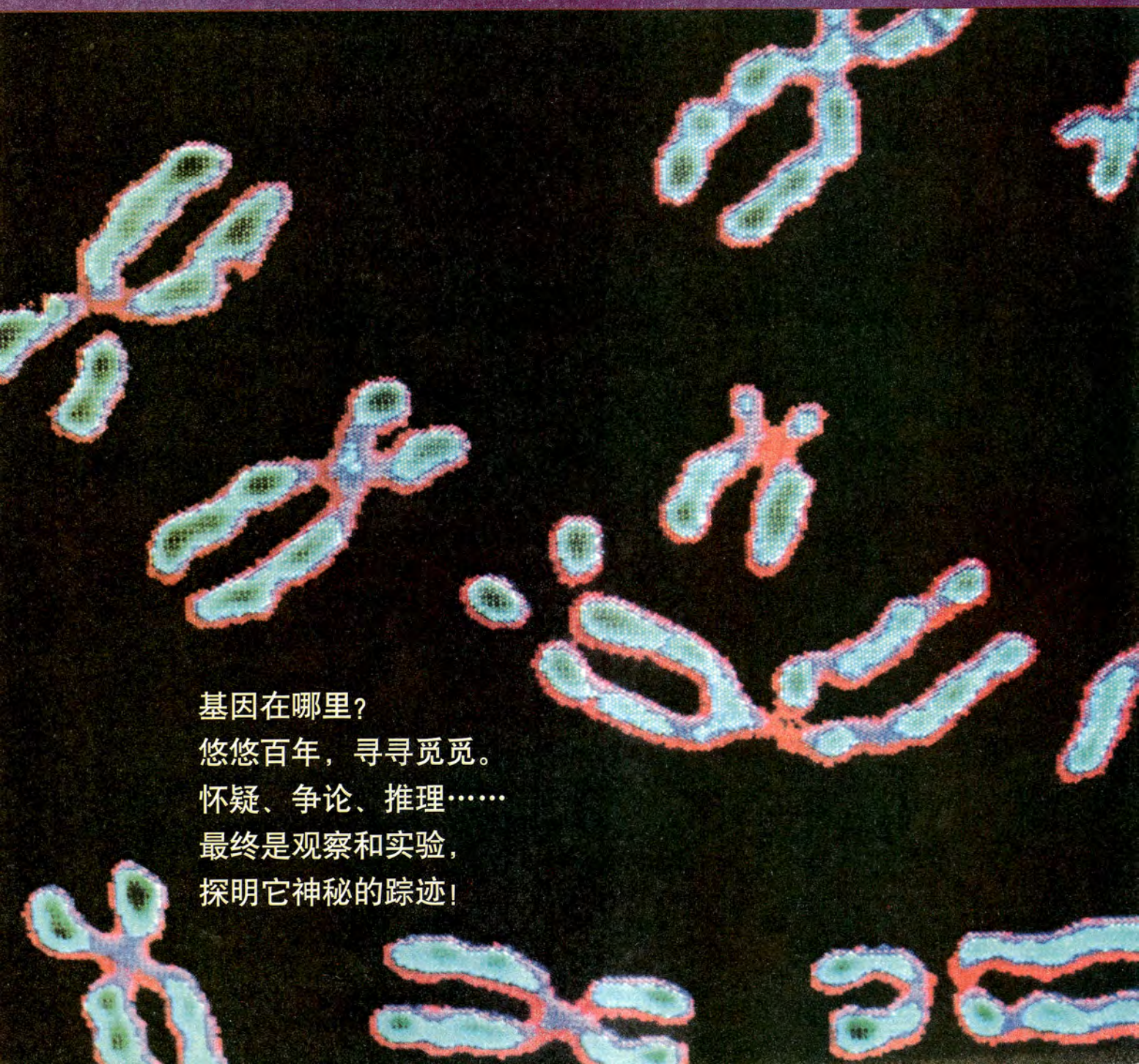


第2章 基因和染色体的关系

当孟德尔的遗传规律被重新发现以后，有一个问题始终没有解决：基因在细胞中究竟有没有物质基础呢？孟德尔所假设的颗粒状的因子，究竟是不是物质的实体？如果是，又存在于细胞中什么位置？

对细胞分裂的深入观察，使人们推测到基因和染色体的关联。摩尔根著名的果蝇杂交实验，使这一问题有了确凿的答案。



基因在哪里？
悠悠百年，寻寻觅觅。
怀疑、争论、推理……
最终是观察和实验，
探明它神秘的踪迹！

第1节 减数分裂和受精作用



问题探讨

左图是黑腹果蝇 (*Drosophila melanogaster*) 雌雄个体体细胞和配子的染色体图。

讨论:

1. 配子的染色体与体细胞的染色体有什么区别?
2. 针对这幅图,你还能提出什么问题或猜想?

一 减数分裂

本节聚焦

- 减数分裂的含义是什么?
- 配子的形成为什么必须经过减数分裂?
- 减数分裂是怎样进行的?

► 相关信息

1883年,科学家用体细胞中只有两对染色体的马蛔虫作为材料进行研究,发现马蛔虫精子和卵细胞中的染色体数目都只有体细胞的一半,而在受精卵中又恢复成两对染色体。

1890年,科学家确认精子和卵细胞的形成要经过减数分裂。

1891年,科学家描述了形成精子和卵细胞的减数分裂的全过程。

当孟德尔向人们揭示遗传规律的时候,细胞学的研究也取得了可喜的进展。与孟德尔同时代的生物学家魏斯曼(A. Weismann, 1834—1914)从理论上预测:在卵细胞和精子成熟的过程中,必然有一个特殊的过程使染色体数目减少一半;受精时,精子和卵细胞融合,恢复正常的染色体数目。这个天才的预见在19世纪80年代被其他科学家的显微镜观察所证实。魏斯曼预言的这个特殊的过程,实际上是特殊方式的有丝分裂,叫做减数分裂。减数分裂(meiosis)是进行有性生殖的生物,在产生成熟生殖细胞时进行的染色体数目减半的细胞分裂。在减数分裂过程中,染色体只复制一次,而细胞分裂两次。减数分裂的结果是,成熟生殖细胞中的染色体数目比原始生殖细胞的减少一半。

下面结合哺乳动物精子和卵细胞的形成,介绍减数分裂的过程。

精子的形成过程

高等动植物的减数分裂发生在有性生殖器官内。人和其他哺乳动物的精子是在睾丸中形成的。睾丸里有许多弯弯弯曲曲的曲细精管(图2-1)。曲细精管中有大量的精原细胞。精原细胞是原始的雄性生殖细胞,每个精原细胞中的

染色体数目都与体细胞的相同。当雄性动物性成熟时，睾丸里的一部分精原细胞就开始进行减数分裂。经过两次连续的细胞分裂——减数第一次分裂、减数第二次分裂，再经过精细胞的变形，就形成了成熟的雄性生殖细胞——精子（图 2-2）。

