

## CH 1.2 孟德尔的豌豆杂交实验 (二)

Y. K. Fu





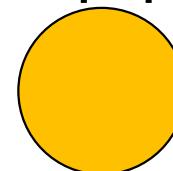
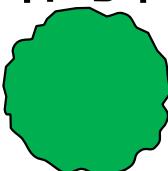
## 本节聚焦

- 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？



## 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，一种是绿色皱粒的。



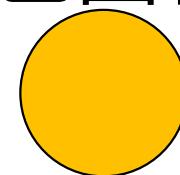
1.决定子叶颜色的遗传因子对决定种子形状的遗传因子会不会有影响呢？

不影响。提示：决定子叶颜色的遗传因子和决定种子形状的遗传因子具有一定的独立性，二者的分离或组合是互不干扰的，因此它们之间不会相互影响。



## 问题探讨

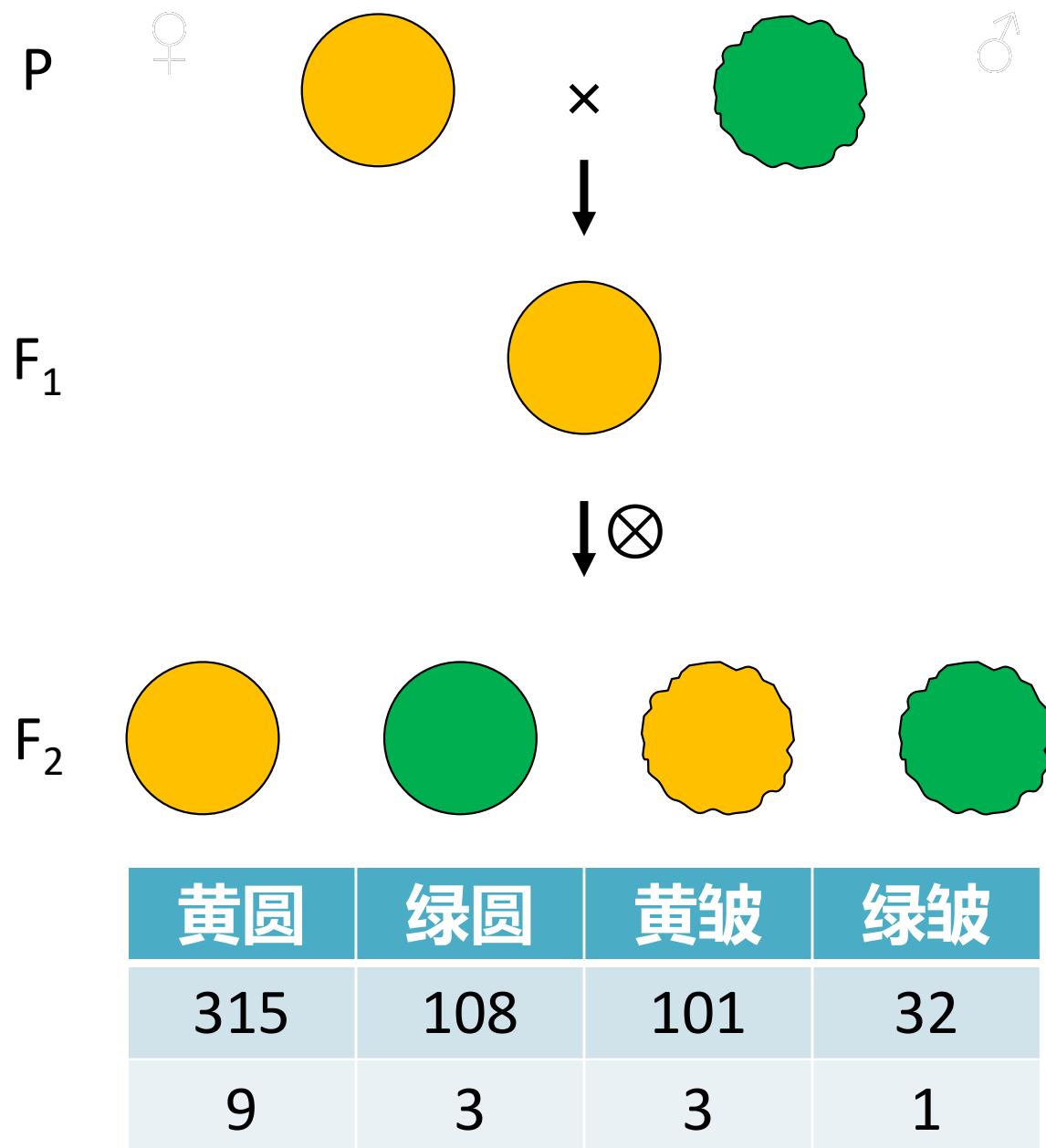
观察花园里的豌豆植株，孟德尔发现就子叶颜色和种子形状来看，包括两种类型：一种是黄色圆粒的，一种是绿色皱粒的。



