

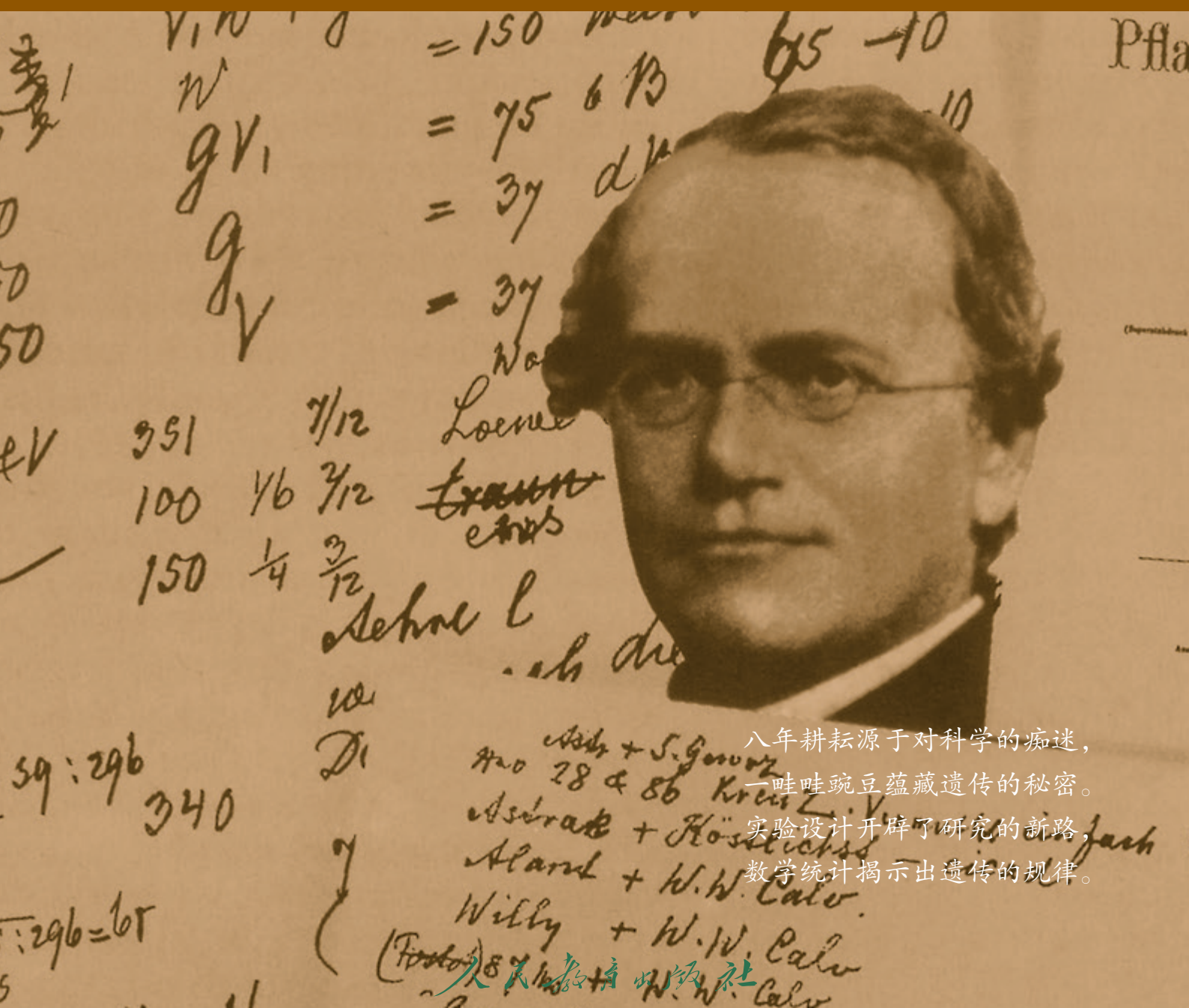
第1章

遗传因子的发现

遗传因子是什么，你可能不清楚，但说起基因，你一定耳熟能详。你的长相、身高、体重、肤色，甚至在某方面的天赋，都与基因有着密不可分的关系。基因最早的名字就是“遗传因子”。

基因为什么曾叫遗传因子？这背后有什么故事吗？遗传因子看不见摸不着，科学家是怎样发现它的呢？它在亲子代间的传递有什么规律呢？

让我们从一百多年前孟德尔的豌豆杂交实验开始，循着科学家的足迹，探索遗传的奥秘。



八年耕耘源于对科学的痴迷，
一畦畦豌豆蕴藏遗传的秘密。

实验设计开辟了研究的新路，
数学统计揭示出遗传的规律。

第1节

孟德尔的豌豆杂交实验(一)

问题探讨

人们曾经认为,两个亲本杂交后,双亲的遗传物质会在子代体内发生混合,使子代表现出介于双亲之间的性状。就像把一瓶蓝墨水和一瓶红墨水倒在一起,混合液是另外一种颜色,再也无法分出蓝色和红色。这种观点也称作融合遗传。

讨论

1. 按照上述观点,当红花豌豆与白花豌豆杂交后,子代的豌豆花会是什么颜色?
2. 你同意上述观点吗?你的证据有哪些?



红花豌豆和白花豌豆

◎ 本节聚焦

- 孟德尔是怎样设计一对相对性状的杂交实验的?
- 孟德尔为解释实验结果作出了哪些假设?他又设计了什么实验来验证假设?
- 分离定律的内容是什么?怎样用分离定律解释一些遗传现象?
- 如何运用假说—演绎法进行科学探究?

融合遗传的观点曾在19世纪下半叶十分盛行。然而,在奥地利的一所修道院里(现捷克境内),孟德尔(G. J. Mendel, 1822—1884)冲破了这个错误观点的“束缚”,提出了完全不同的理论。

孟德尔从小喜爱自然科学,由于家境贫寒,21岁便做了修道士。后来,他被派到维也纳大学进修自然科学和数学。回到修道院后,他利用修道院的一小块园地,种植了豌豆、山柳菊、玉米等多种植物,进行杂交实验,潜心研究多年。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,发现了生物遗传的规律。

豌豆用作遗传实验材料的优点

豌豆花是两性花,在未开放时,它的花粉会落到同一朵花的雌蕊的柱头上,从而完成受粉,这种传粉方式叫作自花传粉,也叫自交。自花传粉避免了外来花粉的干扰,所以豌豆在自然状态下一般都是纯种,用豌豆做人工杂交实验(图1-1),结果既可靠,又容易分析。

豌豆植株还具有易于区分的性状(trait)。例如,豌豆植株中有高茎(高度1.5~2.0 m)的,也有矮茎(高度0.3 m左

相关信息

有些植物(如玉米)的花为单性花,花中只有雄蕊的,叫雄花;只有雌蕊的,叫雌花。玉米雄花的花粉落在同一植株的雌花的柱头上,所完成的传粉过程也属于自交。



▲ 图1-1 人工异花传粉示意图

两朵花之间的传粉过程叫作异花传粉。不同植株的花进行异花传粉时，供应花粉的植株叫作父本（♂），接受花粉的植株叫作母本（♀）。

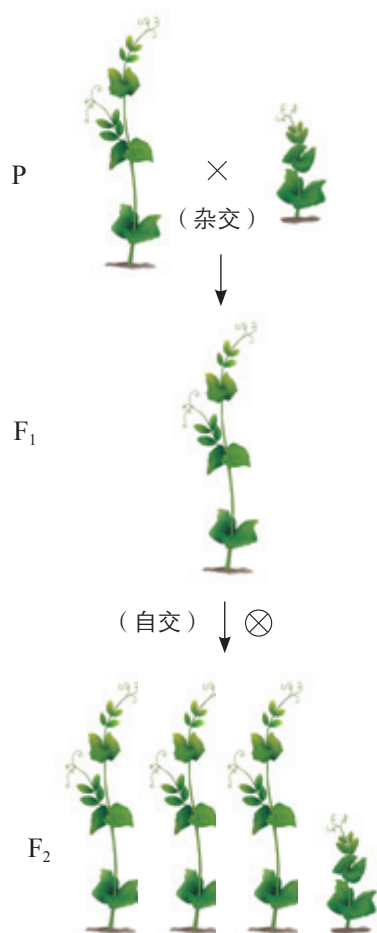
右）的；有结圆粒种子的，也有结皱粒种子的。像这样，一种生物的同一种性状的不同表现类型，叫作相对性状（relative trait）。这些性状能够稳定地遗传给后代。用具有相对性状的植株进行杂交实验，很容易观察和分析实验结果。

孟德尔经过仔细观察，从34个豌豆品种中选择了7对相对性状（如茎的高度、种子形状、子叶颜色、花的位置等）做杂交实验（图1-2）。

种子形状	子叶颜色	花的颜色	豆荚颜色（未成熟）	豆荚形状	花的位置	茎的高度
圆滑	黄色	红色	绿色	饱满	腋生	高茎
皱缩	绿色	白色	黄色	不饱满	顶生	矮茎

▲ 图1-2 豌豆的7对相对性状示意图

孟德尔注意到，不同品种的豌豆之间同时具有多对相对性状。为了便于分析，他首先对一对相对性状的遗传进行了研究。



▲ 图1-3 高茎豌豆和矮茎豌豆的杂交实验示意图

一对相对性状的杂交实验

孟德尔用纯种高茎豌豆与纯种矮茎豌豆作亲本（用P表示）进行杂交（cross）。他惊奇地发现，无论用高茎豌豆作母本（正交），还是作父本（反交），杂交后产生的第一代（简称子一代，用 F_1 表示）总是高茎的（图1-3）。

为什么子一代都是高茎而没有矮茎的呢？

孟德尔带着疑惑，用子一代自交，结果在第二代（简称子二代，用 F_2 表示）植株中，不仅有高茎的，还有矮茎的。

为什么子一代没有矮茎的，而子二代又出现了矮茎的呢？

看来矮茎性状在子一代中只是隐而未现。孟德尔把 F_1 中显现出来的性状，叫作显性性状（dominant trait），如高茎；未显现出来的性状，叫作隐性性状（recessive trait），如矮茎。后来，人们将杂种后代中同时出现显性性状和隐性性状的现象，叫作性状分离。

孟德尔没有停留在对实验现象的观察与描述上，而是对 F_2 中不同相对性状的个体进行数量统计。结果发现在所得的1 064株 F_2 植株中，787株是高茎，277株是矮茎，高茎与矮茎的性状分离比接近3：1。

子二代中出现3：1的性状分离比是偶然的吗？

孟德尔还对豌豆的其他6对相对性状进行了杂交实验，实验结果如表1-1所示。

▼ 表1-1 孟德尔豌豆杂交实验的结果

性状	F_2 的表现				
	显性		隐性		显性：隐性
茎的高度	高茎	787	矮茎	277	2.84：1
种子形状	圆粒	5 474	皱粒	1 850	2.96：1
子叶颜色	黄色	6 022	绿色	2 001	3.01：1
花的颜色	红色	705	白色	224	3.15：1
豆荚形状	饱满	882	不饱满	299	2.95：1
豆荚颜色（未成熟）	绿色	428	黄色	152	2.82：1
花的位置	腋生	651	顶生	207	3.14：1

看来， F_2 中出现 3 : 1 的性状分离比不是偶然的。是什么原因导致遗传性状在杂种后代中按一定的比例分离呢？

对分离现象的解释

孟德尔在观察和统计分析的基础上，果断摒弃了前人融合遗传的观点，通过严谨的推理和大胆的梦想，对分离现象的原因提出了如下假说（图 1-4）。

（1）生物性状是由遗传因子（hereditary factor）决定的。这些因子就像一个个独立的颗粒，既不会相互融合，也不会传递中消失。每个因子决定一种特定的性状，其中决定显性性状的为显性遗传因子，用大写字母（如 D）来表示；决定隐性性状的为隐性遗传因子，用小写字母（如 d）来表示。

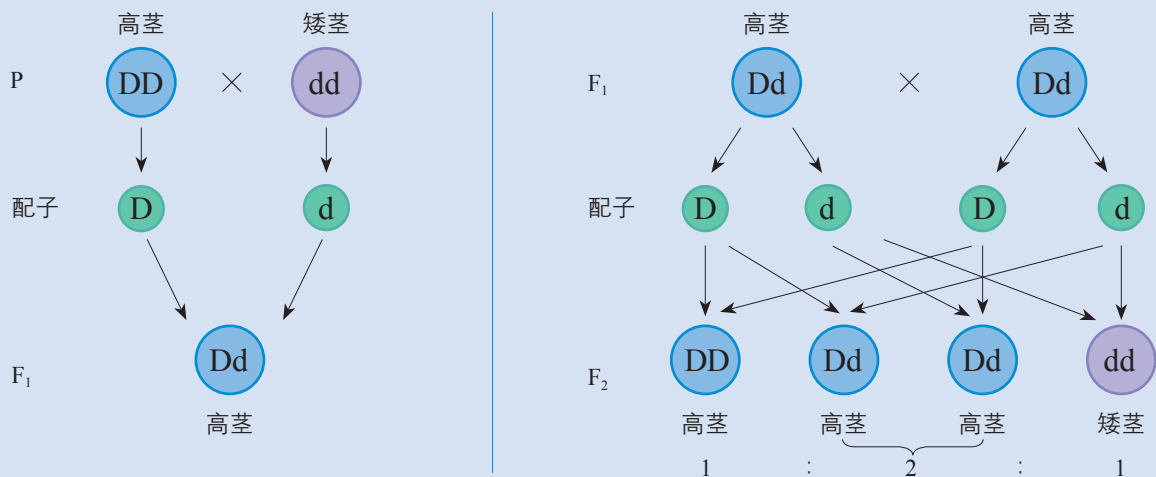
（2）在体细胞中，遗传因子是成对存在的。例如，纯种高茎豌豆的体细胞中有成对的遗传因子 DD，纯种矮茎豌豆的体细胞中有成对的遗传因子 dd。像这样，遗传因子组成相同的个体叫作纯合子。因为 F_1 自交的后代中出现了隐性性状，所以在 F_1 的体细胞中必然含有隐性遗传因子；而 F_1 表现的是显性性状，因此 F_1 的体细胞中的遗传因子应该是 Dd。像这样，遗传因子组成不同的个体叫作杂合子。

