酸 (Ala)	GAU	天冬氨酸 (Asp)	GGU	甘氨酸 (Gly)	U	第三位 核 苷 酸
		GUC		GCC		GAC		GGC		C	
		GUA		GCA		GAA	谷氨酸 (Glu)	GGA		A	
		GUG		GCG		GAG		GGG		G	

翻译

以mRNA作为模板，tRNA作为运载工具，在酶、辅助因子和能量的作用下，将氨基酸在核糖体上装配为多肽链的过程，称为翻译（translation），这个过程发生在细胞质，大致可分为3个步骤：起始、延伸与终止。

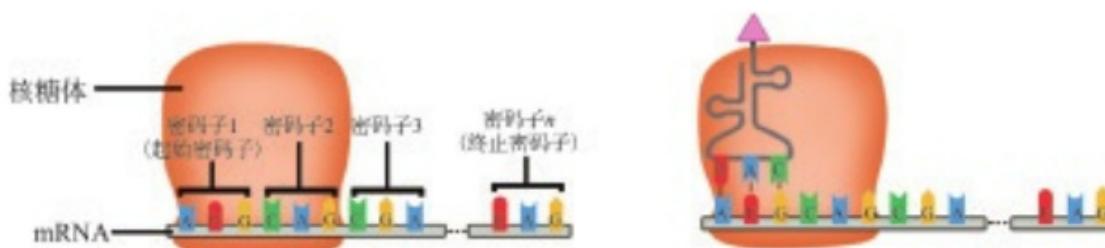
起始 转录形成的mRNA与核糖体结合（图14-22a），携带甲硫氨酸的tRNA的反密码子与mRNA的第一个密码子（起始密码子）配对并结合（图14-22b）。

延伸 另一个带着氨基酸的tRNA与mRNA的下一个密码子配对，两个相邻的氨基酸缩合，形成二肽（图14-22c）。核糖体沿着mRNA移动，前一个tRNA离开核糖体，下一个带着氨基酸的tRNA结合上来，把氨基酸逐一加上，多肽链不断延长（图14-22d）。

终止 终止信号是mRNA上的终止密码子。当核糖体到达终止密码子后，由于没有tRNA与之配对，蛋白质的合成即告终止（图14-22e），多肽链和mRNA与核糖体分开（图14-22f）。

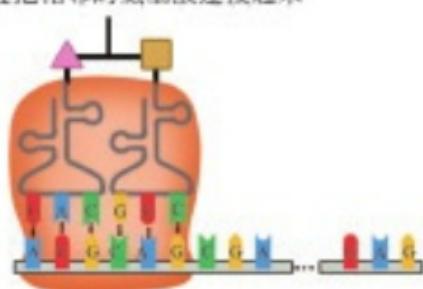


起始



延伸

肽链把相邻的氨基酸连接起来



终止

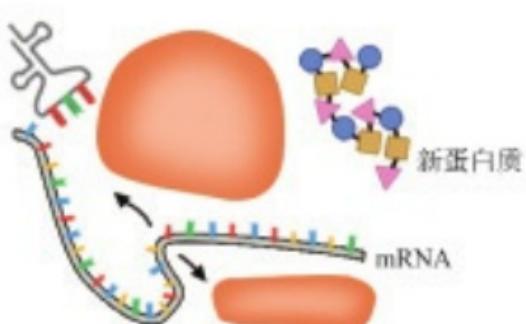
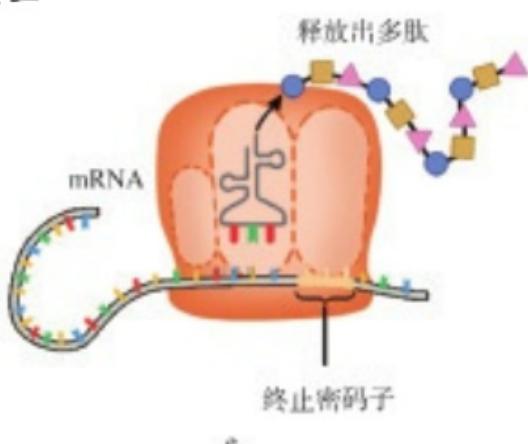
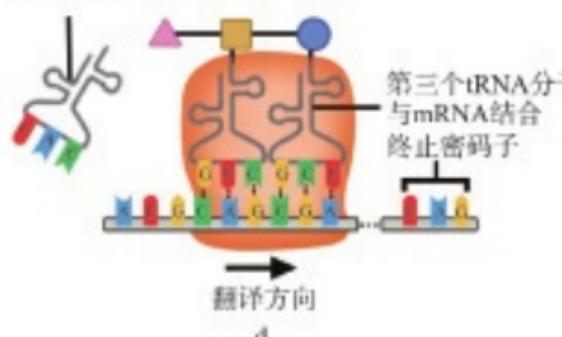
第一个tRNA分子离开，
摄取另一个氨基酸

图 14-22 翻译的过程

中心法则

克里克首先对遗传信息传递的一般规律做出假设，他于1957年提出中心法则：遗传信息可以从DNA流向DNA，即完成DNA的自我复制过程。也可以从DNA流向RNA，进而流向蛋白质，即完成遗传信息的转录和翻译过程（图14-23）。这是所有细胞结构的生物所遵循的法则。

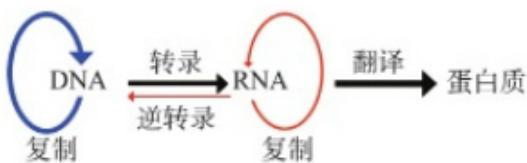


图 14-23 中心法则

后来的科学研究又发现，在某些病毒中，RNA也可以自我复制，并且还发现在一些病毒蛋白质的合成过程中，RNA可以在逆转录酶（reverse transcriptase）的作用下合成DNA。因此，在某些病毒中，遗传信息可以沿图中的红线方向流动。上述逆转录过程以及RNA自我复制过程的发现，补充和发展了“中心法则”，使之更加完整。



理性思维

1. 比较 比较DNA与RNA的异同点。
2. 解释 分别解释DNA与RNA的结构与其功能之间的关系。



活 动

搜集有关遗传学发展的最新信息

随着科学家对遗传物质认识的深入，根据研究的问题衍生出了很多的分支，如细胞遗传学、行为遗传学、免疫遗传学、辐射遗传学、药物遗传学等。以小组的形式，查阅感兴趣的相关领域的资料，自主学习并分享你的收获。

活动要求

1. 运用网络搜索、图书查阅等方法收集资料。
2. 通过了解遗传学相关科技发展的最新信息，感悟科学技术是不断发展的。

活动步骤

1. 分小组选择合适的途径进行资料搜集。
2. 认真阅读搜集到的资料。
3. 小组间进行交流。



理性思维

1. 归纳 哪些最新的科学技术成果与遗传学知识有关?
2. 讨论 以遗传学的发展为例,讨论科学、技术与社会之间的关系。



自我检测

- 1 如果一个基因上有碱基 1200 个,那么由它控制合成的蛋白质所具有的氨基酸数最多是()
A. 99个 B. 199个 C. 299个 D. 399个
- 2 在真核生物细胞内发生的 tRNA 和 mRNA 碱基互补配对的过程中,下列所述情况可能发生的是()
A. tRNA 和 mRNA 要分别穿过一层生物膜才能进行碱基互补配对
B. 该过程发生在真核细胞的核糖体中
C. 遗传信息的流向是 tRNA → mRNA
D. mRNA 上的反密码子与 tRNA 上的密码子发生碱基互补配对
- 3 遗传信息表达的过程中, mRNA 的三个碱基是 UAC, 则 DNA 模板链上对应的三个碱基是()
A. ATG B. TAC C. TUC D. AUG
- 4 DNA 的碱基序列是如何决定蛋白质的氨基酸序列的?

14.5 基因突变



学习目标

- ★ 说明基因突变的类型和特点。
- ★ 阐明基因突变的原理与意义。

镰刀形红细胞贫血症

镰刀形红细胞贫血症 (sickle cell disease) 是一种常染色体遗传的溶血性疾病。当血液中氧浓度低时，患者的红细胞就会变成一种异常的镰刀形（图14-24）。镰刀形的红细胞比正常的红细胞携带氧气的能力差，而且由于外形异常，这些细胞容易滞留在小血管中，导致血管堵塞。患者有衰弱、头晕、气短、心脏有杂音和脉搏增加等症状。

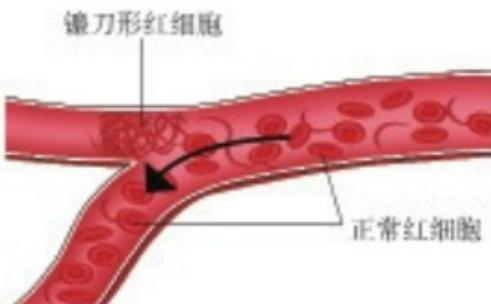


图 14-24 镰刀形红细胞



问题探讨

1. 为什么会出现镰刀形红细胞贫血症？
2. 什么是基因突变？



在细胞分裂、代代相传的过程中，DNA的核苷酸序列可以准确地复制下来。然而，如果受到某些特殊因素的影响，如DNA复制错误、紫外线照射、接触化学物质或受其它环境因素的影响，基因上的核苷酸序列会突然发生改变。DNA分子中发生碱基对的替换、增添或缺失而引起基因结构的改变，称为基因突变（gene mutation）。

如镰刀形红细胞贫血症患者，就是由于决定血红蛋白的基因发生了单个碱基替换，导致该碱基决定的氨基酸由谷氨酸变为缬氨酸，从而形成了异常的血红蛋白（图14-25）。

突变的效应是受内外环境制约的。有害和有利是相对的、有条件的，不是绝对的。例如，镰刀形红细胞贫血症会使患者的红细胞携带氧气的能力差，但由于不利于疟原虫的寄生，因此在疟疾流行的地区患者的存活率则较高。

由于多种密码子决定同样一种氨基酸，因此某些基因突变也不引起生物性状的改变。例如：当UUU突变为UUC，不会改变密码子的功能，因为两者决定的氨基酸都是苯丙氨酸。

某些突变虽然改变了蛋白质中个别氨基酸的个别位置的种类，但并不影响该蛋白质的功能。例如，由于基因突变使不同生物中的细胞色素c中的氨基酸发生改变，其中酵母菌的细胞色素c肽链的第17位上是亮氨酸，而小麦是异亮氨酸。尽管有这样的差异，但它们的细胞色素c的功能都是相同的。

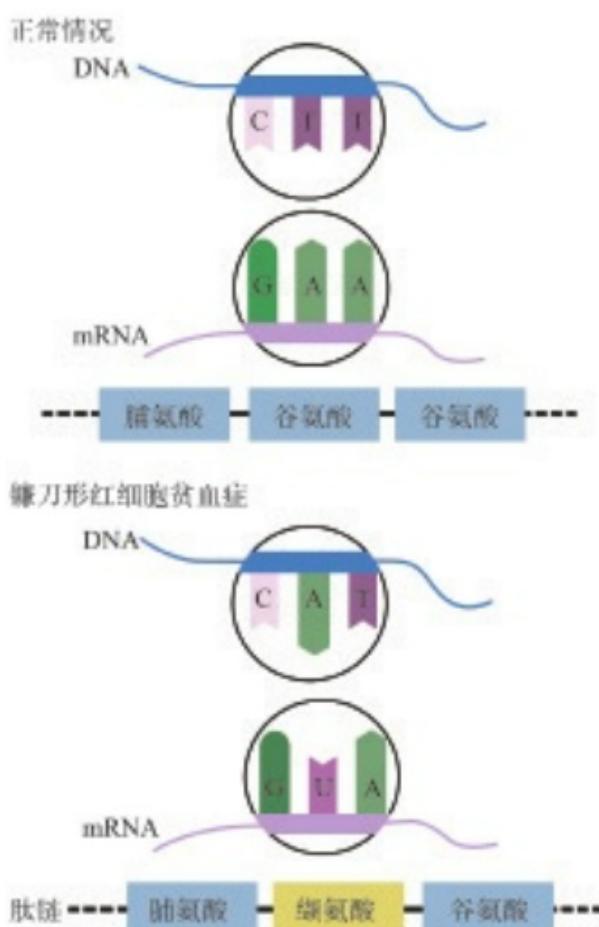


图 14-25 单个碱基替换导致镰刀形红细胞贫血症



活 动

探讨基因突变与蛋白质合成的关系

基因突变是生物变异的根本来源，探讨基因突变与蛋白质合成之间的关系，对研究生物的进化或者新品种的选育都具有非常重要的意义。

活动要求

- 理解基因突变对蛋白质合成的影响。
- 讨论基因突变的生物学意义。

活动过程

- 假如DNA分子模板链的碱基序列为：AATGCCAGTGGTTCG。
- 然后根据这个DNA序列把转录的mRNA的碱基序列写出来。
- 根据密码子表，确定所翻译产生的蛋白质片段的氨基酸序列。
- 如果DNA模板链上左起第四位碱基由G变成C，对产生的蛋白质有什么影响？
- 如果DNA模板链上左起第三位碱基之后插入一个G，产生的mRNA会是什么？插入的碱基对蛋白质有什么影响？



理性思维

- 分析 基因突变一定会使相应的蛋白质改变吗？为什么？
- 比较 碱基对的替换与碱基对的增添相比，哪种突变对蛋白质的影响更大？
- 流程图 搜集信息并制定流程图，以显示DNA排序的改变如何导致细胞生理功能的改变。

在自然状态下，生物的基因也会发生突变，但是突变的频率是很低的。例如高等动植物的突变率为 $10^{-5} \sim 10^{-8}$ ，即大约10万到1亿个配子中才会有一个发生突变。

许多外界环境条件，如电离射线、紫外线、化学物质（如亚硝酸、碱基类似物）等都可以引起突变。例如，作为防腐剂的亚硝酸盐会使胞嘧啶改变为尿嘧啶、X射线会引起DNA替换或断裂，从而造成碱基配对发生错误。



基因突变发生在体细胞时，不会直接传给后代，只会传给子细胞，如人的癌细胞。但对于能进行营养繁殖的植物，只要把突变的芽或枝条采取营养繁殖的方法，便可保留下来遗传给后代。基因突变发生在生殖细胞时，就会通过受精而直接遗传给下一代，导致后代产生突变型。一般认为基因突变主要发生在有丝分裂和减数分裂的间期，基因重组主要发生在减数第一次分裂时期。

在生物长期演化的过程中，生物细胞也形成了一套DNA损伤或突变的修复机制。目前已知的细胞DNA损伤修复机制有许多种，最常见的修复机制是切除修复（图14-26）。

切除修复是在一系列酶的作用下，将DNA分子中受损伤的部位切除，以另一条完整的单链为模板合成切去的部分，使DNA恢复正常结构。

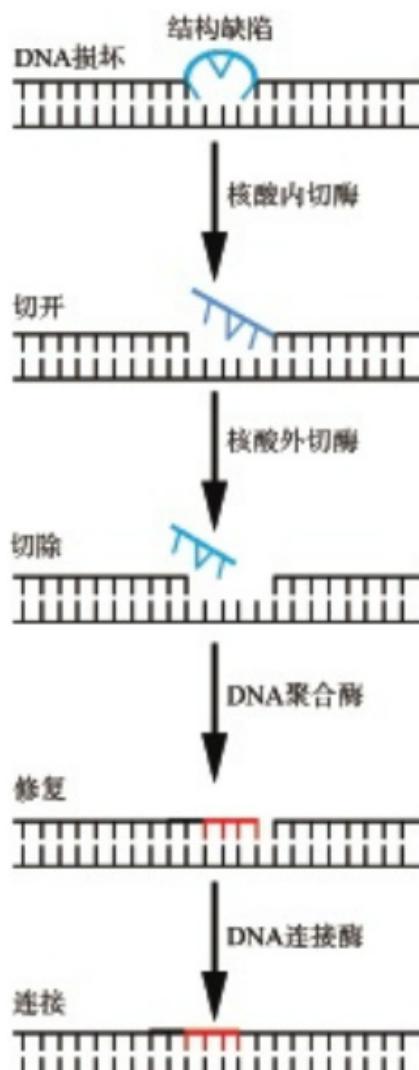


图 14-26 切除修复过程示意图



人类基因组计划

人类基因组计划（human genome project, HGP）是一项规模宏大，跨国跨学科的科学探索工程，至少投资30亿美元。HGP于1990年10月1日正式启动。美国、英国、德国、日本和中国相继参与其中。

世界各国科学家经过共同努力，通过绘制“遗传图”、“物理图”、“转录图”等途径，于2000年6月26日绘制出了人类基因组“工作框架图”，该图画出了人类24个DNA分子上90%以上碱基的排列顺序。这是HGP实施中取得的一个



里程碑式的成果。2003年4月15日，国际人类基因组合作组织正式宣布，HGP全部完成。

HGP是人类为了探索自身奥秘所迈出的重要一步，是继曼哈顿原子弹计划和阿波罗登月计划之后，人类科学史上的又一伟大工程。此计划给了我们很多的发现：

1. 人类基因的数目远少于预期

人类基因组比线虫和果蝇大30倍，预估有10万个基因，但结果发现人类只有26 000~40 000个基因，只是果蝇的两倍。将人类与老鼠的基因相比，人类只不过多了大约300个基因。这个令人吃惊的结果，显示人类与低等动物的差别不在于基因数目的多寡，而主要在于人类某些基因的功能和控制蛋白质生成的机制更为复杂。

2. 基因密度低而分散

整个人类基因组中，仅有5%的DNA序列含有基因，其中只有1%~1.5%能控制蛋白质生成，低于先前估算的3%~5%。而人体中存在着复杂繁多的蛋白质，显示一个基因可以编码多种蛋白质。另外也发现基因群聚存在的程度比预期的要高。

3. 序列重复多

在人类基因组中，98%以上序列都是所谓的“垃圾DNA”(junk DNA)，分布着300多万个长片段重复序列。新研究发现，这些重复序列与演化、发育有关，值得进一步研究。

4. 基因与种族、性别和疾病

在整个基因体序列中，人与人之间的变异仅为万分之一(0.01%)，也就是说，地球上个体与个体之间有99.99%的基因密码是相同的。这些变异对于发掘基因与疾病的关系和追溯人类起源将有深远影响。此外，男性的基因突变率是女性的两倍，而且部分遗传性疾病是位于Y染色体上的基因发生突变所致。

人类基因组计划的完成，是人类基因组研究的重要里程碑，为人类生命科学开辟了一个新纪元，为破解生命之谜奠定了坚实的基础。但是绘制人类基因图谱



只是破解人类基因密码的基础，科学家必须进一步确认人体所有的基因、了解基因的功能与控制方式、基因与人体生理以及疾病的关联，然后才能开发出崭新的药品与治疗方式，其成果将为人类医学与文明带来革命性的进展与冲击。



理性思维

- 评价 搜集 HGP 的有关数据资料，评价该计划的贡献与局限。
- 生命伦理 在将 HGP 成果应用于人类社会时，也引起了一些伦理道德方面的问题。你是怎么看待这个问题的？

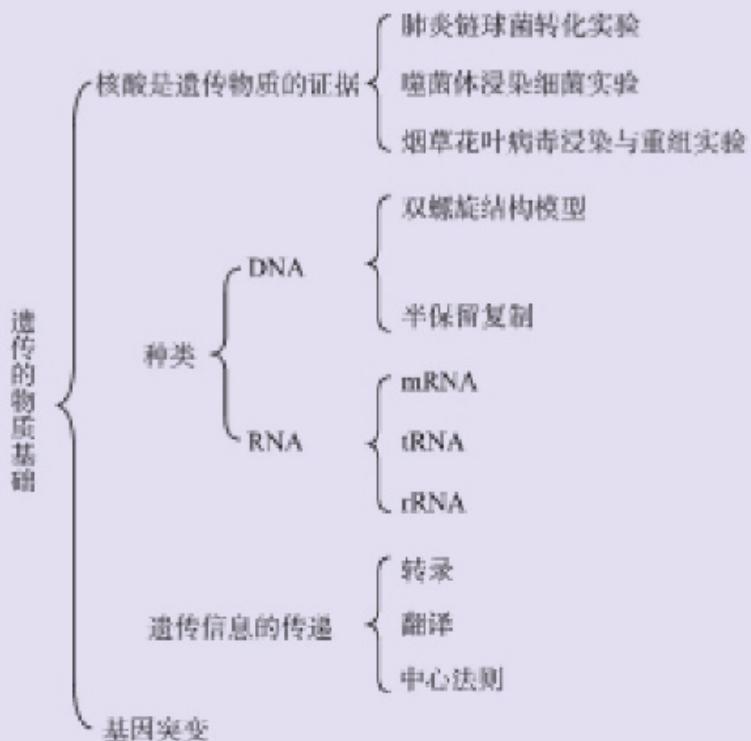


自我检测

- 对一株玉米白化苗进行研究后发现，控制其叶绿素合成的基因缺失了一段 DNA，导致该基因不能正常表达，无法合成叶绿素。该白化苗发生的根本原因是（ ）
A. 染色体数目变异 B. 基因突变
C. 染色体结构变异 D. 基因重组
- 人类发生镰刀形红细胞贫血症的根本原因在于基因突变，其突变的方式是基因内（ ）
A. 碱基发生替换 B. 增添或缺失某个碱基对
C. 增添一小段 DNA D. 缺少一小段 DNA
- 5-溴尿嘧啶（Bu）是胸腺嘧啶的结构类似物，在含有 Bu 的培养基上培养大肠杆菌，得到少数突变大肠杆菌，突变型大肠杆菌中的碱基数目不变，但 $(A+T)/(C+G)$ 的碱基比例略小于原大肠杆菌，这表明 Bu 诱发基因突变的机制是（ ）
A. 阻止碱基正常配对 B. 断裂 DNA 链中糖与磷酸之间的化学键
C. 诱发 DNA 链发生碱基增加 D. 诱发 DNA 链发生碱基对种类置换
- 若某生物体发生了替换的基因突变，则它的性状是否一定会改变？为什么？



本章小结



核酸是生物遗传的物质基础。肺炎链球菌转化实验、噬菌体侵染细菌实验、烟草花叶病毒侵染与重组实验等证明，绝大多数生物的遗传物质是DNA，少部分不含DNA只含有RNA的病毒中，RNA是遗传物质。

DNA是由两条按反向平行方式相互盘绕而成的长链构成的双螺旋大分子。螺旋盘绕的两条主链的内侧是依据互补配对原则形成的碱基对，碱基对之间由弱氢键连接。

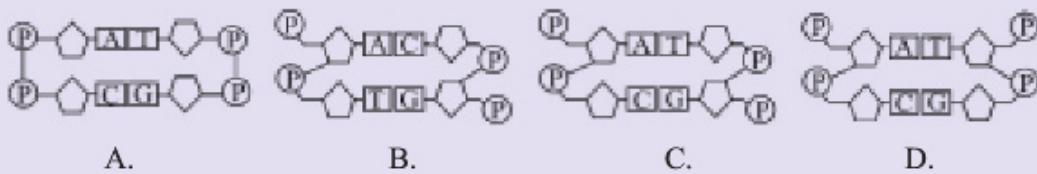
DNA通过半保留复制将遗传信息传递给下一代。DNA在控制蛋白质合成时，首先以DNA自身为模板，在细胞核中合成RNA。然后，RNA转移到细胞质中，在细胞质中控制蛋白质的合成。其中，以DNA为模板合成RNA的过程叫转录，以RNA为模板合成蛋白质的过程叫翻译。