2.黄色的豌豆一定是饱满的，绿色的豌豆一定是皱缩的吗？

不一定。在生活中，也可以看到黄色皱缩的豌豆和绿色饱满的豌豆。

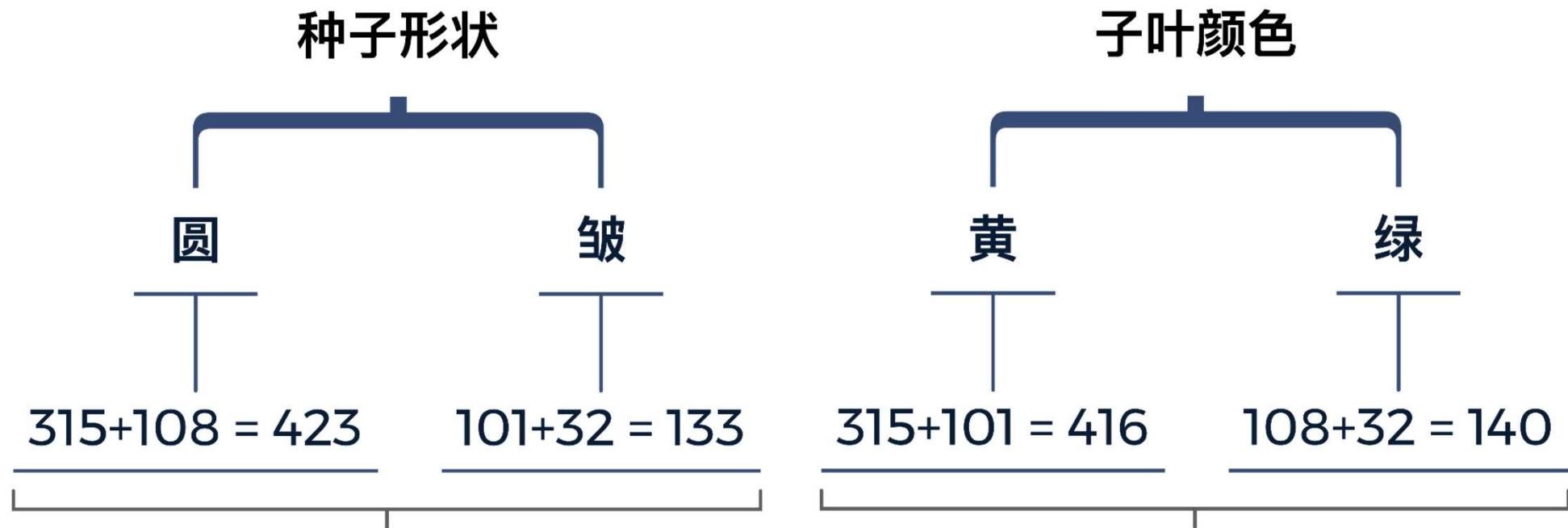
## CH 1.2.1 两对相对性状的杂交实验



Q1：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？

Q2：这与一对相对性状杂交实验中  $F_2$  的 3:1 数量比有联系吗？

# 对每一对相对性状单独进行分析



圆 : 皱接近3 : 1

黄 : 绿接近3 : 1

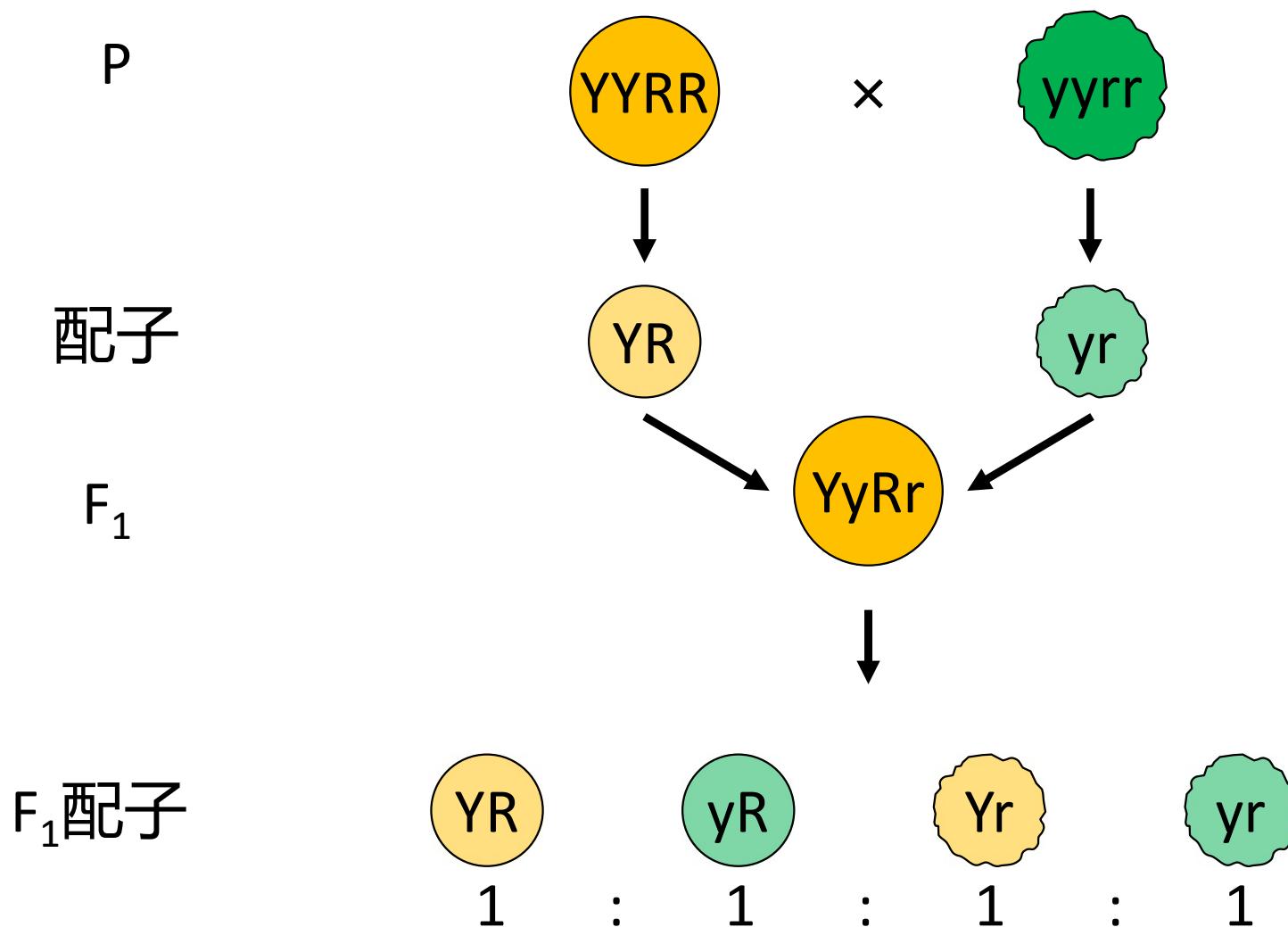
- ①分离定律依然有效；
- ②两个性状的遗传互不干扰。

Q3：遗传因子组合？



性状组合