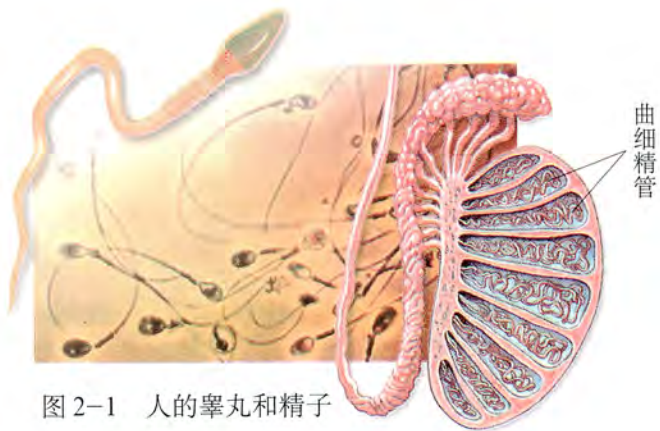


图 2-1 人的睾丸和精子

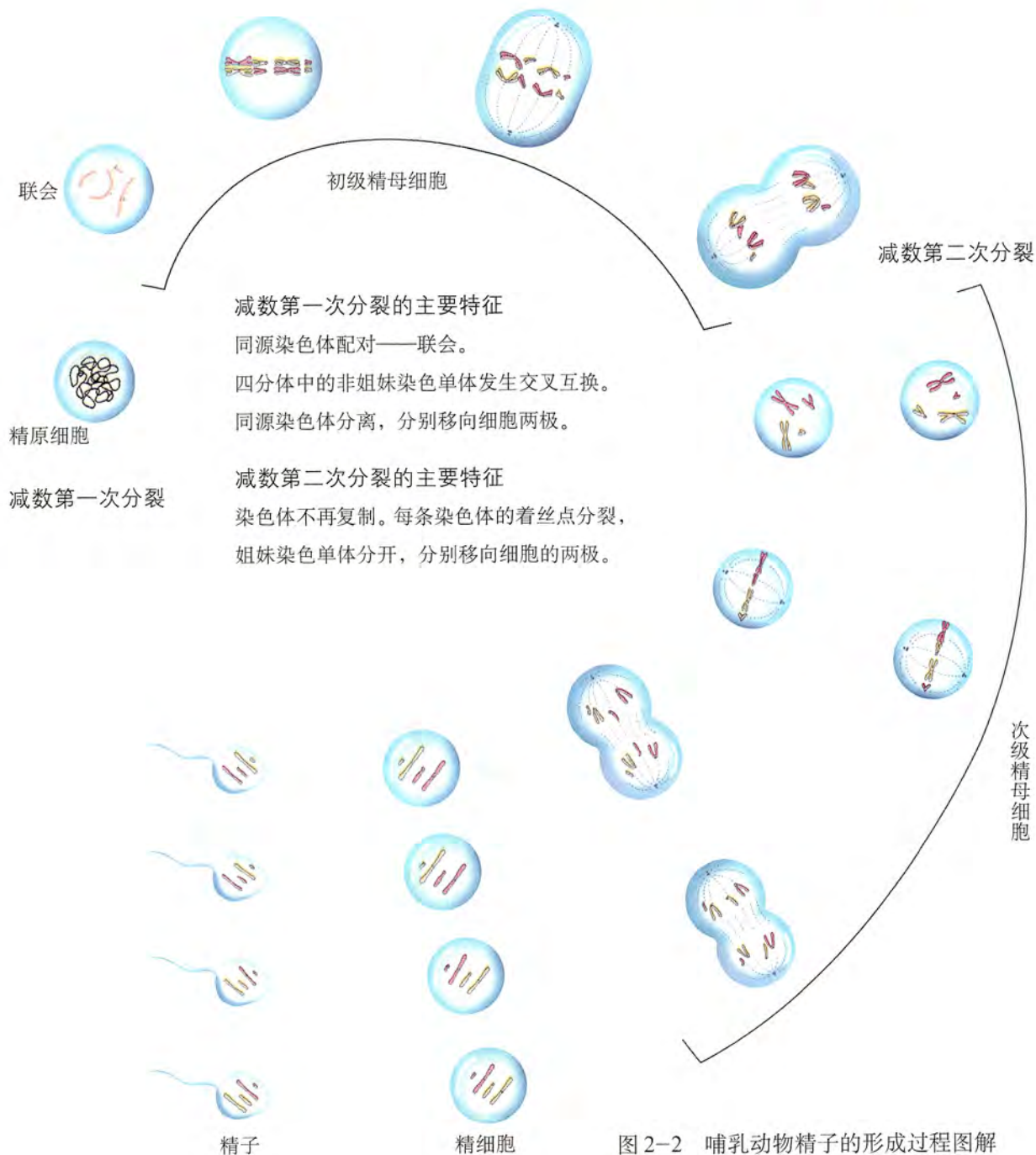


图 2-2 哺乳动物精子的形成过程图解

减数分裂的染色体复制发生在什么时候？

► 相关信息

在减数第一次分裂前的间期，染色体复制后，每条染色体上的两条姐妹染色单体各是一条长的细丝，呈染色质状态。所以，这时候在光学显微镜下看不到每条染色体上的两条姐妹染色单体。

在减数第一次分裂前的间期，精原细胞的体积增大，染色体复制，成为初级精母细胞。复制后的每条染色体都由两条姐妹染色单体构成。这两条姐妹染色单体由同一个着丝点连接。

减数第一次分裂期开始不久，初级精母细胞中原来分散的染色体进行两两配对。配对的两条染色体，形状和大小一般都相同，一条来自父方，一条来自母方，叫做**同源染色体**。**同源染色体两两配对的现象叫做联会**。由于每条染色体都含有两条姐妹染色单体，因此，联会后的每对同源染色体含有四条染色单体，叫做**四分体**。四分体中的非姐妹染色单体之间经常发生缠绕，并交换一部分片段（图2-3）。



图2-3 染色体交叉互换的照片和示意图

细胞两极的这两组染色体，非同源染色体之间是自由组合的吗？

在减数第一次分裂中染色体出现了哪些特殊的行为？这对于生物的遗传有什么重要意义？

随后，各对同源染色体排列在赤道板上，每条染色体的着丝点都附着在纺锤丝上。不久，在纺锤丝的牵引下，配对的两条同源染色体彼此分离，分别向细胞的两极移动。这样，细胞的每个极只得到各对同源染色体中的一条。在两组染色体到达细胞两极的时候，一个初级精母细胞分裂成了两个次级精母细胞。

在这次分裂过程中，由于同源染色体分离，并分别进入两个子细胞，使得每个次级精母细胞只得到初级精母细胞中染色体总数的一半。因此，**减数分裂过程中染色体数目的减半发生在减数第一次分裂**。

减数第一次分裂与减数第二次分裂之间通常没有间期，或者间期时间很短，染色体不再复制。在减数第二次分裂过程中，每条染色体的着丝点分裂，两条姐妹染色单体也随之分开，成为两条染色体。在纺锤丝的牵引下，这两条染色体分别向细胞的两极移动，并且随着细胞的分裂进入

两个子细胞。这样，在减数第一次分裂中形成的两个次级精母细胞，经过减数第二次分裂，就形成了四个精细胞。与初级精母细胞相比，每个精细胞都含有数目减半的染色体。

精细胞要经过复杂的变形才成为精子。精子呈蝌蚪状，头部含有细胞核，尾长，能够摆动。

卵细胞的形成过程

人和其他哺乳动物的卵细胞是在卵巢中形成的。卵巢位于腹腔内，内部有许多发育程度不同的卵泡，位于卵泡中央的一个细胞就是卵细胞（图 2-4）。

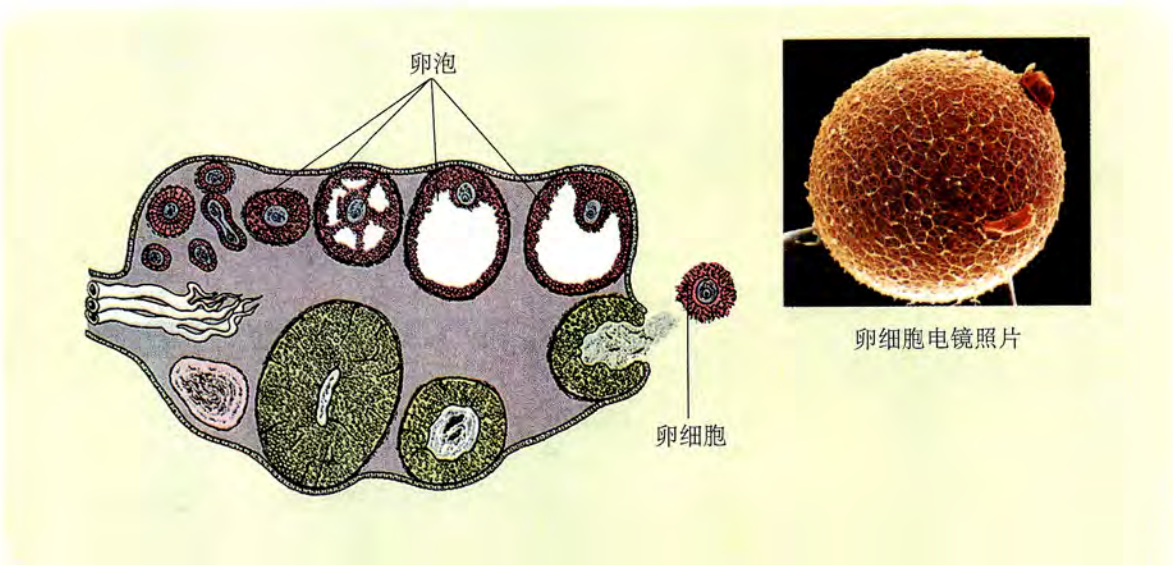


图 2-4 人的卵巢（横切面）和卵细胞

卵细胞的形成过程与精子的基本相同。首先是卵原细胞增大，染色体进行复制，成为初级卵母细胞。然后，初级卵母细胞经过减数第一次分裂和第二次分裂，形成卵细胞。卵细胞与精子形成过程的主要区别是：初级卵母细胞经过减数第一次分裂，形成大小不同的两个细胞，大的叫做次级卵母细胞，小的叫做极体。次级卵母细胞进行减数第二次分裂，形成一个大的卵细胞和一个小的极体。在减数第一次分裂过程中形成的极体也分裂为两个极体。这样，一个初级卵母细胞经过减数分裂，就形成一个卵细胞和三个极体（图 2-5）。卵细胞和极体中都含有数目减半的染色体。不久，三个极体都退化消失，结果是一个卵原细胞经过减数分裂，只形成一个卵细胞。