DNA的碱基序列，因某些特殊因素的影响，会突然发生改变，这种改变称为基因突变。DNA有着修复自身损伤和突变的机制。



习题

1. 在“噬菌体侵染细菌的实验”中，如果对³⁵S标记的噬菌体一组（甲组）不进行搅拌、³²P标记的噬菌体一组（乙组）保温时间过长，其结果是（ ）
A. 甲组沉淀物中也会出现较强放射性，乙组上清液中也会出现较强放射性
B. 甲组上清液中也会出现较强放射性，乙组上清液中也会出现较强放射性
C. 甲组沉淀物中也会出现较强放射性，乙组沉淀物中也会出现较强放射性
D. 甲组上清液中也会出现较强放射性，乙组沉淀物中也会出现较强放射性
2. DNA指纹技术是法医进行个人认定的主要方法。人的DNA“指纹”是指DNA的（ ）
A. 双螺旋结构 B. 碱基对的排列顺序
C. 碱基配对原则 D. 磷酸和脱氧核糖的排列顺序
3. 在下列DNA分子结构的模式图中，正确的是（ ）



4. 图14-27为真核细胞DNA复制过程的模式图，据图分析，下列相关叙述不合理的是（ ）



图 14-27 DNA 复制

- A. 由图示得知，DNA分子复制的方式是半保留复制
- B. DNA解旋酶能使双链DNA解开，且需要消耗ATP
- C. 从图中可以看出合成两条子链的方向是相反的
- D. DNA在复制过程中先全部解旋，再复制

5. 在搭建 DNA 分子模型的实验中，若有四种碱基塑料片共 20 个，其中四个 C，六个 G，三个 A，七个 T，脱氧核糖和磷酸之间的连接物 14 个，脱氧核糖塑料片 40 个，磷酸塑料片 100 个，代表氢键的连接物若干，脱氧核糖和碱基之间的连接物若干，则（ ）
- 能搭建出 20 个脱氧核苷酸
 - 所搭建的 DNA 分子片段最长为 7 碱基对
 - 能搭建出 4^{10} 种不同的 DNA 分子模型
 - 能搭建出一个四碱基对的 DNA 分子片段
6. 一个不含放射性元素的噬菌体，在脱氧核苷酸被 ^{32}P 标记及氨基酸被 ^{15}N 标记的细菌体内连续繁殖三代，子代噬菌体中含有 ^{32}P 和 ^{15}N 的噬菌体分别占子代噬菌体总数的比例是（ ）
- 100%、100%
 - 25%、50%
 - 50%、50%
 - 25%、0%
7. 图 14-28 表示某正常基因及指导合成的多肽顺序。a ~ d 位点发生的突变导致肽链延长停止的是 [除图中密码子外，已知 GAC(天冬氨酸)、GGU(甘氨酸)、AUG(甲硫氨酸)、UAG(终止)]（ ）

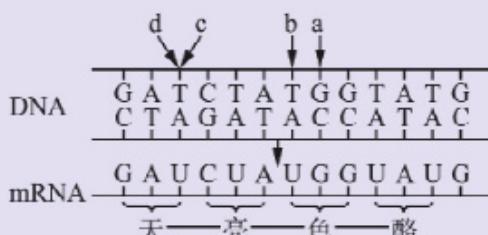


图 14-28

- a 点 : G/C→A/T
 - b 点 : T/A→G/C
 - c、d 点 : T/A→G/C
 - c、d 点 : 丢失 T/A
8. 下列关于图 14-29 所示生物遗传信息传递规律的叙述正确的是（ ）

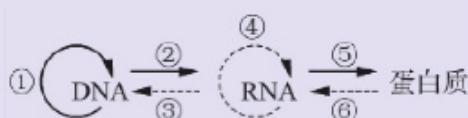


图 14-29



- A. 噬菌体进行①过程，需将噬菌体放在含有四种游离的脱氧核糖核苷酸的溶液中
- B. 正常的真核生物细胞内可发生①②⑤过程
- C. ③④⑥过程常见于 RNA 病毒侵入细胞时
- D. 细胞中①④过程的发生都需要解旋酶的催化作用
9. 基因突变是生物变异的根本来源。下列关于基因突变的叙述，合理的是（ ）
- A. 基因突变一定导致遗传信息的改变
- B. 基因突变一定导致遗传性状的改变
- C. 基因突变一定能遗传给子代
- D. 基因突变一定是在外界环境的影响下发生的
10. 图 14-30 甲～丁表示大分子物质或结构，①、②代表遗传信息的传递过程。

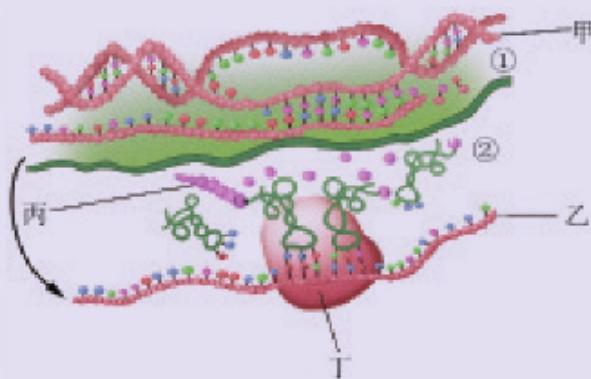


图 14-30 基因的转录与翻译

据图回答下列问题：

- (1) 请写出甲乙丙丁的名称以及①②过程的名称。
- (2) 简述①的过程以及需要的酶与原料。
- (3) 简述少量的 mRNA 能在短时间内指导合成大量蛋白质的原因。
11. 遗传信息的传递过程如图 14-31 所示。

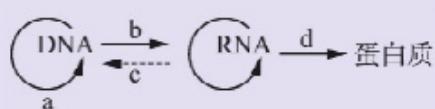


图 14-31

请回答下列问题：

- (1) 在真核细胞中，a过程发生在细胞周期的哪个时期？在哪个部位？
 - (2) 图中的b、c、d过程分别叫什么？
 - (3) 在a过程进行时，若是某个碱基对被置换，但细胞的表现一切正常。请给出2个可能的合理解释。
12. 在正常情况下，细胞内完全可以自主合成组成核酸的核糖和脱氧核糖。某细胞系由于发生基因突变而不能自主合成核糖和脱氧核糖，必须从培养基中摄取。为验证DNA分子复制的原料是脱氧核糖核苷酸，而不是核糖核苷酸，现提供如下实验材料，请你完成下列的实验方案。
- (1) 实验目的：验证DNA分子复制的原料是脱氧核糖核苷酸，而不是核糖核苷酸。
 - (2) 实验材料：突变细胞系、基本培养基、核糖核苷酸、¹⁴C-核糖核苷酸、脱氧核糖核苷酸、¹⁴C-脱氧核糖核苷酸、放射性探测电子显微镜等。
 - (3) 实验原理：
DNA和RNA主要分布在哪里？其基本组成单位分别是什么？
 - (4) 实验步骤：
 - ①编号。取基本培养基两个，编号为甲、乙。
 - ②设置对比实验。在培养基甲中加入适量的核糖核苷酸和¹⁴C-脱氧核糖核苷酸，在培养基乙中应等量地加入什么？
 - ③培养。在甲、乙培养基中分别接种等量的突变细胞系，放到适宜的相同环境中培养一段时间，让细胞增殖。
 - ④观察。分别取出培养基甲、乙中的细胞，用放射性探测电子显微镜探测观察。
 - (5) 分别对培养基甲和培养基乙的实验结果进行预测。



第15章

基因与遗传定律



主要内容

■ 基因分离定律

■ 基因自由组合定律

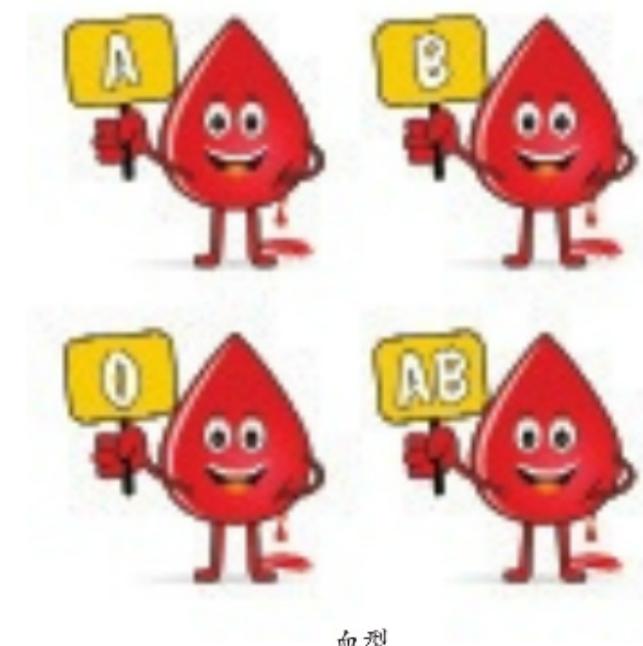
■ 性别决定与伴性遗传

■ 常见的人类遗传病



血型

人类的血型是由A、B、O三个等位基因的组合决定的。除了极个别的现象，大多数情况下，根据父母的血型就可判断出以后出生的小宝宝可能出现的血型。如父亲的血型为A型，母亲为B型，四个孩子的血型则有可能是A型、B型、AB型或O型。



试想想：

- 血型是怎样遗传的？
- 遗传有哪些定律？
- 有哪些常见的遗传病？

学完本章以后，你就能回答以上问题。

15.1 基因分离定律



学习目标

- ★ 概述基因分离定律。
- ★ 描述豌豆作为遗传实验材料的优点。
- ★ 概述测交实验的意义。
- ★ 能运用数学方法简化实验结果。
- ★ 举例说明显隐性的相对性。
- ★ 感悟科学家在科学探究的过程中坚持不懈的科学精神。

奇妙的3：1

1900年春天，有三位研究植物杂交的科学家——荷兰的德弗里斯（Hugo de Vries）、德国的科伦斯（Carl Correns）和奥地利的切尔马克（Erich von Tschermak），各自独立地发表了一个奇妙的植物杂交实验结果——子一代显性性状与隐性性状的分离比总是接近3：1（表15-1）。此结果验证了孟德尔的遗传定律。

表 15-1 三位科学家的实验结果

科学家	杂交实验	结果
德弗里斯	用花带黑斑的罂粟与花带白斑的罂粟杂交	花带黑斑的罂粟有1095株，花带白斑的有358株，比例接近3：1
科伦斯	用黄色种子的豌豆与绿色种子豌豆的杂交	黄色种子有619粒，绿色种子有206粒，比例接近3：1
切尔马克	用黄色种子的豌豆与绿色种子的豌豆杂交	黄色种子的种子有1087粒，绿色种子的有370粒，比例接近3：1



问题探讨

1. 什么是显性性状与隐性性状？
2. 怎么解释子一代显、隐性性状的分离比总是接近3：1？



“种瓜得瓜，种豆得豆”反映了人类对生物遗传现象的概括。人类对遗传规律的探索，大量地体现在农作物和家畜育种等的实践活动中，但真正有理论意义的遗传学，公认是从19世纪中叶孟德尔做豌豆杂交实验开始的。

奥地利学者孟德尔（Gregor Mendel）种植了豌豆、山柳菊、玉米等多种植物，进行杂交实验。经过多年的研究，其中豌豆的杂交实验非常成功。孟德尔通过分析豌豆杂交实验的结果，发现了生物遗传的基本规律。



图 15-1 孟德尔

豌豆

豌豆（*Pisum sativum*）是有性繁殖的植物，雌雄同株（图15-2）。豌豆的花是闭合的，未开花之前就完成授粉，其雌蕊和雄蕊都在闭合的花瓣中间，可以防止外来花粉的干扰。所以，在自然状态下，豌豆是严格地自花授粉的，即同一朵花中的精子与卵细胞完成受精作用。因此，要进行人工授粉杂交实验时，就要在花粉未成熟前打开花瓣，人工去除母本的全部雄蕊后，套袋保护。等父本花粉成熟后，用毛笔蘸取花粉涂抹到母本柱头（图15-3）。人工授粉完成后仍需套袋保护，这样就可防止其他非实验花粉的干扰。

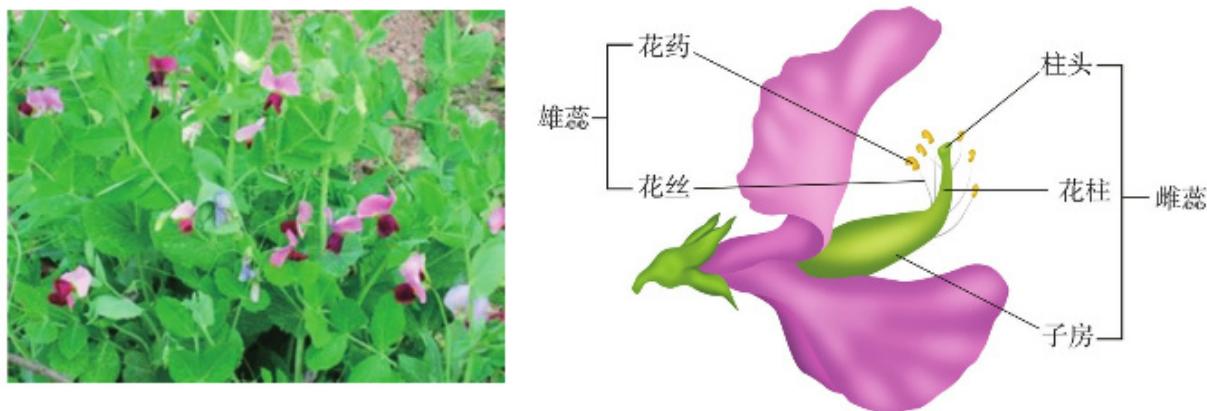


图 15-2 豌豆植株和它的花

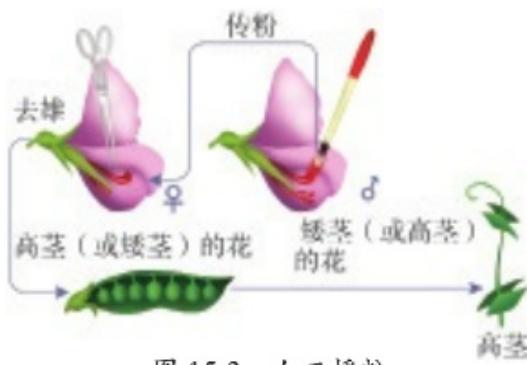


图 15-3 人工授粉

豌豆很适合作为杂交实验的材料，因为豌豆易于栽培、生长期短、严格自花授粉、能保持纯种、花大便于人工去雄和授粉、具有易于区分的性状。孟德尔挑选了其中七对性状进行杂交实验（图15-4）。

性状	显性	隐性
种子形状	圆滑	皱缩
子叶颜色	黄色	绿色
豆荚形状	膨大	缢缩
豆荚颜色	绿色	黄色
花的颜色	紫色	白色
花的位置	叶腋	茎顶
茎的高度	高茎	矮茎

图 15-4 孟德尔研究过的豌豆的七对性状

一对相对性状的杂交实验

孟德尔把精心挑选纯种的高茎豌豆和矮茎豌豆作为亲代（parental generation, P）进行杂交，产生子一代（first filial generation, F₁）。结果发现，所有的F₁都长得像高茎的亲本一样高，矮茎的性状似乎消失了。

接着，孟德尔把F₁的种子播种下去，让长出的豌豆进行自花授粉，发现子二代（second filial generation, F₂）约有 $\frac{3}{4}$ 的植株与高茎亲本及F₁一样高，剩下的 $\frac{1}{4}$ 植株则长成和矮茎亲本一样高，矮茎的性状重新出现了（图15-5）。

孟德尔把F₁中表现的亲本性状称为显性性状（dominant trait），如高茎。不表现的亲本性状称为隐性性状（recessive trait），如矮茎。高茎和矮茎称为一对相对性状。F₁植株自花授粉后产生F₂，在F₂中又出现了F₁中不表现的隐性性状。

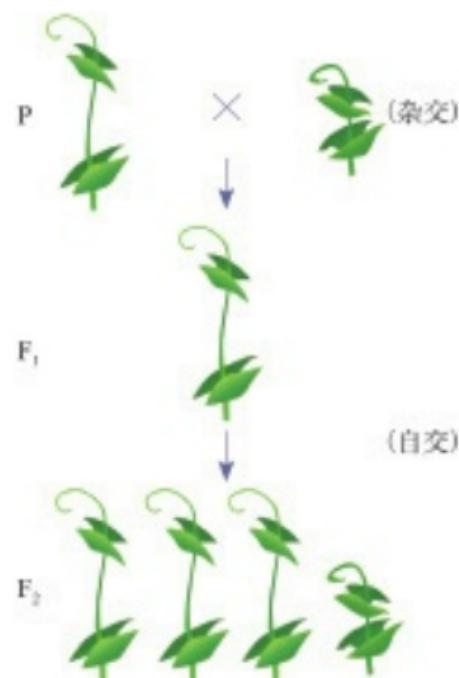


图 15-5 高茎豌豆与矮茎豌豆的杂交实验



孟德尔又做了其他六对相对性状的杂交实验。令人惊奇的是，实验结果无一例外地和上述实验相同： F_1 只表现出显性性状； F_2 同时表现显性和隐形性状，且显性与隐性的比例接近3：1（表15-2）。

表15-2 孟德尔豌豆杂交实验结果

研究的性状	性状		F_1 表现的性状	F ₂ 表现的性状及数量比值		
	显性	隐性		显性	隐性	显性：隐性
种子形状	圆滑	皱缩	圆滑	5474	1850	2.96 : 1
子叶颜色	黄色	绿色	黄色	6022	2001	3.01 : 1
豆荚形状	膨大	缢缩	膨大	882	299	2.95 : 1
豆荚颜色	绿色	黄色	绿色	428	152	2.82 : 1
花的颜色	紫色	白色	紫色	705	224	3.15 : 1
花的位置	叶腋	茎顶	叶腋	651	207	3.14 : 1
茎的高度	高茎	矮茎	高茎	787	277	2.84 : 1

为了解释这个比例，孟德尔提出了以下假设：①遗传性状是由遗传因子决定的；②遗传因子在体细胞内是成对的，一个来自父本，一个来自母本；③在形成配子时，成对的遗传因子发生分离，结果使每个配子（精子或卵细胞）只得到每对遗传因子中的一个；④受精时，雌雄配子的结合是随机的；⑤当显性因子和隐性因子共存于一个植株中时，表现出显性性状；两个因子均为显性因子时，植株也表现显性性状；只有两个因子都为隐性时，隐性性状才得以表现。

实验假设的验证

孟德尔为了验证以上假设的合理性，又巧妙地设计了测交实验，让 F_1 与隐性纯合子杂交。依据他的假设进行演绎推理， F_2 的高茎与矮茎的比例应为1：1，测交实验的结果完全符合这个理论值。

孟德尔对其他六对相对性状也分别做了测交试验，结果无一例外地都接近1：1的比例。这些实验结果有力地支持了孟德尔的假设。

孟德尔认为，生物的每一个性状都是由一对遗传因子所控制的，在产生配子时会彼此分离，分离后的遗传因子分别进入不同的配子中。这就是分离定律（law of segregation）。

这个定律解释了许多有关遗传的问题。例如，为什么性状在 F_1 消失了，在 F_2 又出现了？为什么 F_2 中的显、隐性性状的比例总是接近3：1？

因此，这个定律对了解遗传学及演化（见第19章）是十分重要的。



假说演绎法

假说演绎法是在观察和分析的基础上提出问题以后，提出解释问题的假说，根据假说进行演绎推理，再通过实验检验演绎推理的正确性。

假说演绎过程包括：发现问题→提出假说→演绎推理→检验假说→得出结论（图15-6）。如果实验结果与假说相符，就证明假说是成立的；反之，则是不成立的。

假说演绎法是科学的研究中常用的一种科学方法。孟德尔通过豌豆杂交实验，创造性地把此方法应用到生物科学研究中，取得了重大发现。

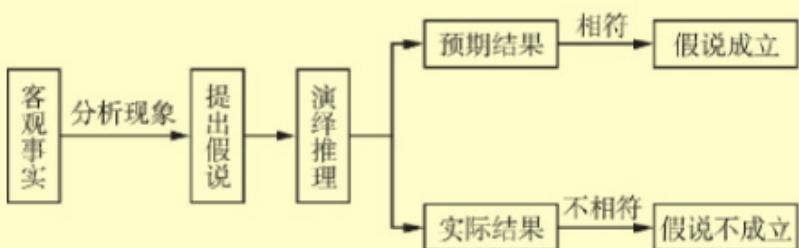


图 15-6 假说—演绎推理的逻辑关系

孟德尔实验结果的现代解释

在孟德尔开展研究的时代，人们尚不了解DNA、染色体、减数分裂等概念。因此，他未能取得直接证据以支持他的假设。不过，今天我们通过对染色体与减数分裂的认识，证明了孟德尔的观点是正确的。

孟德尔当时所描述的“遗传因子”，现在称为基因。基因是染色体上一小段带有遗传信息的DNA序列，它有两个特点：一是能精确地自我复制，以保持生物的基本特征；二是会突变，给自然选择带来一些选择材料。

基因通过指导蛋白质的合成来表达自己所携带的遗传信息，从而控制生物个体的性状表现。控制同一种性状的基因位于同源染色体上相同的位置，称为等位基因（allele）。控制显性性状的基因称为显性基因（以英文字母大写表示），控制隐性性状的基因称为隐性基因（以英文字母小写表示）。图15-7表示基因、等位基因与染色体的关系。



按照孟德尔的假设，拥有两个高茎的基因（DD），或者一个高茎和一个矮茎的等位基因组合（Dd），都能表现出高茎的性状。只有两个矮茎基因（dd）才能表现出矮茎的性状。茎的高度是植物可观察的性状，高茎和矮茎则是这种性状的不同表现形式，称为一对相对性状。这种可观察的性状称为植物的表现型（phenotype）。“DD”、“Dd”、“dd”则显示出植物的基因组合，称为基因型（genotype）。

遗传图解

我们可以用遗传图解来表示高茎豌豆与矮茎豌豆的杂交实验。由于亲本是纯种的豌豆，所以，每个亲本的两个基因都是相同的。因此，亲本中高茎豌豆的基因型是“DD”，矮茎豌豆的基因型是“dd”。

在进行减数分裂产生配子时，成对的基因会分离。因此，纯种的高茎亲本产生的配子只含一种等位基因D，纯种的矮茎亲本产生的配子只含一种等位基因d，经受精后，即D与d结合形成了Dd（图15-8）。由于D为显性基因，所以F₁全部为高茎的豌豆。这种个体的基因型中含有一对不同的等位基因，称为杂合子（heterozygote），像亲本这样的基因型中含有一对相同的等位基因，称为纯合子（homozygote）。