（3）生物体在形成生殖细胞——配子时，成对的遗传因子彼此分离，分别进入不同的配子中。配子中只含有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。例如，含遗传因子 D 的配子，既可以与含遗传因子 D 的配子结合，又可以与含遗传因子 d 的配子结合。

相关信息

在孟德尔提出这一假说时，生物学界还没有认识到配子形成和受精过程中染色体的变化。孟德尔根据实验现象提出的遗传因子在体细胞中成对存在，在配子中单个出现，是超越自己所处时代的一种非凡的设想。



▲ 图 1-4 高茎豌豆与矮茎豌豆杂交实验的分析图解

请你根据孟德尔的假设，与同学讨论高茎豌豆与矮茎豌豆杂交实验的分析图解。

我们还可以通过模拟实验，来体验孟德尔的假说。

探究·实践

性状分离比的模拟实验

本实验用甲、乙两个小桶分别代表雌、雄生殖器官，甲、乙小桶内的彩球分别代表雌、雄配子，用不同彩球的随机组合，模拟生物在生殖过程中，雌、雄配子的随机结合。建议两人一组合作完成。

目的要求

通过模拟实验，理解遗传因子的分离、配子的随机结合与性状之间的数量关系，体验孟德尔的假说。

材料用具

两个小桶，分别标记甲、乙；两种大小相同、颜色不同的彩球各20个，一种彩球标记D，另一种彩球标记d；记录用的纸和笔。

方法步骤

(1) 在甲、乙两个小桶中放入两种彩球各10个。

(2) 摇动两个小桶，使小桶内的彩球充分混合。

(3) 分别从两个桶内随机抓取一个彩球，组合在一起，记下两个彩球的字母组合。

(4) 将抓取的彩球放回原来的小桶内，摇匀。

(5) 按步骤(3)和(4)重复做30次以上。

结果和结论

1. 统计实验结果：彩球组合有几种？每种组合的数量是多少？计算彩球组合类型之间的数量比。设计表格，记录实验结果。

2. 统计全班的实验结果，求平均值。计算彩球组合类型之间的数量比。

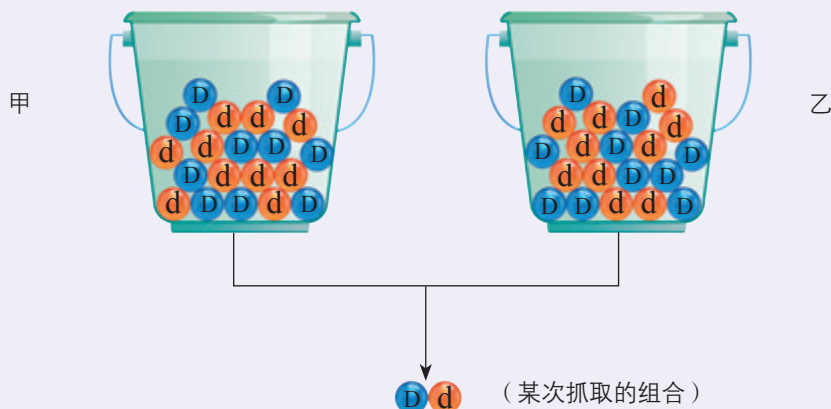
3. 两个彩球的组合代表什么？

4. 结论：_____。

讨论

1. 将每个小组的实验结果与全班总的实验结果作比较，你有什么发现？如果孟德尔当时只对 F_2 中10株豌豆的性状进行统计，他还能正确地解释性状分离现象吗？

2. 将模拟实验的结果与孟德尔的杂交实验结果相比较，你认为孟德尔的假说是否合理？

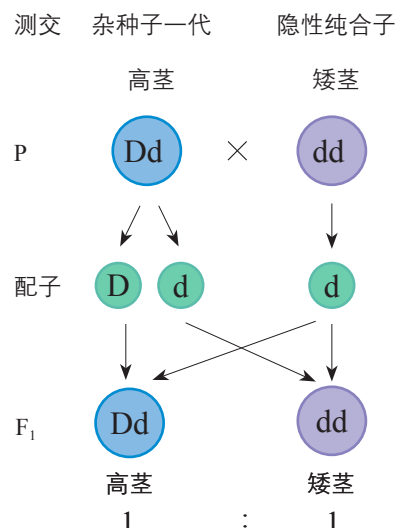


对分离现象解释的验证

孟德尔的假说合理地解释了豌豆一对相对性状杂交实验中出现的性状分离现象，但是，一种正确的假说仅能解释已有的实验结果是不够的，还应该能够预测另外一些实验的结果。如果实验结果与预测相符，这个假说就得到了验证。

孟德尔巧妙地设计了测交（test cross）实验，让 F_1 与隐性纯合子杂交。以 F_1 高茎豌豆（ Dd ）与隐性纯合子矮茎豌豆（ dd ）杂交为例，孟德尔根据假说，推出测交后代中高茎与矮茎植株的数量比应为 $1:1$ （图1-5）。

测交实验的结果是，在得到的166株后代中，87株是高茎的，79株是矮茎的，高茎与矮茎植株的数量比接近 $1:1$ 。孟德尔测交实验的结果验证了他的假说。



▲ 图1-5 一对相对性状测交实验的分析图解

分离定律

孟德尔一对相对性状的实验结果及其解释，后人把它归纳为孟德尔第一定律，又称分离定律（law of segregation）：在生物的体细胞中，控制同一性状的遗传因子成对存在，不相融合；在形成配子时，成对的遗传因子发生分离，分离后的遗传因子分别进入不同的配子中，随配子遗传给后代。

分离定律在生物的遗传中具有普遍性。例如，小麦的高秆和矮秆、家鸡的羽腿和光腿等相对性状的遗传均遵循分离定律。两只白色绵羊生出黑色的小羊，父母正常而其子女患白化病等性状分离现象，也是控制相关性状的遗传因子遵循分离定律遗传的结果。

科学方法

假说—演绎法

在观察和分析基础上提出问题以后，通过推理和想象提出解释问题的假说，根据假说进行演绎推理，推出预测的结果，再通过实验来检验。如果实验结果与预测相符，就可以认为假说是正确的，反之，

则可以认为假说是错误的。这是现代科学研究中常用的一种科学方法，叫作假说—演绎法。

想一想，这种方法与传统的归纳法有什么不同？

 思维训练

设计实验方案

假设你正在一个花卉生产基地工作。有一天，你突然发现一种本来开白花的花卉，出现了开紫花的植株。你立刻意识到它的观赏价值，决定培育这样的花卉新品种。当你知道这种花是自花传粉以后，将这株开紫花的植株的种子

种下去，可惜的是，在长出的126株新植株中，却有36株是开白花的，这当然不利于商品化生产。怎样才能获得开紫花的纯种植株呢？请你写出解决这一问题的实验方案，与同学交流，看谁设计的方案更简捷。

练习与应用

一、概念检测

1. 在孟德尔的一对相对性状的豌豆杂交实验中， F_1 都表现为显性性状， F_1 的自交后代却出现了性状分离。据此判断下列相关表述是否正确。

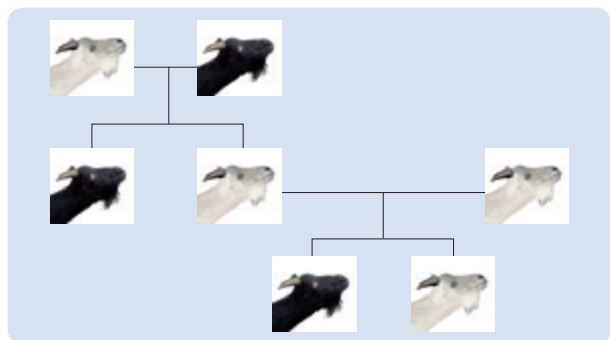
(1) 隐性性状是指生物体不能表现出来的性状。 ()

(2) 纯合子的自交后代不会发生性状分离，杂合子的自交后代不会出现纯合子。 ()

2. 人眼的虹膜有褐色的和蓝色的，褐色是由显性遗传因子控制的，蓝色是由隐性遗传因子控制的。已知一个蓝眼男人与一个褐眼女人（这个女人的母亲是蓝眼）结婚，这对夫妇生下蓝眼孩子的可能性是 ()

A. $1/2$ B. $1/4$ C. $1/8$ D. $1/6$

3. 观察羊的毛色遗传图解，据图回答问题。



(1) 毛色的显性性状是 _____，隐性性状是 _____。

(2) 白毛羊与白毛羊通过有性生殖产生的后代中出现了黑毛羊，这种现象在遗传学上称为 _____。产生这种现象的原因是 _____。

二、拓展应用

1. 水稻的非糯性和糯性是一对相对性状，非糯性花粉中所含的淀粉为直链淀粉，遇碘变蓝黑色，而糯性花粉中所含的是支链淀粉，遇碘变橙红色。现在用纯种的非糯性水稻和纯种的糯性水稻杂交，取 F_1 花粉加碘液染色，在显微镜下观察，半数花粉呈蓝黑色，半数呈橙红色。请回答下列问题。

(1) 花粉出现这种比例的原因是什么？

(2) 实验结果验证了什么？

(3) 如果让 F_1 自交， F_2 中花粉有 _____ 种类型。

2. 某农场养了一群马，马的毛色有栗色和白色两种。已知栗色和白色分别由遗传因子 B 和 b 控制。育种工作者从中选出一匹健壮的栗色公马，拟设计配种方案鉴定它是纯合子还是杂合子（就毛色而言）。请回答下列问题。

(1) 在正常情况下，一匹母马一次只能生一匹小马。为了在一个配种季节里完成这项鉴定，应该怎样配种？

(2) 杂交后代可能出现哪些结果？如何根据结果判断栗色公马是纯合子还是杂合子？

3. 孟德尔说：“任何实验的价值和效用，取决于所使用材料对于实验目的的适合性。”结合孟德尔的杂交实验，谈谈你对这句话的理解。

4. 除了孟德尔的杂交实验，你还能举出科学研究中运用假说—演绎法的实例吗？

第2节

孟德尔的豌豆杂交实验(二)

问题探讨

观察花园里的豌豆植株，孟德尔发现就子叶颜色和种子形状来看，包括两种类型：一种是黄色圆粒的，另一种是绿色皱粒的。

讨论

1. 决定子叶颜色的遗传因子对决定种子形状的遗传因子会不会有影响呢？
2. 黄色的豌豆一定是饱满的、绿色的豌豆一定是皱缩的吗？



性状不同的豌豆

一对相对性状的分离对其他相对性状有没有影响呢？在发现了一对相对性状遗传规律的基础上，孟德尔又对豌豆两对相对性状的遗传进行了研究。

两对相对性状的杂交实验

孟德尔用纯种黄色圆粒豌豆和纯种绿色皱粒豌豆作亲本进行杂交，无论正交还是反交，结出的种子（F₁）都是黄色圆粒的。这表明黄色和圆粒都是显性性状，绿色和皱粒都是隐性性状。

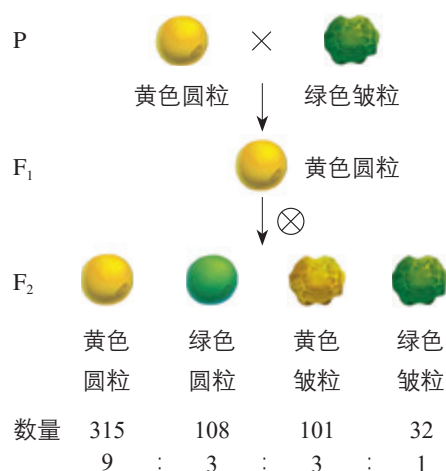
孟德尔又让F₁自交，在产生的F₂中，出现了黄色圆粒和绿色皱粒，这当然是在意料之中的。奇怪的是，F₂中还出现了亲本所没有的性状组合——绿色圆粒和黄色皱粒（图1-6）。

为什么会出现新的性状组合呢？它们之间有什么数量关系吗？

孟德尔同样对F₂中不同的性状类型进行了数量统计：在总共得到的556粒种子中，黄色圆粒、绿色圆粒、黄色皱粒和绿色皱粒的数量依次是315、108、101和32，它们的数量比接近9：3：3：1。

本节聚焦

- 孟德尔是怎样设计两对相对性状的杂交实验的？
- 自由组合定律的内容是什么？
- 孟德尔成功的原因有哪些？他的研究方法和探索精神给我们哪些启示？
- 孟德尔遗传规律在生产和生活中有哪些应用？



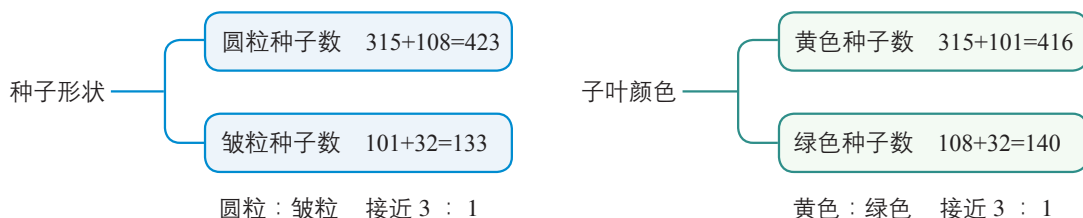
▲ 图1-6 黄色圆粒豌豆和绿色皱粒豌豆的杂交实验示意图



从数学的角度分析， $9:3:3:1$ 与 $3:1$ 能否建立数学联系？这对理解两对相对性状的遗传结果有什么启示？

这与一对相对性状杂交实验中 F_2 的 $3:1$ 的数量比有联系吗？

孟德尔首先对每一对相对性状单独进行分析，结果发现每一对相对性状的遗传都遵循了分离定律（图1-7）。



▲ 图1-7 F_2 中种子形状和子叶颜色的数量比

上述分析表明，只看一对相对性状，无论是豌豆种子的形状还是子叶的颜色，依然遵循分离定律，也就是说控制种子形状的遗传因子的遗传，与控制子叶颜色的遗传因子的遗传是互不干扰的。那么，将两对相对性状的遗传一并考虑，不同性状之间发生了新的组合，是否控制两对相对性状的遗传因子也发生了组合呢？