为什么一个卵原细胞经过减数分裂只形成一个卵细胞？

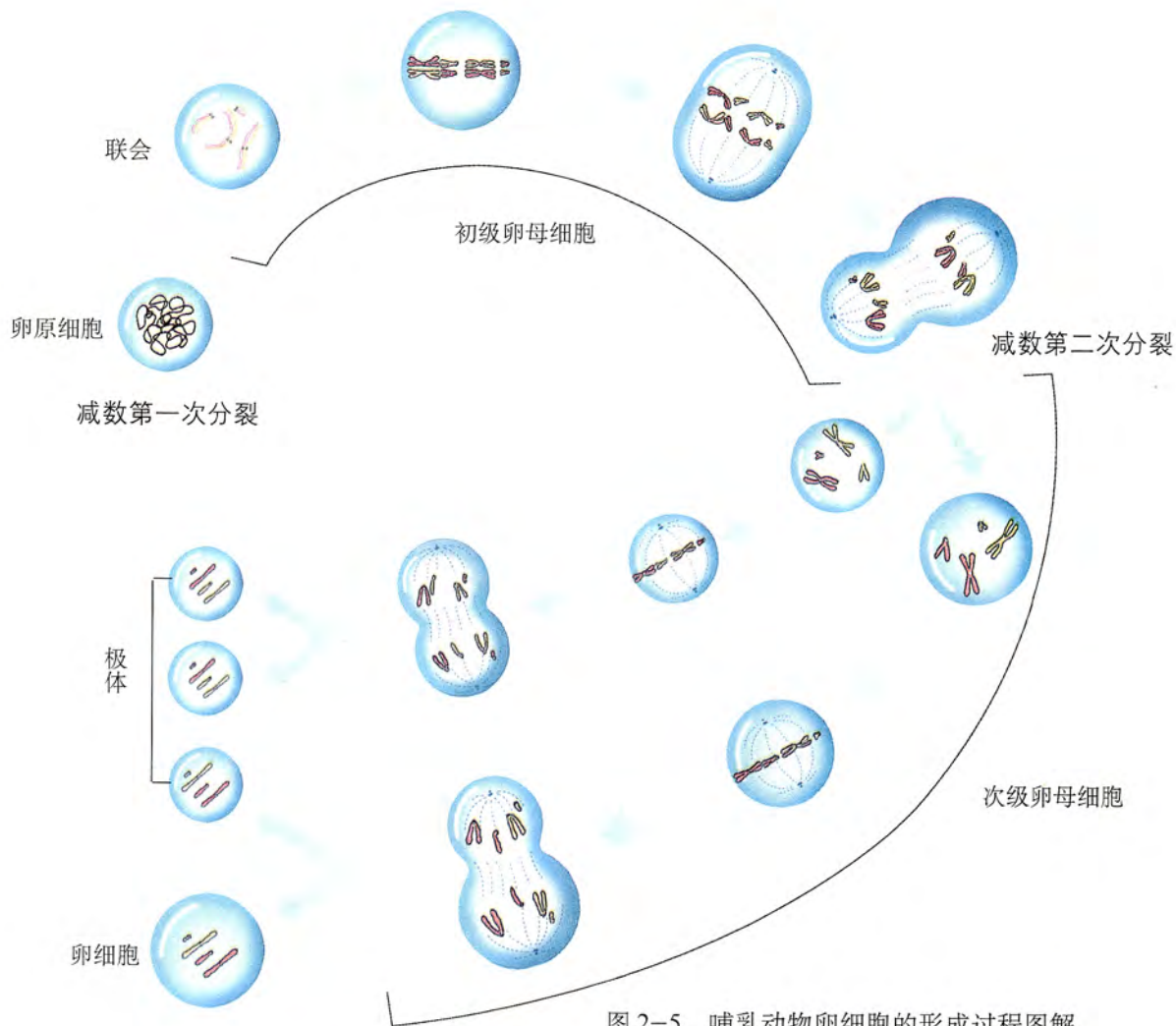


图 2-5 哺乳动物卵细胞的形成过程图解

综上所述，减数分裂的过程可以用图 2-6 来概括：

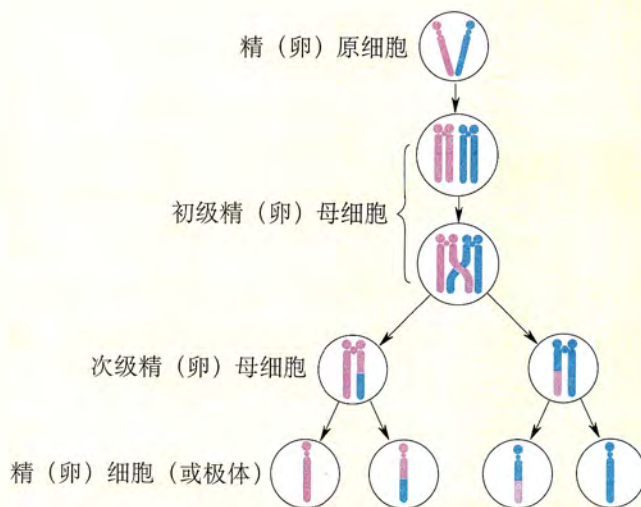


图 2-6 减数分裂图解



实验

观察蝗虫精母细胞减数分裂固定装片

目的要求

通过观察蝗虫精母细胞减数分裂固定装片，识别减数分裂不同阶段的染色体的形态、位置和数目，加深对减数分裂过程的理解。

材料用具

蝗虫精母细胞减数分裂固定装片，显微镜。

方法步骤

1. 在低倍显微镜下观察蝗虫精母细胞减数分裂固定装片。识别初级精母细胞、次级精母细胞和精细胞。

2. 先在低倍镜下依次找到减数第一次分裂中期、后期和减数第二次分裂中期、后期的细胞，再在高倍镜下仔细观察染色体的形态、位置和数目。你还能找到减数分裂其他时期的细胞吗？

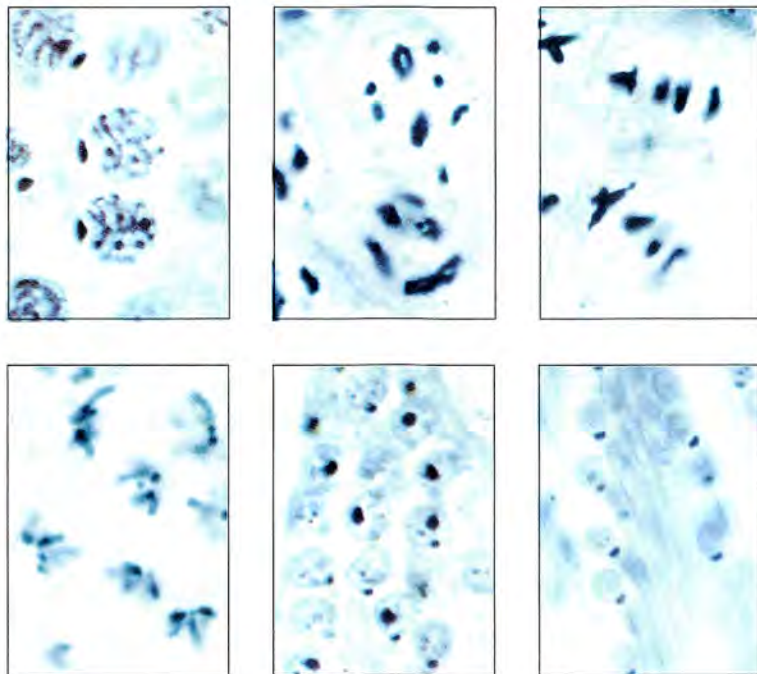
3. 根据观察结果，尽可能多地绘制减数分裂不同时期的细胞简图。

讨论

1. 当你的目光聚焦在显微镜视野中的一个细胞时，你是怎么判断它是处于减数第一次分裂时期，还是处于减数第二次分裂时期的？

2. 减数第一次分裂与减数第二次分裂相比，中期细胞中染色体的不同点是什么？末期呢？

3. 你是通过比较同一时刻同一种生物不同细胞的染色体特点，来推测一个精母细胞在不同分裂时期的染色体变化的。这一做法能够成立的逻辑前提是什么？



蝗虫精母细胞减数分裂显微照片



练习

一、基础题

1. 判断下列表述是否正确。

(1) 在减数分裂过程中, 染色体数目减半发生在减数第一次分裂。 ()

(2) 玉米体细胞中有10对染色体, 经过减数分裂后, 卵细胞中染色体数目为5对。 ()

(3) 每个原始生殖细胞经过减数分裂都形成4个成熟生殖细胞。 ()

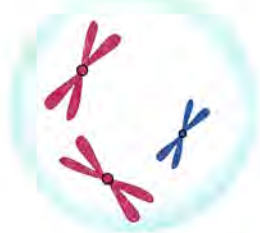
(4) 人的精子中有23条染色体, 那么人的神经细胞、初级精母细胞、卵细胞中分别有染色体46、46、23条, 染色单体0、46、23条。 ()

2. 与有丝分裂相比, 减数分裂过程中染色体最显著的变化之一是:

- A. 染色体移向细胞两极;
- B. 同源染色体联会;
- C. 有纺锤体形成;
- D. 着丝点分开。

答 []

3. 下图所示的细胞最可能是:

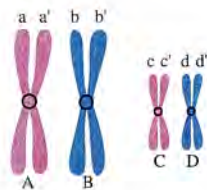


- A. 精细胞; B. 卵细胞;
- C. 初级精母细胞; D. 次级精母细胞。

答 []

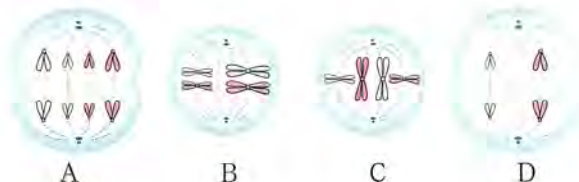
4. 识图作答

(1) 若右上角图所示细胞正在进行细胞分裂, 看图回答问题。



- ① 这个细胞正在进行哪种分裂? 为什么?
- ② 细胞中有几条染色体? 几条染色单体?
- ③ 细胞中有几对同源染色体? 哪几条染色体是非同源染色体?
- ④ 细胞中包含哪些姐妹染色单体?
- ⑤ 这个细胞在分裂完成后, 子细胞中有几条染色体?
- ⑥ 画出这个细胞的分裂后期图。