## CH 1.2.2 对自由组合现象的解释和验证

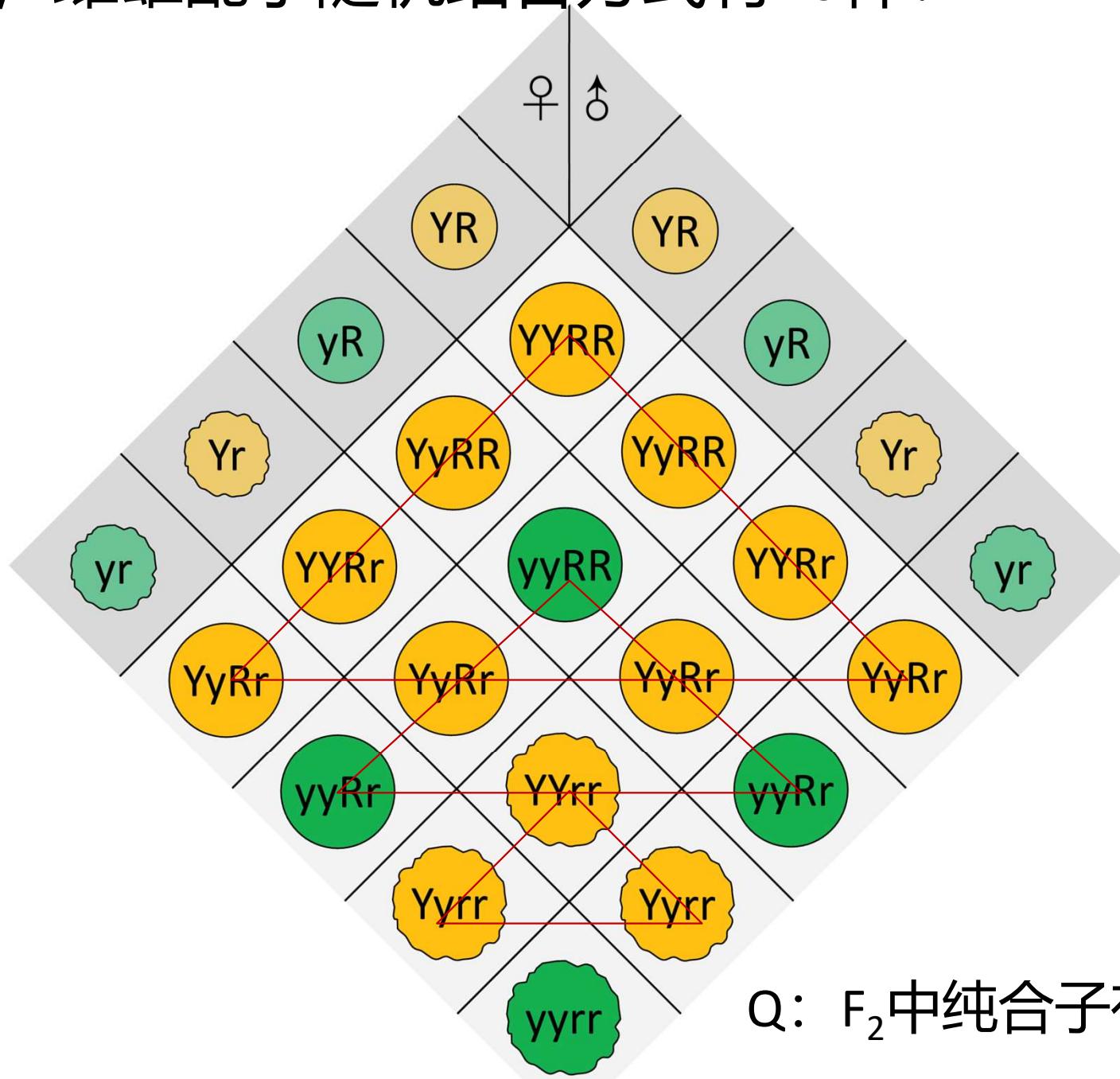


F<sub>1</sub>产生配子时，每对遗传因子彼此分离，不同对的遗传因子可以自由组合（自由组合定律）。

受精时，雌雄配子随机结合方式有16种：

♀ ♂	YR	yR	Yr	yr
YR	YYRR	YyRR	YYRr	YyRr
yR	YyRR	yyRR	YyRr	yyRr
Yr	YYRr	YyRr	YYrr	Yyrr
yr	YyRr	yyRr	Yyrr	yyrr

受精时，雌雄配子随机结合方式有16种：



遗传因子的组合方式有9种：

颜色\形状	1/4 RR	2/4 Rr	1/4 rr
1/4 YY	1/16 	2/16 	1/16 
2/4 Yy	2/16 	4/16 	2/16 
1/4 yy	1/16 	2/16 	1/16 