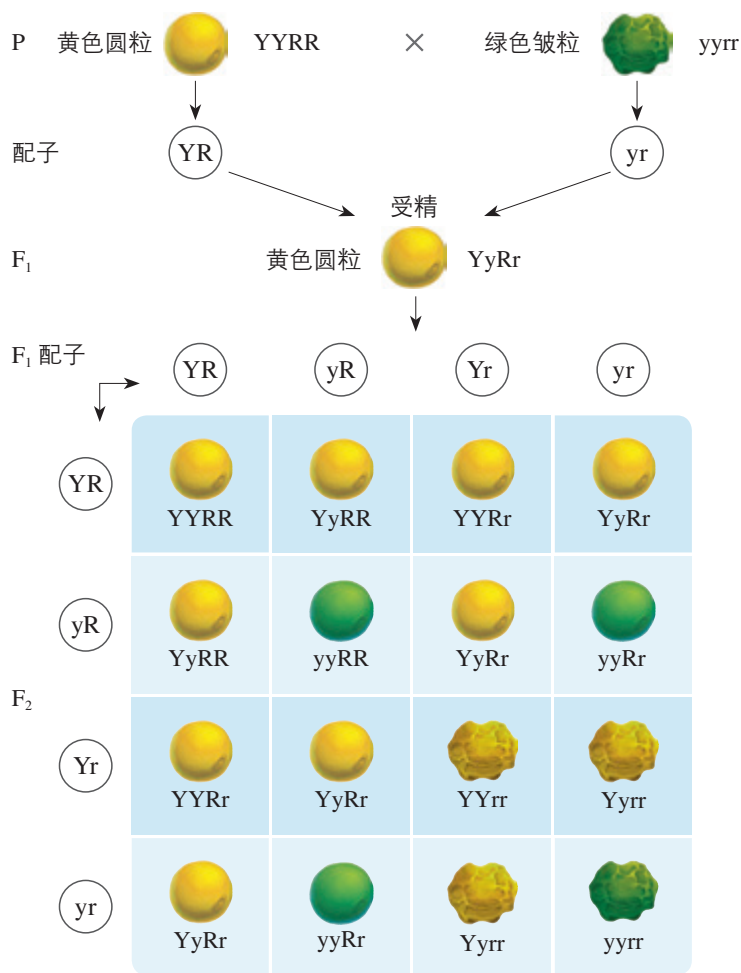
对自由组合现象的解释和验证



要得到遗传因子组成为 $YyRr$ 的黄色圆粒豌豆，亲代除黄色圆粒和绿色皱粒外，还可以有哪些类型？

假设豌豆的圆粒和皱粒分别由遗传因子 R 、 r 控制，黄色和绿色分别由遗传因子 Y 、 y 控制，这样，纯种黄色圆粒和纯种绿色皱粒豌豆的遗传因子组成分别是 $YYRR$ 和 $yyrr$ ，它们产生的 F_1 的遗传因子组成是 $YyRr$ ，表现为黄色圆粒。

孟德尔作出的解释是： F_1 在产生配子时，每对遗传因子彼此分离，不同对的遗传因子可以自由组合。这样 F_1 产生的雌配子和雄配子各有4种： YR 、 Yr 、 yR 、 yr ，它们之间的数量比为 $1:1:1:1$ 。受精时，雌雄配子的结合是随机的。雌雄配子的结合方式有16种；遗传因子的组合形式有9种： $YYRR$ 、 $YYRr$ 、 $YyRR$ 、 $YyRr$ 、 $YYrr$ 、 $Yyrr$ 、 $yyRR$ 、 $yyRr$ 、 $yyrr$ ；性状表现为4种：黄色圆粒、黄色皱粒、绿色圆粒、绿色皱粒，它们之间的数量比是 $9:3:3:1$ （图1-8）。



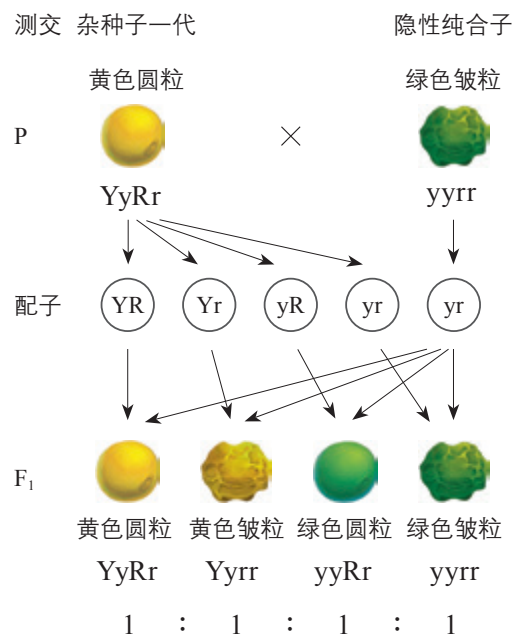
▲ 图1-8 黄色圆粒豌豆与绿色皱粒豌豆杂交实验的分析图解

上述解释是否正确呢？孟德尔又设计了测交实验：让杂种子一代（YyRr）与隐性纯合子（yyrr）杂交。同样，孟德尔依据提出的假说，演绎推理出测交实验的结果（图1-9）。

在孟德尔所做的测交实验中，无论是以F₁作母本还是作父本，结果都与预测相符（表1-2）。

▼ 表1-2 黄色圆粒豌豆与绿色皱粒豌豆测交实验的结果

性状组合		黄色圆粒	黄色皱粒	绿色圆粒	绿色皱粒
实际籽粒数	F ₁ 作母本	31	27	26	26
	F ₁ 作父本	24	22	25	26
不同性状的数量比		1	: 1	: 1	: 1



▲ 图1-9 黄色圆粒豌豆与绿色皱粒豌豆测交实验的分析图解

如果不用字母，而是用中文或英文的词或句子来代表遗传因子，左图该怎样呈现？用字母作为符号，在孟德尔的推理过程中起到了什么作用？



孟德尔在总结遗传规律时，是否用到了归纳法？

孟德尔在他所研究的豌豆相对性状中，任选两对性状进行杂交实验，结果都是一样的。这种情况在其他生物体上也常常看到。后人把这一遗传规律称为孟德尔第二定律，也叫作自由组合定律（law of independent assortment）：控制不同性状的遗传因子的分离和组合是互不干扰的；在形成配子时，决定同一性状的成对的遗传因子彼此分离，决定不同性状的遗传因子自由组合。

孟德尔实验方法的启示

在孟德尔之前，也有不少学者做过动物和植物的杂交实验，也观察到了生物遗传中的性状分离现象，但是都未能总结出遗传的规律。为什么孟德尔能够取得成功呢？



思考·讨论

分析孟德尔获得成功的原因

在孟德尔发现遗传规律之前，一些研究杂交育种的专家对杂种后代中出现性状分离现象早已熟知，但是他们往往把一种生物的许多性状同时作为研究对象，并且没有对实验数据做深入的统计学分析。



山柳菊

孟德尔对杂交实验的研究也不是一帆风顺的。他曾花了几年时间研究山柳菊，结果却并不理想。主要原因是：（1）山柳菊没有既容易区分又可以连续观察的相对性状；（2）山柳菊有时进行有性生殖，有时进行无性生殖；（3）山柳菊的

花小，难以做人工杂交实验。

讨论

1. 用豌豆作杂交实验的材料有哪些优点？这说明实验材料的选择在科学研究中起着怎样的作用？
2. 如果孟德尔没有对实验结果进行统计学分析，他能不能对分离现象作出解释？
3. 孟德尔对分离现象的解释在逻辑上环环相扣，十分严谨。他为什么还要设计测交实验进行验证呢？
4. 孟德尔使用不同的字母作为代表不同遗传因子的符号，这与他上大学进修过数学有没有关系？这对他进行逻辑推理有什么帮助？
5. 除了创造性地运用科学方法，你认为孟德尔获得成功的原因还有哪些？

孟德尔遗传规律的再发现

1866年，孟德尔将研究成果整理成论文发表，遗憾的是，这一重要成果却没有引起人们的重视，一直沉寂了30多年。1900年，三位科学家分别重新发现了孟德尔的论文。他们做了许多与孟德尔实验相似的观察，并且认识到

[illegible]

基因型能完全决定表型吗? 参见本书第4章第2节。

随着孟德尔遗传规律的再发现，基因的本质和作用原理成为遗传学研究的中心问题，这些问题的研究使人们对生物的认识越来越接近生命活动的本质，并且为基因工程（也叫“遗传工程”）等生物技术的兴起奠定了理论基础。正是因为孟德尔的杰出贡献，他被后人公认为“遗传学之父”。

孟德尔遗传规律的应用

分离定律和自由组合定律在生物的遗传中具有普遍性。掌握这些定律不仅有助于人们正确地解释生物界普遍存在的遗传现象，还能够预测杂交后代的类型和它们出现的概率，这在动植物育种和医学实践等方面都具有重要意义。

在杂交育种中，人们有目的地将具有不同优良性状的两个亲本杂交，使两个亲本的优良性状组合在一起，再筛选出所需要的优良品种。例如，小麦的抗倒伏（D）对易倒伏（d）为显性，易染条锈病（T）对抗条锈病（t）为显性。小麦患条锈病（图1-10）或倒伏，会导致减产甚至绝收。现有两个不同品种的小麦，一个品种抗倒伏，但易染条锈病（DDTT）；另一个品种易倒伏，但能抗条锈病（ddtt）。将这两个品种的小麦杂交，在F₂中就会出现新类型（如DDtt或Ddtt）。继续繁育它们，经过选择和培育，就可以得到既抗倒伏又抗条锈病的纯种（DDtt）。

在医学实践中，人们可以依据分离定律和自由组合定律，对某些遗传病在后代中的患病概率作出科学的推断，从而为遗传咨询提供理论依据。例如，人类的白化病是一种由隐性基因（a）控制的遗传病，如果一个患者的双亲表型正常，根据分离定律可知，患者的双亲一定都是杂合子（Aa），则双亲的后代中患病概率是1/4。



▲ 图 1-10 患条锈病的小麦

练习与应用

一、概念检测

1. 根据分离定律和自由组合定律,判断下列相关表述是否正确。

- (1) 表型相同的生物,基因型一定相同。()
(2) 控制不同性状的基因的遗传互不干扰。()

2. 南瓜果实的白色(W)对黄色(w)是显性,盘状(D)对球状(d)是显性,控制两对性状的基因独立遗传,那么表型相同的一组是 ()

- A. WwDd 和 wwDd B. WWdd 和 WwDd
C. WwDd 和 WWDD D. WWdd 和 WWDD

3. 孟德尔遗传规律包括分离定律和自由组合定律。下列相关叙述正确的是 ()

- A. 自由组合定律是以分离定律为基础的
B. 分离定律不能用于分析两对等位基因的遗传

C. 自由组合定律也能用于分析一对等位基因的遗传

D. 基因的分离发生在配子形成的过程中,基因的自由组合发生在合子形成的过程中

二、拓展应用

1. 假如水稻高秆(D)对矮秆(d)为显性,抗稻瘟病(R)对易感稻瘟病(r)为显性,控制两对性状的基因独立遗传。现用一个纯合易感稻瘟病的矮秆品种(抗倒伏)与一个纯合抗稻瘟病的高秆品种(易倒伏)杂交, F_2 中出现既抗倒伏又抗病类型的比例是_____。

2. 纯种的甜玉米与纯种的非甜玉米实行间行种植,收获时发现,在甜玉米的果穗上结有非甜玉米的籽粒,但在非甜玉米的果穗上找不到甜玉米的籽粒,试说明产生这种现象的原因。

3. 人的双眼皮和单眼皮是由一对等位基因控制的性状,双眼皮为显性性状,单眼皮为隐性性状。如果父母都是双眼皮,后代中会出现单眼皮吗?有的同学父母都是单眼皮,自己却是双眼皮,也有证据表明他(她)确实是父母亲生的,对此,你能作出合理的解释吗?你由此体会到遗传规律有什么特点?