(2) 下图是某动物细胞分裂的一组图像, 看图回答问题。



- ① 这个动物体细胞中染色体数目是_____条。
- ② 图中属于减数分裂的细胞是_____, 含有染色单体的细胞是_____。

二、拓展题

经过减数分裂形成的精子或卵细胞, 染色体数目一定是体细胞的一半吗? 有没有例外? 出现例外时会造成什么后果? 请选择你认为最便捷的途径寻找答案。

二 受精作用

减数分裂形成的精子和卵细胞，必须相互结合形成受精卵，才能发育成新个体。对配子的进一步了解，有助于理解受精作用（fertilization）的实质。

配子中染色体组合的多样性

父亲体内所有的精原细胞，染色体组成并无差别；母亲体内的卵原细胞也是如此。可是，“一母生九子，九子各不同”。同样的精（卵）原细胞会产生不同的配子吗？

本节聚焦

- 配子中染色体的组合为什么是多种多样的？
- 什么是受精作用？受精作用对于生物的遗传有什么重要意义？



模型建构

建立减数分裂中染色体变化的模型

活动准备

本活动由两人一合作完成。

1. 课前准备好红色和黄色的橡皮泥，一张较大的白纸。

2. 用橡皮泥做出4条黄色和4条红色的染色单体，其中2条黄色的染色单体长3~4 cm，2条长6~8 cm；2条红色的染色单体长3~4 cm，2条长6~8 cm。

3. 把颜色、长度相同的两条染色单体成对并排放置。用同种颜色的小块橡皮泥代表着丝点，在两条染色单体中部用小块橡皮泥粘起来，代表减数分裂开始时已完成复制的染色体。

4. 在纸上画一个足够大的初级精母细胞的轮廓，能够容纳所做的4条染色体。画出中心体和纺锤体。

一、模拟减数分裂中染色体数目及主要行为的变化

方法步骤

1. 把做好的染色体放在画好的细胞内，让长度相同、颜色不同的两条染色体配对，使着丝

点靠近。红色代表来自母方的染色体，黄色代表来自父方的染色体。

2. 将两对染色体横向排列在纺锤体中部赤道板处，红色染色体放在赤道板的一侧，黄色染色体放在另一侧。

3. 双手分别抓住并移动染色体的着丝点，使红色和黄色的染色体分离，分别移向细胞的两极。

4. 在另一张纸上再画两个次级精母细胞的轮廓，并画出中心体和纺锤体。将已经移到细胞两极的染色体分别放到这两个新细胞中。

5. 把新细胞中的染色体



横向排列在细胞中央的赤道板处。平均分开每条染色体上的小块橡皮泥——相当于着丝点分离。抓住粘有小块橡皮泥（即着丝点）的部位，把染色体分别拉向细胞的两极。尽量一次移动所有的染色体，像在活细胞中发生的那样。然后，在两极有染色体的部分画出细胞轮廓，代表新细胞生成。

讨论

1. 让长度相同、颜色不同的两条染色体配对代表什么？
2. 减数分裂开始时细胞内有多少条染色体？染色体数目减半发生在什么时候？减数分裂结束时形成的每个子细胞中有多少条染色体？
3. 你模拟了减数分裂中哪些染色体行为？
4. 你们小组的模型中只含红色染色体的配子有几个？只含黄色染色体的配子有几个？

二、模拟减数分裂过程中非同源染色体的自由组合

方法步骤

1. 同活动一的方法步骤1。
2. 将两对染色体横向排列在赤道板处，注意，这次要在赤道板的每一侧放两条不同颜色的染色体。

3. 继续活动一的3、4、5步骤，完成减数分裂全过程。

讨论

1. 本次模拟形成的配子与活动一形成的配子有什么不同？
2. 同活动一的结果一并考虑，含两对同源染色体的初级精母细胞能产生几种配子？
3. 如果用3对染色体进行模拟，将产生多少种类型的配子？

表达与交流

与其他小组交流建构模型的过程和结果，用语言和图解说明减数分裂中染色体数目及主要行为的变化。如果条件允许，建议在计算机上制作减数分裂的动态模型。

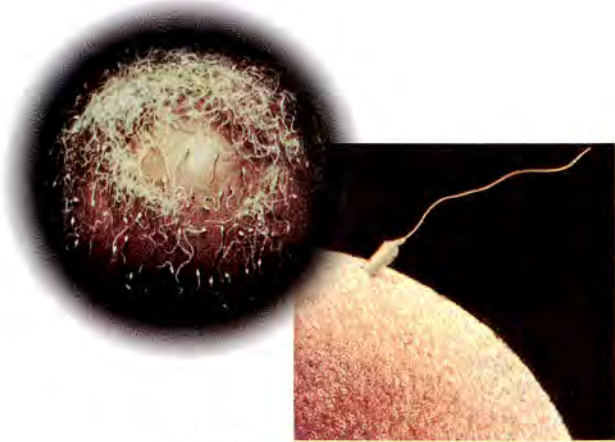


图 2-7 受精过程的开始

在生物的体细胞内，染色体的数目往往是比较多的。比如，人的体细胞中就有23对染色体。那么人在形成精子或卵细胞时，可能产生多少种类型的配子呢？如果再把非姐妹染色单体间的交叉互换考虑进去，通过减数分裂产生的配子种类就更多了。请你想一想，这对于生物多样性的形成有什么意义？

受精作用

受精作用是卵细胞和精子相互识别、融合成为受精卵的过程。在受精作用进行

时，通常是精子的头部进入卵细胞（图2-7），尾部留在外面。与此同时，卵细胞的细胞膜会发生复杂的生理反应，以阻止其他精子再进入。精子的头部进入卵细胞后不久，精子的细胞核就与卵细胞的细胞核相融合，使彼此的染色体会合在一起。这样，受精卵中的染色体数目又恢复到体细胞中的数目，其中有一半的染色体来自精子（父方），另一半来自卵细胞（母方）。

未受精时，卵细胞好像睡着了，细胞呼吸和物质合成进行得比较缓慢。受精过程使卵细胞变得十分活跃。然后受精卵将迅速进行细胞分裂、分化，新生命由此开始了遗传物质与环境相互作用的发育过程。

新一代继承了父母双方的遗传物质。由于减数分裂形成的配子，染色体组成具有多样性，导致不同配子遗传物质的差异，加上受精过程中卵细胞和精子结合的随机性，同一双亲的后代必然呈现多样性。这种多样性有利于生物在自然选择中进化，体现了有性生殖的优越性。此外，就进行有性生殖的生物来说，减数分裂和受精作用对于维持每种生物前后代体细胞中染色体数目的恒定，对于生物的遗传和变异，都是十分重要的。

▶ 想像空间

子代从双亲各继承了半数的染色体，双亲对子代的贡献是一样的吗？卵细胞含有丰富的细胞质，细胞质中什么结构含有DNA？它会影响生物的遗传吗？

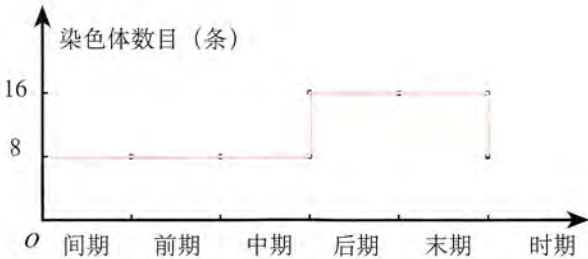


技能训练

识图和作图

某种生物的精原细胞含有4对同源染色体。

1. 参照曲线图填表



精原细胞有丝分裂过程中染色体数目变化图

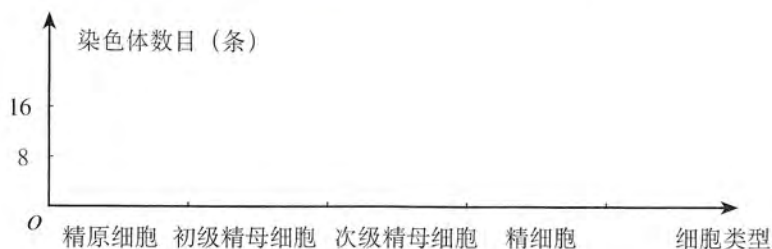
精原细胞有丝分裂过程中染色体数目变化表

时期	间期	前期	中期	后期	末期
染色体数目（条）					

2. 填表并画出曲线图

精原细胞形成精子过程中染色体数目变化表

细胞类型	精原细胞	初级精母细胞	次级精母细胞	精细胞
染色体数目 (条)				



精原细胞形成精子过程中染色体数目变化图



练习

一、基础题

1. 判断下列表述是否正确。

- (1) 同一个生物体在不同时刻产生的精子或卵细胞, 染色体数一般是相同的。 ()
- (2) 同一个生物体在不同时刻产生的精子或卵细胞, 染色体组成一般是不同的。 ()
- (3) 一个卵细胞一般只能同一个精子结合, 形成受精卵。 ()

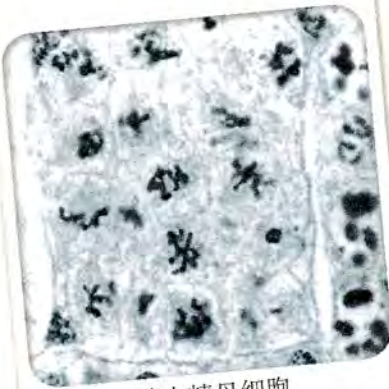
2. 从配子形成和受精作用两方面, 简要说明遗传的多样性和稳定性的原因。

二、拓展题

正常人有 23 对染色体。有一种叫“21 三体综合征”的遗传病, 患者智力低下, 身体发育缓慢。对患者进行染色体检查, 发现患者的 21 号染色体不是正常的 1 对, 而是 3 条。你能从精子或卵细胞形成的角度推测这种病的病因吗?