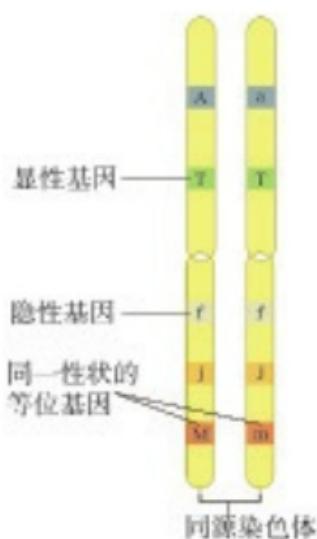


图 15-7 基因、等位基因与染色体的关系

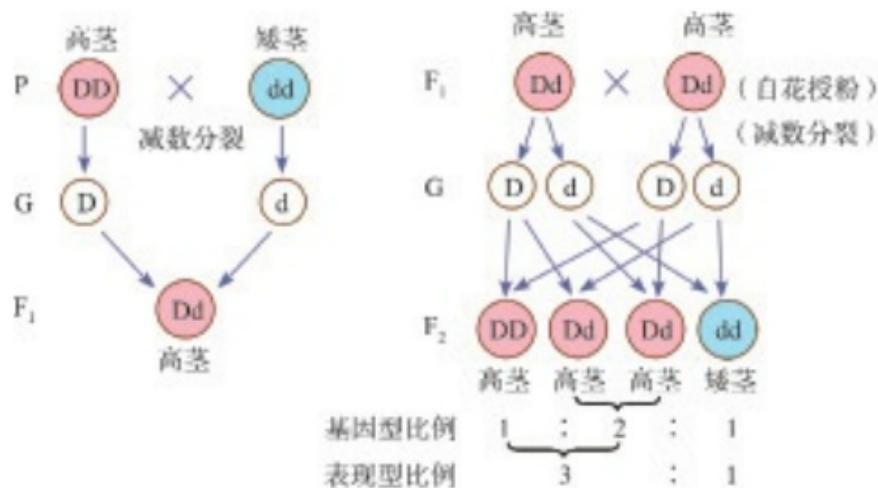


图 15-8 高茎豌豆与矮茎豌豆杂交试验的遗传图解

将F₁个体进行自花授粉，Dd经减数分裂产生的配子含有等位基因D与d，两者数目相等。受精时，雌雄配子的结合是随机的。结合方式有四种，其中有三种基因型（DD、Dd和dd），形成两种表现型（高茎和矮茎）。有些子代在生长过程中会死亡，因此实际所得到的表现型比例与理论值会有出入。

我们也可以用庞氏表（Punnett Square）来表示杂交可能产生的基因型和表现型。这种方法可以免去许多连线互相重叠而造成的混乱状况。图15-8中F₁自花授粉的结果可以用庞氏表来表示（图15-9）。

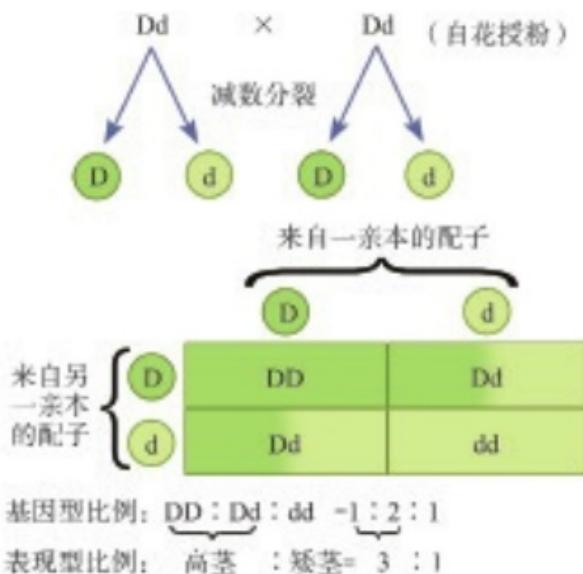


图 15-9 杂合型高茎豌豆自交的庞氏表



活 动

利用测交的结果来鉴定亲代的基因型

测交可以用来测定显性性状的基因型。在测交实验中，让个体与隐性纯合子杂交，然后根据子代所呈现的表现型和比例来确定个体的基因型。

活动要求

- 运用测交的结果检验亲代基因型。
- 掌握遗传图解。

活动步骤

已知某植物的花色红色为显性，白色为隐性。



1. 运用测交结果检验某红花植株的基因型（杂合子或纯合子）。
2. 各小组相互交流学习成果。



理性思维

1. 分析 为什么测交实验能鉴定亲代的基因型？
2. 讨论 书写遗传图解时要注意哪些方面？

在孟德尔所研究的豌豆的七对相对性状中，所有的性状都是由显性或者隐性两种等位基因控制的。但实际上，许多遗传模式要比孟德尔所研究的要复杂得多，许多性状并不是简单的显性或者隐性性状，这就涉及显性的相对性问题，即不完全显性与共显性。

不完全显性

不完全显性是指具有相对性状的纯合亲本杂交后， F_1 显现中间类型的现象。例如，纯合子的红花金鱼草与纯合子的白花金鱼草杂交，所有的 F_1 的表现型均为粉红色的花（图 15-10）。在这里等位基因的分离符合分离定律。然而由于两个等位基因都不是显性，所以 F_1 都是粉红色花，当 F_1 自交，产生的 F_2 的表现型比例为红色：粉红色：白色=1：2：1。

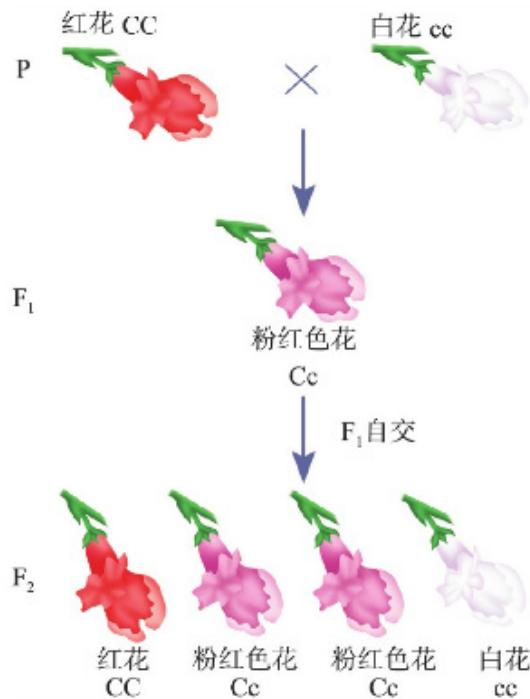


图 15-10 金鱼草花色的遗传

共显性

在生物性状的遗传中，如果两个亲本的性状，同时在 F_1 的个体上显现出来，而不是单一的表现为中间性状，这种显性表现叫做共显性。例如，红毛马（RR）与白毛马（rr）交配， F_1 是两色掺杂在一起的混花毛马（Rr）。马的毛色遗传表明，Rr这一对等位基因之间互不遮盖，红色毛与白色毛这两个亲本所具有的性状都在杂合体（ F_1 ）身上同时得到了显现。

此外，人类的ABO血型也是共显性的例子。控制血型遗传的等位基因有三个（ I^A 、 I^B 、 i ），属于复等位基因。但是，每个人只可能有其中两个基因。在这三个基因中， I^A 和 I^B 都对*i*为显性，而 I^A 和 I^B 之间则无显隐性关系，两者之间互不遮盖，而是同时表现，即是共显性。因此ABO血型有六种基因型（表15-3）及四种表现型。

表 15-3 ABO 血型的基因型

血型	A型	B型	AB型	O型
基因型	I^AI^A , I^Ai	I^BI^B , I^Bi	I^AI^B	ii

明白了血型的基因型，我们便可由一对夫妇的血型推测其子女的血型，这也是法律上用来鉴定婴儿父母权的方法之一。例如，AB型的男性与O型女性结婚，其子女的血型只能是A型或B型；A型（ I^Ai ）男性与B型（ I^Bi ）女性结婚，其子女的血型便会有四种可能（图15-11）。

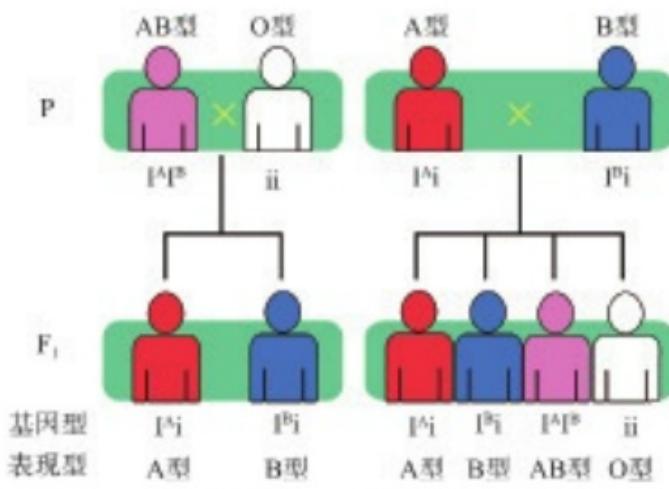


图 15-11 血型的遗传



科学轨迹

基因的发现

1865年，遗传学的奠基人孟德尔指出，生物每一个性状都是通过遗传因子来传递的，遗传因子是一些独立的遗传单位。这样把可观察的遗传性状和控制它的内在的遗传因子区分开来了，遗传因子作为基因的雏形名词诞生了。

1909年，丹麦学者约翰森（Wilhelm Johannsen）提出了基因这一名词，用它来指任何一种生物中控制任何性状而其遗传规律又符合孟德尔定律的遗传因子，并且提出基因型和表现型这两个术语。

1910年，美国遗传学家摩尔根（Thomas Hunt Morgan）在果蝇中发现白色复眼突变型，首先说明基因可以发生突变。

1928年，英国科学家格里菲斯用肺炎链球菌对老鼠做侵染实验，发现用热杀死的S型细菌可以释放出某种转化因子。虽然当时他没有回答转化因子是什么，但为此后研究遗传物质的化学性质提供了方向。

1950年，美国遗传学家麦克林托卡（Barbara McClintock）在玉米染色体组中首先发现移动基因。

1953年，沃森和克里克提出了著名的DNA分子的双螺旋结构模型。

1966年，“一个基因一条多肽链”的生物学过程得到充分证明，并于1967年发表了全套的遗传密码表，初步揭开了基因表达之谜。

1973年，诞生了重组DNA技术，即基因工程。此后，随着分子生物学的迅速发展，人们对基因的认识不断深化。

2003年，国际人类基因组组织（Human Genome Organisation）完成人类基因组图谱。



理性思维

1. 讨论 以基因发现过程为例，讨论科学研究是在前人的基础上逐步积累和进步的。

2. 关注 持续关注基因研究的进展，并与同学交流。


自我检测

- 1 豌豆作为试验材料是孟德尔取得成功的关键之一。下列关于豌豆的描述不符合事实的是（ ）
- A. 雌雄同株 B. 有性生殖 C. 闭花授粉 D. 异花授粉
- 2 等位基因 A 与 a 最本质的区别是（ ）
- A. 基因 A 能控制显性性状，基因 a 能控制隐性性状
 B. 在减数分裂时，基因 A 与基因 a 分离
 C. 两者的碱基序列不同
 D. 基因 A 对基因 a 起显性的作用
- 3 孟德尔的杂交实验中包含了如图 15-12 所示的过程，对图中涉及的①、②操作描述不恰当的是（ ）



图 15-12

- A. ①和②的操作是同时进行的 B. ①的操作是人工去雄
 C. ②的操作是人工授粉 D. ②的操作后要对雌蕊套袋
- 4 牛的黑毛和棕毛是一对相对性状，且黑毛(B)对棕毛(b)是显性。已知两头黑毛牛交配，生出了一头棕毛小牛。

请回答以下问题：

- (1) 这两头黑毛牛的基因型如何？棕毛小牛的基因型如何？
- (2) 绘出这两头黑毛牛交配产生子一代的遗传图解。
- (3) 这两头黑毛牛是否能生出黑毛小牛？如果可能，生黑毛小牛的概率是多少？



15.2 基因自由组合定律



学习目标

- ★ 概述基因自由组合定律。
- ★ 运用遗传图解进行相应的计算。
- ★ 感悟科学理论的建立要经历不断修正和发展的过程。

模特与教授

一位相貌出众的女模特儿对一位教授说：“咱俩结婚吧，我们的孩子一定会像我一样美貌，像你一样聪明。”教授幽默地回答说：“如果我们的孩子像我一样丑貌，像你一样愚蠢，那可如何是好？”



图 15-13 神秘的遗传



问题探讨

1. 模特与教授的说法合理吗？
2. 什么是自由组合定律？

孟德尔在豌豆一对相对性状杂交实验的基础上，又对两对相对性状的遗传进行了研究，从而揭示出自由组合定律。

两对相对性状的杂交实验

孟德尔把黄色圆滑的纯种豌豆与绿色皱缩的纯种豌豆进行杂交。 F_1 的豌豆种子全部为黄色圆滑，也就是说黄色性状相对于绿色性状是显性的，圆滑性状相对于皱缩性状是显性的。随后，孟德尔让 F_1 豌豆植株自花授粉，在最后收获的556粒种子中，黄

色圆滑、绿色圆滑、黄色皱缩、绿色皱缩的数量依次是315、108、101和32。这些数量的比例接近9:3:3:1(图15-14)。该如何解释这个结果呢?

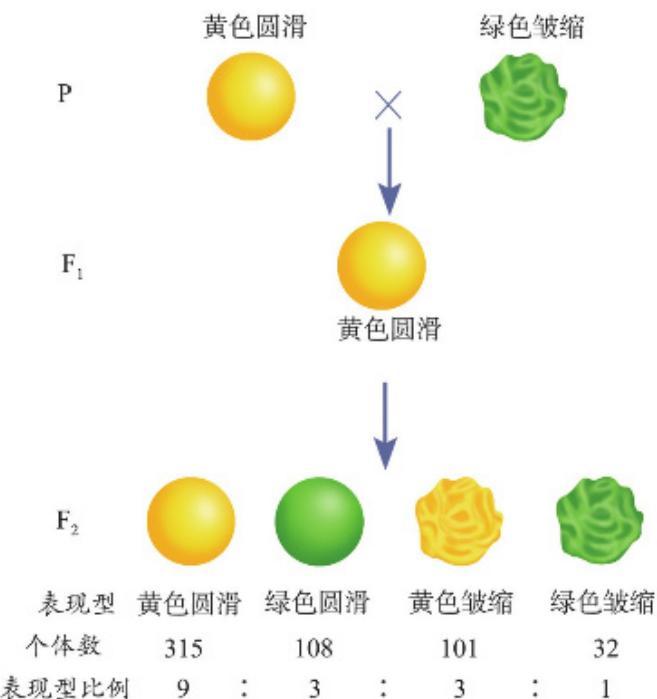


图15-14 黄色圆滑豌豆与绿色皱缩豌豆的杂交实验结果

对基因自由组合现象的解释

如果对每对相对性状进行单独分析，其结果是：圆滑与皱缩的比例接近3:1，黄色与绿色的比例接近3:1。这就表明，豌豆的种子颜色和种子形状的遗传是遵循分离定律的。

孟德尔假设：豌豆的种子颜色和种子形状分别由一对基因控制，即黄色和绿色分别是Y和y，圆滑和皱缩分别由R和r控制。这样，纯种的黄色圆滑和绿色皱缩的基因型就分别是YYRR和yyrr，它们的配子分别是YR和yr。受精后的F₁的基因型是YyRr。Y对y、R对r为显性，故F₁的表现型是黄色圆滑。

F₁产生配子时，按分离定律，每对基因彼此分离，即Y与y分离，R与r分离。同时，不同对的基因可自由组合，即Y可以与R或r组合，y可以与R或r组合。这里等位基因的分离和不同对基因之间的组合是彼此独立、互不干扰的。这样，F₁产生的雌配子和雄配子就各有四种(YR、Yr、yR和yr)，其比例接近1:1:1:1。受精时雌雄配子的结合是随机的，结合的方式就有16种，其中含九种基因型(YYRR、YYRr、YYrr、YyRR、YyRr、Yyrr、yyRR、yyRr和yyrr)和四种表现型(黄色圆滑、黄色皱缩、绿色圆滑、绿色皱缩)。四种表现型的比例接近9:3:3:1(图15-15)。

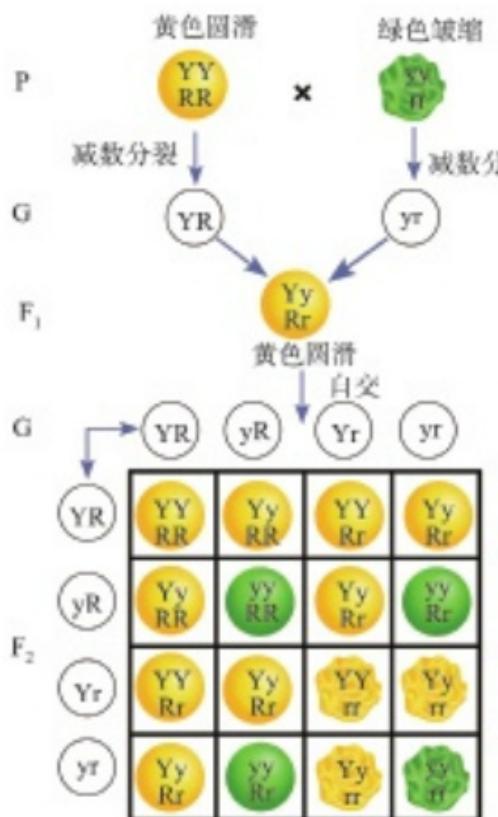


图 15-15 两对相对性状杂交实验的遗传图解

对基因自由组合现象解释的验证

孟德尔为了验证以上解释的合理性，又做了测交实验。他把F₁（YyRr）与双隐性纯合子（yyrr）杂交。按孟德尔的假设，F₁可产生四种配子，即YR、Yr、yR、yr，且数量相等。而隐性纯合子只产生yr。测交的结果应当产生四种后代：黄色圆滑（YyRr）、黄色皱缩（Yyrr）、绿色圆滑（yyRr）和绿色皱缩（yyrr），并且其比例应当接近1:1:1:1（图15-16）。

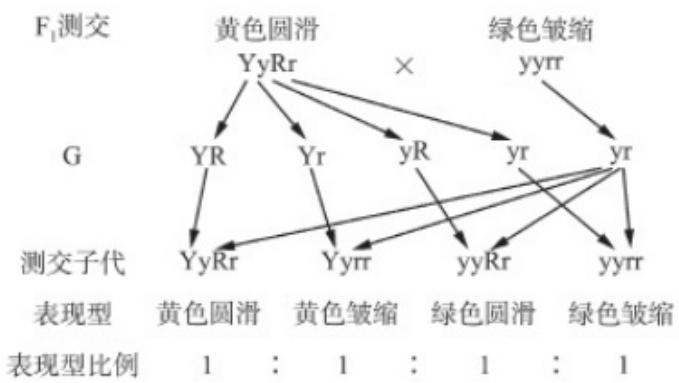


图 15-16 两对相对性状的测交实验的遗传图解

孟德尔所做的测交实验，无论是以 F_1 作母本还是作父本，结果都符合预期，即表现型的比例都接近1:1:1:1（表15-4），从而证实了 F_1 在形成配子时，不同对的基因是自由组合的。

表 15-4 豌豆两对相对性状遗传的 F_1 测交实验结果

表现型		黄色圆滑	黄色皱缩	绿色圆滑	绿色皱缩
F_2 种子数	F_1 作母本	31	27	26	26
	F_1 作父本	24	22	25	26
表现型比例		1 : 1 : 1 : 1			

自由组合定律

孟德尔根据两对相对性状杂交与测交试验的结果，提出了自由组合定律（law of independent assortment）。该定律认为，在形成配子的过程中，等位基因分离的同时，非等位基因表现为自由组合。

自由组合定律在应用中有不少例外，如美国的遗传学家摩尔根发现位于一对同源染色体上的非等位基因的遗传方式。因此，自由组合定律只适用于非同源染色体上的非等位基因的遗传。



知识补给站

摩尔根遗传定律

美国遗传学家摩尔根（图15-17）和他的同事们，用果蝇做实验材料进行了大量的遗传学研究工作，揭示出了遗传的另一个基本规律，即基因的连锁和互换。位于同一条染色体上的非等位基因，彼此不遵守自由组合定律，而随着染色体一起分配到同一个配子中的这种现象，称为连锁。同一连锁群的各对等位基因之间可以发生交换而重组，这种现象称为互换。



图 15-17 摩尔根



完全连锁遗传 (complete linkage inheritance)

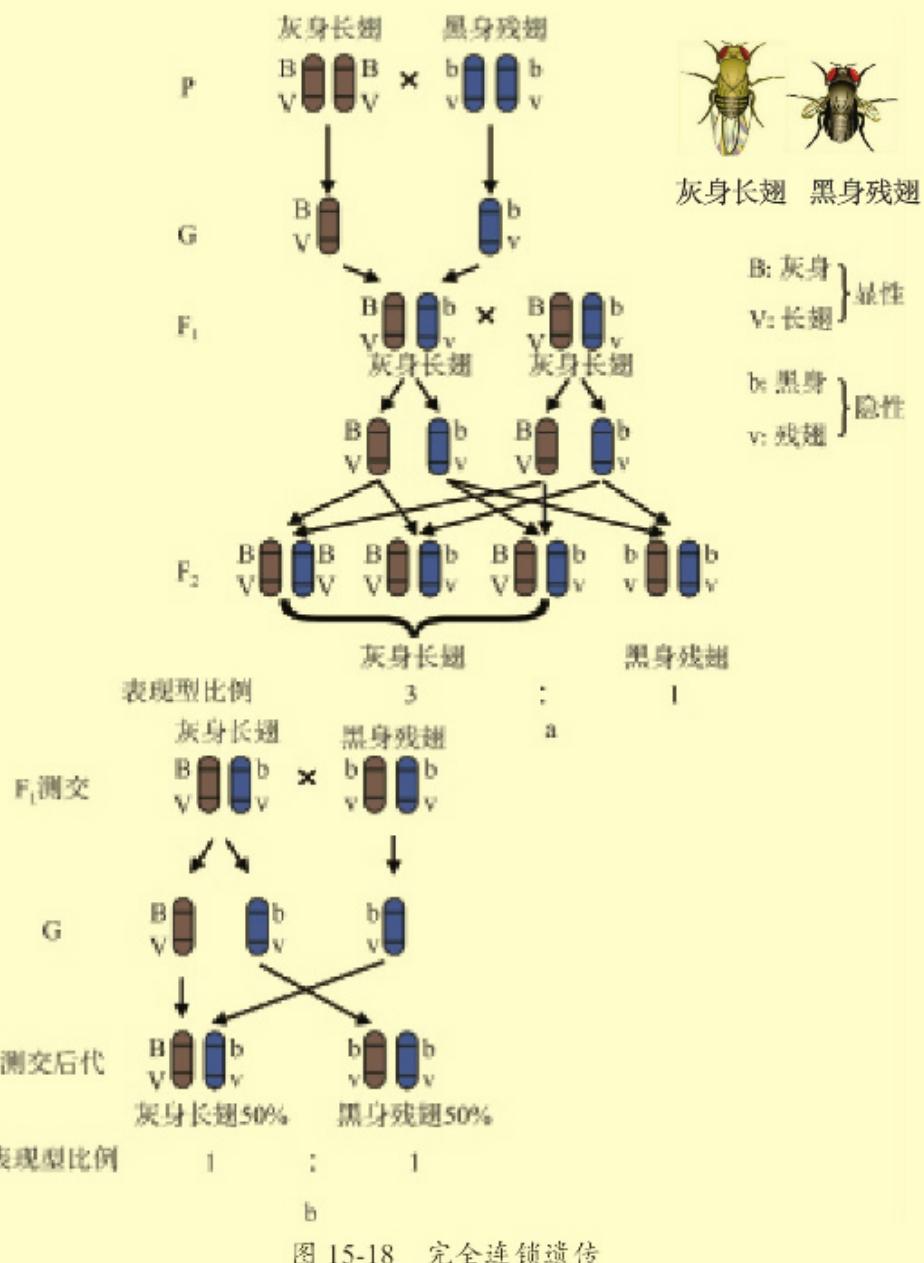


图 15-18 完全连锁遗传

摩尔根用纯种灰身长翅果蝇与纯种黑身残翅果蝇交配，所得F₁都是灰身长翅。然后让F₁自交，所得结果是灰身长翅和黑身残翅的比例为3:1，这和孟德尔的两对相对性状的遗传F₂的比例9:3:3:1完全不同（图15-18a）。