与生物学有关的职业

育种工作者

就业单位 农业科研单位(农科院、农科所等)、现代农业生产基地、园林设计单位、花卉生产企业等。

主要任务 培育动植物新品种。新品种应当具有符合生产需求,如抗病虫害、抗盐碱、抗旱、抗寒、高产等特性。

工作方式 实验室或实验田是主要的工作场所,动植物是操作的对象,相关仪器设备是必不可少的工具。

须具备的素质 首先,要具备勇于创新的精神,因为育种是在创造自然界本来没有的动植物新品种;其次,必须要有承受挫折、永不气馁的心理素质,要想培育一个新品种,不可能一蹴而就,失败往往



多于成功;再次,要有吃苦耐劳的心理准备,有时在试验田中要反复进行多次试验,怕苦怕累的人是难以胜任的;最后,还应当具备专业的生物学知识,特别是关于动植物生殖、发育和遗传的知识。

职业乐趣 你有更多的机会亲近自然。当你看到辛勤培育的新品种投入生产,给农民带来丰收的喜悦时,在精神上会获得丰厚的报偿。

本章小结

理解概念

● 孟德尔用豌豆进行杂交实验，成功地揭示了遗传的两条基本规律：遗传因子的分离定律和自由组合定律。这两条基本规律的精髓是：生物体遗传的不是性状本身，而是控制性状的遗传因子。性状有显性和隐性之分，遗传因子也有显隐之分。

● 分离定律的主要内容是：在生物体的体细胞中，控制同一性状的遗传因子成对存在，不相融合；在形成配子时，成对的遗传因子发生分离，分离后的遗传因子分别进入不同的配子中，随配子遗传给后代。

● 自由组合定律的主要内容是：控制不同性状的遗传因子的分离和组合是互不干扰的；在形成配子时，决定同一性状的成对的遗传因子彼此分离，决定不同性状的遗传因子自由组合。

● 约翰逊将孟德尔的“遗传因子”命名为“基因”，并且提出了基因型和表型的概念。基因型是性状表现的内在因素，表型是基因型的表现形式。

发展素养

通过本章的学习，应在以下几方面得到发展。

● 能够运用分离定律和自由组合定律解释生活中常见的遗传现象。

● 基于对孟德尔豌豆杂交实验过程的分析，解释假说—演绎法的基本思路，尝试在今后的学习与探究中运用假说—演绎法分析和解决问题。

● 认同在科学探究中正确地选用实验材料、运用数学统计方法、提出新概念以及应用符号体系表达概念的重要性，并尝试运用于自己的科学探究中。

● 认同孟德尔敢于质疑的科学精神、缜密的科学思维、大胆的想象和创新，以及他对科学的热爱和锲而不舍的探索精神。

一、选择题

1. 在孟德尔一对相对性状的杂交实验中, 出现性状分离的是 ()

A. 杂合的红花豌豆自交产生红花和白花后代
B. 纯合的红花豌豆与白花豌豆杂交产生红花后代

C. 杂合的红花豌豆与白花豌豆杂交产生白花后代

D. 纯合的红花豌豆与杂合的红花豌豆杂交产生红花后代

2. 番茄的红果色 (R) 对黄果色 (r) 为显性。以下关于鉴定一株结红果的番茄植株是纯合子还是杂合子的叙述, 正确的是 ()

- A. 可通过与红果纯合子杂交来鉴定
B. 可通过与黄果纯合子杂交来鉴定
C. 不能通过该红果植株自交来鉴定
D. 不能通过与红果杂合子杂交来鉴定

3. 如果用玉米作为实验材料验证分离定律, 下列因素对得出正确实验结论影响最小的是 ()

- A. 所选实验材料是否为纯合子
B. 所选相对性状的显隐性是否易于区分
C. 所选相对性状是否受一对等位基因控制
D. 是否严格遵守实验操作流程和统计分析方法

4. 某种动物的直毛 (B) 对卷毛 (b) 为显性, 黑色 (D) 对白色 (d) 为显性, 控制两对性状的基因独立遗传。基因型为 BbDd 的个体与个体 X 交配, 子代的表型及其比例为直毛黑色 : 卷毛黑色 : 直毛白色 : 卷毛白色 = 3 : 1 : 3 : 1。那么, 个体 X 的基因型为 ()

- A. bbDd B. Bbdd C. BbDD D. bbdd

5. 孟德尔在研究中运用了假说—演绎法, 以下叙述不属于假说的是 ()

- A. 受精时, 雌雄配子随机结合
B. 形成配子时, 成对的遗传因子分离
C. F₂ 中既有高茎又有矮茎, 性状分离比接近 3 : 1

D. 性状是由遗传因子决定的, 在体细胞中遗传因子成对存在

二、非选择题

1. 番茄的紫茎和绿茎是一对相对性状, 缺刻叶和马铃薯叶是一对相对性状, 两对基因独立遗传。利用三种不同基因型的番茄进行杂交, 实验结果如下图所示。

第 1 组 紫茎缺刻叶① × 绿茎缺刻叶②

↓

紫茎缺刻叶 : 紫茎马铃薯叶 = 3 : 1

第 2 组 紫茎缺刻叶③ × 绿茎缺刻叶②

↓

紫茎缺刻叶 : 紫茎马铃薯叶 : 绿茎缺刻叶 :
绿茎马铃薯叶 = 3 : 1 : 3 : 1

请回答下列问题。

(1) 紫茎和绿茎这对相对性状中, 显性性状为_____ ; 缺刻叶和马铃薯叶这对相对性状中, 显性性状为_____。

(2) 如果用 A、a 表示控制紫茎、绿茎的基因, 用 B、b 表示控制缺刻叶、马铃薯叶的基因, 那么紫茎缺刻叶①、绿茎缺刻叶②、紫茎缺刻叶③的基因型依次为_____。

(3) 紫茎缺刻叶①与紫茎缺刻叶③杂交, 子代的表型及比值分别为_____。

2. 现有某作物的两个纯合品种 : 抗病高秆 (易倒伏) 和感病矮秆 (抗倒伏), 抗病对感病为显性, 高秆对矮秆为显性。如果要利用这两个品种进行杂交育种, 获得具有抗病矮秆优良性状的新品种, 在杂交育种前, 需要正确地预测杂交结果。按照孟德尔遗传规律来预测杂交结果, 需要满足三个条件, 其中一个条件是抗病与感病这对相对性状受一对等位基因的控制, 且符合分离定律。请回答下列问题。

(1) 除了上述条件, 其他两个条件是什么?

(2) 为了确定控制上述这两对性状的基因是否满足这三个条件, 可用测交实验来进行检验。请你设计该测交实验的过程。

(3) 获得的 F₂ 中是否有抗病矮秆品种? 应该进行怎样的处理才能获得纯合抗病矮秆品种?

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？

对细胞分裂的深入研究和观察，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

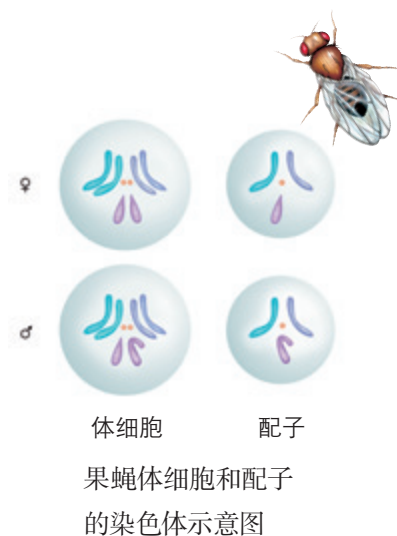
问题探讨

在腐烂的水果周围常可看到飞舞的果蝇。果蝇的生长周期短，繁殖快，染色体少且容易观察，是遗传学上常用的实验材料。

右图是黑腹果蝇雌雄个体的体细胞和配子的染色体示意图。

讨论

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



一 减数分裂

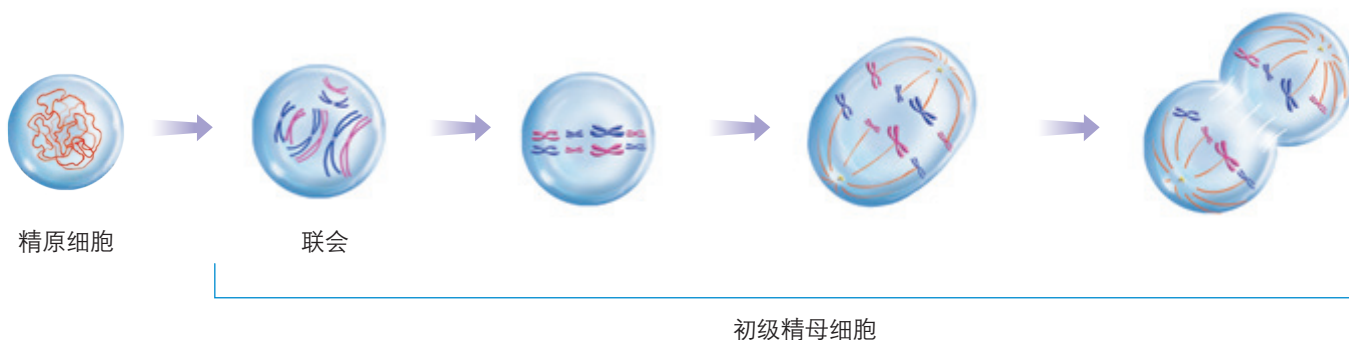
◎ 本节聚焦

- 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？

当孟德尔向人们揭示遗传规律的时候，细胞学研究也取得了可喜的进展。与孟德尔同时代的德国动物学家魏斯曼（A. Weismann, 1834—1914）从理论上预测：在精子和卵细胞成熟的过程中，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，染色体数

减数分裂 I 的主要特征：

- 同源染色体配对——联会；
- 四分体中的非姐妹染色单体可以发生互换；
- 同源染色体分离，分别移向细胞的两极。



目得以恢复正常。这个天才的预见被其他科学家通过显微镜观察所证实。魏斯曼预言的这个特殊的过程，实际上是一种特殊方式的有丝分裂，叫作减数分裂（meiosis）。

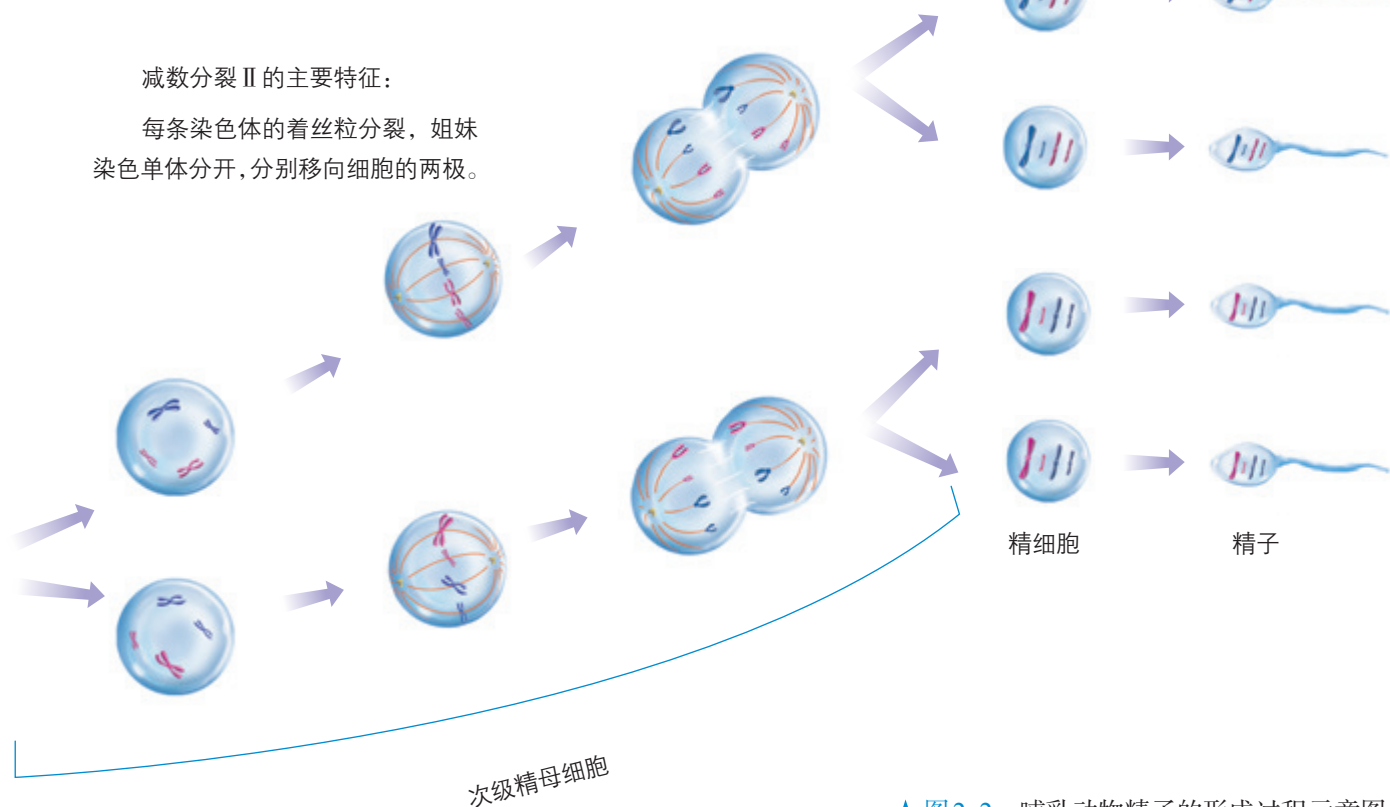
减数分裂是如何进行的呢？下面结合哺乳动物精子和卵细胞的形成来探讨。

精子的形成过程

高等动植物细胞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，睾丸里有许多弯弯曲曲的曲细精管（图2-1），曲细精管中有大量精原细胞。精原细胞是原始的雄性生殖细胞，通过有丝分裂进行增殖，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。科学家发现，在减数分裂前，每个精原细胞的染色体复制一次，而细胞在减数分裂过程中连续分裂两次，最后形成四个精细胞。这两次分裂分别叫作减数分裂Ⅰ（也叫减数第一次分裂）和减数分裂Ⅱ（也叫减数第二次分裂）。精细胞再经过变形，就形成了成熟的雄性生殖细胞——精子（图2-2）。

减数分裂Ⅱ的主要特征：

每条染色体的着丝粒分裂，姐妹染色单体分开，分别移向细胞的两极。



如果配子的形成与体细胞的增殖一样，也是通过有丝分裂形成的，结果会怎样？

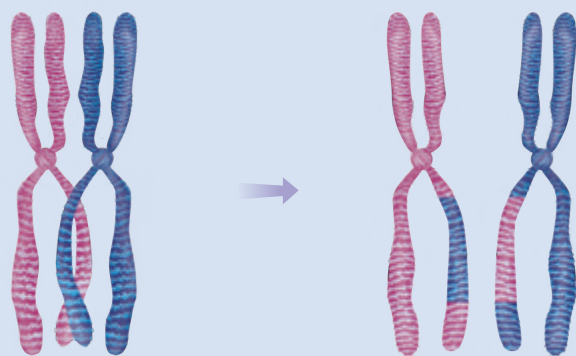


▲ 图2-1 人的睾丸和精子示意图

▲ 图2-2 哺乳动物精子的形成过程示意图

在减数分裂前的间期，一部分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完全相同的姐妹染色单体构成，这两条姐妹染色单体由同一个着丝粒连接。此时的染色体呈染色质丝的状态。