第2节 基因在染色体上

问题探讨



蝗虫精母细胞
减数第一次分裂后期照片

请你试一试，将孟德尔分离定律中的遗传因子换成同源染色体，把分离定律念一遍，你觉得这个替换有问题吗？由此你联想到什么？

人只有23对染色体，却有几万个基因，基因和染色体之间可能有对应关系吗？

1903年，美国遗传学家萨顿 (W. Sutton, 1877—1916) 用蝗虫细胞作材料，研究精子和卵细胞的形成过程。他发现孟德尔假设的一对遗传因子，也就是等位基因，它们的分离与减数分裂中同源染色体的分离非常相似。

萨顿的假说

萨顿发现，有一种蝗虫的体细胞中有24条染色体，生殖细胞中只有12条染色体。精子和卵细胞结合形成的受精卵，又具有了24条染色体。蝗虫子代体细胞中的染色体数目，与双亲的体细胞染色体数目一样。子代体细胞中的这24条染色体，按形态结构来分，两两成对，共12对，每对染色体中的一条来自父方，另一条来自母方。

萨顿由此推论：基因是由染色体携带着从亲代传递给下一代的。也就是说，基因就在染色体上，因为**基因和染色体行为存在着明显的平行关系**。

(1) 基因在杂交过程中保持完整性和独立性。染色体在配子形成和受精过程中，也有相对稳定的形态结构。

(2) 在体细胞中基因成对存在，染色体也是成对的。在配子中只有成对的基因中的一个，同样，也只有成对的染色体中的一条。

(3) 体细胞中成对的基因一个来自父方，一个来自母

本节聚焦

- 科学家发现基因与染色体有哪些平行关系？
- 什么实验证明了基因在染色体上？
- 对孟德尔遗传规律的现代解释是什么？

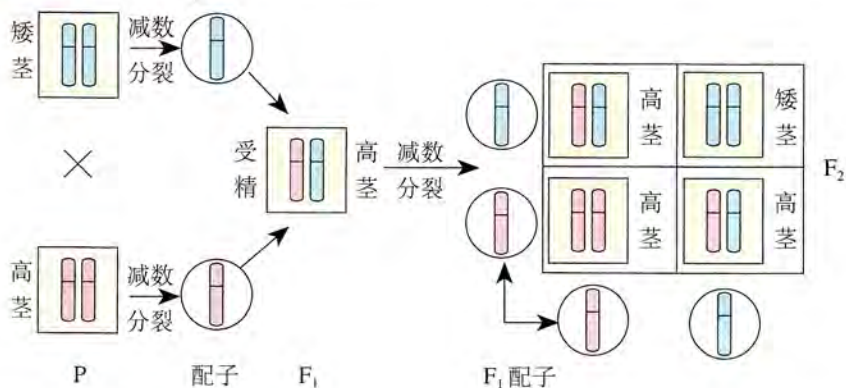
方。同源染色体也是如此。

(4) 非等位基因在形成配子时自由组合,非同源染色体在减数第一次分裂后期也是自由组合的。



思考与讨论

你同意以上分析吗?
如果你也认为基因在染色体上,请你在图中染色体上标注基因符号,解释孟德尔一对相对性状的杂交实验(图中染色体上黑色横线代表基因的位置)。



类比推理 这是科学研究中常用的方法之一。19世纪物理学家研究光的性质时,曾经将光与声进行类比。声有直线传播、反射和折射等现象,其原因在于它有波动性。后来发现光也有直线传播、反射和折射等现象,因此推测光也可能有波动性。上面介绍的萨顿的推理,也是类比推理。他将看不见的基因与看得见的染色体的行为进行类比,根据其惊人的一致性,提出基因位于染色体上的假说。应当注意的是,类比推理得出的结论并不具有逻辑的必然性,其正确与否,还需要观察和实验的检验。

► 相关信息

果蝇是昆虫纲双翅目的一种小型蝇类,在制醋和有水果的地方常常可以看到,体长3~4 mm。因为果蝇易饲养,繁殖快,10多天就繁殖一代,一只雌果蝇一生能产生几百个后代,所以生物学家常用它作为遗传学研究的实验材料。



基因位于染色体上的实验证据

美国生物学家摩尔根(T. H. Morgan, 1866—1945),曾经明确表示过不相信孟德尔的遗传理论。对萨顿的基因位于染色体上的学说更持怀疑态度,认为这是主观的臆测,缺少实验证据。他一直琢磨着设计一个实验,看看生物的遗传与染色体到底有什么关系,基因又是怎么回事。

用什么作实验材料呢?这是个关键问题。材料选对了,就等于实验成功了一半。腐烂水果周围飞舞的果蝇吸引了他和他的学生们的注意,经过观察,正合他的心意。

于是,从1909年开始,摩尔根开始潜心研究果蝇的遗传行为。一天,他偶然在一群红眼果蝇中发现了一只白眼雄果蝇。白眼性状是如何遗传的?他做了下面的实验(图2-8)。

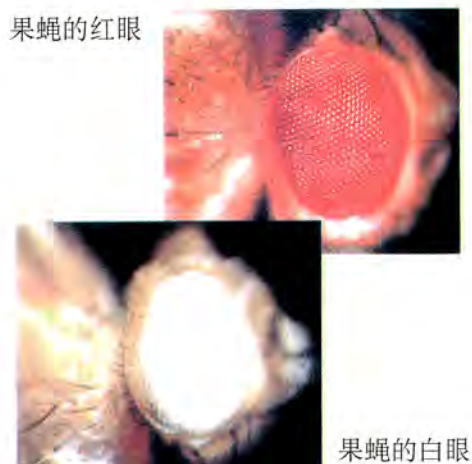
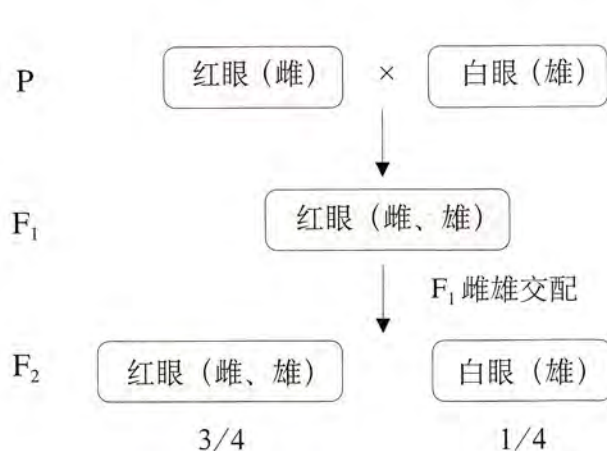


图 2-8 果蝇杂交实验图解

从上述实验不难发现,就果蝇红眼与白眼这一对相对性状来看, F₁ 全为红眼, F₂ 红眼和白眼之间的数量比是 3 : 1, 这样的遗传表现符合分离定律,表明果蝇的红眼和白眼是受一对等位基因控制的。所不同的是白眼性状的表现,总是与性别相联系。如何解释这一现象呢?

20 世纪初期,一些生物学家已经在一些昆虫的细胞里发现了性染色体。果蝇的体细胞中有 4 对染色体, 3 对是常染色体 (autosome), 1 对是性染色体 (sex chromosome) (图 2-9)。在雌果蝇中,这对性染色体是同型的,用 XX 表示;在雄果蝇中,这对性染色体是异型的,用 XY 表示。

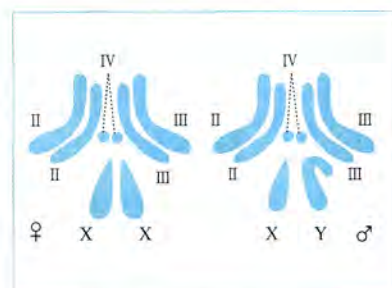


图 2-9 雌雄果蝇体细胞的染色体图解

由于白眼的遗传和性别相联系,而且与 X 染色体的遗传相似,于是,摩尔根及其同事设想,如果控制白眼的基因 (用 w 表示) 在 X 染色体上,而 Y 染色体不含有它的等位基因,上述遗传现象就可以得到合理的解释 (图 2-10)。

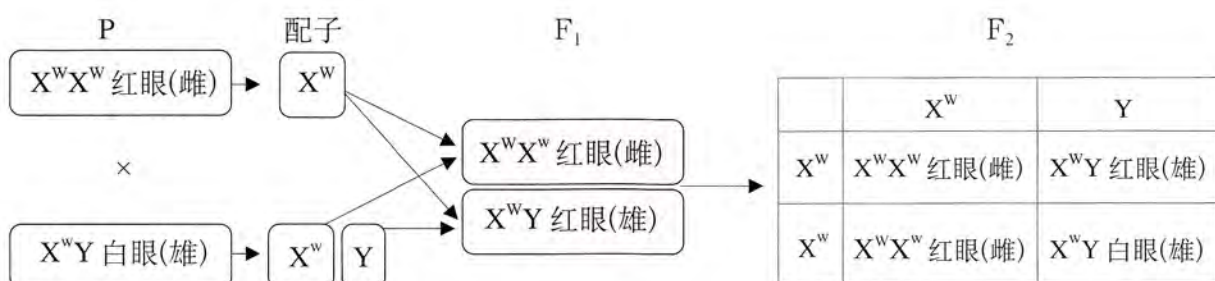


图 2-10 果蝇杂交实验分析图解

从图 2-10 可以看出,摩尔根等人的设想可以合理地解释实验现象。后来他们又通过测交等方法,进一步验证了这

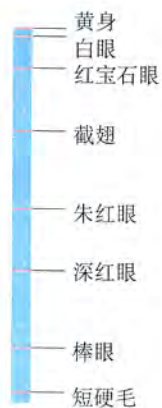
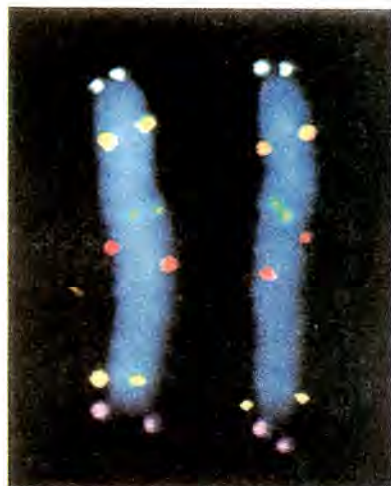