摩尔根又让F₁与双隐性类型的果蝇测交，测交的结果只出现两种和亲本完全相同的表现型，且比例为1:1（图15-18b）。按照孟德尔的自由组合定律，测交

后代应出现四种表现型，且比例为 $1:1:1:1$ 。很明显，这个测交的结果是无法用自由组合定律来解释的。

摩尔根认为果蝇的体色和翅长基因位于一对同源染色体上，在形成配子时，位于同一条染色体上的两个基因（B和V、b和v）就不能分离，而是连在一起传递给后代，这种现象称为连锁。在上述果蝇的实验中，只有基因的连锁，没有基因之间的互换，这种连锁是完全连锁。在完全连锁中，后代只表现出亲本类型。

环境对基因表达的影响

基因决定表现型，但并不是说环境因素在遗传性状的表现中不起作用。基因在一定的内、外环境条件下进行表达，从而使个体出现一定的性状。因此，在基因型确定的情况下，不同环境因素会影响基因的表达，从而导致相应性状的改变。

例如，人的身高是由几个基因共同协作来决定的，但是，如果食物中缺少蛋白质、矿物质或其它营养成分时，身高就达不到潜在的高度。

又如，刚出生的暹罗猫的毛是浅色的，但在出生后的前几个星期，它们的耳朵、鼻子、爪子和尾巴都会变成黑色（图15-19），原因在于暹罗猫体内产生黑色素的酶在 34°C 以上时会失去活性。而在母猫的子宫中，未出生的小猫都处在非常温暖的环境中，该酶失去活性，没产生黑色素，故刚出生的暹罗猫的毛色都是浅色的。出生后，暹罗猫的耳朵、鼻子、爪子和尾巴等部位，比身体的其他部位要冷一些，因此这些部位毛皮中就产生了黑色素，变成黑色。



图 15-19 暹罗猫毛色



理性思维

- 调查** 通过网络等途径收集环境因素影响个体表现型的例子。
- 讨论** 对收集到的例子进行分析，讨论我们是否可以通过改变环境条件来调控基因的表达。



活 动

环境因素如何影响个体的表现型

在人类和其他生物体中，基因的作用常常受到外界环境因素的影响。人体的许多特征都是由基因和环境因素相互作用而决定的。

活动目的

1. 简述环境因素怎样影响一个人的技能，如弹奏音乐乐器。
2. 列举更多环境因素影响表现型的例子。

活动过程

1. 寻找在某个音乐领域卓有成就的音乐家，搜索他/她的家族其他成员在音乐方面的成就，探索他/她的成长之路。
2. 通过网络或图书资源搜索更多环境因素影响表现型的例子。
3. 分析环境因素是如何影响个体表现型的。
4. 与其他同学交流自己的学习成果。



理性思维

1. 构建因果关系 分析音乐家音乐技能非常突出的原因。
2. 得出结论 哪些环境因素会影响个体的表现型？



自我检测

- 1 基因型为 $YYRr$ 的个体与隐性纯合子个体测交，其后代的基因型有（ ）
 A. 一种 B. 二种 C. 三种 D. 四种
- 2 孟德尔用豌豆进行两对相对性状的杂交试验，得出了基因的自由组合定律。在孟德尔进行实验时，下列哪个因素可以不列入考虑范围？（ ）
 A. 对母本去雄，授以父本花粉 B. 两对相对性状各自要有显隐性关系
 C. 显性亲本作父本，隐性亲本作母本 D. 亲本的双方必须都是纯合子
- 3 已知水稻的高秆 (T) 对矮秆 (t) 为显性，抗病 (R) 对感病 (r) 为显性，这两对基因独立遗传。现将一株表现型为高秆抗病植株的花粉授给另一株表现型相同的植株，所得后代表现型是：高秆 : 矮秆 = 3 : 1，抗病 : 感病 = 3 : 1。根据以上实验结果，下列叙述不恰当的是（ ）
 A. 以上后代群体的表现型有四种
 B. 以上后代群体的基因型有九种
 C. 以上两株亲本可以分别通过不同杂交组合获得
 D. 以上两株表现型相同的亲本，基因型不相同
- 4 分析孟德尔的两对相对性状杂交试验结果，回答下列三个问题。
 (1) 两对相对性状分别是指什么?
 (2) 每对相对性状单独分析时， F_2 中每一对相对性状的比例如何？说明了什么？
 (3) F_2 的四种表现型与亲本的两对相对性状之间有什么关系？



15.3 性别决定与伴性遗传



学习目标

- ★ 描述性别决定。
- ★ 举例说明伴性遗传的方式与规律。

色盲症的发现

1792年，英国物理学家道尔顿（John Dalton）给母亲买了一双棕灰色的袜子。妈妈觉得樱桃红色的袜子太鲜艳了。道尔顿感到奇怪，袜子明明是棕灰色的，为什么妈妈说是樱桃红色呢？疑惑不解的他请了许多人帮忙识别，绝大多数人都说这袜子是樱桃红色的。他开始研究这种奇特的生物现象，终于弄清了先天性色觉障碍疾病的病因，于1794年发表了《视觉之异常》的论文，为医学诊断做出了突出的贡献。



图 15-20 正常色觉的人（左）和色盲患者（右）所见图像的差异



问题探讨

1. 色盲症是怎样遗传的？
2. 性别是由什么决定的？

在生物界，同是受精的卵细胞，为什么有的会发育成雌性的？有的会发育成雄性的？为什么男性红绿色盲患者多于女性？这些都涉及性别决定和伴性遗传的问题。

性别决定

以人为例，人的体细胞有23对染色体，第1~22对是男女一样的染色体，叫做常染色体（autosome）。第23对决定男女性别的染色体，叫做性染色体（sex chromosome）。在男性的体细胞中，两条性染色体中较大的叫做X染色体，较小的叫做Y染色体。在女性的体细胞中，两条性染色体相同，都是较大的X染色体（图15-21）。

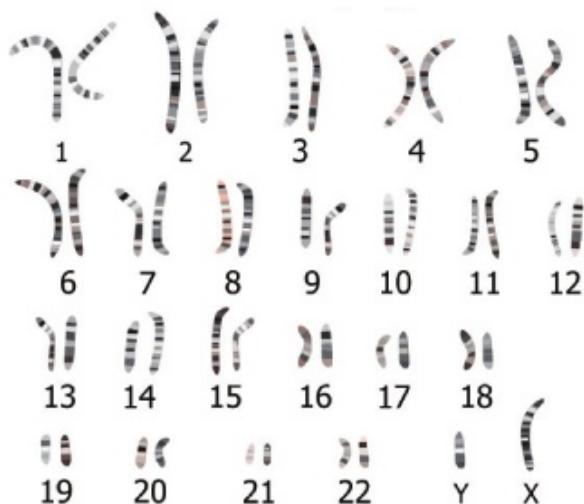


图 15-21 人的体细胞中有 23 对染色体

在减数分裂产生精子时，男性个体的精原细胞可产生含X染色体的精子和含Y染色体的精子，且这两种精子的数目相等。女性个体的卵原细胞在减数分裂形成卵子时，只产生一种含X染色体的卵细胞。受精时，精子和卵细胞随机结合，因此，可能形成含XX的受精卵或含XY的受精卵。前者发育为女性，后者发育为男性（图15-22）。

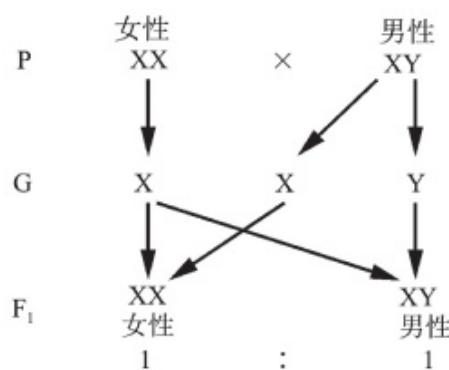


图 15-22 人类性别决定图解



理性思维

1. 思辨 夫妇有权利选择他们子女的性别吗?
2. 生命伦理 如果夫妇可以选择子女的性别，会造成怎样的生命伦理方面的争议?



知识补给站

各种生物的性别决定

生物的性别决定有四种类型：XY型、XO型、ZW型和单倍体一二倍体型（图15-23）。

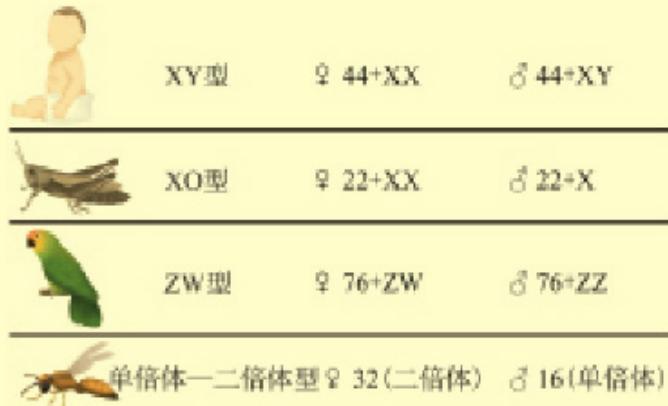


图 15-23 性别决定类型

XY型 雄性个体含有两个异型的性染色体（XY），雌性个体含有两个同型的性染色体（XX）。XY型性别决定比较普遍，很多种类的昆虫、某些鱼类和两栖类、所有哺乳动物以及很多雌雄异株的植物（如菠菜、大麻）等都属于此类。

XO型 雌性的性染色体成对为XX，而雄性只有单一的X染色体。如直翅目昆虫。

ZW型 雄性的一对性染色体为纯合子ZZ，雌性为杂合子，有一条Z染色体和一条W染色体。这种性别决定正好与XY型相反。如鸟类、鳞翅目昆虫等。

单倍体一二倍体型 蜜蜂和蚂蚁的体细胞中没有性染色体，它们的性别决定比较特殊。由经过受精的卵发育而成的二倍体个体为雌性，未经过受精的卵发育而成的单倍体个体则是雄性。

伴性遗传

人们研究遗传时发现，有些性状的遗传与性别有关，这就是伴性遗传。例如，人类的红绿色盲的遗传就属于伴性遗传。红绿色盲是一种常见的人类遗传病，患者由于色觉障碍，不能像正常人那样区分红色和绿色。

红绿色盲是由位于X染色体的隐性基因（b）控制的，Y染色体无此基因。因此，红绿色盲是随着X染色体向后代传递的。根据基因B和基因b的显隐性关系，其遗传方式有以下几种情况。

如果一位色觉正常的女性（纯合子）和一位红绿色盲的男性结婚（图15-24），其子女中，儿子色觉正常，女儿从父亲那里得到了一个红绿色盲基因，故是色觉正常的红绿色盲基因携带者。这说明，父亲的红绿色盲基因随着X染色体传给了女儿，不是传给儿子。

如果女性是红绿色盲基因携带者，和一个正常的男性结婚（图15-25），其子女中，儿子有 $\frac{1}{2}$ 概率正常， $\frac{1}{2}$ 概率是红绿色盲患者；女儿则都不是红绿色盲患者，但有 $\frac{1}{2}$ 概率是携带者。

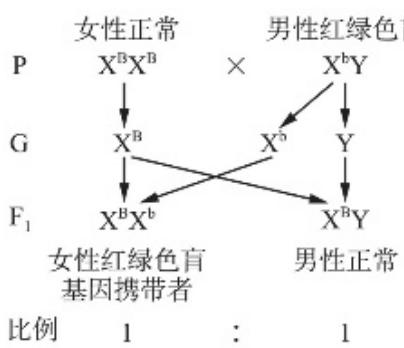


图 15-24 正常女性与男性红绿色盲的婚配图解

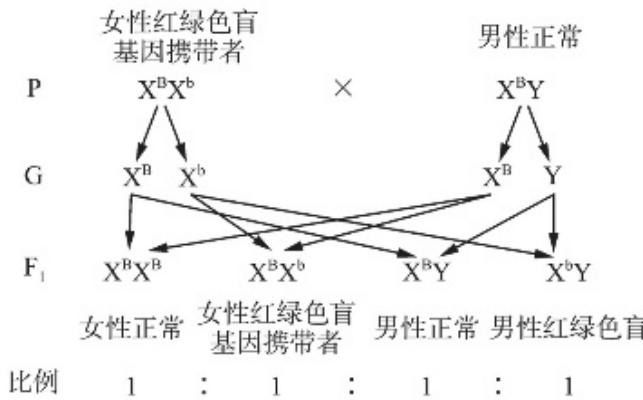


图 15-25 正常男性与女性红绿色盲基因携带者的婚配图解

通过以上分析可以看出，男性的红绿色盲基因只能来自母亲，以后只能传给女儿。只要母亲有红绿色盲基因，儿子就有可能是红绿色盲。而只有夫妇双方都有红绿色盲基因时，女儿才有可能是红绿色盲，所以红绿色盲患者男性比女性多。



理性思维

1. 归纳 完成图15-26和图15-27所示的图解，归纳伴性遗传的特点。

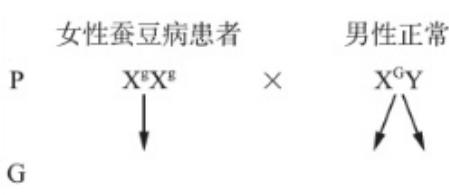


图 15-26 女性蚕豆病患者与正常男性的婚配图解

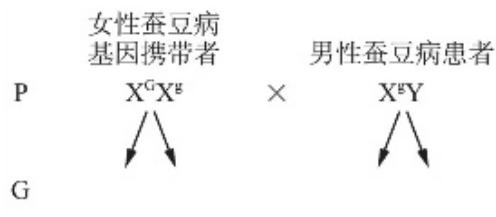


图 15-27 女性蚕豆病基因携带者与男性蚕豆病患者的婚配图解

2. 解释 解释蚕豆病患者中男女数量差别很大的原因。



知识补给站

蚕豆病

蚕豆病（G6PD deficiency）是一种红细胞内葡萄糖-6-磷酸脱氢酶（glucose-6-phosphate dehydrogenase, G6PD）缺乏所导致的疾病，表现为食用新鲜蚕豆或蚕豆制品后引起溶血性贫血，故名“蚕豆病”，其致病机制尚未十分明了。

蚕豆病发生时的轻重程度不尽相同，一般表现为脸色发白、头昏、低烧、畏寒、全身无力、食欲不振、恶心、尿色加深，并伴有呕吐、腹痛、腹泻等症状，重者甚至出现昏迷、休克、脉搏微弱、肾功能衰竭等异常表现。此病发作后，有时2~6天后可自行复原，但严重时若抢救不及时则有生命危险。如果发现以上症状，应立即前往医院救治。

伴性遗传在生物界普遍存在，主要有三种方式：一是由X染色体携带的隐性基因所表现的遗传方式，如人类的血友病、色盲等；二是由X染色体携带的显性基因所表现的遗传方式，如抗维生素D佝偻病；三是由Y染色体携带的基因所表现的遗传方式，如人类的外耳多毛症（图15-28）。



图 15-28 外耳多毛症患者

自我检测

- 1 果蝇的性别决定属于XY型。果蝇的红眼(R)对白眼(r)为显性，该基因位于X染色体上，一只红眼果蝇与一只白眼果蝇交配，子代雄果蝇与亲代雌果蝇眼色相同，子代雌果蝇则与亲代雄果蝇眼色相同。以下结论中不合理的是()
 A. 亲代雄果蝇为红眼，雌果蝇为白眼
 B. 亲代雌雄果蝇体细胞内均不存在等位基因
 C. F₁雌雄个体交配，F₂出现雌白眼果蝇的概率为 $\frac{1}{4}$
 D. F₂雌雄个体基因型不是与亲代相同就是与F₁相同
- 2 调查发现，人类的外耳多毛症总是由父亲传给儿子，女性无此症，下列叙述合理的是()
 A. 该症属于X染色体上的遗传病
 B. 外耳多毛症基因位于常染色体上
 C. 患者的体细胞中有成对的外耳多毛症基因
 D. 患者产生的精子中外耳多毛症基因的占 $\frac{1}{2}$



3 血友病患者在出血时血液凝固缓慢甚至完全不凝固，所以是一种对生命有严重威胁的疾病。在血友病患者的家系调查中，下列说法中不合理的是（ ）

- A. 患者绝大多数是男性
- B. 男性患者（其妻正常，非携带者）的子女都正常
- C. 男性患者（其妻正常，非携带者）的外孙可能患病
- D. 患者的外祖父一定是血友病患者

4 遗传学家在研究甲、乙、丙三只果蝇的两对相对性状的遗传现象时，发现三只果蝇的基因型分别是 EFf(甲) 、 EeFf(乙) 、 eFf(丙) 。

请回答：

- (1) 这两对基因分别位于何种染色体上？
- (2) 三只果蝇中，属于雄性的是哪几只？
- (3) 分别写出甲、乙果蝇形成的配子的基因型。

15.4 常见的人类遗传病



学习目标

- ★ 知道几种常见遗传病的遗传方式。
- ★ 学会绘制和使用家族系谱图。
- ★ 知道近亲结婚的潜在危害，树立正确的优生优育观。

维多利亚女王家族

1840年2月，英国维多利亚女王与她的表弟结婚。婚后育有九个孩子，不幸的是，由于维多利亚本人是血友病基因携带者，她把这种基因传给了三个子女。幼子是血友病患者，次女和幼女是基因携带者。两位公主与欧洲王室联姻后，使得这一可怕的血友病逐渐蔓延开来，导致欧洲王族内至少出现十名血友病患者和六名基因携带者。



图 15-29 维多利亚女王家族



问题探讨

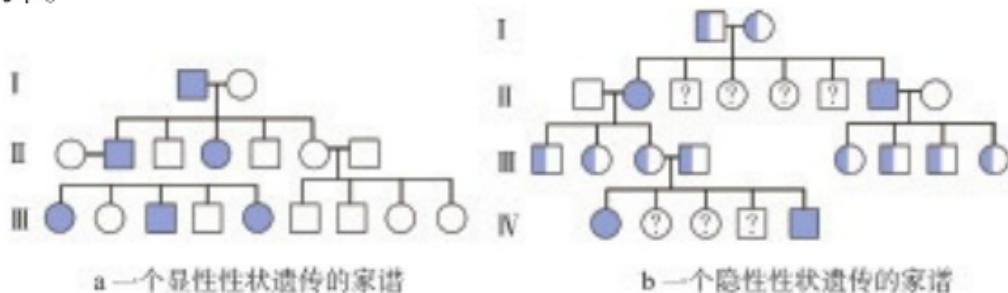
1. 什么是家族系谱图？
2. 人类有哪些常见的遗传病？遗传上分别具有什么样的特点？



人类遗传病是指由于遗传物质的数量、结构或功能发生改变而引起的一类疾病，通常具有垂直遗传的特征。遗传病的研究，基于伦理道德及其他种种的原因，不能进行像豌豆杂交那样的遗传实验。因此，人类遗传学家需要根据历史上和家族史上的医学记录，绘成家族系谱图来研究曾经发生过的遗传病。

家族系谱图

家族系谱图是表示有血缘关系人群的遗传关系的图解（图15-30）。通过研究家族系谱图，可以找出家族中不同成员的可能基因型，也可以预测某个性状在后代中可能出现的概率。



怎样阅读家族系谱图：

I, II, III=世代

□=男性 ○=女性

□-○=婚配

□ ○ ○=子女

■或●=表现出性状

□或○=不表现出性状

■或●=已知的隐性性状携带者(杂合子)

□或?或○=无法从家族系谱图中判断出此人的基因型

图 15-30 家族系谱图

通过患者和患者家族之间的关系可以画出家族系谱图。例如，通过调查维多利亚女王家族的血友病患者，可以画出其家族血友病遗传的系谱图（图15-31）。

遗传学家们通过调查家族系谱图，可以知道特定的遗传性状是显性还是隐性，基因的种类是什么等。目前利用这种方法已经发现了耳垂形状、头发颜色、鼻子形状、拇指形态、酒窝等遗传特征。

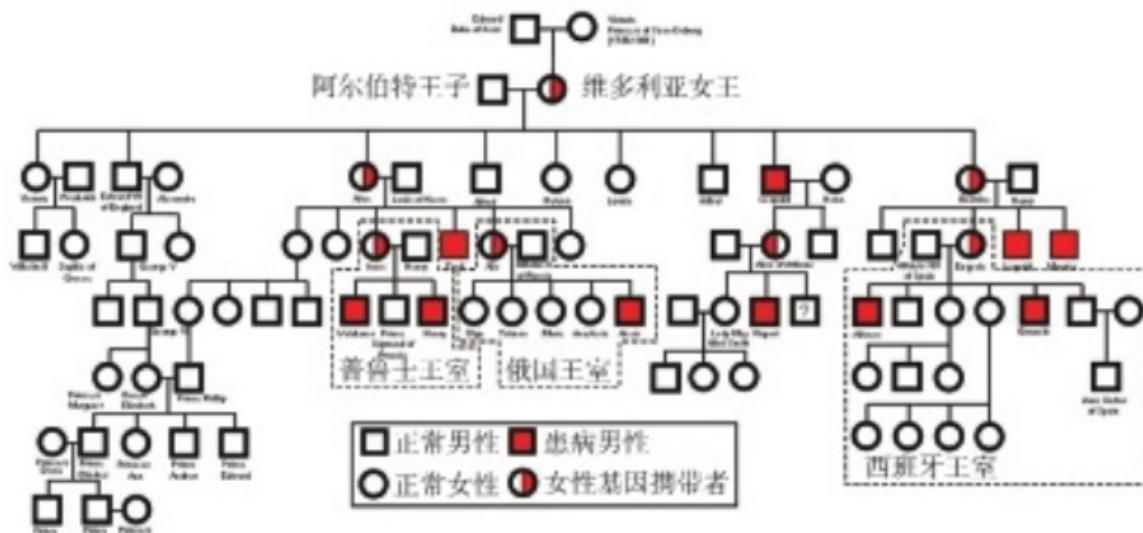


图 15-31 维多利亚女王家族的血友病遗传图解



活 动

利用系谱图分析一个性状在家族中的遗传模式

假如你是一名遗传学家，对家族几代人中的某种遗传性状的发生很感兴趣，你会怎样开展你的研究呢？

目的要求

- 掌握系谱图的绘制技能。
- 利用系谱图分析某种遗传性状的遗传特点。

方法过程

- 选择一种你想要深入了解的遗传性状。
- 分析该性状在家庭成员中的表现情况。
- 绘制该性状遗传的系谱图。
- 各小组集中展示、互相点评所绘制的系谱图。



理性思维

1. 解释图表 解释自己所绘的系谱图是如何反映出它的遗传特点的?
2. 比较和分析 比较、分析各小组所展示的系谱图有什么区别和联系?