减数分裂Ⅰ开始不久，初级精母细胞中原来分散的染色体缩短变粗并两两配对。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，叫作同源染色体。在减数分裂过程中，同源染色体两两配对的现象叫作联会。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，叫作四分体。四分体中的非姐妹染色单体之间经常发生缠绕，并交换相应的片段（图2-3）。



▲ 图2-3 染色体互换的照片（左）和示意图（右）



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？

随后，各对同源染色体排列在细胞中央的赤道板两侧，每条染色体的着丝粒都附着在纺锤丝上。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的两极后，一个初级精母细胞就分裂成了两个次级精母细胞。



在减数分裂Ⅰ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？

在这次分裂过程中，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分裂Ⅰ。

减数分裂Ⅰ与减数分裂Ⅱ之间通常没有间期，或者间期时间很短，染色体不再复制。在减数分裂Ⅱ中，每条染

色体的着丝粒分裂，两条姐妹染色单体随之分开，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，在减数分裂Ⅰ中形成的两个次级精母细胞，经过减数分裂Ⅱ，就形成了四个精细胞。与初级精母细胞相比，每个精细胞中都含有数目减半的染色体。

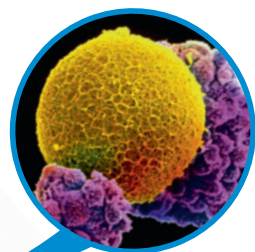
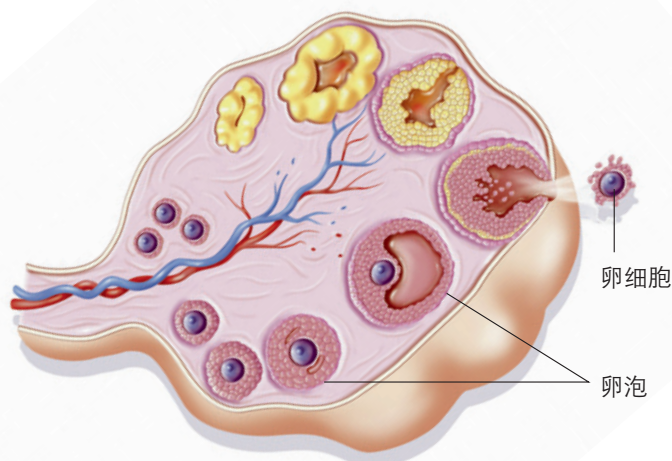
减数分裂后，精细胞要经过复杂的变形才能成为精子。精子呈蝌蚪状，分头部和尾部，头部含有细胞核，尾长，能够摆动。



精细胞的变形对受精作用有什么意义？

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，在卵泡中央的一个细胞将会发育为卵细胞（图2-4）。



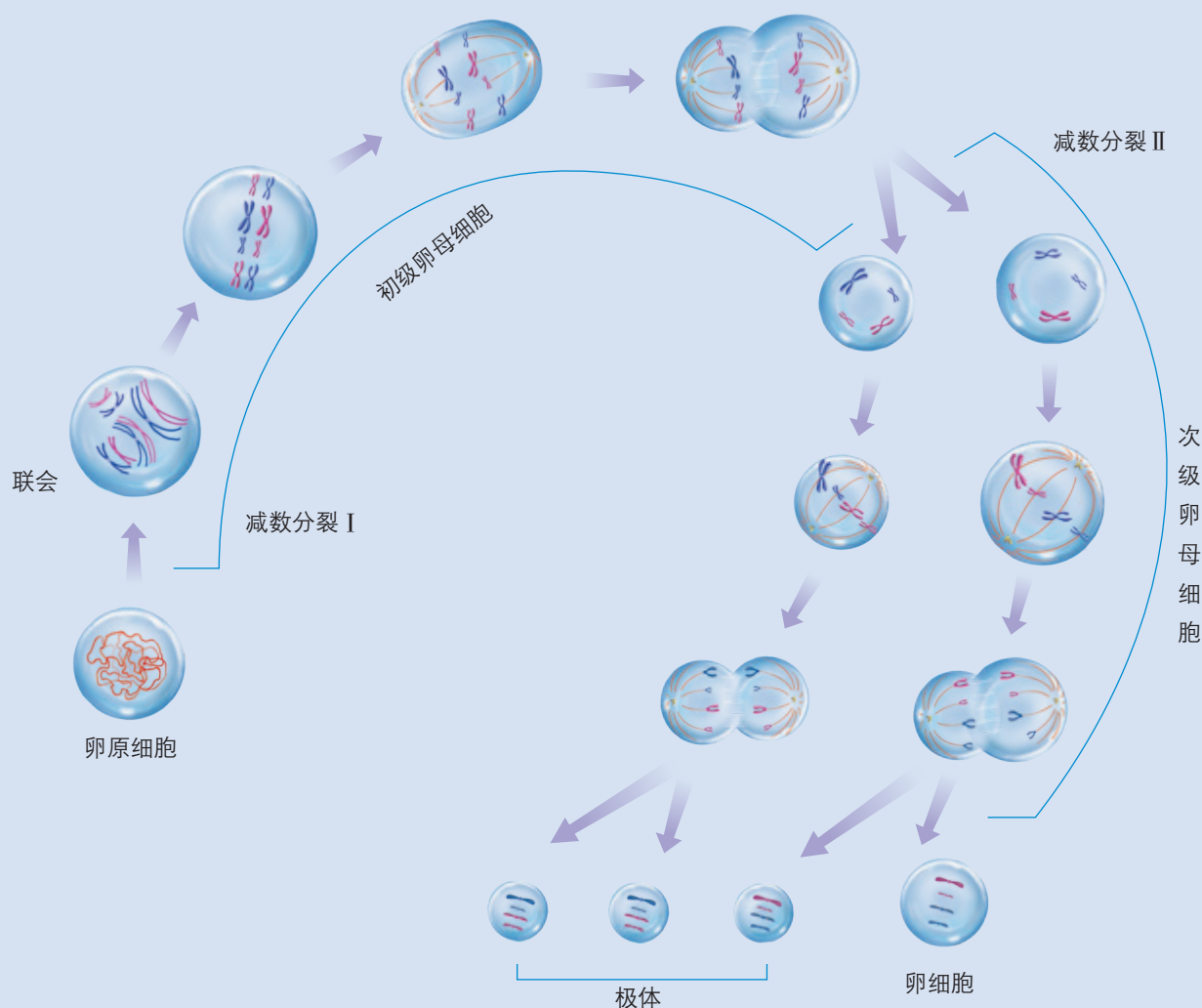
卵细胞的扫描电镜照片
（放大150倍）

▲ 图2-4 人的卵巢（横切面）示意图和卵细胞的电镜照片

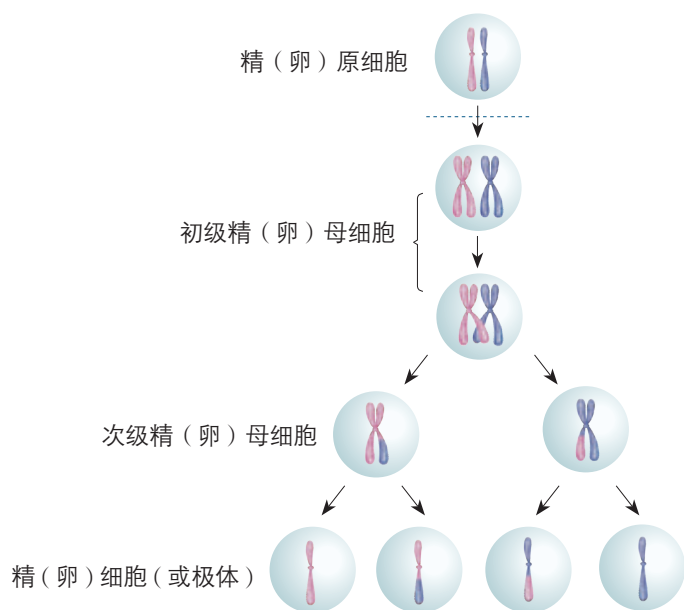
卵细胞的形成过程与精子的基本相同。首先，在减数分裂前的间期，卵原细胞增大，染色体复制，卵原细胞成为初级卵母细胞。然后，初级卵母细胞经过减数分裂Ⅰ和减数分裂Ⅱ，形成卵细胞。卵细胞与精子形成过程的主要区别是：初级卵母细胞经过减数分裂Ⅰ进行不均等分裂，形成大小不同的两个细胞，大的叫作次级卵母细胞，小的叫作极体。次级卵母细胞经过减数分裂Ⅱ也进行不均等分裂，形成一个大的卵细胞和一个小的极体。在减数分裂Ⅰ形成的极体又分裂为两个极体。这样，一个初级卵母细胞经过减数分裂，就形成了一个卵细胞和三个极体（图2-5）。

相关信息

烟草的烟雾含有几千种化学物质，其中不少物质会影响减数分裂过程，影响精子和卵细胞的形成等。吸烟还会诱发气管炎、高血压、肺癌、喉癌等多种疾病。



▲ 图2-5 哺乳动物卵细胞的形成过程示意图



▲ 图2-6 减数分裂示意图

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。与精子的形成不同，卵细胞的形成不需要变形。

总之，减数分裂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。在减数分裂前，染色体复制一次，而细胞在减数分裂过程中连续分裂两次。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（图2-6）。

与社会的联系 不良的环境条件会影响原始生殖细胞的减数分裂，从而影响生殖细胞的形成。例如，气温过低会影响水稻花粉母细胞的减数分裂，进而影响水稻的花粉数量和质量，导致稻谷减产。对此，农业生产上可以采取灌深水的措施来预防。

吸烟会影响男性精子的数量和质量，这方面也有不少研究，感兴趣的同学可以搜集这方面的资料。

练习与应用

一、概念检测

1. 与有丝分裂不同，减数分裂形成的成熟生殖细胞中的染色体数目会减少。判断下列相关表述是否正确。

(1) 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。 ()

(2) 在减数分裂过程中，染色体数目减半发生在减数分裂 I。 ()

2. 蝗虫的体细胞中有 24 条染色体，在观察蝗虫的细胞时，下列现象能够说明该细胞处于减数分裂的是 ()

- A. 出现染色单体
- B. 同源染色体联会
- C. 染色体移向细胞的两极
- D. 子细胞中有 24 条染色体

3. 下图所示的细胞最可能是 ()

- A. 卵细胞
- B. 初级精母细胞
- C. 次级卵母细胞
- D. 有丝分裂前期的细胞



4. 下图所示的细胞正在进行细胞分裂，识图回答问题。

(1) 这个细胞正在进行哪种分裂？为什么？

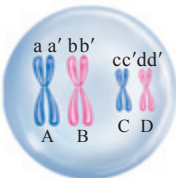
(2) 细胞中有几条染色体？几条染色单体？

(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？

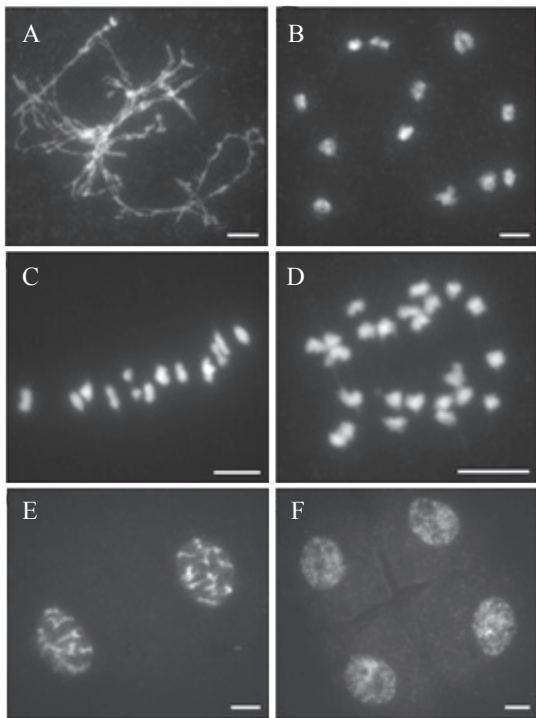
(5) 这个细胞在分裂完成后，子细胞中有几条染色体？

(6) 尝试画出这个细胞的分裂后期图。



二、拓展应用

1. 下图是水稻花粉母细胞减数分裂不同时期的显微照片，A 至 D 为减数分裂 I，E 和 F 为减数分裂 II。图中的短线表示长度为 5 μm 。请你说说怎样判断图中的细胞处于减数分裂 I 还是减数分裂 II。



2. 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？出现例外会造成什么后果？请选择你认为最便捷的途径寻找答案。

3. 在精细胞变形为精子的过程中，精子的头部几乎只保留了细胞核，部分细胞质变成了精子的颈部和尾部，大部分细胞质及多数细胞器被丢弃，但全部线粒体被保留下来，并主要集中在尾的基部。你怎样解释这一现象？

观察蝗虫精母细胞减数分裂装片

目的要求

通过观察蝗虫精母细胞减数分裂装片，识别减数分裂不同时期染色体的形态、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装片，显微镜。

方法步骤

1. 在低倍镜下观察蝗虫精母细胞减数分裂装片。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分裂Ⅰ和减数分裂Ⅱ不同时期的细胞，再在高倍镜下仔细观察染色体的形态、位置和数目。