图 2-11 果蝇某一条染色体上的几个基因



现代分子生物学技术将基因定位在染色体上

些解释。正是他们的工作,把一个特定的基因和一条特定的染色体——X染色体联系起来,从而用实验证明了基因在染色体上。从此,摩尔根成了孟德尔理论的坚定支持者。

我们知道,每种生物的基因数量,都要远远多于这种生物染色体的数目。例如,果蝇体细胞内有4对染色体,被人们研究过的基因就达数百个;又如,人类的体细胞中有23对染色体,携带的基因大约有几万个。显然,一条染色体上应该有许多个基因。摩尔根和他的学生们经过十多年的努力,发明了测定基因位于染色体上的相对位置的方法,并绘出了第一个果蝇各种基因在染色体上相对位置的图,说明基因在染色体上呈线性排列(图2-11)。

现代分子生物学技术能够用特定的分子,与染色体上的某一个基因结合,这个分子又能被带有荧光标记的物质识别,通过荧光显示,就可以知道基因在染色体上的位置。

孟德尔遗传规律的现代解释

细胞遗传学的研究表明,孟德尔所说的一对遗传因子就是位于一对同源染色体上的等位基因,不同对的遗传因子就是位于非同源染色体上的非等位基因。

基因的分离定律的实质是:在杂合子的细胞中,位于一对同源染色体上的等位基因,具有一定的独立性;在减数分裂形成配子的过程中,等位基因会随同源染色体的分开而分离,分别进入两个配子中,独立地随配子遗传给后代。

基因的自由组合定律的实质是:位于非同源染色体上的非等位基因的分离或组合是互不干扰的;在减数分裂过程中,同源染色体上的等位基因彼此分离的同时,非同源染色体上的非等位基因自由组合。



技能训练

类比推理

科学家观察到基因和染色体的行为存在着明显的平行关系,通过类比推理的方法,推断出

基因位于染色体上。后来这一推断得到了实验的证实,实验还表明基因在染色体上呈线

性排列。

作为主要遗传物质的 DNA 也位于染色体上, 1 条染色体中有 1 个 DNA 分子。在细胞分裂时, DNA 也复制, 随染色体平均分配到两个

子细胞中。DNA 是脱氧核苷酸连接成的长链。请你运用类比推理的方法, 推断基因与 DNA 长链的关系。你的推理是否正确, 学完第 3 章、第 4 章后, 就会豁然开朗。



练习

一、基础题

1. 下列关于基因和染色体关系的叙述, 错误的是:

- A. 染色体是基因的主要载体;
- B. 基因在染色体上呈线性排列;
- C. 一条染色体上有多个基因;
- D. 染色体就是由基因组成的。

答 []

2. 下列关于基因和染色体在减数分裂过程中行为变化的描述, 错误的是:

- A. 同源染色体分离的同时, 等位基因也随之分离;
- B. 非同源染色体自由组合, 使所有非等位基因之间也发生自由组合;
- C. 染色单体分开时, 复制而来的两个基因也随之分开;

D. 非同源染色体数量越多, 非等位基因组合的种类也越多。

答 []

二、拓展题

1. 生物如果丢失或增加一条或几条染色体, 就会出现严重疾病甚至死亡。但在自然界中, 有些动植物的某些个体是由未受精的生殖细胞(如卵细胞)单独发育来的, 如蜜蜂中的雄蜂等。这些生物的体细胞中染色体数目虽然减少一半, 但仍能正常生活。你如何解释这一现象?

2. 人的体细胞中有 23 对染色体, 其中第 1 号~第 22 号是常染色体, 第 23 号是性染色体。现在已经发现第 13 号、第 18 号或第 21 号染色体多一条的婴儿, 都表现出严重的病症。据不完全调查, 现在还未发现其他常染色体多一条(或几条)的婴儿。请你试着作出一些可能的解释。



染色体遗传理论的奠基人——摩尔根

说来也巧，就在遗传学之父孟德尔发表研究成果的那一年，也就是1866年，又一位遗传学巨人——摩尔根出生了。时间的巧合，足以使人浮想联翩。

摩尔根是一位敢于怀疑、勤奋实践的人。在一次国际遗传学会议上，摩尔根曾这样介绍自己的科学发现过程：“你若问我怎样去获得这些发现……那么，我会这样说，靠勤奋……靠聪明地运用假设，靠寻觅有利的材料……”摩尔根就是抱着这样的态度，无论对自己的假说，还是对别人的学说，都一概采取依靠事实和运用实验来检验理论是否正确的科学态度。他对于孟德尔遗传规律的确证过程就是最好的例子。最初，摩尔根认为孟德尔遗传规律是正确的，因为它们建立在可靠的实验基础上。后来，由于在自己所进行的实验中没能取得类似的结果，他便对这些定律产生了怀疑。于是，他又勤奋地进行了一系列新的实验。当大量的果蝇实验结果确证了孟德尔的定律之后，他不仅承认，而且还发现了新的定律。

说起摩尔根，人们很自然地会联想到果蝇。小小的果蝇帮了摩尔根的大忙，而摩尔根也与果蝇结下了不解之缘。1908年，摩尔根安排一个研究生在暗室里饲养果蝇，希望能产生一种果蝇，它们的眼睛因不用而退化。这位学生让果蝇在暗无天日的世界里繁殖了68代，研究也毫无进展。在第69代时出现了眼睛暂时昏花的果蝇，学生想逗逗摩尔根，叫摩尔根快来，当摩尔根赶到实验室，这些果蝇却恢复了视力，向窗外

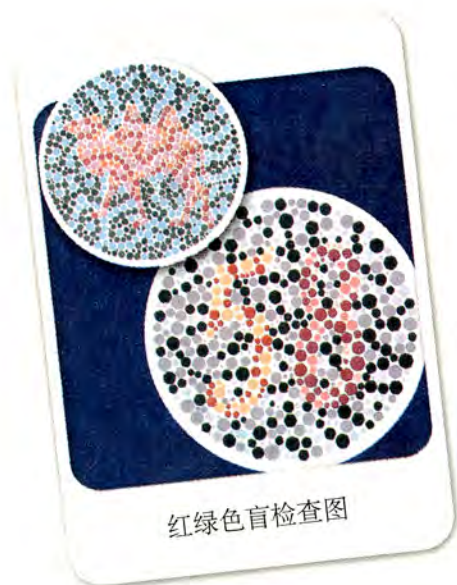


飞去。虽然这项研究没有取得结果，但是这种近乎理想的实验动物，却被引进摩尔根在哥伦比亚大学的实验室里来了。果蝇开始大量繁殖，摩尔根用果蝇做了一个又一个的实验。大约在1910年5月，在摩尔根实验室中诞生了一只白眼雄果蝇，而它的兄弟姐妹的眼睛都是红色的。很明显，这是一只变异个体，它注定要成为科学史上著名的动物。摩尔根精心照料这只果蝇。在自己的第三个孩子出生时，摩尔根赶到医院，他妻子的第一句话竟是：“那只白眼果蝇怎么样了？”摩尔根的第三个孩子长得很好，但那只果蝇却很虚弱。摩尔根晚上把它带回家中，让它呆在他床边的一个瓶子里，白天又把它带回实验室。在实验室，它临死前抖擞精神，与一只红眼果蝇交配，把突变基因传了下来。

摩尔根用果蝇做了大量实验，发现了基因的连锁互换定律，人们称之为遗传学的第三定律。他还证明基因在染色体上呈线性排列，为现代遗传学奠定了细胞学基础。摩尔根由于在染色体遗传理论上的杰出贡献，成为第一个以遗传学领域的贡献而获诺贝尔生理学或医学奖的科学家。

第3节 伴性遗传

问题探讨



红绿色盲检查图

红绿色盲是一种常见的人类遗传病，患者由于色觉障碍，不能像正常人一样区分红色和绿色。据调查，红绿色盲患者男性远远多于女性。

抗维生素D佝偻病，也是一种人类遗传病，患者的小肠由于对钙、磷的吸收不良等障碍，病人常常表现出O型腿、骨骼发育畸形、生长缓慢等症状。但这种病与红绿色盲不同，女性患者多于男性。

讨论：

1. 为什么上述两种遗传病在遗传表现上总是和性别相联系呢？
2. 为什么两种遗传病与性别关联的表现又不相同呢？

人类的红绿色盲、抗维生素D佝偻病的遗传表现与果蝇眼色的遗传非常相似，它们的基因位于性染色体上，所以遗传上总是和性别相关联，这种现象叫做伴性遗传 (sex-linkage inheritance)。为什么这些疾病，有的多发于男性，有的却多发于女性？伴性遗传还有哪些特点？下面通过实例进行分析。

人类红绿色盲症

18世纪英国著名的化学家兼物理学家道尔顿 (J. Dalton, 1766—1844)，在圣诞节前夕买了一件礼物——一双“棕灰色”的袜子，送给妈妈。妈妈看到袜子后，感到袜子的颜色过于鲜艳，就对道尔顿说：“你买的这双樱桃红色的袜子，让我怎么穿呢？”道尔顿感到非常奇怪，袜子明明是棕灰色的，为什么妈妈说是樱桃红色的呢？疑惑不解的道尔顿又去问弟弟和周围的人，除了弟弟与自己的看法相同以外，被问的其他人都说袜子是樱桃红色的。道尔顿对