血友病

血友病（hemophilia）是一种出血时血液凝固缓慢甚至完全不凝固的遗传病。患者体内无法合成一种凝血时必需的蛋白质，会因为一个小小的刮伤而出血不止，甚至导致死亡。由于碰撞擦伤引起的内部出血对这类病人而言也是极为危险的。血友病是一种受X染色体上隐性等位基因控制的遗传病。由于它和红绿色盲一样也是伴性遗传病，所以男性患者比女性患者更为常见。

白化病

白化病（albinism）是一种较常见的皮肤及其附属器官黑色素缺乏所引起的疾病（图15-32）。该病是由于先天性缺乏酪氨酸酶或酪氨酸酶的功能减退，黑色素合成发生障碍所引起的。这类病人通常是皮肤、毛发、眼睛缺乏黑色素，导致对光高度敏感。因此，几乎所有白化病患者视力都受损，且容易得皮肤癌。白化病属于家族遗传性疾病，为常染色体隐性遗传，常发生于近亲结婚的人群中。



图 15-32 白化病患者

亨廷顿病

亨廷顿病（Huntington disease）是一种以不自主运动、精神异常和缓慢出现智能减退为主要临床特点的显性遗传疾病（图15-33）。其致病基因位于第4号常染色体上。该基因在编码亨廷顿蛋白时，重复复制了CAG碱基序列，导致蛋白质异常，并通过不明机制逐渐损害脑细胞。



图 15-33 亨廷顿病患者



图 15-34 唐氏综合征患者

唐氏综合征

唐氏综合征（Down Syndrome）患者的体细胞中第21号染色体多了一条，总共有47条染色体。引起唐氏综合征最常见的原因是减数分裂过程中染色体的分离发生了错误。唐氏综合征患者有一定程度的智能和生理障碍（图15-34）。



知识补给站

地中海贫血

地中海贫血（thalassemias）是因球蛋白肽链合成障碍而导致的溶血性贫血，是一种常染色体隐性遗传病，由托马斯·库里（Thomas Cooley）和帕尔·李（Pear Lee）于1925年首次发现。由于早期病例均来自地中海地区，故称为地中海贫血。

地中海贫血发病主要集中在热带和亚热带地区，好发于地中海沿岸、北非、东南亚和印度等地区。世界上有4.83%的人口携带球蛋白变异基因。

血红蛋白是人体红细胞中负责携带氧气的蛋白，正常成年人的一个血红蛋白，是由两个 α 球蛋白和两个 β 球蛋白组成的。地中海贫血是由于球蛋白基因的缺失或点突变，造成肽链合成障碍而引起的，常见的主要有 α 和 β 两类。

大多数 α 地中海贫血是由于 α 球蛋白基因的缺失所致，少数由基因点突变造成。其症状的严重程度与 α 球蛋白基因缺失的数量有关。当缺失一个 α 基因时，临



床上几乎没有任何症状；当缺失两个 α 基因时，会出现轻度贫血；当缺失三个 α 基因时，会出现重度贫血；当缺失四个 α 基因时，一般会是死胎，即使出生时成活，也会在出生后不久因严重缺氧而死亡。

大多数 β 地中海贫血是由于 β 球蛋白基因点突变所致，少数由基因缺失造成。两个 β 基因中有一个发生致病变异，而另一个正常时，会出现轻微的贫血，或者没有临床症状。当两个 β 球蛋白基因都有致病变异的时候，就会出现地中海贫血症状，且根据基因变异的种类不同，患者症状的轻重程度也会有所不同。

目前发达国家对地中海贫血的诊断与筛查主要运用基因诊断，对地中海贫血治疗的主要方法为规范性长期输血和去铁治疗、造血干细胞移植等。

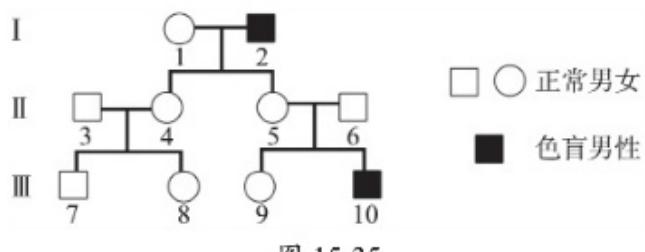
人们可以通过婚前、孕前的基因筛查，来评估自己与配偶的后代是否有患地中海贫血的风险。如果确认有风险的，可以在怀孕两到三个月的时候，做产前羊水穿刺，或取绒毛膜做基因检查，以诊断胎儿是否患有地中海贫血。



自我检测

- 1 一对表现型正常的夫妇，生了一个既患白化又患色盲的男孩，请推测这对夫妇再生一个表现型正常女孩的概率是（ ）
- A. $\frac{1}{4}$ B. $\frac{3}{4}$ C. $\frac{1}{8}$ D. $\frac{3}{8}$

- 2 人类的血友病是由X染色体隐性基因控制的，图15-35是某家族血友病的遗传系谱图，图中一定不带致病基因的个体是（ ）



- A. 5号 B. 6号 C. 9号 D. 10号

3 在家族系谱图中，不可能为伴性遗传的是（ ）

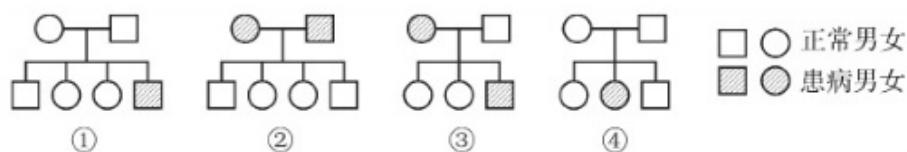
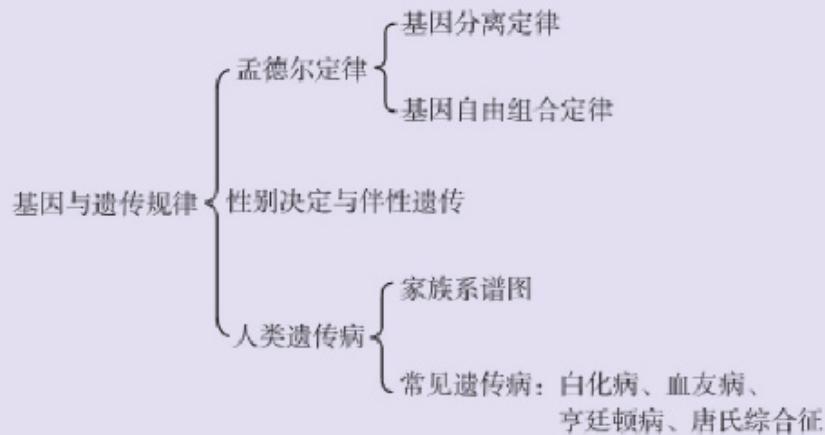


图 15-36

- A. ①③ B. ②④ C. ①④ D. ②③
- 4 查阅资料，写一篇有关优生优育减少遗传病发生的小论文。



本章小结



遗传的实质就是控制性状的遗传因子（基因）从亲代到子代的传递过程，是生物繁衍遗传的基本规律。基因是染色体上一小段带有遗传信息的DNA序列，它有两个特点：一是能忠实地复制自己，以保持生物的基本特征，二是能够突变，给自然选择带来原始的选择材料。

分离定律和自由组合定律是遗传学中最基本的规律。在生物的体细胞中，控制同一性状的两个不同的等位基因，互相独立、互不融合，在形成配子时彼此分离，分别随机地分配到不同的配子中去，并遗传给后代，这就是分离定律。

具有两对（或两对以上）相对性状的亲本进行杂交，在 F_1 产生配子时，等位基因分离的同时，非等位基因表现为自由组合。这就是自由组合定律。也就是说，一对等位基因与另一对等位基因的分离或组合是互不干扰的，是各自独立地分配到配子中去的。

生物的性别主要是由性染色体决定的，人类的性别决定为XY型。伴性遗传是指位于性染色体上的基因所控制的性状，表现出与性别相联系的一种遗传方式。人类遗传病中，常见的单基因遗传病有白化病、血友病和亨廷顿病，染色体遗传病有唐氏综合征等。



习题

- 同种生物一种性状的不同表现类型称为相对性状，如人的单眼皮和双眼皮。下列各组性状中，属于相对性状的是（ ）
 A. 人的身高与体重 B. 狗的长毛与卷毛
 C. 猫的白毛与蓝眼 D. 豌豆的高茎与矮茎
- 孟德尔利用豌豆做了许多实验，当他用纯种紫花豌豆与纯种白花豌豆做杂交实验时，需要做的步骤有（ ）
 A. 以紫花豌豆做母本，白花豌豆做父本
 B. 对母本去雄，授以父本花粉
 C. 以白花豌豆做母本，紫花豌豆做父本
 D. 对父本去雄，授以母本花粉
- 孟德尔曾做过如图 15-37 所示的杂交实验，图中种子发芽长成的植株的性状（ ）
 A. 由植株 a 和植株 b 共同决定
 B. 只由植株 a 决定
 C. 只由植株 b 决定
 D. 与植株 a 或植株 b 无关

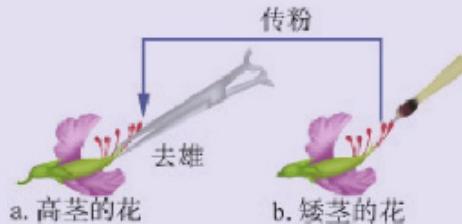


图 15-37

- 羊毛色的白色对黑色为显性。现有两只杂合白羊为亲本，它们接连生下了 3 只小羊都是白羊，若它们再生第 4 只小羊，则其毛色（ ）
 A. 一定是白色的 B. 是白色的可能性大
 C. 一定是黑色的 D. 是黑色的可能性大
- 某实验者让杂合子高茎豌豆自交，据统计后代中已有 15 株高茎，那么第 16 株是高茎的可能性是（ ）
 A. 25% B. 75% C. 100% D. 0
- 人类是 XY 性别决定的生物，下列各组染色体的组成能正确表示人的精子的是（ ）
 A. 44+XX B. 44+XY C. 44+YY D. 22+X 或 22+Y



7. 猴子是高级哺乳动物，也是XY性别决定的生物。下列各组猴细胞中，有Y染色体的是（ ）
- A. 初级精母细胞和雄猴的神经元 B. 受精卵和初级精母细胞
C. 受精卵和次级精母细胞 D. 精子和雄猴的神经元
8. 目前全球男孩与女孩的性别比例为109：100，接近1：1。出现此种现象的原因是（ ）
- A. 含X的卵细胞：含Y的卵细胞=1：1
B. 含X的配子：含Y的配子=1：1
C. 含X的精子：含Y的精子=1：1
D. 雌配子：雄配子=1：1
9. 性染色体是决定个体雌雄性别的染色体。下列关于性染色体的叙述，合理的是（ ）
- A. 性染色体上的基因都可以控制性别 B. 初级精母细胞中有4条性染色体
C. 女儿的性染色体必有一条来自父方 D. 性染色体只存在于生殖细胞中
10. 图15-38表示某家庭的遗传系谱图，已知血友病基因(h)位于X染色体上。据图回答下列问题：

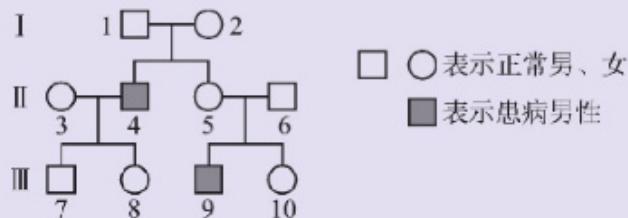


图 15-38

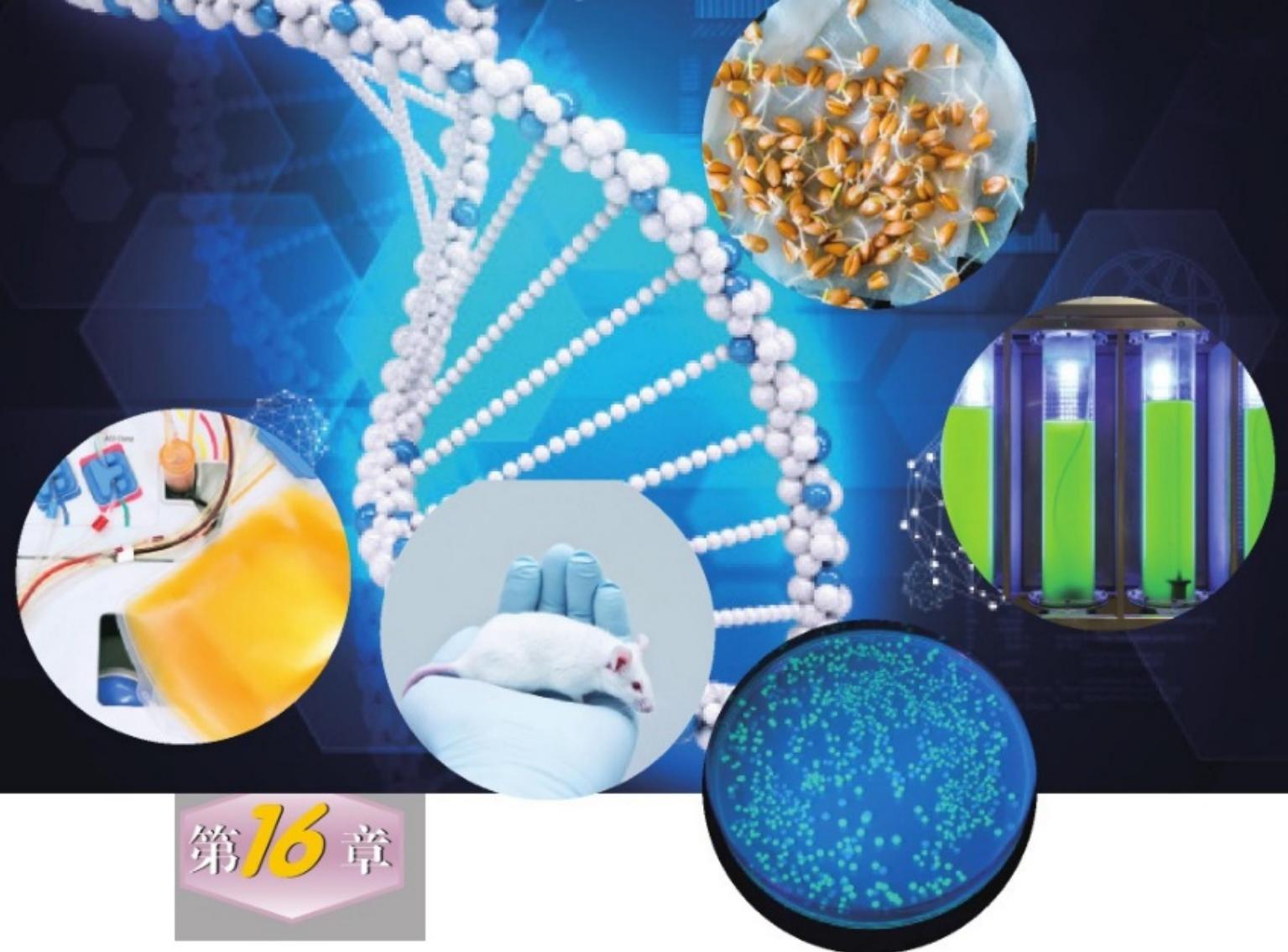
- (1) Ⅲ—10与正常男性结婚，若生儿子，则患病的概率为多少？若生女儿，则患病的概率为多少？
- (2) 由此可见，这种病在遗传上有什么特点？
11. 一对表现型正常夫妇的父母表现型正常，而妻子的弟弟和丈夫的弟弟都是红绿色盲。
- (1) 根据以上事实，画出该遗传病的系谱图。
- (2) 这对夫妇生一个红绿色盲儿子及女儿的概率分别是多少？

12. 豌豆种子的形状是由一对等位基因 R 和 r 控制的, 表 15-5 是有关豌豆种子形状的三组杂交实验结果。

表 15-5 豌豆种子形状的杂交实验结果

组合序号	杂交组合类型	后代的表现型和植株数目	
		圆滑	皱缩
1	皱缩 × 皱缩	0	102
2	圆滑 × 圆滑	125	40
3	圆滑 × 皱缩	152	141

- (1) 写出各个组合中两个亲本的基因型。
- (2) 根据哪个组合能判断出显性类型, 试说明理由。
- (3) 哪一个组合为测交实验? 用庞氏表写出遗传图解。



第16章

应用遗传学



主要内容

■ DNA 重组技术

■ 基因工程

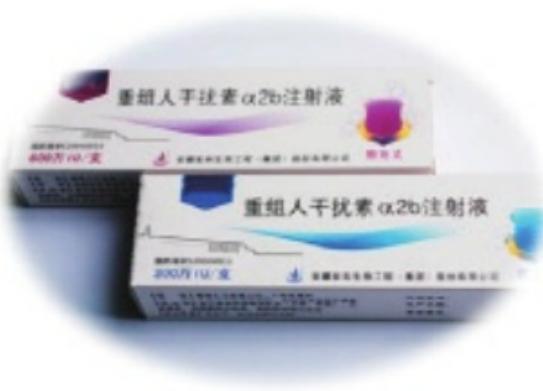
■ PCR 技术

■ 基因工程的争议



干扰素

干扰素（interferon）是由淋巴细胞产生的糖蛋白，用于治疗病毒性肝炎与肿瘤，是一类没有专一性的抗病毒药物。从人的血液中提取干扰素，产量极低，成本很高，价格昂贵，不能满足用药需求。1980年，利用DNA重组技术，人干扰素基因在大肠杆菌中得以表达。1986年，美国食品药品管理局批准将重组人干扰素商业化，生产成本大为降低。实验表明，这样制得的干扰素对B型肝炎、狂犬病、呼吸道炎症、脑炎等多种传染病都有一定疗效，还能减缓癌细胞的生长，是很有希望的防癌治癌药物，具有非常诱人的前景。



干扰素



基因工程

试想想：

- 人的基因为何能在大肠杆菌中表达？
- 基因工程如何实现干扰素的生产？
- 基因工程还能带来哪些变化？

学完本章以后，你就能回答以上问题。

16.1 DNA 重组技术



学习目标

- ★ 概述DNA重组技术。
- ★ 描述限制性内切酶、DNA连接酶在DNA重组中的作用。
- ★ 查阅有关基因工程的文献，领悟科学、技术与社会的关系。

限制性内切酶的发现

1968年，初出茅庐的美国霍普金斯大学讲师史密斯（Hamilton Smith）对基因重组很感兴趣，他意外地发现流感嗜血杆菌（*Haemophilus influenzae*）可以直接摄取来自外界或者供体微生物的游离DNA片段，并能把这些DNA片段组合到自己的基因组中。但用放射性同位素标记的噬菌体感染细菌后，却没有在细菌的DNA中检测到放射性，显示噬菌体的DNA被降解了。后续的研究又发现细菌中存在一种能切割外源DNA的限制性内切酶，并提纯了该酶。此发现对此后基因重组技术的发展起到了关键性作用。



图 16-1 史密斯



问题探讨

1. 什么是限制性内切酶？
2. 什么是DNA重组技术？

自1953年DNA的双螺旋结构被发现后，DNA的重大作用和价值就不断被人们挖掘。科学家希望能从分子水平研究生物的遗传性状，例如把不同来源的基因片段进行



“拼接”，看看能否产生新的产物或新的品种。20年后，美国科学家伯格（Paul Berg）成功将两个不同物种的DNA分子结合，世界首例DNA分子的重组就此诞生。

DNA 重组技术

DNA重组技术（DNA recombinant techniques）是指将一种生物体的基因（目的基因）与载体DNA在体外进行拼接重组的技术。目的基因和载体DNA经限制性内切酶（restriction enzyme）切割后，通过DNA连接酶（ligase）的作用连接在一起，形成一个重组DNA分子（图16-2）。目的基因通常是指科学家根据研究需要，在人类或其他生物基因中获得的控制特定性状的基因片段。载体DNA是指能将目的基因片段运送到宿主细胞中的运载工具，通常由质粒、病毒或染色体DNA改造而成。DNA重组技术的出现也标志着基因工程的诞生。

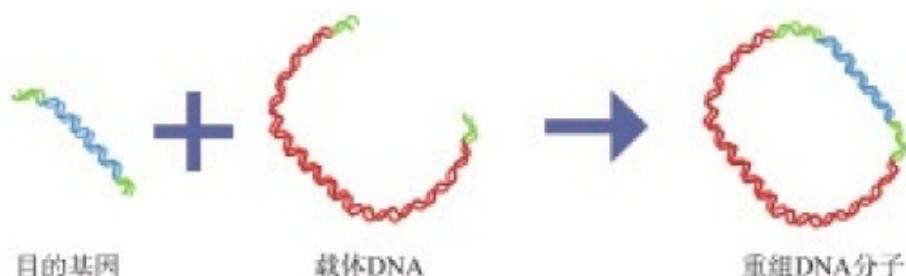


图 16-2 构建重组 DNA 分子



伯格和DNA重组技术

1972年，美国科学家伯格首先利用限制性内切酶，将猿猴病毒40（SV40）的DNA切割成一些短片段，然后利用末端转移酶在双链分子末端添加碱基，从而形成含有末端延长的双链DNA片段。伯格又用相同的方法对 λ 噬菌体DNA进行操作，也获得了末端延长的噬菌体DNA片段，且两端添加的碱基恰好与SV40末端碱基互补配对。然后将两者混合并最终获得含有两个物种DNA的杂合分子，世界首例不同种DNA分子的重组就此诞生（图16-3）。



伯格

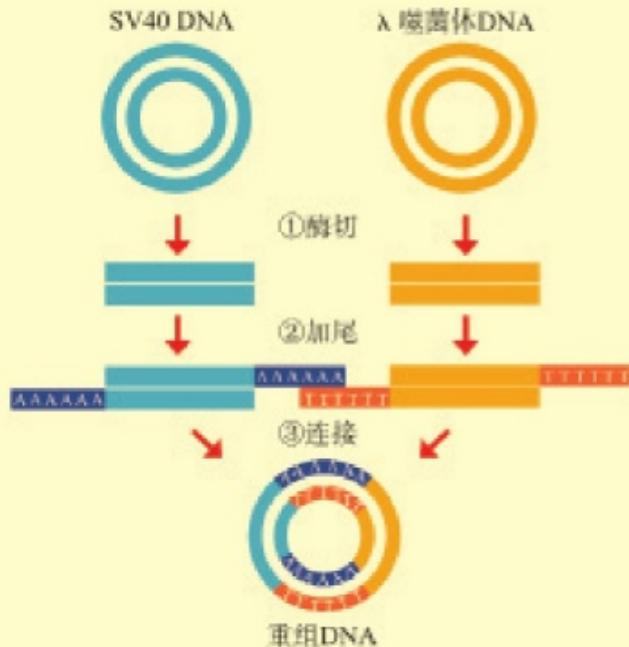


图 16-3 伯格和 DNA 重组技术

限制性内切酶——分子剪刀

自史密斯之后，科学家们又发现了200多种限制性内切酶。由于它们可以在DNA序列的特殊位点，将DNA分割成所需的片段，所以又被比喻为DNA操作的分子剪刀（图16-4）。正是有了这些分子剪刀，才使基因重组成为现实。