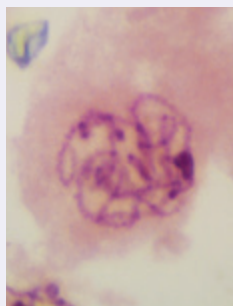
3. 根据观察结果，尽可能多地绘制减数分裂不同时期的细胞简图。

讨论

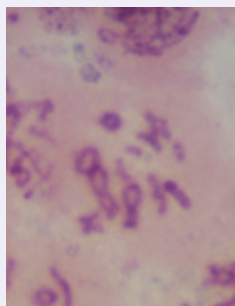
1. 当你的目光聚焦在显微镜视野中的一个细胞时，你怎样判断它处于减数分裂的哪个时期？

2. 减数分裂Ⅰ与减数分裂Ⅱ相比，中期细胞中染色体的不同点是什么？末期呢？

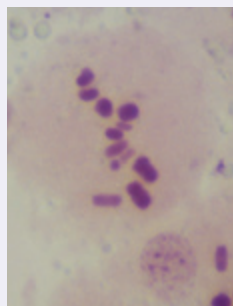
3. 你是通过比较同一时刻不同细胞的染色体特点，来推测一个精母细胞在不同分裂时期的染色体变化的。这一做法能够成立的逻辑前提是什么？



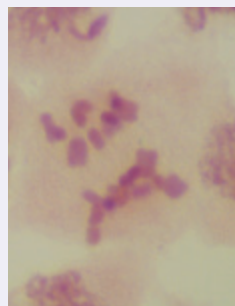
减数分裂Ⅰ前期



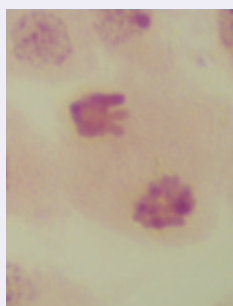
减数分裂Ⅰ前期



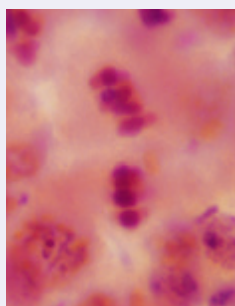
减数分裂Ⅰ中期



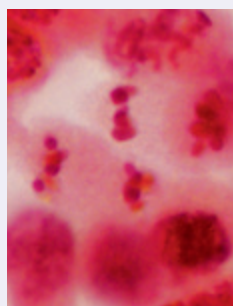
减数分裂Ⅰ后期



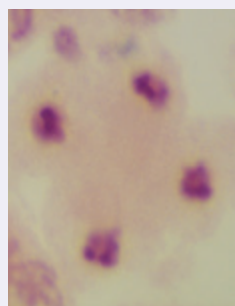
减数分裂Ⅰ末期



减数分裂Ⅱ中期



减数分裂Ⅱ后期



减数分裂Ⅱ末期

蝗虫精母细胞减数分裂的显微照片（放大640倍）

二 受精作用

经减数分裂形成的精子和卵细胞，要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）的实质和意义。

配子中染色体组合的多样性

父亲体内所有的精原细胞，其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？



探究·实践

建立减数分裂中染色体变化的模型

目的要求

通过建立减数分裂中染色体数目和行为变化的模型，加深对减数分裂过程及其特点的认识，理解配子中染色体组合的多样性，领悟减数分裂的意义。

材料用具

较大的白纸，铅笔或彩笔，适于制作染色体的材料（如橡皮泥、扭扭棒、细树枝、纸卷等）。

方法步骤

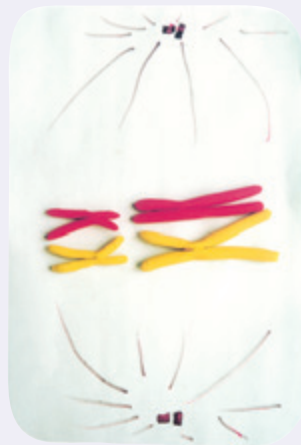
一、模拟减数分裂中染色体数目和主要行为的变化

1. 用两种颜色的橡皮泥制作染色体，每种颜色分别制作两条大小不同的染色体，每条染色体由两条染色单体组成（注意：一种颜色的两条染色体分别与另一种颜色的两条染色体大小相同）。两种颜色分别代表来自父方和母方。

2. 在纸上画一个足够大的初级精母细胞的轮廓，能够容纳所制作的四条染色体。画出中心体和纺锤体。

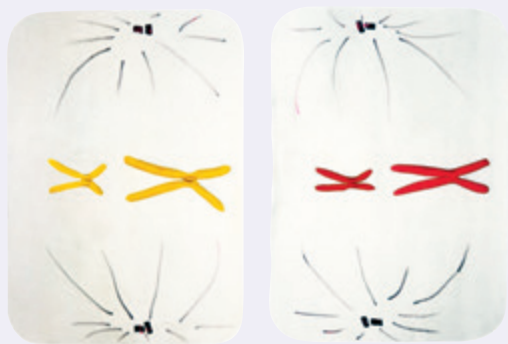
3. 将染色体放在画好的细胞内，让长度相同、颜色不同的两条染色体配对，使着丝粒靠近。

4. 将两对染色体横向分别排列在细胞中央的赤道板两侧。



5. 双手分别抓住并移动染色体的着丝粒，使两种颜色的染色体分离，分别移向细胞的两极。

6. 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。



7. 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连接染色单体的小块橡皮泥——相当于着丝粒分离。再将染色体分别拉向细胞的两极。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。

下面的活动由你们小组共同设计完成。

二、模拟减数分裂中非同源染色体的自由组合

进行模拟活动前应该先设计，并考虑以下问题。

1. 细胞中至少需要几对染色体？

2. 假设细胞中有2对染色体，减数分裂Ⅰ时，非同源染色体有几种组合方式？如何模拟？

3. 怎样模拟减数分裂Ⅰ和减数分裂Ⅱ所产生的子细胞？

三、模拟减数分裂中四分体时期非姐妹染色单体间的互换

进行模拟活动前应该先设计，并考虑以下问题。

1. 怎样模拟四分体时期非姐妹染色单体间的互换？

2. 如果发生了互换，怎样模拟减数分裂Ⅰ和减数分裂Ⅱ所产生的子细胞？

讨论

1. 描述减数分裂中染色体的数目和主要行为的变化，分析其意义。

2. 根据以上三个模型，说说减数分裂产生多种配子的原因。

3. 与其他小组交流建构模型的过程，如果条件允许，建议在计算机上制作减数分裂的动态模型。



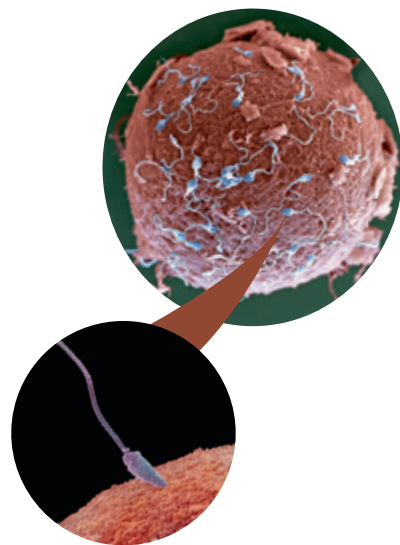
在生物的体细胞内，染色体的数目往往是比较多的。例如，人的体细胞中有23对染色体。那么人在形成精子或卵细胞时，可能产生多少种配子呢？如果再把非姐妹染色单体间的互换考虑进去，通过减数分裂产生的配子种类就更多了。请你想一想，这对于生物多样性的形成有什么意义？

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，保证了物种染色体数目的稳定，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，卵细胞的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。以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。

减数分裂和受精作用保证了每种生物前后代染色体数目的恒定，维持了生物遗传的稳定性。此外，通过有性生殖，新一代继承了父母双方的遗传物质，而通过无性生殖只能继承单亲的遗传物质。在有性生殖过程中，减数分裂形成的配子，其染色体组合具有多样性，导致了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适应多变的自然环境，有利于生物在自然选择中进化，体现了有性生殖的优越性。因此，减数分裂和受精作用对于生物的遗传和变异，都是十分重要的。



▲图2-7 受精过程开始的扫描电镜照片（上图放大250倍，下图放大1 200倍）

思维训练

综合概括

每一种生物在繁衍过程中，既保持遗传的稳定性，又表现出遗传的多样性。试从配子形成和受精作用两个方面，分别对

遗传的稳定性与多样性的原因进行综合概括，并用尽量简练的语言表述出来（填写在下表空格内）。

	遗传的稳定性	遗传的多样性
配子形成		
受精作用		

练习与应用

一、概念检测

1. 大熊猫的体细胞有 42 条染色体, 判断下列相关表述是否正确。

(1) 一只雄性大熊猫在不同时期产生的精子, 染色体数目一般都是 21 条。 ()

(2) 一只雌性大熊猫在不同时期产生的卵细胞, 其染色体组合具有多样性。 ()

2. 假如蛙的 15 个初级卵母细胞和 5 个初级精母细胞都能正常分裂, 并在最大限度内受精, 则最多能形成的受精卵数目是 ()

A. 20 B. 15 C. 10 D. 5

3. 同种生物前后代的染色体数目是相同的, 对此起决定作用的过程是 ()

A. 有丝分裂 B. 有丝分裂和受精作用
C. 减数分裂 D. 减数分裂和受精作用

二、拓展应用

1. 正常人的体细胞中有 23 对染色体。有一种叫“13 三体综合征”的遗传病, 患者头小, 患先天性心脏病, 智力远低于常人。对患者进行染色体检查, 发现患者的 13 号染色体不是正常的 1 对, 而是 3 条。请尝试使用“减数分裂中染色体变化的模型”, 从精子或卵细胞形成的角度分析这种病产生的原因。

2. 骡是马和驴杂交产生的后代。马和驴的体细胞中分别有 32 对和 31 对染色体, 请问骡的体细胞中含有多少条染色体? 骡的体细胞增殖是通过正常的有丝分裂进行的, 而它们的睾丸或卵巢中的原始生殖细胞却不能发生正常的减数分裂, 因此骡不能繁殖后代。你能从减数分裂中染色体行为的角度解释其原因吗?

STS 科学·技术·社会

人类辅助生殖技术

不孕不育症给不少家庭带来了困扰。据世界卫生组织评估, 每 7 对育龄夫妇中约有 1 对存在生殖障碍。幸运的是, 对于不能生育的夫妇, 只要查明原因, 借助人类辅助生殖技术, 就有生育的可能。

人类辅助生殖技术是指采用医疗辅助手段使不孕不育夫妇生育后代的技术。这项技术包括人工授精、体外受精、胚胎移植及其衍生技术。

人工授精是指用人工方法将精子导入女性体内, 使精子与卵细胞结合形成受精卵。这种方法适用于妻子的生育能力正常, 但丈夫的精子数量少或活力差的情形。如果丈夫的生育能力正常, 但妻子因输卵管阻塞而不孕, 那么体外受精技术就有了用武之地。体外受精技术又称试管婴儿技术, 是指用人工方法让精子和卵细胞在体外受精, 当受精卵形成早期胚胎时, 再将它移入子宫内, 使之

发育为胎儿。试管婴儿是 20 世纪人类辅助生殖技术的杰作。1988 年, 我国大陆地区首例试管婴儿出生在北京医科大学 (现北京大学医学部) 第三医院。迄今为止, 全世界已经诞生了近千万例试管婴儿。

目前, 全世界已建成了多家精子库和卵母细胞库。夫妻双方中有一方不能生育时, 可借助精子库或卵母细胞库提供的精子或卵细胞完成生育过程。

人类辅助生殖技术在造福人类的同时, 也带来了一些伦理道德和社会法律问题。例如, 如果试管婴儿的供精、供卵方不是抚养他的父母, 就会产生婴儿的生物学父母与法律父母不一致的问题; 对胚胎进行基因检测, 可能会使有些父母选择“定制婴儿”等。对此, 我国政府先后颁布了《人类辅助生殖技术管理办法》《人类辅助生殖技术规范》等法规, 对辅助生殖技术的应用进行科学规范的管理。

第2节

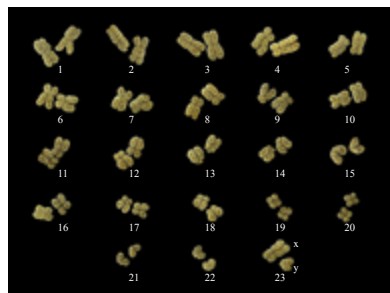
基因在染色体上

问题探讨

人有46条染色体，但是旨在揭示人类基因组遗传信息的人类基因组计划却只测定人的24条染色体的DNA序列。

讨论

1. 对人类基因组进行测序，为什么首先要确定测哪些染色体？
2. 为什么不测定全部46条染色体？



人染色体的扫描电镜照片

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，与双亲体细胞中的染色体数目一样。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（遗传因子）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，因为基因和染色体的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分裂Ⅰ的后期也是自由组合的。

◎ 本节聚焦

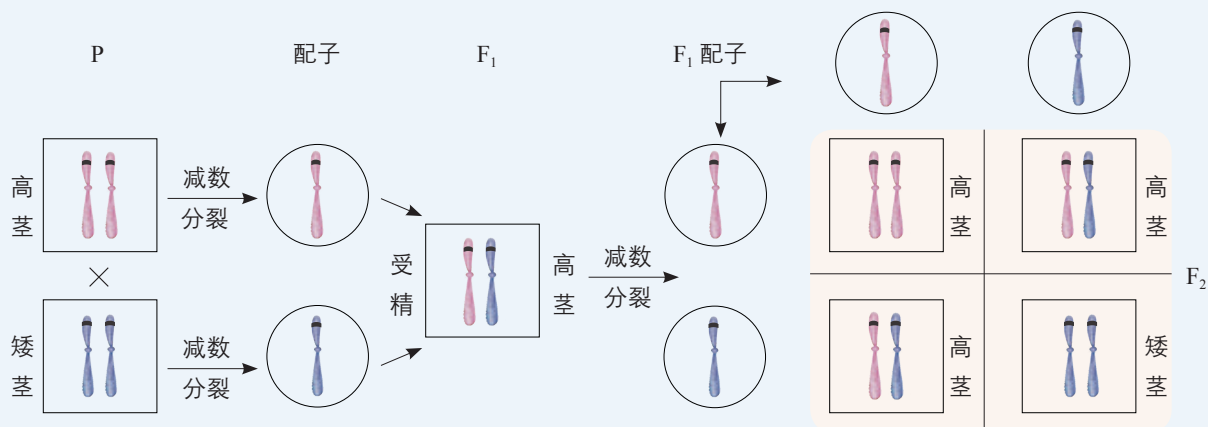
- 科学家发现基因与染色体有哪些平行关系？
- 摩尔根如何证明基因位于染色体上？摩尔根的果蝇杂交实验给我们哪些启示？
- 怎样从基因和染色体的层面解释孟德尔遗传规律？