本节聚焦

- 什么是伴性遗传？
- 伴性遗传有什么特点？
- 伴性遗传在实践中有什么应用？

这件小事没有轻易地放过，他经过认真地分析比较，发现他和弟弟的色觉与别人不同，原来自己和弟弟都是色盲。道尔顿虽然不是生物学家和医学家，却成了第一个发现色盲症的人，也是第一个被发现的色盲症患者。为此他写了篇论文《论色盲》，成为世界上第一个提出色盲问题的人。后来，人们为了纪念他，又把色盲症称为道尔顿症。

让我们先做一下红绿色盲症的遗传分析。



资料分析

分析人类红绿色盲症

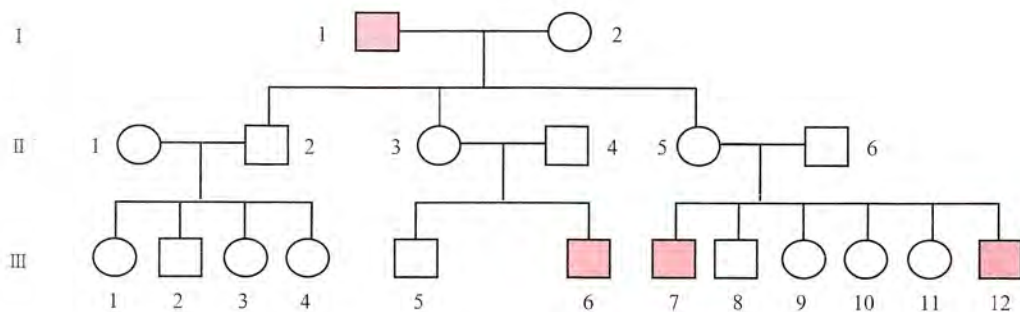
研究人类的遗传病，我们不能做遗传学实验，但是可以从家系图的研究中获取资料。表示一个家系的图中，通常以正方形代表男性，圆形代表女性，以罗马数字代表代（如 I、II 等），以阿拉伯数字表示个体（如 1、2 等），深颜色表示患者。下图是一个典型的色盲家系。

通过对家系图的分析，可以发现红绿色盲遗传的几个特点：这个家系中只有男性患者，而且男性患者的子女都是正常的；男性患者的女儿与正常人结婚后，生下的儿子却大约有一半是患者。

人类的 X 染色体和 Y 染色体无论在大小和携带的基因种类上都不一样。X 染色体携带着许多基因，Y 染色体只有 X 染色体大小的 1/5 左右，携带的基因比较少。所以许多位于 X 染色体上的基因，在 Y 染色体上没有相应的等位基因。

讨论：

1. 红绿色盲基因位于 X 染色体上，还是位于 Y 染色体上？
2. 红绿色盲基因是显性基因，还是隐性基因？



人的正常色觉与红绿色盲的基因型和表现型可以有以下5种情况（表2-1）。

表 2-1 人的正常色觉和红绿色盲的基因型和表现型

	女 性			男 性	
基因型	$X^B X^B$	$X^B X^b$	$X^b X^b$	$X^B Y$	$X^b Y$
表现型	正常	正常 (携带者)	色盲	正常	色盲

人类红绿色盲的遗传方式主要有以下几种情况。

如果一个色觉正常的女性纯合子和一个男性红绿色盲患者结婚，在他们的后代中，儿子的色觉都正常；女儿虽表现正常,但由于从父亲那里得到了一个红绿色盲基因,因此都是红绿色盲基因的携带者（图2-12）。

如果女性红绿色盲基因的携带者和一个色觉正常的男性结婚，在他们的后代中，儿子有 1/2 正常，1/2 为红绿色盲；女儿都不是色盲，但有 1/2 是色盲基因的携带者（图2-13）。在这种情况下，儿子的色盲基因是从母亲那里遗传来的。

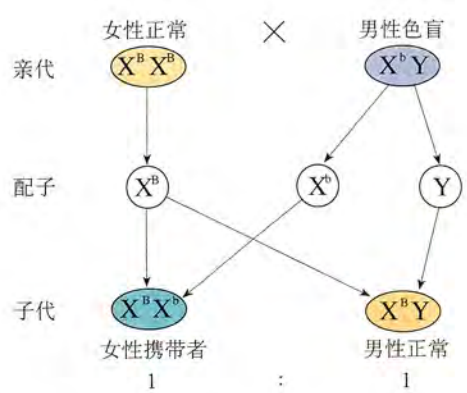


图 2-12 正常女性与男性红绿色盲婚配的遗传图解

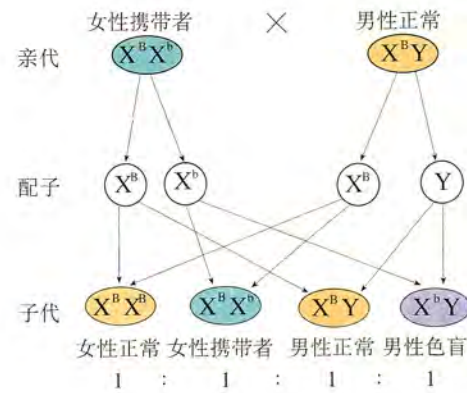


图 2-13 女性红绿色盲基因携带者与正常男性婚配的遗传图解

如果一个女性红绿色盲基因的携带者和一个男性红绿色盲患者结婚，所生子女的基因型和表现型会怎样呢？如果一个女性红绿色盲患者和一个色觉正常的男性结婚，情况又会如何？请完成以下遗传图解（图2-14，图2-15）。

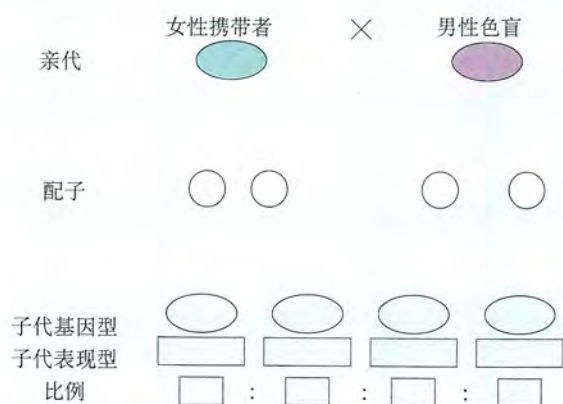


图 2-14 女性红绿色盲基因携带者与男性红绿色盲婚配的遗传图解

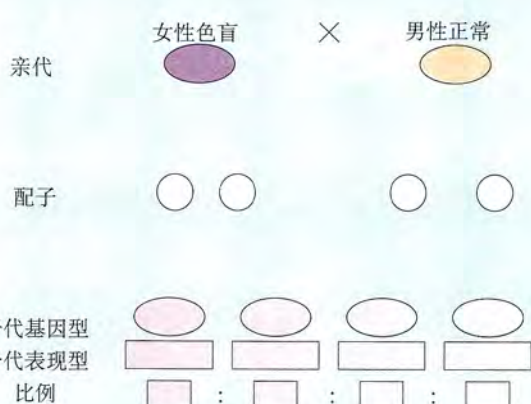


图 2-15 女性红绿色盲与正常男性婚配的遗传图解

当红绿色盲基因携带者的女性和红绿色盲的男性结婚，他们的后代中，儿子和女儿各有 $1/2$ 患病。当红绿色盲女性和色觉正常男性结婚，他们的后代中，儿子均为色盲，女儿均为携带者。

通过对以上四种婚配方式的分析，我们可以看出，男性红绿色盲基因只能从母亲那里传来，以后只能传给女儿。这种遗传特点，在遗传学上叫做交叉遗传。

抗维生素 D 佝偻病

位于 X 染色体上的基因，有隐性基因，也有显性基因。前面提到的抗维生素 D 佝偻病就是一种显性伴性遗传病（图 2-16）。这种病受显性基因（D）控制，当女性的基因型为 $X^D X^D$ 、 $X^D X^d$ 时，都是患者，但后者比前者发病轻。男性患者的基因型只有一种情况，即 $X^D Y$ ，发病程度与 $X^D X^D$ 相似。因此，位于 X 染色体上的显性基因的遗传特点是：女性多于男性，但部分女性患者病症较轻。男性患者与正常女性结婚的后代中，女性都是患者，男性正常。

伴性遗传在实践中的应用

伴性遗传在生物界中是普遍存在的。除前面提到的人的红绿色盲和抗维生素 D 佝偻病以及果蝇的红眼和白眼的遗传外，人的血友病，芦花鸡羽毛上黑白相间的横斑条纹，以及雌雄异株植物（如杨、柳）中某些性状的遗传都是伴性遗传。



图 2-16 抗维生素 D 佝偻病患者

伴性遗传在生产实践中是很有用的。例如，鸡的性别决定方式和人类、果蝇正好相反。雌性个体的两条性染色体是异型的（ZW），雄性个体的两条性染色体是同型的（ZZ）。芦花鸡羽毛有黑白相间的横斑条纹，这是由位于Z染色体上的显性基因B决定的，当它的等位基因b纯合时，鸡表现为非芦花，羽毛上没有横斑条纹。如果用芦花雌鸡（ Z^BW ）与非芦花雄鸡（ Z^bZ^b ）交配，那么 F_1 中，雄鸡都是芦花鸡（ Z^BZ^b ），雌鸡都是非芦花鸡（ Z^bW ）。这样，对早期的雏鸡就可以根据羽毛的特征把雌性和雄性区分开，从而做到多养母鸡，多得鸡蛋。