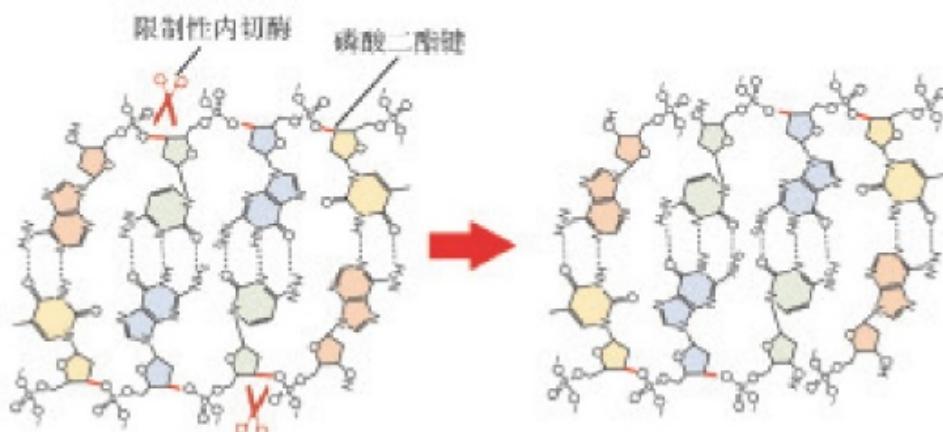


图 16-4 切割磷酸二酯键



不同的限制性内切酶会辨识不同的DNA序列以进行切割，形成两个可以互补的单链末端，称为黏性末端。如限制性内切酶EcoRI，它只识别-GAATTC这样的序列，并切割连接G与A的磷酸二酯键；限制性内切酶HindIII，它只识别-AAGCTT-序列，并切割连接A与A的磷酸二酯键（图16-5）。

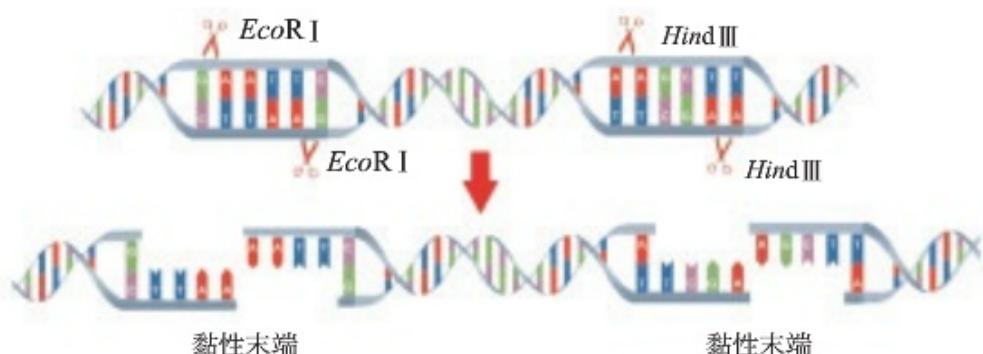


图 16-5 不同限制性内切酶的切割 DNA

DNA 连接酶——分子胶带

1967年，科学家发现了一种能够催化DNA分子中相邻核苷酸之间形成磷酸二酯键（图16-6），从而把两个DNA分子连接起来的酶，这种酶称为DNA连接酶，又被比喻为连接DNA的分子胶带。

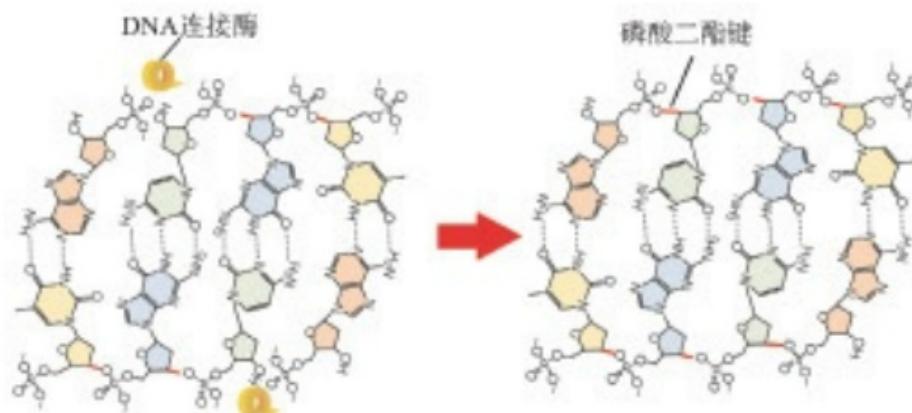


图 16-6 磷酸二酯键的连接

T4 DNA连接酶是基因工程中最为常用的一种连接酶，可以连接带有相同黏性末端的两个DNA分子。通过DNA连接酶可以将外源DNA和载体DNA连接在一起（图16-7）。

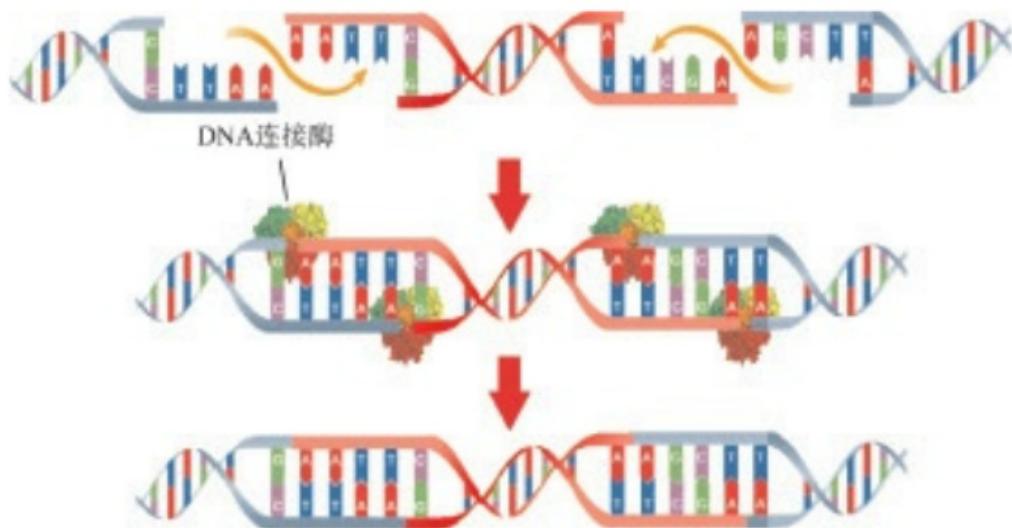


图 16-7 DNA 连接酶连接 DNA 分子



理性思维

1. 讨论 为什么限制性内切酶不剪切细菌本身的DNA?
2. 解释 DNA连接酶与DNA聚合酶的功能有何不同?



活 动

模拟DNA重组技术

DNA分子的重组是一个微观的过程，观察困难。但可以通过模拟，加深对DNA重组技术的理解。

目的要求

1. 模拟DNA重组技术的过程。
2. 运用重组DNA模型解释DNA重组技术的原理。

材料用具

铅笔、剪刀、透明胶带、红绿彩纸等。

方法步骤

1. 从绿色彩纸上剪一条 $2\text{cm} \times 20\text{cm}$ 的纸带，从红色彩纸上剪一条 $2\text{cm} \times 5\text{cm}$ 的纸带。



2. 按图16-8所示，用笔写上相应的基因和碱基排列顺序。

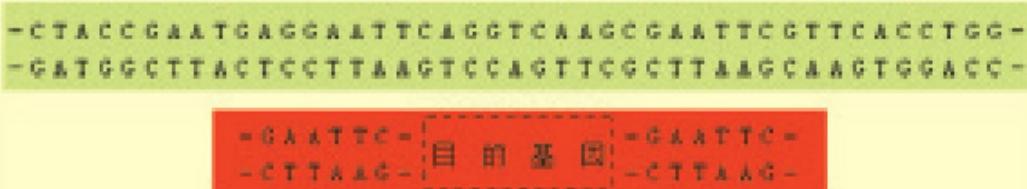


图 16-8 载体DNA与目的基因纸带模型

3. 用胶带将绿色纸带首尾粘贴成圆环，注意墨迹朝外。
4. 用剪刀分别切开绿色和红色纸条上相应的碱基序列。注意：*Eco*RI的识别序列为-GAATTC-，切割位点位于G和A之间。
5. 将绿色和红色纸带用胶带连接到一起，重组DNA模型构建完成了（图16-9）。



图 16-9 模拟 DNA 重组技术过程



理性思维

1. 模型分析 解释在构建的模型中各个术语对应的步骤或物体，把构建重组DNA的步骤和本实验中的模型联系起来，填入表16-1。

表 16-1 重组 DNA 步骤与模型的对应关系

概念	模型
限制性内切酶	
DNA连接酶	
载体DNA	
目的基因	
重组DNA	

2. 对比与分析 用剪刀表示限制性内切酶有什么缺陷？如何改进？
3. 判断 这个模型能准确代表构建重组DNA的过程吗？
4. 修正模型 分析模型中存在的问题，尝试用其他方法模拟重组DNA的过程，构建一个新的模型。



活 动

阅读有关科学家对基因工程发展作出贡献的文献

基因工程是20世纪70年代出现的一项新型的现代生物技术。基因工程的发展离不开科学家的努力，让我们一起来了解一下莫里斯（Kary Mullis）、杰弗瑞（Alec Jeffreys）、波耶（Herbert Boyer）和科恩（Stanley Norman Cohen）等科学家对基因工程发展作出的贡献。

目的要求

1. 感悟科学的发展需要大家的共同努力。
2. 学会检索与利用工具书和网络信息。
3. 学会信息的筛选、提炼和综合。

活动提示

请到图书馆或网络上搜寻这些科学家所做的工作，并将他们的工作进行概括，分析他们的研究成果对基因工程发展的影响，填入表16-2中。

表16-2 科学家对基因工程发展的贡献

科学家	时间	主要贡献
科恩		
波耶		
杰弗瑞		
莫里斯		
.....		



理性思维

1. 讨论 科学家的哪些科学精神值得我们学习?
2. 分析 科学、技术与社会之间有怎样的联系?



自我检测

- 1 图 16-10 表示重组 DNA 的操作过程, X 和 Y 分别代表什么酶? ()



图 16-10 重组 DNA 的操作过程

- A. X 代表 DNA 水解酶, Y 代表 DNA 聚合酶
B. X 代表 DNA 水解酶, Y 代表 DNA 连接酶
C. X 代表限制性内切酶, Y 代表 DNA 聚合酶
D. X 代表限制性内切酶, Y 代表 DNA 连接酶
- 2 下列 DNA 链能用何种限制性内切酶进行切割? ()

-GGGGATCCCG-
-CCCTAGGGC-

表16-3 限制性内切酶类型及识别剪切序列

选项	限制性内切酶类型	识别剪切序列
A	<i>EcoR I</i>	- G[A A T T G - - C T T A A G -
B	<i>BamH I</i>	- G[G A T C C - - C C T A G G -
C	<i>Pst I</i>	- C T G C A G - G A C G T C
D	<i>Not I</i>	- G C G G C C G C - - C G C C G G C G -

3 以下是三种不同限制性内切酶切割形成的DNA片段，试用DNA连接酶将它们连接起来。

(1)	…CTGCA	(4)	ACGTT…
	…G		A…
(2)	…A	(5)	G…
	…TTGCA		ACGTC…
(3)	…G	(6)	AATTC…
	…CTTAA		G…

4 限制性内切酶的发现对于DNA重组技术有什么重要意义？



16.2 基因工程



学习目标

- ★ 简述基因工程的基本操作步骤。
- ★ 举例说明基因工程在工农业生产中的应用。
- ★ 辨识可靠的信息来源，搜集、分析基因工程在医学领域中的应用案例。

改造蚊子 DNA

蚊子是一类十分令人讨厌的吸血昆虫，它会传播如寨卡病毒、骨痛热症病毒、疟原虫等让人害怕的病原体。而经过基因工程改造的雄性蚊子与普通雌性蚊子交配后，产下的后代因带有某种基因缺陷会迅速死亡。因此，把这种雄性蚊子适量地放到野外，就能大大减少蚊子的数量，从而有效地控制这些致命疾病的爆发和扩散。

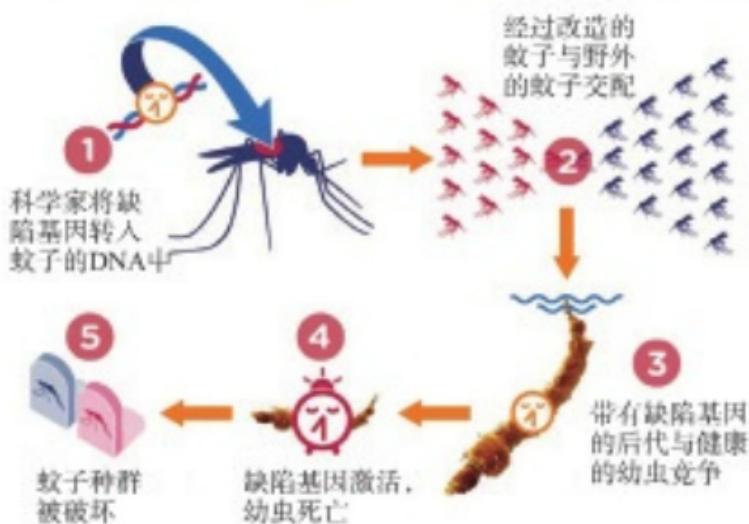


图 16-11 经过基因改造的蚊子如何发挥作用



问题探讨

1. 基因工程是怎样改造蚊子DNA的?
2. 基因工程在工农业生产和医学领域中有哪些应用?

基因工程是按照预设的工作流程，有目的地把一个生物体的基因转移到另一个生物体中，使后者表达出人们所需的产物或者获得新的可遗传性状。

基因工程通常包括获取目的基因、构建重组DNA、导入重组DNA、筛选受体细胞和目的基因表达等操作步骤（图16-12）。

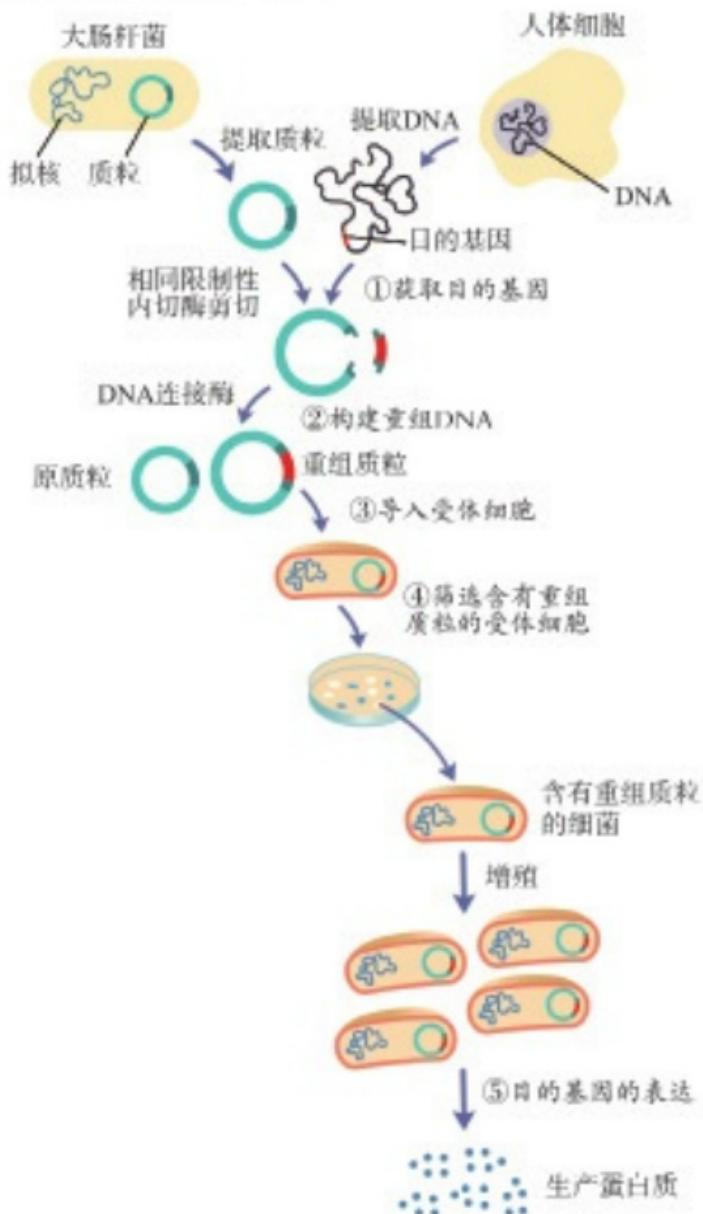


图 16-12 基因工程的一般操作步骤



获取目的基因 如果目的基因序列未知, 可通过限制性内切酶切割DNA, 或利用逆转录的方法获得DNA片段(图16-13)。

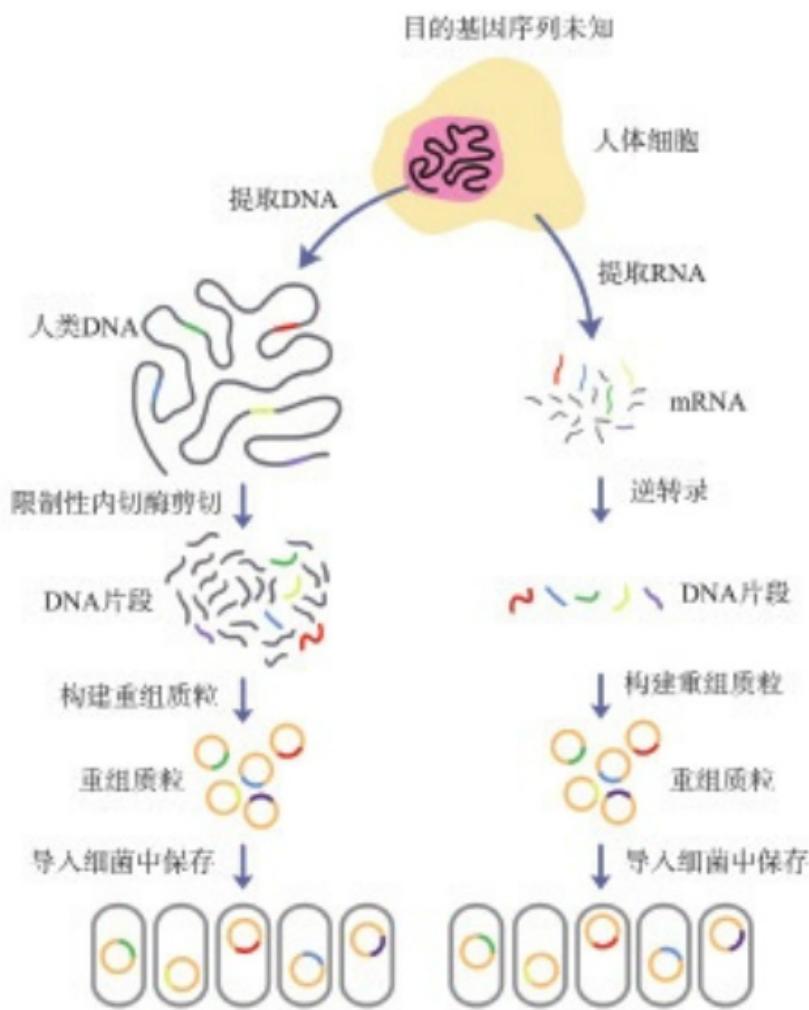


图 16-13 获取目的基因的方法

构建重组DNA 获得目的基因后, 要将其与载体DNA连接在一起。常用的载体DNA有细菌的质粒和病毒的DNA。质粒是细菌细胞中独立于拟核外可以自主复制的一段环状DNA分子。质粒DNA分子相对较小, 且在细胞内可存在多个拷贝(图16-14)。目前用在基因工程上的质粒是经过人工改造的, 具有多个限制性内切酶的识别序列。一旦目的基因成功地连接到质粒上, 便可以导入到受体细胞中, 行使相应功能, 使目的基因能在细胞中保存, 并遗传到下一代。

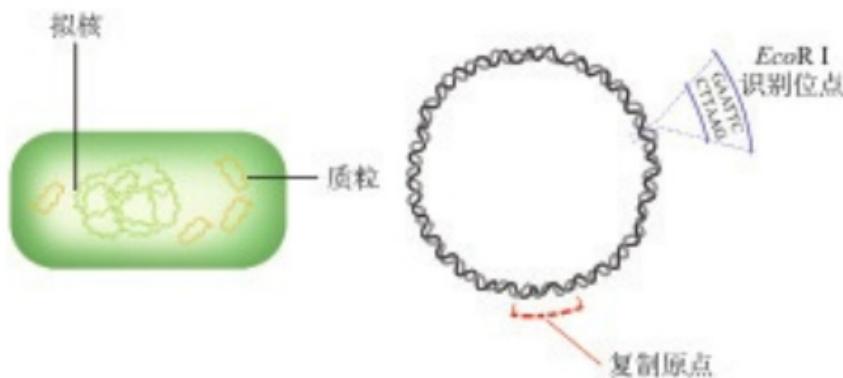


图 16-14 质粒模式图

导入重组DNA 重组DNA是大分子物质，不容易进入细胞，因此需要采用适当的方法转移到合适的受体细胞中。当用质粒作为载体时，常选择大肠杆菌作为受体细胞。通过化学物质（如氯化钙）、物理手段（如热、电）等刺激，增大细胞膜和细胞壁的通透性，使重组质粒进入大肠杆菌。

筛选受体细胞 由于酶切不充分等原因，构建重组DNA并不能百分之百成功，且在导入时也只有极少数的细胞接纳了重组DNA分子，因此需要筛选出导入了目的基因的受体细胞。

目的基因表达 培养筛选出来的受体细胞，一旦其目的基因能和质粒一起在细胞内复制和表达，就能产生人们需要的物质（如利用大肠杆菌产生人胰岛素原）或改变生物的遗传性状（如含有萤火虫荧光基因的植物会发出荧光）（图16-15）。

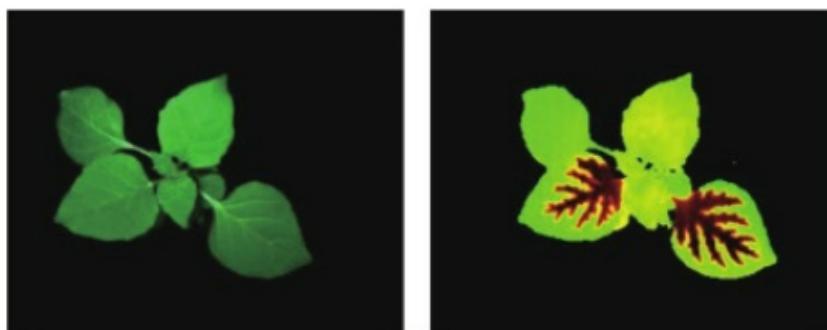


图 16-15 荧光植物

理性思维

- 分析 为什么需要用同种限制性内切酶剪切目的基因和载体？
- 分析 与采用单一限制性内切酶相比，采用两种限制性内切酶进行切割有哪些优势？



3. 解释 为什么采用质粒作为载体时，选择细菌作为受体细胞？
4. 比较 细菌细胞和酵母菌作为受体细胞的差异是什么？



基因编辑技术 (CRISPR)

CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats) 是指基因序列上成簇的规律间隔的短回文重复序列。CRISPR 本身是大多数细菌及古细菌中的一种防御系统。该系统通过其转录产物 crRNA(CRISPR RNA) 及 CRISPR 相关蛋白 (CRISPR-associated, Cas)，尤其是 Cas9 蛋白特异性抑制入侵 DNA。

基于 CRISPR/Cas 系统的作用原理，研究人员通过体外人工合成 sgRNA(small-guide RNA) 与 Cas9 蛋白的复合物，成功实现对特定基因片段的精确剪切，由此开创了一种通过构建 RNA 序列介导 Cas 蛋白识别并剪辑靶基因的新型基因编辑技术。

由于该技术的高效性、低成本性和简易性，关于 CRISPR/Cas9 系统的研究受到各界密切关注，而且在越来越多的研究领域得到应用。

CRISPR 技术已成功应用于动物、植物和微生物等诸多物种的基因组改造。这个技术还由于可能被用来培育和设计婴儿、治疗遗传病或解决人类演化过程中的缺陷而引发社会的广泛关注。



理性思维

1. 科学本质 CRISPR系统的发现和应用，对科学研究有何启示？
2. 讨论 基因编辑技术为何会引发伦理思考？

基因工程的应用

基因工程自20世纪70年代兴起后，在短短的40多年时间里得到了飞速的发展，在工农业生产、医药行业等已有很多的应用。



图 16-16 胰岛素的生产

1986年，科学家把烟草花叶病毒的一段基因转移到番茄内，培育出了能够抵御烟草花叶病毒的番茄。



图 16-18 转基因棉花

将富含赖氨酸的蛋白质编码基因转入玉米中，获得的转基因玉米中赖氨酸的含量比普通的玉米提高了30%。

生产胰岛素是基因工程在医药上应用的例子。以往胰岛素的生产，主要是从家畜（牛、羊、猪）的新鲜胰脏中提取。100 kg的猪胰脏能获得1g左右的胰岛素，因而价格昂贵，且人体易产生免疫反应而导致激素失效。1983年，科学家通过转基因技术实现了人胰岛素的工业化生产。



图 16-17 转基因番茄

把苏云金芽孢杆菌的杀虫蛋白基因转移到棉花中，棉铃虫吃了这种棉花的叶片后，很快就会出现厌食等症状，最终死亡。



图 16-19 转基因玉米



基因芯片技术可以应用在基因表达检测、突变检测、基因组多态性检测、基因文库作图以及杂交测序等方面。

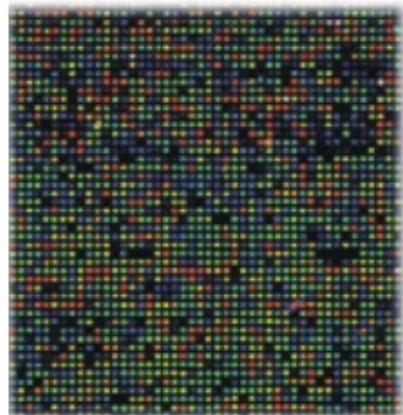


图 16-20 基因芯片



图 16-21 转基因鲑鱼

2000年，科学家把水母的绿色荧光蛋白基因转入猴子卵细胞中，诞生了世界上第一只转基因猴子——安迪。这项成果有助于加速发现人类疾病的新基因疗法。

将外源生长激素基因导入鲑鱼体内，转基因鲑鱼的生长速率比一般的鲑鱼快一倍。2015年，美国食品药品管理局核准转基因鲑鱼上市。



图 16-22 转基因猴



理性思维

1. 判断 解释为什么不能用细菌直接生产具有功能的胰岛素。
2. 设计 β 球蛋白是动物血红蛋白的重要组成成分。当它的一级结构异常时，动物就有可能患某种疾病，如镰刀形红细胞贫血症。假如让你用基因工程的方法，使大肠杆菌生产出鼠的 β 球蛋白，想一想，应该如何设计？



活 动

讨论社会需求对科技进步的影响

重组DNA技术在能源生产中有广泛的应用。通过这项技术，一些生物工程或生物燃料的能源作物得以快速生长，生成大量生物质（biomass）。这些物质可直接作为燃料或加工成油、酒精、柴油等能源产品。这些作物的废弃物还可以转化为甲烷。

遗传工程师也正试图将合成纤维素酶的基因转移到适当的生物体中，这些生物体可将作物废弃物如锯末和玉米秆首先转化为糖，然后再转化为酒精。

请以重组DNA技术为例，讨论社会需求对科技进步的促进作用。

蛋白质工程

1983年，美国的额尔默（Kevin Michael Ulmer）首先提出了“蛋白质工程”的概念。由于蛋白质工程是在基因工程的基础上延伸出来的，因此也称为“第二代基因工程”。

蛋白质是一切生命活动的物质基础，同时也是诊断、治疗疾病的物质基础。以蛋白质分子的结构规律及其与生物功能的关系为基础，通过分子生物学的手段进行基因修饰或基因合成，改造或创造蛋白质，称为蛋白质工程。

蛋白质是由不同氨基酸通过肽键连接而成的多肽构成的，而氨基酸序列是由碱基序列决定的。因此，只要改变碱基序列就可以改变蛋白质的氨基酸序列，从而改变蛋白质的性质（图16-23）。DNA重组技术和PCR技术因而成了可用于蛋白质工程的工具之一。



图 16-23 蛋白质工程流程图

蛋白质工程是在基因工程基础上产生的，但它和基因工程还是有所区别。基因工程提取一种生物的某种基因，导入到另一种生物的细胞里，使目的基因在受体细胞内表达，从而定向地改造生物的遗传性状。蛋白质工程则涉及基因改造，先设计预期的蛋白质结构，再通过基因修饰或基因合成，对现有蛋白质进行改造或制造一种新的蛋白质。

天然胰岛素制剂在储存中易聚合成聚合体，当胰岛素注射入人体后，会逐渐分解成单体，才能通过毛细血管壁进入血液。由聚合体分解成单体大约需要30分钟，所以会延缓其降血糖作用。利用蛋白质工程技术改变特定的氨基酸序列，可降低其聚合作用，使胰岛素快速起作用。



理性思维

1. 比较 蛋白质工程操作的程序与基因工程有什么不同？
2. 设计 能不能根据人类需要的蛋白质的结构，设计相应的基因，导入合适的细菌中，让细菌生产人类所需要的蛋白质食品呢？



科学·技术·社会

基因组学

基因组 (genome) 是指某种生物全部染色体的遗传物质的总和，其大小通常以其全部的 DNA 碱基对总数来表示。

基因组学 (genomics) 是研究生物基因组和如何利用基因的一门学科。基因组学以系统整体的观念研究生命的遗传本质。研究的内容包括两个方面：结构基



因组学 (structural genomics) 和功能基因组学 (functional genomics)。前者代表着基因组分析的早期阶段，主要的任务是建立生物体高分辨率的遗传图谱、物理图谱和转录图谱；后者又称为后基因组学 (post-genomics)，它是利用结构基因组学提供的信息和产物，通过在基因组和系统水平上全面分析基因的功能，使生物学研究从单一基因或蛋白质的研究转向对多个基因或蛋白质同时进行系统的研究。



理性思维

1. 感悟 搜集基因组学研究的信息，感悟科学技术是在不断发展的。
2. 讨论 利用基因组学的相关数据，讨论在生物医学或工业领域方面应用的前景。



自我检测

- 1 基因工程的操作顺序是（ ）
 ①目的基因与载体连结 ②将目的基因导入受体细胞 ③检测目的基因的表达 ④获取目的基因
 A. ③②④① B. ②④①③ C. ④①②③ D. ③④①②
- 2 转基因食品已大量进入我们的日常生活。下列关于转基因大豆的叙述，不合理的是（ ）
 A. 培育过程中可能用到抗病、抗虫等抗性基因
 B. 目的基因的受体细胞可以是大豆受精卵，也可以是体细胞
 C. 转基因大豆的种植过程中减少了农药等的使用量，生产成本更低
 D. 固氮菌的固氮基因也是必需的目的基因之一
- 3 在蛋白质工程中，需要进行操作的直接对象是（ ）
 A. 氨基酸结构 B. 肽链结构 C. 蛋白质空间结构 D. 基因结构
- 4 如果限制性内切酶的辨识序列出现在某个基因的序列中，经过限制性内切酶的切割后，此基因是否仍然能表达？为什么？



16.3 PCR 技术



学习目标

- ★ 概述聚合酶链式反应的过程与原理。
- ★ 描述聚合酶链式反应在倍增 DNA 片段中的应用。
- ★ 体会科学知识可促进新科技的发展。

PCR 技术检测 SARS 病毒

在识别新传染病的来源时，科学家常会利用PCR技术（图16-24）。在2002年和2003年非典型性肺炎（SARS）流行期间，科学家利用PCR技术，仅用一年时间就确定了引起SARS的罪魁祸首——冠状病毒，并追溯其起源。若没有PCR技术，要在地球上确定这样一种微小的病毒简直就像海底捞针。



图 16-24 PCR 仪



问题探讨

1. 什么是PCR技术？
2. PCR仪为什么能扩增基因？

1985年，莫里斯发明了PCR（Polymerase Chain Reaction，聚合酶链式反应）技术。PCR技术是在体外模仿细胞内DNA复制过程的技术。该技术利用在小试管中建立的反应体系，短时间内就可将极微量的特定DNA片段扩增数十万甚至数亿倍。PCR技术在分子生物学、医学、考古学、法医学等众多领域得到了广泛应用（图16-25）。

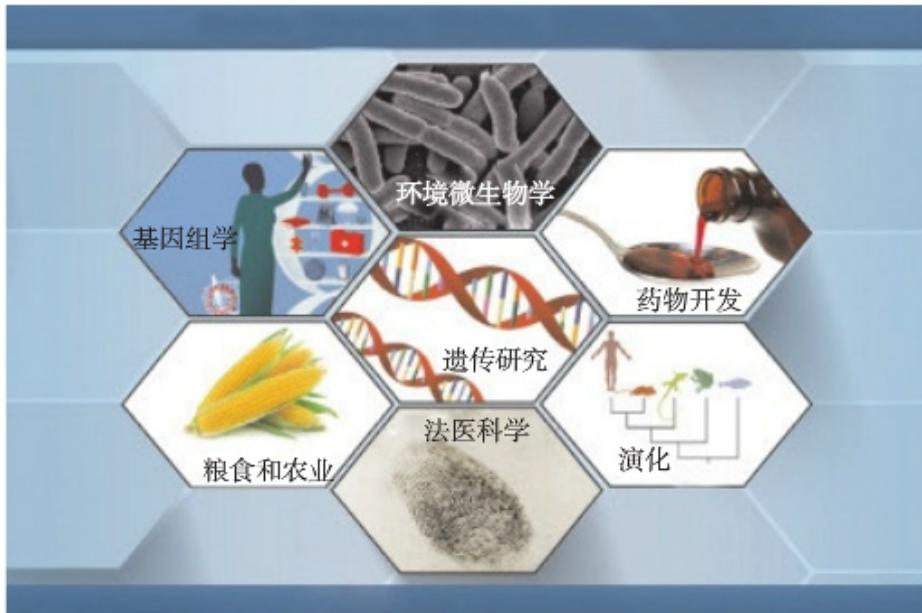


图 16-25 PCR 技术的应用

PCR技术是模仿细胞内DNA的复制过程，因此也需要作为模板的DNA分子、四种脱氧核糖核苷酸、DNA聚合酶、引物（primer）和能量等。一般情况下，由以下三个基本反应组成：

高温变性 利用94℃高温的作用，使DNA双链之间的氢键断裂，使一条双链DNA变成两条单链DNA。

低温退火 降低温度到50~65℃，此时引物与两条单链DNA模板之间形成氢键，结合在靶DNA区段两端的互补序列上。引物为一小段单链DNA，作为DNA聚合的起始点。

适温延伸 升温至72℃时，DNA聚合酶催化脱氧核糖核苷酸分子连接到引物上，沿着模板DNA分子延伸，合成新的DNA互补链（图16-26）。

如此反复加温和冷却，经20~30个循环之后，就可以大量产生特定的DNA分子（图16-27）。

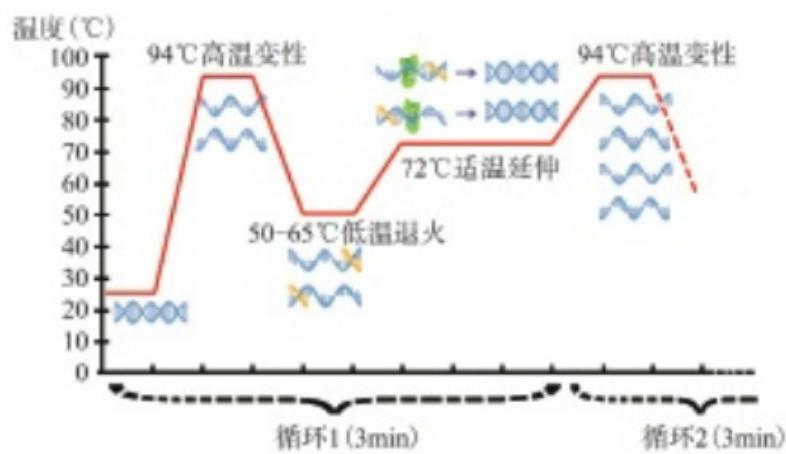


图 16-26 PCR 过程

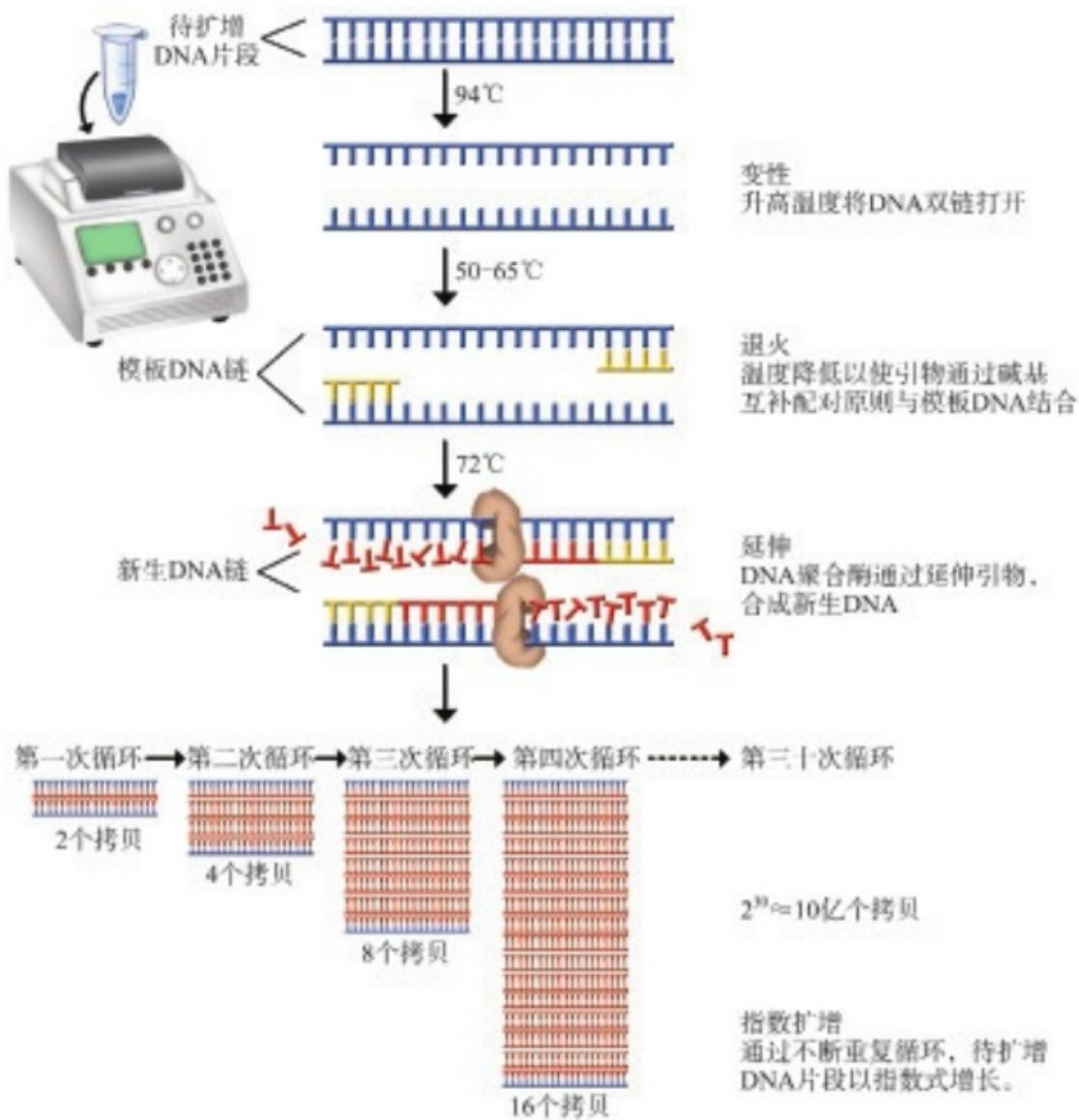


图 16-27 运用 PCR 技术产生大量 DNA 拷贝



理性思维

- 推测 从理论上说，一个DNA分子经PCR技术扩增10个循环，需多少引物分子？
- 归纳 PCR技术与细胞内DNA的复制有什么异同点？



科学轨迹

PCR技术的发明

1971年，科拉纳（Har Gobind Khorana）等最早提出让核酸在细胞外扩增的设想。但由于当时基因测序技术不成熟以及引物合成的困难，这种设想难以付诸实践。这一设想也被人们遗忘了。

1985年，莫里斯发明了PCR技术，并在《科学》杂志上发表了第一篇关于PCR技术的学术论文。

1986年，莫里斯在美国冷泉港实验室做专题报告，从此掀起了学习PCR技术的热潮。

1988年，佐伯（Randall K.Saiki）等利用了钱嘉韵从栖热水生菌（*Thermus aquaticus*）中分离出来的耐热的Taq DNA聚合酶，替代了PCR技术最初采用的DNA聚合酶——Klenow酶，从而使PCR技术更加成熟并得到广泛的应用。

PCR技术发展迅速，给生物学、医学和相邻学科带来了巨大的影响。目前主要用于以下几个方面：①合成特异探针（probe）；②DNA的测序；③实时PCR（real time PCR）；④产生和分析基因突变；⑤重组PCR；⑥未知序列的PCR扩增；⑦基因组序列的比较研究等。



理性思维

- 分析 为什么要用Taq DNA聚合酶替换Klenow酶？
- 科学本质 请你结合PCR技术的发明谈谈科学知识对新科技发展的促进作用。

 自我检测

1 PCR 技术的材料是()

- ①目的基因 ②引物 ③脱氧核糖核苷酸 ④核糖核苷酸
 - ⑤DNA 聚合酶 ⑥DNA 连接酶 ⑦限制性内切酶
- A. ①②③⑤ B. ①②③⑥ C. ①②③⑤⑦ D. ①②④⑤⑦

2 PCR 技术中升温到 94℃ 的目的是()

- A. 是 DNA 聚合酶的最适温度, 提高子链的合成速度
- B. 有助于引物与模板间形成氢键
- C. 有助于 DNA 分子解螺旋
- D. 使 DNA 聚合酶变性, 终止复制

3 下列哪个引物的专一性最高? ()

- A. ATCG
- B. CCCGAAAAGT
- C. ATTTAGGTGACACTATAG
- D. GGGCTGGCAAGCCACGTTGGTG

4 “基因工程离不开 PCR 技术”, 对此你有什么看法? 请结合 PCR 技术的应用加以说明。

16.4 基因工程的争议

学习目标

- ★ 认识到基因工程的广泛应用对人类社会、道德伦理等产生的影响。
- ★ 理性地参与动物克隆、转基因食品等社会性科学议题的讨论。

黄金大米

维生素A缺乏会导致一种慢性疾病，出现眼部干燥、失明甚至死亡。科学家计划通过改良食用大米来解决这个问题。然而，维生素A遇高温会失活，而胡萝卜素不仅不会失活，而且还能在动物体内转化为维生素A。最终，科学家通过基因工程技术，将胡萝卜素转化酶系统导入到水稻胚乳细胞中，培养获得富含胡萝卜素的转基因水稻，因其大米颜色金黄，故称为黄金大米（图16-28）。

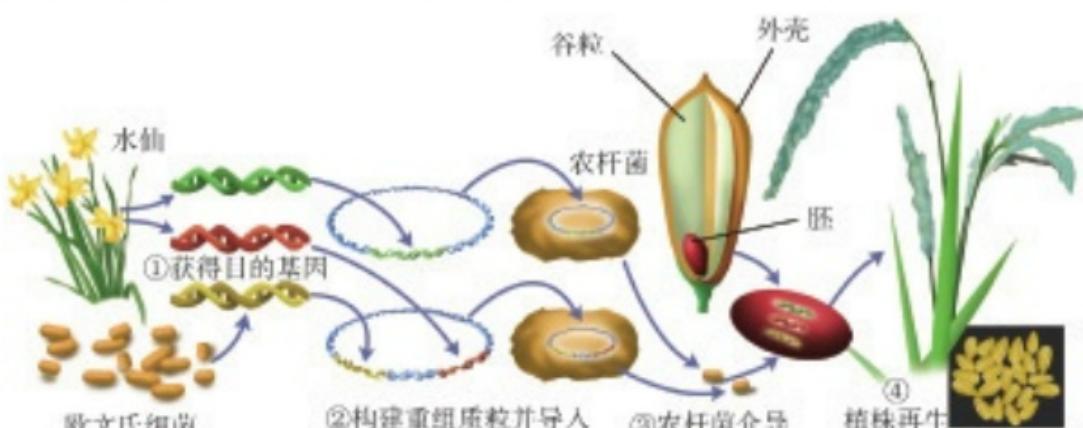


图 16-28 黄金大米的培育过程



问题探讨

1. 食用黄金大米安全吗？
2. 我们应该怎样看待转基因食品？



基因工程给社会带来巨大利益的同时，也产生了各种各样的疑虑或问题。例如，有的人对转基因生物（genetically modified organism, GMO）制成的食品过敏，有的基因转移影响了其他动植物的生存。同样，针对造成人类疾病基因的遗传操作，也可能在修正疾病基因的同时影响尚未认识清楚的正常基因或调控序列。那么，基因工程还安全吗？

转基因食品的安全性

市场上已有数千种食品来源于转基因生物，转基因食品正在快速进入我们的生活，同时人们对转基因食品的担心也与日俱增。安全性正是科学家在研究时首先要考虑的问题。如果安全性问题解决不了，这种转基因作物就不能进入大规模生产，更不能进入市场。



常见的转基因食品

转基因食品就是以转基因生物为原料加工生产的食品。常见的转基因食品有以下几种：

1. 大豆 市场上90%以上的大豆经过基因改造后对除草剂产生抗性。豆腐、豆浆、大豆油等均以大豆为主要原材料。加工中产生的大豆豆渣常作为牲畜的饲料。
2. 玉米 将抗虫、抗除草剂基因转入玉米中，可使玉米获得抵抗除草剂和害虫的能力。美国大部分农场在种植转基因玉米并出售到世界各地。玉米糖浆、玉米片、爆米花等都由玉米制成。玉米也常作为牲畜的饲料。
3. 芥花油 芥花油是从芥花籽中获得的食用油，芥花通过转基因技术改造对除草剂产生抗性。
4. 蔗糖 甜菜是重要的糖料作物之一。2009年，转基因甜菜在美国开始大量种植。这些甜菜经改造后对除草剂产生抗性。
5. 阿斯巴甜 阿斯巴甜是一种点心和软饮料中常见的用于替代蔗糖的人造低热量甜味剂，主要由天冬氨酸和苯丙氨酸构成，这两种氨基酸都由经过基因工