性状表现为4种：

颜色	形状	
3/4 Y <sub>-</sub>	9/16 Y <sub>-</sub> R <sub>-</sub>	3/16 Y <sub>-</sub> rr
1/4 yy	3/16 yyR <sub>-</sub>	1/16 yyrr

$$\left(\frac{3}{4} Y_{-} + \frac{1}{4} yy\right) \times \left(\frac{3}{4} R_{-} + \frac{1}{4} rr\right) = \frac{9}{16} Y_{-}R_{-} + \frac{3}{16} Y_{-}rr + \frac{3}{16} yyR_{-} + \frac{1}{16} yyrr$$

## P010旁栏①

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？

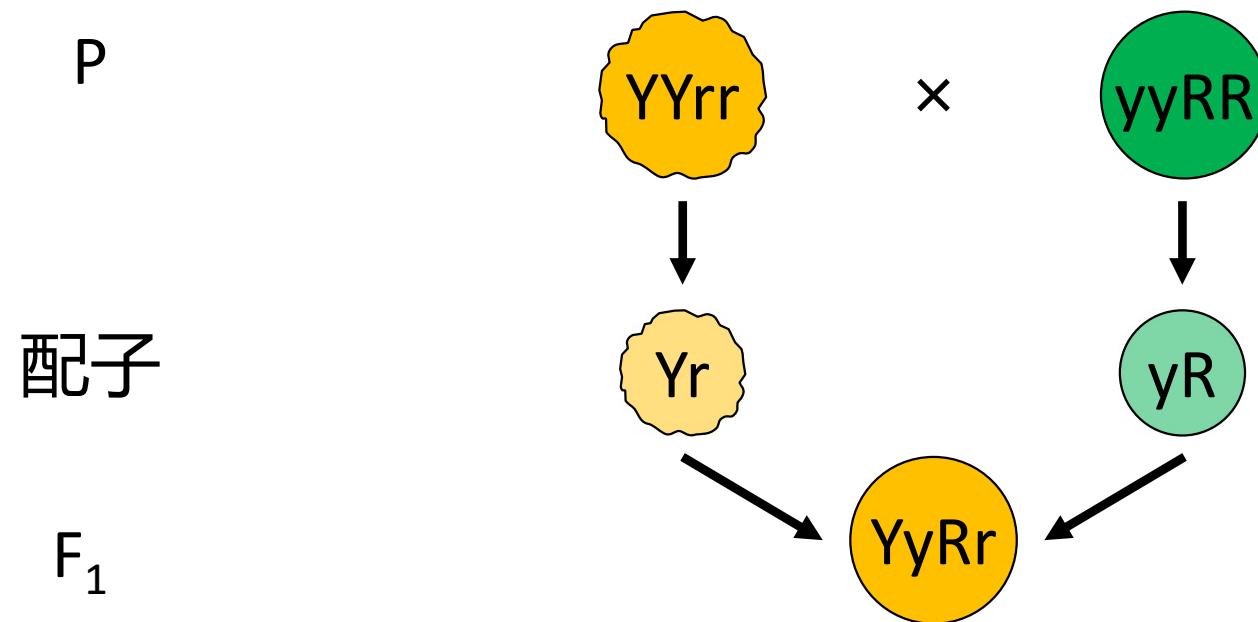
从数学的角度分析， $(3:1)^2$ 的展开式为9 : 3 : 3 : 1，即9 : 3 : 3 : 1的比例可以表示为两个3 : 1的乘积。对于两对相对性状的遗传结果，如果对每一对相对性状单独进行分析，如分别只考虑圆和皱、黄和绿一对相对性状的遗传时，其性状的数量比是圆粒 : 皱粒 =  $(315 + 108) : (101 + 32) \approx 3 : 1$ ；黄色 : 绿色 =  $(315 + 101) : (108 + 32) \approx 3 : 1$ 。即每一对相对性状的遗传都遵循分离定律，这无疑说明两对相对性状的遗传结果可以表示为它们各自遗传结果的乘积，即9 : 3 : 3 : 1来自 $(3:1)^2$ 。

## P010旁栏②

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？

黄色皱粒豌豆（遗传因子组成为 $YYrr$ ）和绿色圆粒豌豆（遗传因子组成为 $yyRR$ ）杂交可获得遗传因子组成为 $YyRr$ 的黄色圆粒豌豆。

## P010旁栏②



## P011旁栏③

如果不字母，而是用中文或英文的词或句子来代表遗传因子，左图（图1-8）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？

用中文或英文的词或句子来代表遗传因子，表述黄色圆粒豌豆和绿色皱粒豌豆杂交实验的分析图解会非常烦琐，而用字母作为符号分析遗传图解就简便多了。

用字母作为符号呈现思维过程，也利于不同语言、不同地区的人交流。

李善兰 (1811–1882)  
《代微积拾级》 1859

前已于第九十三款中論微分式除第一類之外必以

一百八十六款

如是求至未得

$\frac{dy}{\sqrt{a}} = \frac{x-c}{\sqrt{x}} dx = \left(x^{\frac{1}{2}} - c \cdot x^{-\frac{1}{2}}\right) dx$

$\frac{y}{\sqrt{a}} = \frac{x}{\sqrt{x}} - \frac{c}{\sqrt{x}} = \left(\frac{1}{2} \frac{x}{\sqrt{x}} - c \cdot \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{x}}\right)$