思考·讨论

分析减数分裂中基因和染色体的关系

你同意以上分析吗？如果你也认为基因在染色体上，请在图中的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（图中染色体上的黑色横线代表基因的位置）。



相关信息

果蝇是昆虫纲双翅目的一种小型蝇类，体长3~4 mm，在制醋和有水果的地方常常可以看到。因为果蝇易饲养，繁殖快，在室温下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

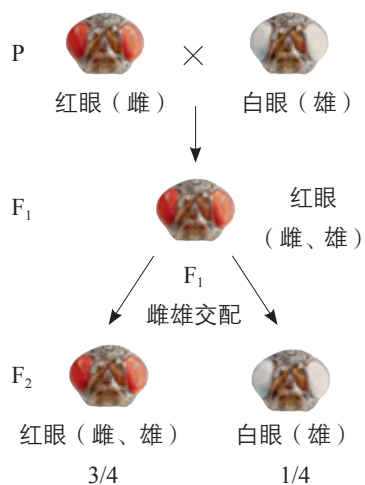
美国生物学家摩尔根（T. H. Morgan, 1866—1945）曾经明确表示过不相信孟德尔的遗传理论。对萨顿的基因位于染色体上的学说更持怀疑态度，认为这是主观的臆测，缺少实验证据。他一直琢磨着设计一个实验，看看生物的遗传与染色体到底有什么关系，基因又是怎么回事。

用什么作实验材料呢？这是个关键问题。腐烂水果周围飞舞的果蝇吸引了他的注意，经过观察，他发现果蝇正是一种合适的实验材料。

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？他做了如图2-8所示的实验。

从实验中不难发现，就果蝇红眼与白眼这一对相对性状来看，F₁全为红眼，说明白眼对红眼是隐性，F₂中红眼和白眼的数量比是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，总是与性别相关联。如何解释这一现象呢？

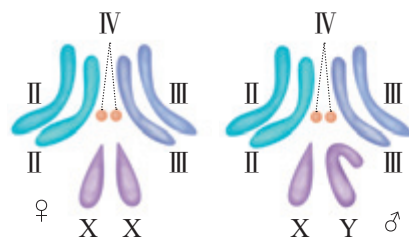
在同一时期，一些生物学家已经在一些昆虫的细胞中发现了性染色体。果蝇的体细胞中有4对染色体，3对是



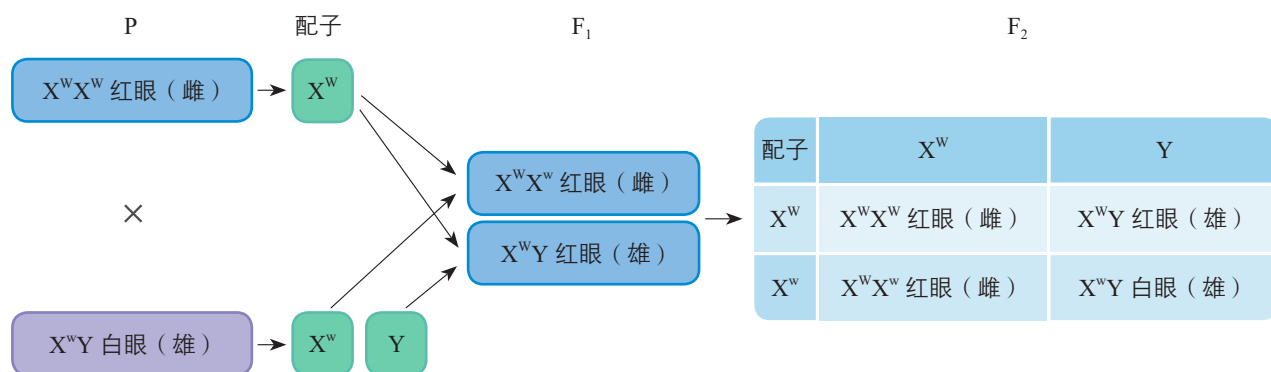
▲ 图2-8 果蝇杂交实验示意图

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。

由于白眼的遗传和性别相关联, 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染色体上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2-9 雌雄果蝇体细胞染色体示意图



▲ 图2-10 果蝇杂交实验分析图解



思考·讨论

摩尔根解释的验证

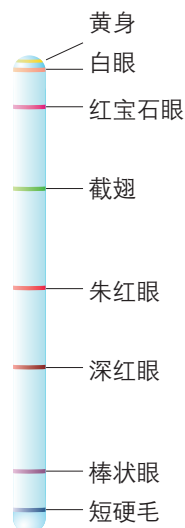
从图2-10可以看出, 摩尔根等人的设想可以合理地解释实验现象。但是判断一种设想或假说是否正确, 仅能解释已有的实验现象是不够的, 还应运用假说—演绎法, 预测另外设计的实验结果, 再通过实验来检验。

讨论

1. 你能运用上述果蝇杂交实验的知识设计一个实验, 来验证他们的解释吗?
2. 如果控制白眼的基因在Y染色体上, 还能解释摩尔根的果蝇杂交实验吗?

后来, 摩尔根等人又通过测交等方法, 进一步验证了这些解释。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的染色体数目。例如, 果蝇的体细胞中有4对染色体, 携带的基因有1.3万多个; 人的体细胞中有23对染色体, 基因大约有2.6万个。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



▲ 图2-11 果蝇X染色体上一些基因的示意图

基因位于染色体上的相对位置的方法，并绘出了第一幅果蝇各种基因在染色体上的相对位置图，同时也说明了基因在染色体上呈线性排列（图2-11）。

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。

练习与应用

一、概念检测

1. 基于对同源染色体和非同源染色体上相关基因的理解，判断下列相关表述是否正确。

（1）位于一对同源染色体上相同位置的基因控制同一种性状。（ ）

（2）非等位基因都位于非同源染色体上。（ ）

2. 基因主要位于染色体上，下列关于基因和染色体关系的表述，错误的是（ ）

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

3. 基因和染色体的行为存在平行关系。下列相关表述，错误的是（ ）

- A. 复制的两个基因随染色单体分开而分开
- B. 同源染色体分离时，等位基因也随之分离
- C. 非同源染色体数量越多，非等位基因组合的种类也越多
- D. 非同源染色体自由组合，使所有非等位基因也自由组合

二、拓展应用

1. 用白眼雌果蝇和红眼雄果蝇杂交，通过眼睛颜色可判断子代果蝇的性别；用白眼雄果蝇和红眼雌果蝇杂交，通过眼睛颜色却不能判断子代果蝇的性别，这是为什么？用其他杂交组合，能否通过眼睛颜色判断子代果蝇的性别呢？

2. 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。但是在自然界，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。这些生物虽然体细胞中的染色体数目减少了一半，但它们仍能正常生活。你如何解释这一现象？

3. 人的体细胞中有23对染色体，其中1~22号是常染色体，23号是性染色体。现在已经发现多一条13号、18号或21号染色体的婴儿，都表现出严重的病症。据不完全调查，现在还未发现多一条（或几条）其他常染色体的婴儿。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。

摩尔根是一个敢于怀疑、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。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，却因此被引进摩尔根在哥伦比亚大学的实验室里。果蝇开始大量繁殖，摩尔根用果蝇做了一个又一个实验。大约在1910年5月，在摩尔根实验室里诞生了一只白眼雄

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然是：“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，让它待在他床边的一个瓶子里，白天又把它带回实验室。随后，这只白眼果蝇与一只红眼雌果蝇交配，将突变基因传了下来。

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，获得了1933年的诺贝尔生理学或医学奖，成为第一位以遗传学领域的贡献而获得这一奖项的科学家。



第3节 伴性遗传



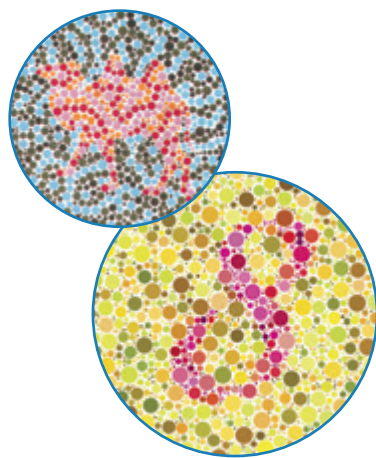
问题探讨

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，在红绿色盲患者中，男性远远多于女性。

抗维生素D佝偻病也是一种遗传病，患者常表现出O形腿、骨骼发育畸形、生长发育缓慢等症状。但这种病与红绿色盲不同，患者中女性多于男性。

讨论

1. 为什么上述两种遗传病在遗传上总是和性别相关联？
2. 为什么两种遗传病与性别关联的表现又不同呢？



红绿色盲检查图

◎ 本节聚焦

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

人类的红绿色盲、抗维生素D佝偻病的遗传表现与果蝇眼睛颜色的遗传非常相似，决定它们的基因位于性染色体上，在遗传上总是和性别相关联，这种现象叫作伴性遗传（sex-linked 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

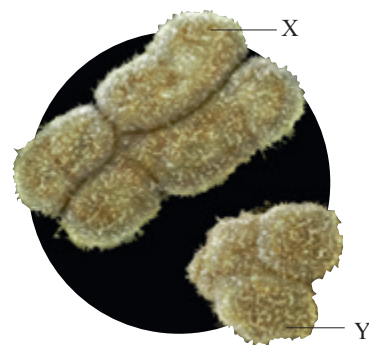
1792年，英国人道尔顿（J. Dalton，1766—1844）在观察一朵花时发现了十分奇怪的现象：这朵花在白天和晚上呈现出两种不同的颜色。更令人惊讶的是，只有他和他的弟弟观察到了这种现象，其他人却说这朵花始终是粉红色的。这是怎么回事呢？道尔顿决心弄清楚原因。经过认真分析和比较，他发现自己和弟弟对一些颜色识别不清，原来这是一种色盲现象，为此，他发表了论文《有关色觉的离奇事实——附观察记录》，成为第一个发现色盲的人。后来他从事化学等方面的研究，提出了化学史上著名的“原子论”。由此可见，善于发现问题、执着地寻求答案，对于科学研究是多么重要！

相关信息

为了红绿色盲患者的交通安全，有些交通信号灯使用了略微偏黄的红和略微偏蓝的绿。



人类的性别由性染色体决定，女性的一对性染色体是同型的，用XX表示；男性的一对性染色体是异型的，用XY表示。人类的X染色体和Y染色体，无论大小还是携带的基因种类和数量都有差别（图2-12）。X染色体携带着许多个基因，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。



▲图2-12 人类X、Y染色体的扫描电镜照片

思考·讨论

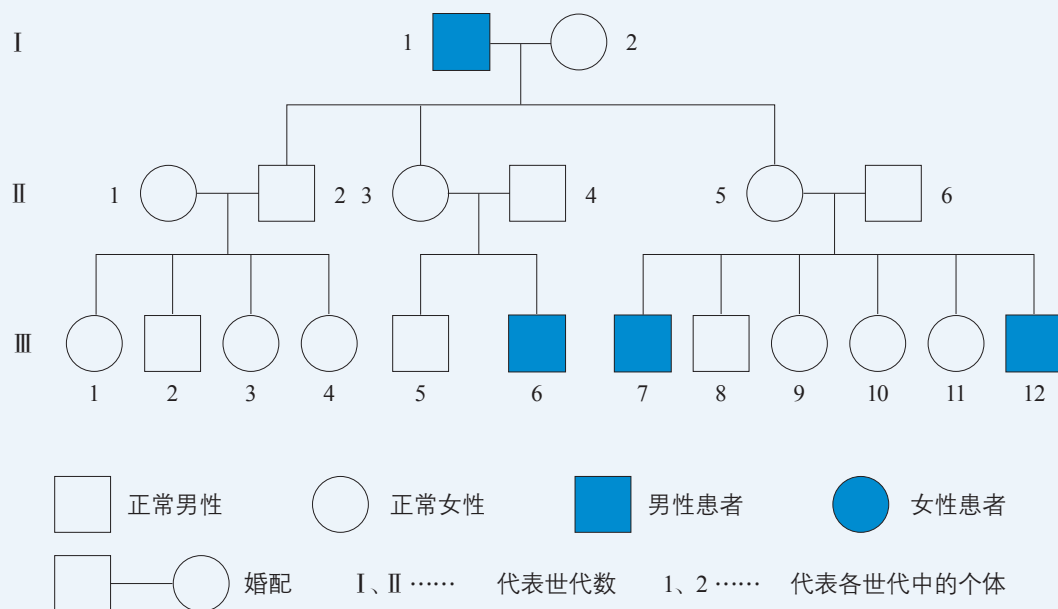
分析人类红绿色盲

研究人类的遗传病，我们不能做遗传学实验，但是可以从对系谱图的研究中获取资料。

下图是一个典型的色盲家族系谱图。从系谱图可以看出，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。

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？
3. 如果用B和b分别表示正常色觉和色盲基因，你能在图中标出Ⅰ代1、2，Ⅱ代1、2、3、4、5、6和Ⅲ代5、6、7、9个体的基因型吗？