如果你有兴趣，还可以查阅相关资料，了解伴性遗传规律在生产实践中的其他应用。



练习

一、基础题

1. 下列关于性染色体的叙述，正确的是：

- A. 性染色体上的基因都可以控制性别；
- B. 性别受性染色体控制而与基因无关；
- C. 女儿的性染色体必有一条来自父亲；
- D. 性染色体只存在于生殖细胞中。

答 []

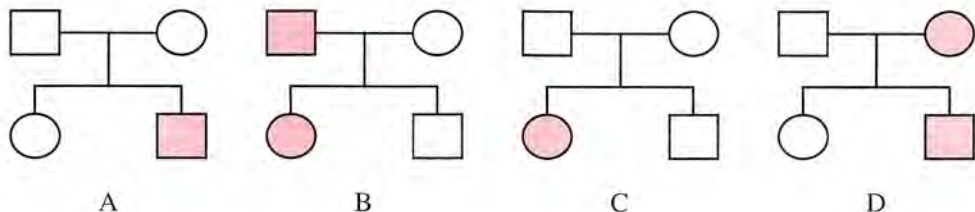
2. 由X染色体上隐性基因导致的遗传病可能具有的特点是：

- A. 如果父亲患病，女儿一定不患此病；
- B. 如果母亲患病，儿子一定患此病；
- C. 如果外祖父患病，外孙一定患此病；
- D. 如果祖母为患者，孙女一定患此病。

答 []

3. 在下列4个图中，只能是由常染色体上隐性基因决定的遗传病（图中深颜色表示患者）是：

答 []



4. 人的白化病是常染色体遗传, 正常 (A) 对白化 (a) 是显性。一对表现型正常的夫妇, 生了一个既患白化病又患红绿色盲的男孩。

(1) 这对夫妇的基因型是怎样的?

(2) 这对夫妇的后代中, 是否会出现既不患白化病也不患红绿色盲的孩子? 试写出这样的孩子的基因型。

二、拓展题

按照遗传规律, 白眼雌果蝇 (X^wX^w) 和红眼雄

果蝇 (X^WY) 交配, 后代雄果蝇都应该是白眼的, 后代雌果蝇都应该是红眼的。可是有一天, 摩尔根的合作者布里吉斯 (Bridges) 发现白眼雌果蝇和红眼雄果蝇杂交所产生的子一代中出现了一个白眼雌果蝇。大量的观察发现, 在上述杂交中, 2 000~3 000 只红眼雌果蝇中会出现一只白眼雌果蝇, 同样在 2 000~3 000 只白眼雄果蝇中会出现一只红眼雄果蝇。你怎样解释这种奇怪的现象? 如何验证你的解释?

本章小结

在卵细胞和精子成熟的过程中, 要经过减数分裂, 以保证生物体在传宗接代过程中染色体数目的恒定。在减数分裂过程中, 染色体只复制一次, 而细胞分裂两次。减数分裂的结果是, 成熟生殖细胞中的染色体数目比原始生殖细胞的减少一半。同时, 在这个过程中, 同源染色体先联会后分离, 在联会时同源染色体的非姐妹染色单体间还常常发生交叉互换, 非同源染色体则自由组合, 使配子的遗传组成多种多样。

受精作用是卵细胞和精子结合成受精卵的过程。受精过程使配子中已经减半了的染色体数目, 恢复为受精卵中与亲代一样的染色体数, 使遗传性状相对稳定。同时, 由于配子的多样性和受精的随机性, 同一双亲的后代又呈现多样性。

在孟德尔的遗传规律被重新发现之后, 科学家迫切地寻找基因在哪里, 通过大量的观察, 发现基因与染色体的行为具有平行关系, 摩尔根的果蝇杂交实验证实了基因在染色体上。

位于性染色体上的基因控制的性状在遗传中总是与性别相关联, 这种现象称为伴性遗传。由于基因具有显性和隐性的不同, 又由于它们与性染色体相关联, 因此, 在遗传中会表现出不同的特点。

生物学研究离不开细致的观察, 并需要有一定的想像力。当然也需要在观察的基础上提出假说或预测, 但是任何假说和预测最终都需要通过实验验证才得以确立。在本章的学习过程中, 可以深切感受到科学家在科学研究过程中表现出的丰富的想像力, 大胆质疑和勤奋实践的精神, 以及对科学的热爱。

自我检测

一、概念检测

判断题

1. 果蝇体细胞中有8条染色体,那么,控制果蝇性状的所有基因应该平均分布在这8条染色体上。()
2. 位于常染色体的一对同源染色体上相同位置的基因控制同一种性状。()
3. 非等位基因都位于非同源染色体上。()
4. 位于X或Y染色体上的基因,其相应的性状表现与一定的性别相关联。()
5. 位于性染色体上的基因,在遗传中不遵循孟德尔定律,但表现伴性遗传的特点。()

选择题

1. 减数分裂过程中每个四分体具有:
A. 4个着丝点; B. 2条姐妹染色单体;
C. 4个DNA分子; D. 2对染色体。
2. 精子形成过程中出现联会现象时,DNA分子数与染色体数之比是:
A. 1:1; B. 1:2;
C. 2:1; D. 4:1。

3. 男性患病机会多于女性的隐性遗传病,致病基因很可能在:

- A. 常染色体上; B. X染色体上;
C. Y染色体上; D. 线粒体中。

4. 下列关于X染色体上显性基因决定的人类遗传病的说法,正确的是:

- A. 患者双亲必有一方是患者,人群中的患者女性多于男性;
B. 男性患者的后代中,子女各有1/2患病;
C. 女性患者的后代中,女儿都患病,儿子都正常;
D. 表现正常的夫妇,性染色体上也可能携带

致病基因。

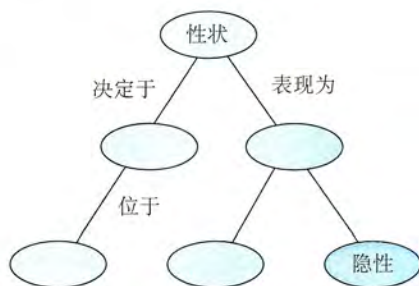
答[]

5. XY型性别决定的生物,群体中的性别比例为1:1,原因是:

- A. 雌配子:雄配子=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. 含X的卵细胞:含Y的卵细胞=1:1。

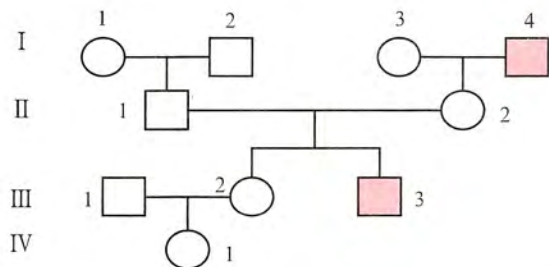
答[]

画概念图



二、知识迁移

1. 下图是某家庭红绿色盲遗传图解。图中除深颜色代表的人为红绿色盲患者外,其他人的色觉都正常。据图回答问题。



- (1) 图中Ⅲ代3号的基因型是_____,Ⅲ代2号的可能基因型是_____。

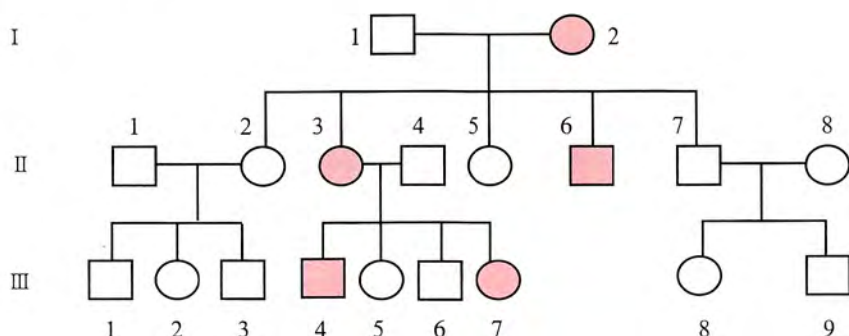
- (2) IV代1号是红绿色盲基因携带者的可能性是_____。

2. 下图是抗维生素D佝偻病家系图，据图回答问题。

(1) 科学家已经确定这种病是显性基因控制的疾病，你能根据家系图找出依据吗？

(2) 如果图中Ⅱ代的6号与正常女性结婚，要避免后代出现患者，可以采取哪种优生措施？

(3) Ⅲ代的5号和6号是否携带致病基因？为什么？



3. 1961年首次报道性染色体为3条的XYY男性，患者的临床表现是举止异常，性格失调，容易冲动，部分患者生殖器官发育不全。你认为这种病是父母哪一方、在减数分裂的哪个阶段出现异常引起的？

三、技能应用

设计表格，并填表比较减数分裂与有丝分裂的主要相同点和不同点。

四、思维拓展

1. “牝鸡司晨”是我国古代人民早就发现的性

反转现象。原来下过蛋的母鸡，以后却变成公鸡，长出公鸡的羽毛，发出公鸡样的啼声。从遗传的物质基础和性别控制的角度，你怎样解释这种现象出现的可能原因？鸡是ZW型性别决定，公鸡的两条性染色体是同型的（ZZ），母鸡的两条性染色体是异型的（ZW）。如果一只母鸡性反转成公鸡，这只公鸡与母鸡交配，后代的性别会是怎样的？

2. 从细菌到人类，性状都受基因控制。是否所有生物的基因，都遵循孟德尔遗传规律？为什么？