爲  $\frac{y}{\sqrt{a}} = \frac{2 \cdot c}{\sqrt{a}}$

則從此可得

$\left(\frac{dz}{dy}\right)^2 = \frac{4}{\sqrt{a}} \cdot (\sqrt{z} + c)$

$\frac{2 \cdot dy}{\sqrt{a}} = \frac{dz}{\sqrt{c + \sqrt{z}}}$

$\frac{y}{\sqrt{a}} = \frac{3}{2} \left(\frac{1}{2} \frac{z}{\sqrt{z}} - c \cdot \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{z}}\right)$

即

$\frac{y}{\sqrt{a}} = \frac{3}{2} \left(\frac{1}{2} \frac{z}{\sqrt{z}} - c \cdot \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{z}}\right)$

$\frac{2}{3} \cdot (\sqrt{z} - 2c) \cdot (c + \sqrt{z})^{\frac{1}{2}} + C$

$\frac{y}{\sqrt{a}} = \frac{2}{3} \cdot x^{\frac{1}{2}} - 2 \cdot c \cdot x^{\frac{1}{2}} + C$

丙地 = 人  $c + \sqrt{z} := x$

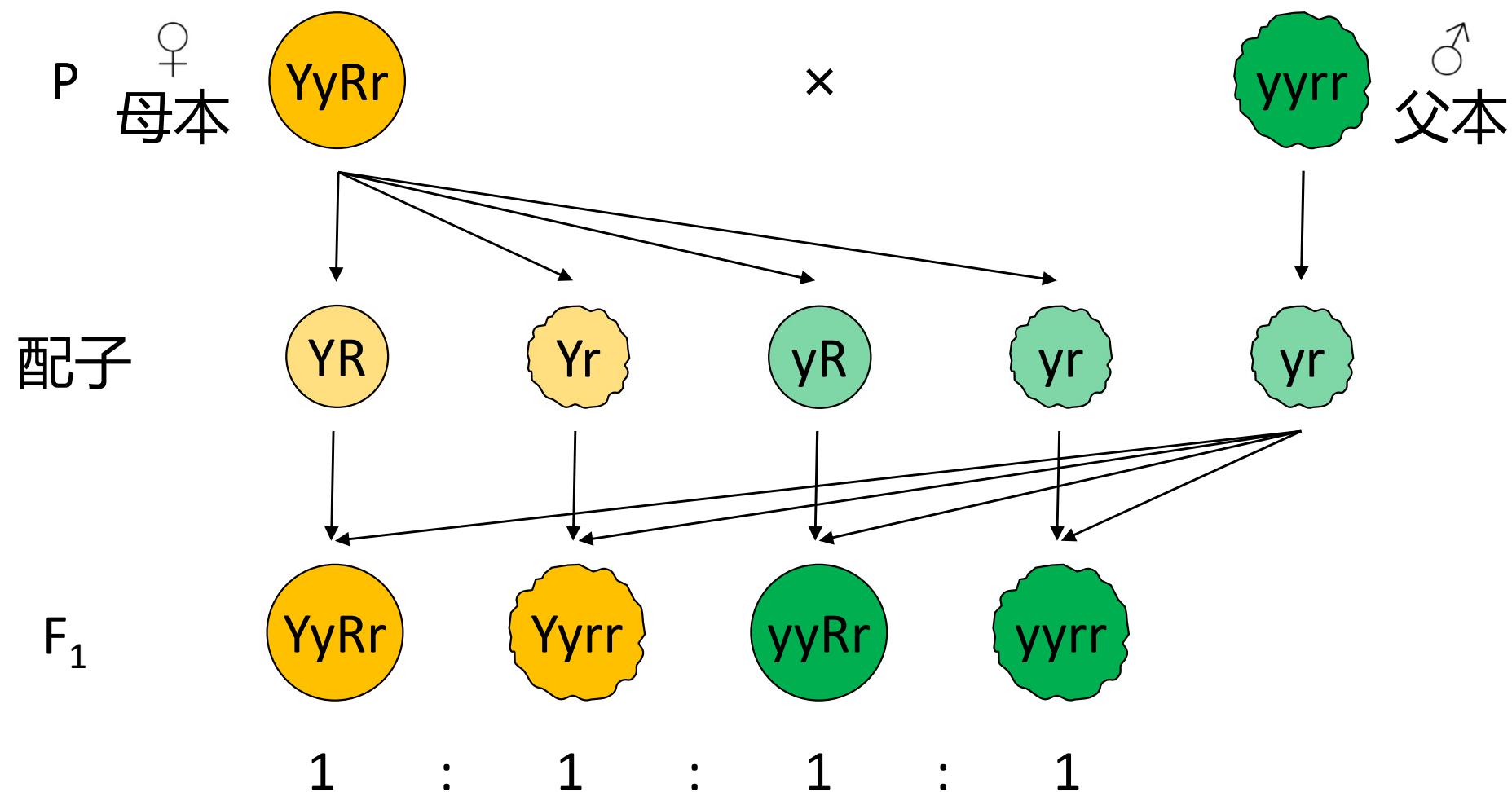
此式可令其

則爲

# 对解释的验证 (测交实验)

测交：杂种子一代  
黄色圆粒

隐性纯合子  
绿色皱粒

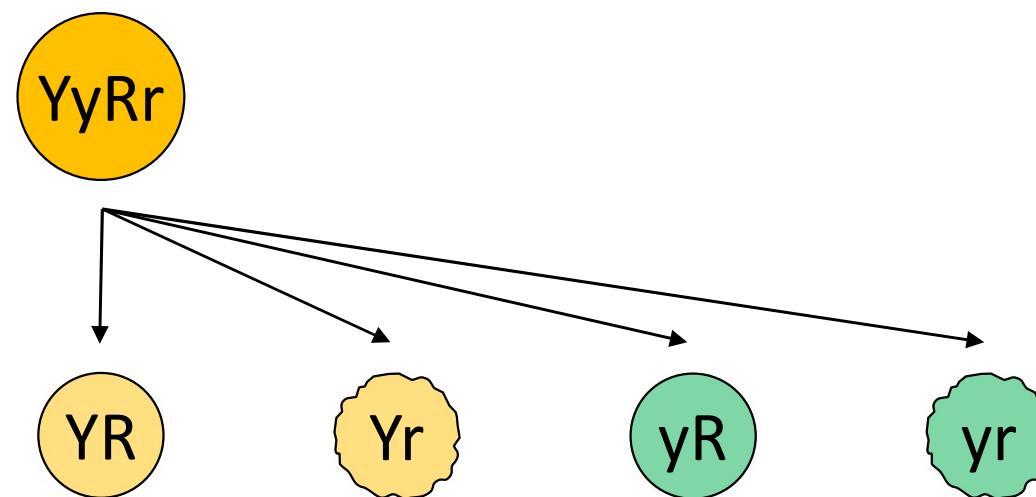


# 对解释的验证 (测交实验)

性状组合						
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				

### CH 1.2.3 自由组合定律

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**。



## CH 1.2.4 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？



## 分析孟德尔成功的原因

### 1. ①用豌豆作杂交实验的材料有哪些优点？

豌豆适于作杂交实验材料的优点有：（1）豌豆植株具有稳定的易于区分的相对性状，如高茎和矮茎，高茎高度为1.5 ~ 2.0 m，矮茎高度仅为0.3 m左右，易于观察和区分；（2）豌豆严格自花传粉，在自然状态下一般都是纯种，纯种杂交可获得杂合子；（3）豌豆花比较大，易于做人工杂交实验。