从上面的分析可以得出，人的正常色觉与红绿色盲的基因型和表型可以有以下5种情况（表2-1）。

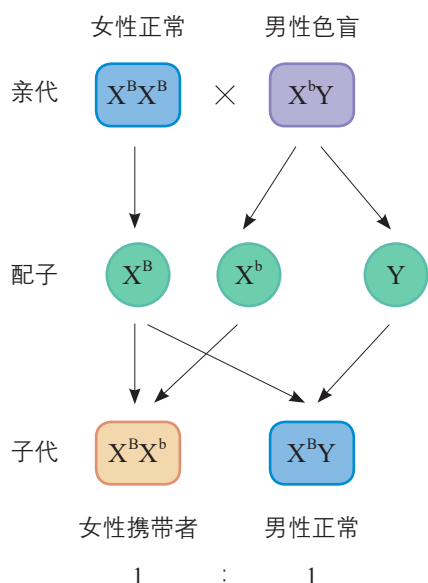
▼ 表2-1 人的正常色觉与红绿色盲的基因型和表型

项目	女性			男性	
基因型	$X^B X^B$	$X^B X^b$	$X^b X^b$	$X^B Y$	$X^b Y$
表型	正常	正常（携带者）	色盲	正常	色盲

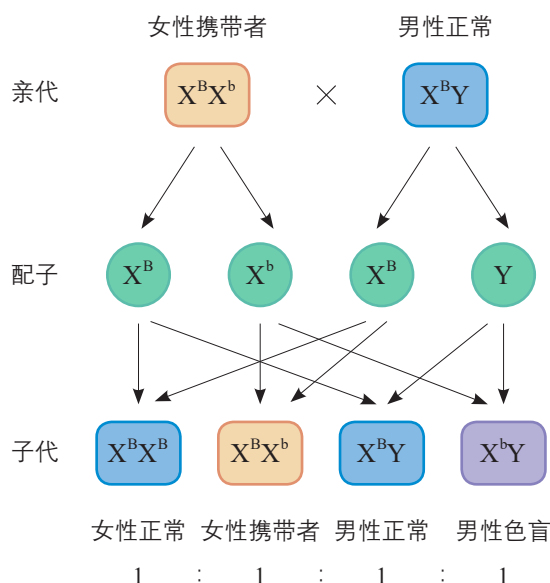
人类红绿色盲的遗传主要有以下几种情况。

如果色觉正常的女性纯合子和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2-13）。

如果女性红绿色盲基因的携带者和色觉正常的男性结婚，在他们的后代中，儿子有1/2的概率正常，1/2的概率为红绿色盲；女儿都不是色盲，但有1/2的概率是色盲基因的携带者（图2-14）。在这种情况下，儿子的色盲基因是从母亲那里遗传来的。



▲ 图2-13 正常女性与男性红绿色盲婚配的遗传图解



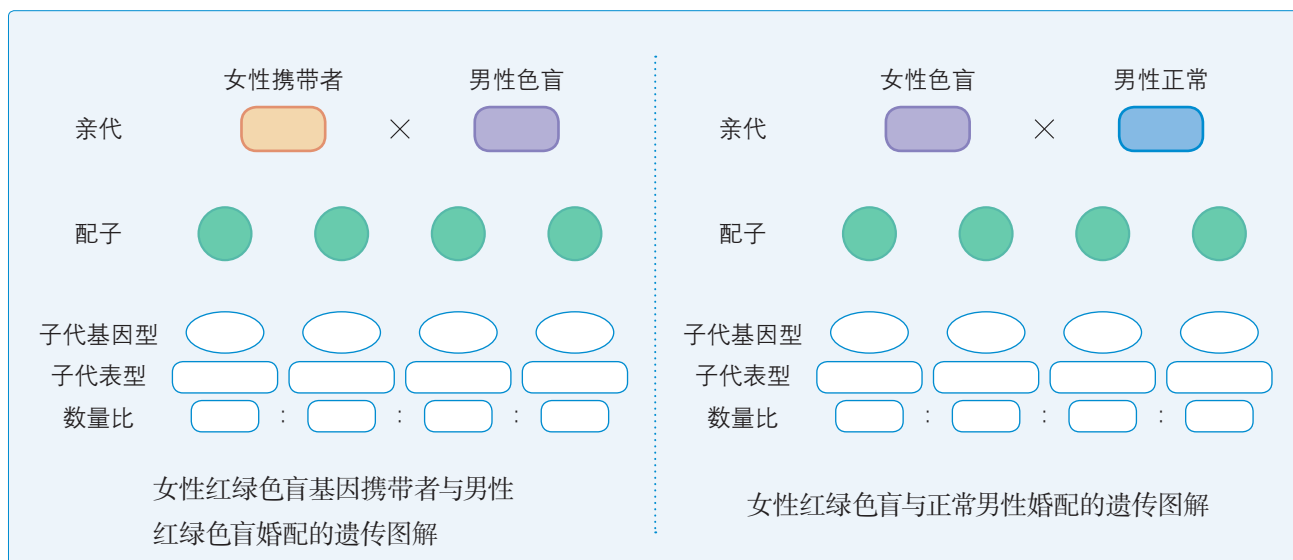
▲ 图2-14 女性红绿色盲基因携带者与正常男性婚配的遗传图解

思考·讨论

预测红绿色盲基因的遗传

1. 如果一位女性红绿色盲基因携带者和一位男性红绿色盲患者结婚，所生子女的基因型和表型会怎样呢？

2. 如果一位女性红绿色盲患者和一位色觉正常的男性结婚，情况又会如何？
请将推理过程填写在下页图中。



如果女性红绿色盲基因携带者和男性红绿色盲患者结婚，在他们的后代中，儿子和女儿各有 1/2 的概率为红绿色盲。如果女性红绿色盲患者和色觉正常的男性结婚，在他们的后代中，儿子均为色盲，女儿均为携带者。

通过对人类红绿色盲的遗传分析，我们可以看出，位于 X 染色体上的隐性基因的遗传特点是：患者中男性远多于女性；男性患者的基因只能从母亲那里传来，以后只能传给女儿。

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 佝偻病就是一种伴 X 染色体显性遗传病。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：患者中女性多于男性，但部分女性患者病症较轻；男性患者与正常女性婚配的后代中，女性都是患者，男性正常。

伴性遗传理论在实践中的应用

伴性遗传在生物界普遍存在。除了前面提到的人的红绿色盲、抗维生素 D 佝偻病及果蝇的红眼和白眼，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2-15 芦花鸡

伴性遗传理论在医学和生产实践中应用广泛。根据伴性遗传的规律，可以推算后代的患病概率，从而指导优生。例如，抗维生素D佝偻病的男性患者与正常女性结婚，通过对后代的患病情况进行分析，就可以从医学角度对他们的生育提出建议。伴性遗传理论还可以指导育种工作。例如，鸡的性别决定方式与人类、果蝇的不同。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）。芦花鸡羽毛上有黑白相间的横斑条纹（图2-15），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。

练习与应用

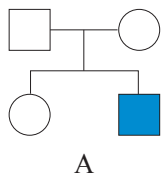
一、概念检测

1. 性染色体携带着许多个基因。判断下列相关表述是否正确。

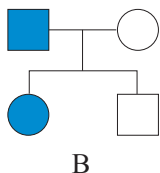
（1）位于X或Y染色体上的基因，其控制的性状与性别的形成都有一定的关系。（ ）

（2）位于性染色体上的基因，在遗传中不遵循孟德尔遗传规律，但表现出伴性遗传的特点。（ ）

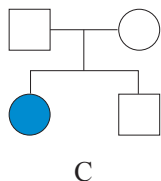
2. 在下列系谱图中，遗传病（图中深颜色表示患者）只能由常染色体上的隐性基因决定的是（ ）



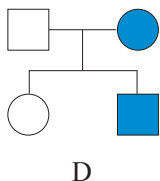
A



B



C



D

3. 由X染色体上的隐性基因导致的遗传病可能具有的特点是（ ）

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

二、拓展应用

1. 人的白化病是常染色体遗传病，正常（A）对白化（a）是显性。一对表型正常的夫妇，生了一个既患白化病又患红绿色盲的男孩。回答下列问题。

（1）这对夫妇的基因型是_____。

（2）在这对夫妇的后代中，如果出现既不患白化病也不患红绿色盲的孩子，则孩子的基因型是_____。

2. 果蝇的灰身（B）对黑身（b）为显性，为了确定这对等位基因位于常染色体上还是X染色体上，某研究小组让一只灰身雄性果蝇与一只灰身雌性果蝇杂交，然后统计子一代果蝇的表型及数量比，结果为灰身：黑身=3：1。根据这一实验数据，还不能确定B和b是位于常染色体上还是X染色体上，需要对后代进行更详细的统计和分析。请说说你的想法。

本章小结

理解概念

● 进行有性生殖的生物，在由原始生殖细胞形成成熟生殖细胞的过程中，染色体只复制一次，而细胞经减数分裂连续分裂两次，最终使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。在减数分裂过程中，同源染色体发生分离，非同源染色体自由组合，使分配到子细胞中的染色体组合类型出现多样性。不仅如此，在减数分裂过程中同源染色体联会时，非姐妹染色单体间还常常发生互换，进一步增加了生殖细胞遗传的多样性。

● 受精作用是卵细胞和精子结合成受精卵的过程。受精作用使受精卵（子代的第一个细胞）又恢复到与亲代一样的染色体数目，使亲子代间的遗传组成保持相对的稳定性。同时，雌雄生殖细胞的多样性和雌雄生殖细胞结合的随机性，致使同一双亲的后代既相似又不同。这是生物在稳定中发展变化的重要原因。

● 摩尔根等人的果蝇杂交实验证明，染色体携带着基因，一条染色体上有许多个基因，它们在染色体上呈线性排列。这让人们认识到遗传因子是具有物质性的实体，进而认识到孟德尔遗传规律的本质。

● 位于性染色体上的基因控制的性状在遗传上总是和性别相关联，这种现象叫作伴性遗传。

发展素养

通过本章的学习，应在以下几方面得到发展。

● 基于对性状、基因和染色体之间关系的理解，从基因和染色体层面阐明性状遗传中所表现出的分离、自由组合等现象的实质，解释新情境下简单的遗传现象。

● 尝试运用假说—演绎法分析萨顿的假说和摩尔根的果蝇杂交实验。

● 基于对伴性遗传的认识，运用演绎推理等科学思维，对位于性染色体上的显性和隐性基因的遗传特点进行分析，对常见的由一对等位基因决定的伴性遗传病，能够根据双亲的表型对后代的患病概率作出科学的预测。

● 认同摩尔根等科学家尊重科学事实、敢于质疑他人又勇于否定自我的科学精神。

● 关注伴性遗传理论和相关技术在生产实践中的应用，并对其应用的影响作出科学的判断。

一、选择题

1. 在减数分裂 I 中会形成四分体, 每个四分体具有 ()

- A. 2 条同源染色体, 4 个 DNA 分子
- B. 4 条同源染色体, 4 个 DNA 分子
- C. 2 条姐妹染色单体, 2 个 DNA 分子
- D. 4 条姐妹染色单体, 2 个 DNA 分子

2. 男性患病概率高于女性的隐性遗传病, 致病基因很可能在 ()

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

3. 下列关于 X 染色体上的显性基因决定的遗传病的叙述, 正确的是 ()

- A. 男性患者的后代中, 子女各有 $1/2$ 患病
- B. 女性患者的后代中, 女儿都患病, 儿子都正常
- C. 表现正常的夫妇, 性染色体上也可能携带致病基因
- D. 患者中女性多于男性, 患者的双亲中至少有一方是患者

4. XY 型性别决定的生物, 群体中的性别比例为 $1:1$, 原因之一是 ()

- A. 雌配子: 雄配子 = $1:1$
- B. 含 X 染色体的配子: 含 Y 染色体的配子 = $1:1$
- C. 含 X 染色体的精子: 含 Y 染色体的精子 = $1:1$
- D. 含 X 染色体的卵细胞: 含 Y 染色体的卵细胞 = $1:1$

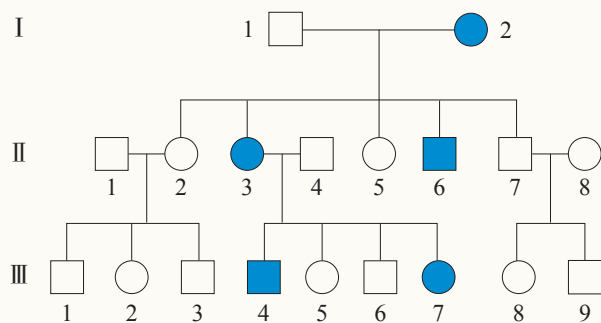
5. 果蝇的灰身基因 (B) 对黑身基因 (b) 为显性, 位于常染色体上; 红眼基因 (W) 对白眼基因 (w) 为显性, 位于 X 染色体上。一只纯合黑身红眼雌蝇与一只纯合灰身白眼雄蝇杂交得 F_1 , F_1 再自由交配得 F_2 。下列说法正确的是 ()

- A. F_2 中会产生白眼雌蝇
- B. F_1 中无论雌雄都是灰身红眼

- C. F_2 中雄蝇的红眼基因都来自 F_1 的父方
- D. F_1 中雌蝇都是灰身红眼, 雄蝇都是灰身白眼

二、非选择题

1. 下图是抗维生素 D 佝偻病的系谱图 (图中深颜色表示患者), 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, 你能根据系谱图找出依据吗?

(2) II 代的 5 号和 7 号是否携带致病基因? 为什么?

(3) 如果图中 III 代 4 号与正常女性结婚, 要想避免后代中出现患者, 可以采取哪种优生措施?

2. 1961 年首次报道性染色体为 3 条的 XYY 男性, 患者的临床表现为举止异常, 性格多变, 容易冲动, 部分患者的生殖器官发育不全。你认为这种病是父母哪一方在减数分裂的哪个时期出现异常引起的? 为避免这些性染色体异常患儿的出生, 临床上应进行哪些检查才能预防?

3. 人们发现, 偶尔会有原来下过蛋的母鸡, 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?

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