程改造的微生物发酵以实现大规模生产。

6. 南瓜 经过基因改造的南瓜可以抵抗小西葫芦花叶病毒和西瓜花叶病毒。
7. 木瓜 自1999年以来，转基因木瓜已在夏威夷种植，并在美国和加拿大出售供人食用。这些木瓜被改造为对番木瓜环斑病毒产生抗性。该病毒危害性大，能导致木瓜产区减产九成以上。



理性思维

1. 调查 调查你身边的转基因食品。
2. 阐释 你会购买转基因食品吗？为什么？
3. 社会性科学议题 你怎么看待转基因食品的利弊？

迄今为止，全球范围内有关转基因食品导致的安全伤害事件还很少。因此，很多人认为，基因工程培育的新品种与传统育种技术培育的相比，没有对人类健康造成更多的危害。目前，国际上通常对转基因产品明码标识（图16-29），以尊重人们的知情权。

人们除了担忧转基因食品对人类的直接影响外，还担忧转基因生物给其他物种、生态环境可能带来的影响。转基因生物在作物产量、疾病传播防控、生态治理等方面发挥作用，但转基因生物可能在竞争中有较强优势，繁殖力、抗逆性等都较强，导致其他生物减少甚至灭绝，造成食物链的破坏。转基因生物也可能与其他生物杂交，导致出现一些不可控的基因漂移，如可能出现抗除草剂的超级杂草，给生物圈带来不可逆的破坏。

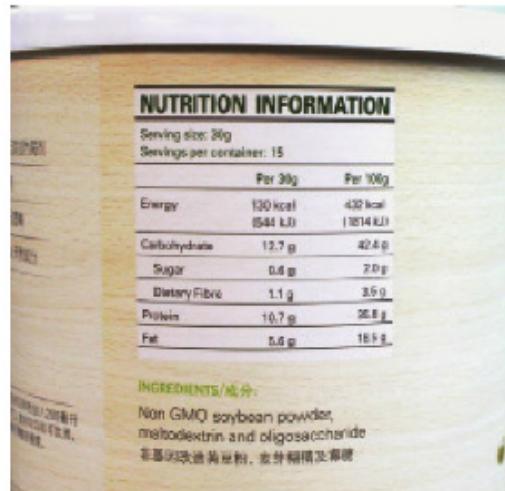


图 16-29 食品标签中关于含转基因食品情况的说明



基因工程的伦理学思考

除了上述涉及的方面外，还有许多值得探索的问题。例如，动物保护主义者认为，各种生物技术操作是对生物生存权的侵害；素食主义者极力反对在植物中转入动物蛋白基因并上市销售；如果胚胎工程对基因治疗的运作达到了改变人种的程度，那么它对人类未来的影响可能是难以估量的。另外，一个新生儿出世时，如果法律允许，他的父母又愿意的话，可以拿到孩子的基因组图。这张图，将记录一个生命的全部奥秘和隐私。

随着越来越多的人类基因在非人类细胞中使用，这也产生了一种带有部分人类遗传的新生命形式，一些新的伦理问题就此产生。例如，一个生物体含有多少人类基因时可以被称为人类？转基因食物中含有多少人类基因时可以被毫无顾虑地食用？如果把人类基因转入鸡身体内，是否表示吃鸡肉的同时在“吃人”？那些已被基因工程改造的老鼠所产生的含人类基因的精子，又会给它们的后代带来怎样的影响？

基因工程催生基因经济

面对生命科学的重大突破，基因经济呼之欲出。基因经济（gene economy）是指以基因工程产品满足人类精神和物质需求并能形成资本运作、资本市场、扩大再生产和推动整个社会经济迅速增长和发展的一种新经济。

基因专利权的转让、基因治疗产品的开发、基因信息咨询等基因商业化途径，令基因经济成为新世纪经济的一个重要增长点。例如，在美国市场仅基因重组促红细胞生成素（erythropoietin）一种药就有35亿美元的年销售额；转基因农作物优良的性状和经济效益促使其大面积种植（图16-30），但由此带来的农民过分依赖采购发达国家生产的基因工程农作物种子，进而演变为政治操控等问题也不容小觑。

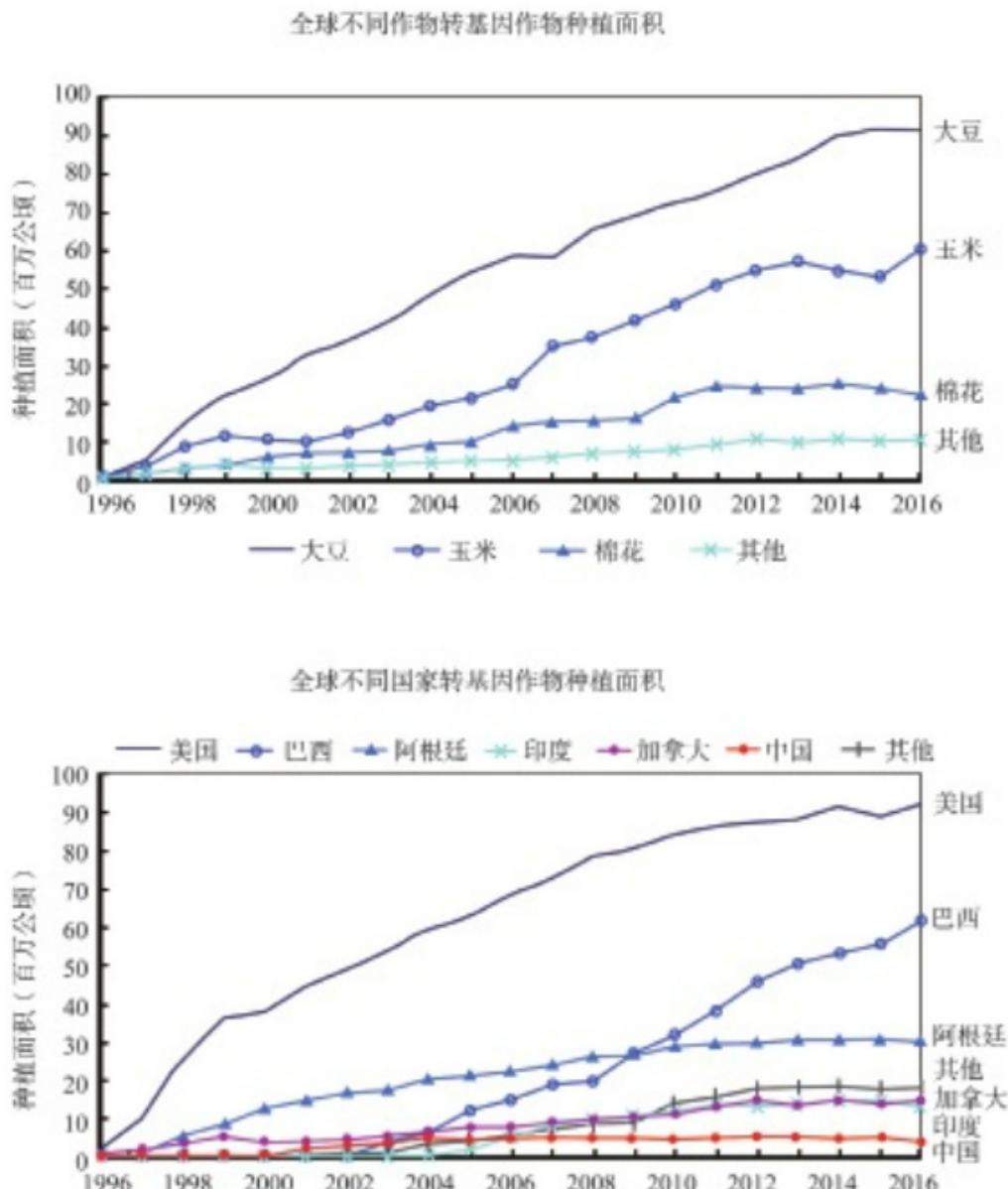


图 16-30 全球转基因作物种植情况（2016 年）

基因工程对环境的影响

基因工程制成的DNA探针能够十分灵敏地检测环境中的病毒、细菌等污染。转基因细菌能吞食和分解多种污染环境的物质。抗虫棉的成功推广减少了杀虫剂的使用量，因而降低了农药对环境的污染。但科学家对基因工程带来的环境影响表示担忧。由于基因



工程研究的时间较短，该技术有不确定性，存在一定风险，因此人类在与基因工程打交道时常采取预防原则，尽早形成完善的环境风险评估机制。

虽然具有许多的争议，但基因工程的潜力是巨大的。基因工程的利弊将由进一步的实验和研究告诉公众。毫无疑问，基因工程仍将继续给21世纪的科学家、伦理学家带来奇妙而困难的挑战。随着基因工程新的突破及新生命形式的产生，必将带来更加激烈的跨学科辩论和探讨。



理性思维

1. 社会性科学议题 人类可以运用生物技术改变人类的基因组吗？
2. 社会性科学议题 我们是否拥有改变其他物种基因的权力？



科学·技术·社会

基因治疗

基因治疗 (gene therapy) 是通过向目标细胞中导入正常功能的基因，以纠正或补偿基因的缺陷，达到治疗的目的（图 16-31）。

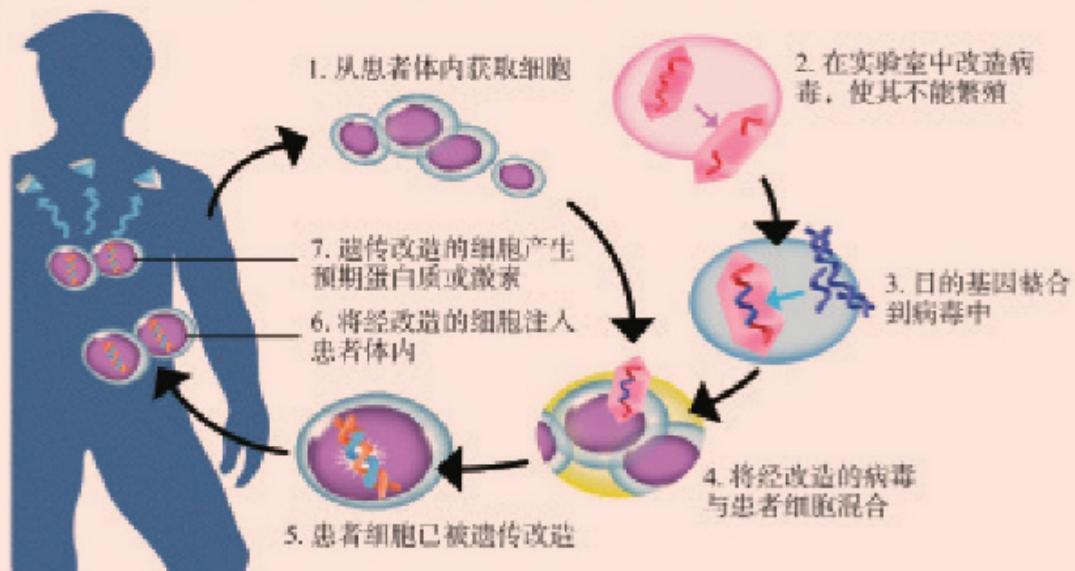


图 16-31 基因治疗

基因治疗已有许多成功的例子。例如，重度联合免疫缺陷综合征的治疗。科学家首先从正常人体细胞中获得腺苷酸脱氨酶基因，然后将其导入患者有缺陷的T淋巴细胞中。经过培养、转化后的T淋巴细胞可以产生腺苷酸脱氨酶，最后将成千上万的这种T淋巴细胞注射到患者骨髓中。一段时间后患者的免疫功能渐趋完善，症状明显缓解，治疗取得成功。

科学家们正在研究通过基因治疗来医治癌症、心脏病、艾滋病等疾病。



理性思维

1. 分析 基因治疗会不会产生安全和伦理道德方面的问题？为什么？
2. 推测 基因修复有哪些途径？



活 动

对动物克隆和转基因食品等议题的论坛

近几年来，转基因食物的安全性问题和克隆动物能否为公众接受等问题，已成为动物保健业以至人类食品安全领域中的重大议题，而且对这些问题的争论还在升温。

目的要求

1. 通过图书馆、上网等方法，收集有关动物克隆、转基因食品等社会性科学议题的资料。
2. 阅读分析后，进行一场论坛。

活动提示

活动尽可能让各发言人代表不同的利益相关者（如科研人员、消费者、立法或执法单位、商家、环保人士、社运分子等），提出不同的立场和意见，并进行交流、对话。



发言人可事先对某一领域、某一专业或某一方面的问题，搜集大量的相关资料，经过分析、阅读、整理、提炼后，再参与活动。

其他同学应积极提出问题，可针对发言人的某种观点提出挑战、要求澄清疑点或评论等；也可担任论坛的记录员。



理性思维

1. 归纳 在此论坛中有几种不同的论点。
2. 解释 哪些论点是高质量的？为什么？
3. 发散思维 在此论坛中，有哪些观点是你不曾想过的？让你又产生了什么新的问题和新的想法？



自我检测

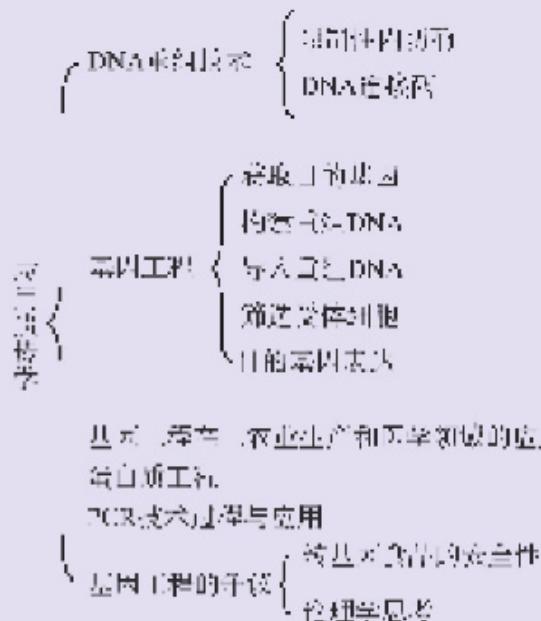
- 1 我们对待基因工程的态度或采取的行为应该是（ ）
 - A. 根据该求职者“有害基因”的检测结果，选择聘用其他求职者
 - B. 为了避免引起公众恐慌，食品制造商不标注是否为转基因食品
 - C. 基因工程治理环境问题的同时，也要避免造成环境的破坏
 - D. 通过基因工程修改孩子的发色
- 2 某转基因玉米能高效合成一种多肽类的蛋白酶抑制剂，积累于茎中，使取食它的害虫体内的消化酶受抑制，无法消化食物而死。下列就该玉米对人类安全性的评定中，不符合生物学原理的是（ ）
 - A. 安全，玉米的蛋白酶抑制剂对人体的消化酶很可能无影响，因为人体消化酶和害虫消化酶结构上存在差异
 - B. 安全，人类通常食用煮熟的玉米食品，玉米的蛋白酶抑制剂已被高温破坏，不抑制人体消化酶
 - C. 不安全，玉米的食用部分也可能含蛋白酶抑制剂，食用后使人无法消化蛋白质而患病
 - D. 不安全，玉米的蛋白酶抑制剂基因可通过食物链在人体细胞内表达，使人无法消

化食物而患病

- 3 你认同基因工程是一种违反自然规律的激进新科技吗？试提出你的看法。
- 4 生物技术是一把双刃剑，既可以造福人类，也可能因使用不当给人类带来灾难。请回答下列有关生物技术的安全性和伦理性问题：
 - (1) 由于科学发展水平的限制，在转基因生物研究中，有时候会出现一些人们意想不到的后果，这会引发哪些问题？
 - (2) 在转基因生物或产品研究过程中，绝大多数科学家都能自觉遵守科学道德。如何看待那些不遵守道德的科学家的贡献？



本章小结



DNA重组技术就是将两个不同来源的DNA分子在体外进行人工连接，且连接处符合碱基互补配对原则。DNA重组技术是基因工程的核心技术。限制性内切酶、DNA连接酶等是该技术的重要工具，质粒是基因工程中最常用的载体。

基因工程是按照预设的工作流程，有目的地把一个生物体的基因转移到另一个生物体中，使后者表达出人们所需的产物或者获得新的可遗传性状。基因工程的基本操作包括：①获取目的基因；②构建重组DNA；③导入重组DNA；④筛选受体细胞；⑤目的基因表达。

基因工程已在药物生产（如胰岛素）、工业生产（如基因芯片技术）、农业生产（如转基因大豆）上得到应用。

蛋白质工程又称为第二代基因工程。通过研究蛋白质结构，确定基因改造方案，最终改造或创造蛋白质。

聚合酶链式反应（PCR）利用酶、模板等在体外完成DNA的复制，它具有倍增DNA片段的作用。

基因工程的广泛应用对人类社会、道德伦理、经济和环境都带来了一些影响。我们应理性地参与动物克隆、转基因食品等社会性科学议题的讨论。



习题

1. 下列哪一个DNA分子上的序列可以是某特定限制性内切酶的识别序列?

A. AAGG	B. GGCC	C. ACCA	D. AAAA
TTCC	CCGG	TGGT	TTTT
2. 下列有关基因工程技术的叙述,合理的是()
 - A. 基因工程是从细胞水平改变生物的遗传性状
 - B. 所有的限制性内切酶都只能识别同一种特定的核苷酸序列
 - C. 选用细菌作为重组质粒的受体细胞是因为细菌繁殖快
 - D. 只要目的基因进入了受体细胞就能成功实现表达
3. 基因工程中最常用的质粒载体大部分来自()
 - A. 动物细胞
 - B. 植物细胞
 - C. 酵母细胞
 - D. 细菌细胞
4. 由于质粒与目的基因具有相同的黏性末端,以下哪个结果不会在结合过程中发生?()
 - A. 形成环状的外源DNA
 - B. 可能形成环状的载体DNA
 - C. 可能出现重组DNA
 - D. 只出现重组DNA
5. 基因工程与蛋白质工程的区别是()
 - A. 基因工程在分子水平对基因进行操作,而蛋白质工程不对基因进行操作
 - B. 基因工程合成的是天然存在的蛋白质,蛋白质工程可以合成非天然存在的蛋白质
 - C. 基因工程是分子水平操作、蛋白质工程是细胞水平操作
 - D. 基因工程完全不同于蛋白质工程
6. 基因工程在医学上有许多应用,目前没有普遍开展的是()
 - A. 生产用于治疗糖尿病和侏儒症的激素
 - B. 为获取癌症治疗信息而分析基因表达
 - C. 通过CRISPR/Cas9系统在有活力的人类胚胎中编辑基因以纠正遗传病
 - D. 产前鉴定遗传病等位基因
7. 某生物中发现一种基因的表达产物多肽P,具有较强的抗菌性和溶血性。科研人员期望在多肽P的基础上研发抗菌性强但溶血性弱的蛋白质药物,接下来要做的工作是()



- A. 合成编码多肽 P 的 DNA 片段
B. 构建含目的基因片段的表达载体
C. 构建抗菌性强但溶血性弱的蛋白质结构
D. 利用抗原抗体反应对表达产物进行检测
8. 猪的胰岛素用于人体时降血糖效果不明显，原因是猪胰岛素分子中有一个氨基酸与人的不同。为了使猪胰岛素用于治疗人类糖尿病，蛋白质工程中的蛋白质分子设计的最佳方案是（ ）
A. 对猪胰岛素进行一个氨基酸的替换
B. 将猪胰岛素和人胰岛素进行拼接组成新的胰岛素
C. 将猪和人的胰岛素混合在一起治疗糖尿病
D. 根据人的胰岛素设计制造一种全新的胰岛素
9. 基因工程的工具与用途不匹配的是（ ）
A. 限制性内切酶——切割 DNA 并制造出具有黏性末端的片段
B. DNA 连接酶——连接任意两个 DNA 片段
C. DNA 聚合酶——在 PCR 中用来大量复制 DNA 片段
D. 反转录酶——由 mRNA 制造互补 DNA
10. 有人提出，转基因大豆所携带的目的基因可以通过花粉传递给近缘物种造成“基因污染”。你是怎么看待这个问题的？
11. 图 16-32 为蛋白质工程的流程图。



图 16-32 蛋白质工程流程图

据图回答以下问题：

- (1) 与基因工程相比较，蛋白质工程产物具备怎样的特点？
- (2) 图中的步骤①和②分别表示什么？
- (3) 如果已知 mRNA 的碱基序列为 -AUCCAGGUC-，要合成对应的 DNA，需要什么原料？合成 DNA 的对应碱基对序列是怎样的？
- (4) 改造蛋白质结构，最终是通过改造基因来实现的。请说明原因。

12. 1980年美国科学家应用DNA重组技术,制备出能生产人胰岛素的基因工程菌,让其生产胰岛素,用于治疗糖尿病,其生产过程如图16-33所示。

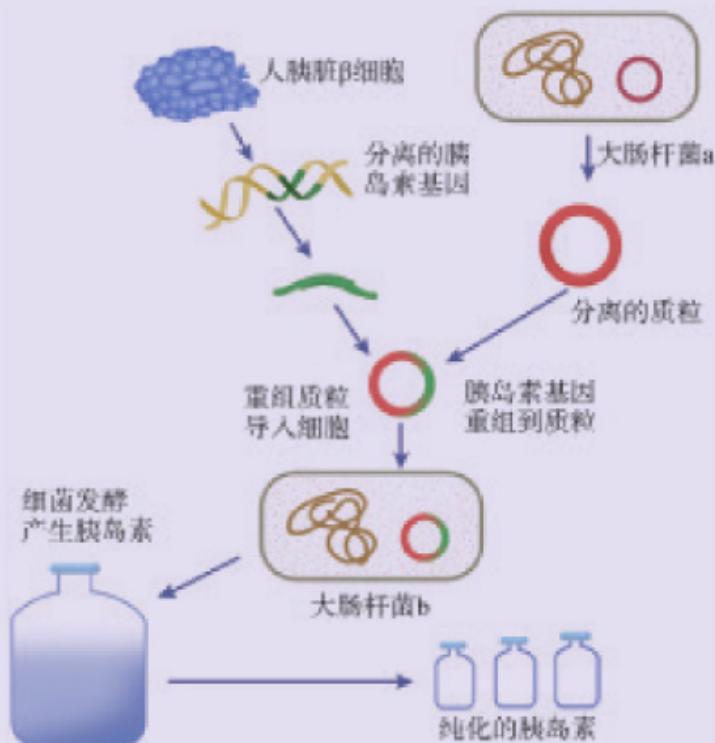


图16-33 人胰岛素生产过程

- (1) 为什么大肠杆菌等微生物是基因工程最早的突破口和常用的实验材料?
- (2) 请根据图16-33回答下列问题:
 - ① 图中的大肠杆菌a和大肠杆菌b的差异是什么?
 - ② “目的基因”为什么能在大肠杆菌内表达功能?
- (3) 有人提出“吃基因补基因”的观点,你是否赞成?试从新陈代谢角度简要说明理由。