## 分析孟德尔成功的原因

- ②这说明实验材料的选择在科学的研究中起着怎样的作用？

孟德尔正是因为选用了豌豆做杂交实验，才能有效地从一对性状到多对性状研究生物遗传的基本规律，才能对遗传实验结果进行量化统计。若孟德尔一味地用山柳菊做实验，就很可能揭示不了生物遗传的规律，所以科学地选择实验材料是科学的研究取得成功的重要保障之一。



## 分析孟德尔成功的原因

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？

如果孟德尔没有对实验结果进行统计学分析，他很难对分离现象作出解释。因为通过数学统计，孟德尔发现了生物性状的遗传在数量上呈现一定的数学比例，这引发他揭示其本质的兴趣。同时，这也使孟德尔意识到数学概率也适用于生物遗传的研究，从而将数学方法引入对遗传实验结果的处理和分析中。



## 分析孟德尔成功的原因

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？

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，并通过实验来验证。如果实验结果与预测相符，就可以认为假说是正确的；反之，则认为假说是错误的。孟德尔基于他对豌豆杂交实验作出的假说，设计测交实验，其实验结果与预测相符，由此证明自己提出的假说是正确的。



## 分析孟德尔成功的原因

4. 孟德尔使用不同的字母作为代表不同遗传因子的符号，这与他在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？**有关系。**数学包含许多符号，数学符号也被普遍应用于概括、表述和研究数学的过程中。孟德尔创造性地应用符号体系，并用于表达抽象的科学概念，和应用数学符号研究数学有异曲同工之妙，这与他曾在大学进修过数学有关。数学符号能简洁、准确地反映数学概念的本质。孟德尔用这种方法，也更加简洁、准确地反映抽象的遗传过程，使他的逻辑推理更加顺畅。



## 分析孟德尔成功的原因

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？

(1) 扎实的知识基础和对科学的热爱。孟德尔在维也纳大学进修时，通过学习自然科学，他形成了生物类型是可变的、可以通过杂交产生新的生物类型等进化思想。同时孟德尔还学习数学，使他受到“数学方法可以应用于各门自然科学之中”的思想影响，产生应用数学方法解决遗传学问题的想法，使孟德尔成为第一个认识到概率原理能用于预测遗传杂交实验结果的科学家。



## 分析孟德尔成功的原因

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？

(2) 严谨的科学态度。孟德尔对杂交实验的研究采用了从观察遗传现象出发，提出问题，作出假设，然后设计实验验证假设的研究方法。这在当时是一种新的研究思路，光是豌豆的杂交实验，他就没有局限于对实验结果的简单描述和归纳。



## 分析孟德尔成功的原因

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？

（3）创造性地应用科学符号体系。科学符号体系能够更简洁、准确地反映抽象的遗传过程。



## 分析孟德尔成功的原因

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？

（4）勤于实践。孟德尔在豌豆杂交实验中，连续进行了8年研究，并且对每次实验的结果进行统计分析，从中发现了前人没有发现的问题和规律。



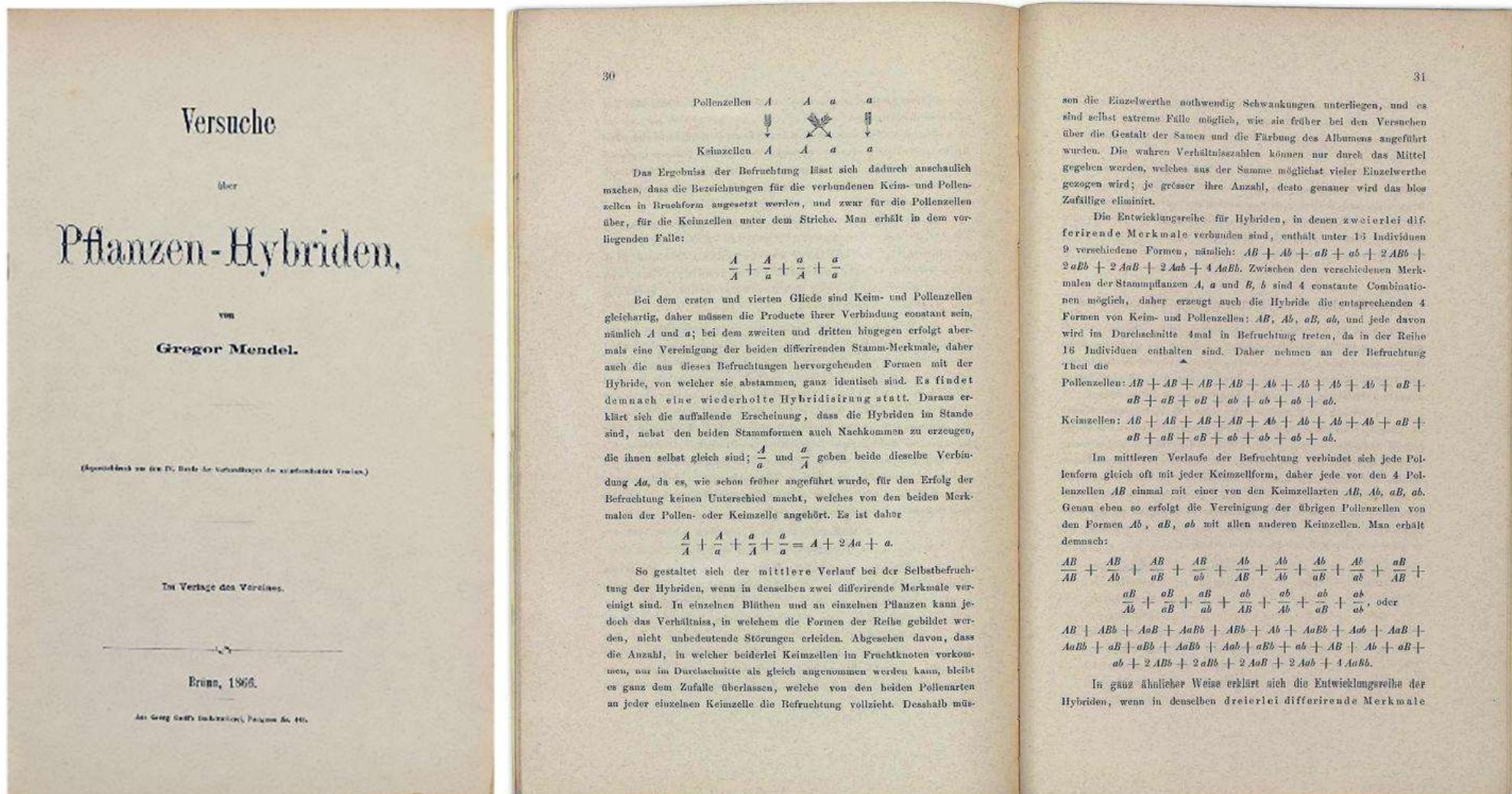
## 分析孟德尔成功的原因

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？

(5) 敢于向传统挑战。孟德尔通过实验研究，提除了“颗粒遗传”的思想，这是对传统遗传观念的挑战。

## CH 1.2.5 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



## CH 1.2.5 孟德尔遗传规律的再发现

1900年，三位科学家分别重新发现了孟德尔的论文。

- 雨果·德·弗里斯 (Hugo de Vries) [荷兰], 月见草
- 卡尔·科尔恩斯 (Carl Correns) [德国], 玉米、豌豆
- 埃里希·冯·切尔马克 (Erich von Tschermak) [奥地利], 豌豆

## CH 1.2.5 孟德尔遗传规律的再发现

1909年， 约翰逊 (W. L. Johannsen, 1857-1927) [丹麦]

提出三个概念：

- 基因 (gene) , 就是遗传因子;
- 表型 (phenotype) , 生物个体表现出来的性状;
- 基因型 (genotype) , 与表型有关的基因组成。

e.g., 高茎豌豆基因型是DD或Dd, 矮茎豌豆基因型是dd。

注意：基因型并不能完全决定表型！

## CH 1.2.5 孟德尔遗传规律的再发现

**等位基因** (allele) : 位于一对同源染色体相同位置上控制相对性状的基因, 如D和d;

allele是allelomorph的缩写; alleo: 互相不同, morph: 形态

**相同基因**: 如D和D、 d和d,

**非等位基因**: 位于非同源染色体或者同源染色体不同位置, 控制不同性状的基因, 如Y和R、 Y和r、 y和R、 y和r

## CH 1.2.6 孟德尔遗传规律的应用

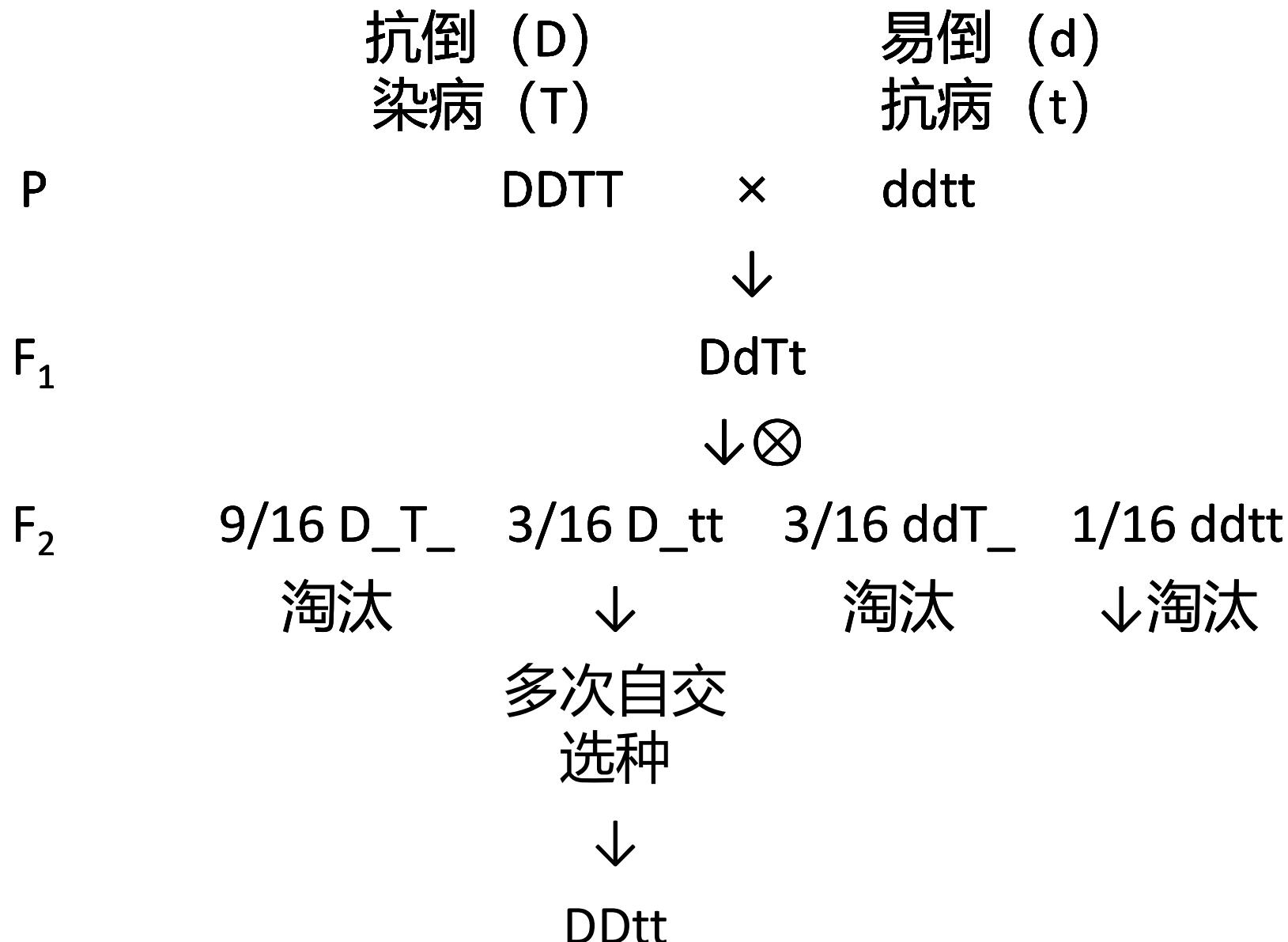
# 孟德尔遗传规律应用



杂交育种

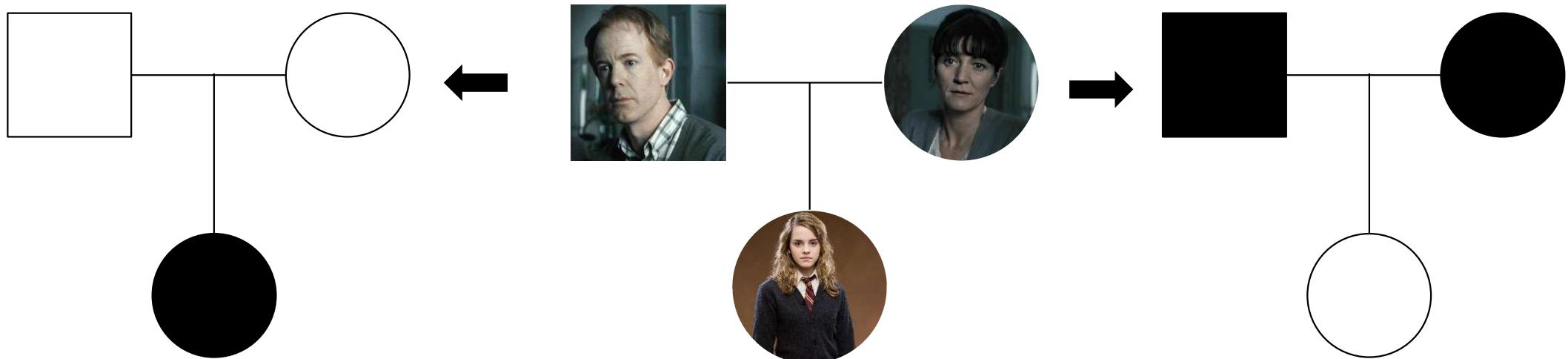
医学实践

## CH 1.2.6.1 杂交育种



## CH 1.2.6.2 医学实践

根据系谱图进行显隐性判断、概率推算



无中生有  
有为隐性

有中生无,  
有为显性

## 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。 ✓

## 一、概念检测

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 **C**

- A.  $WwDd$ 和  $wwDc$
- B.  $Wwdd$ 和 $wwDd$
- C.  $WwDd$ 和  $WWDD$
- D.  $Wwdd$ 和 $wwDd$

## 一、概念检测

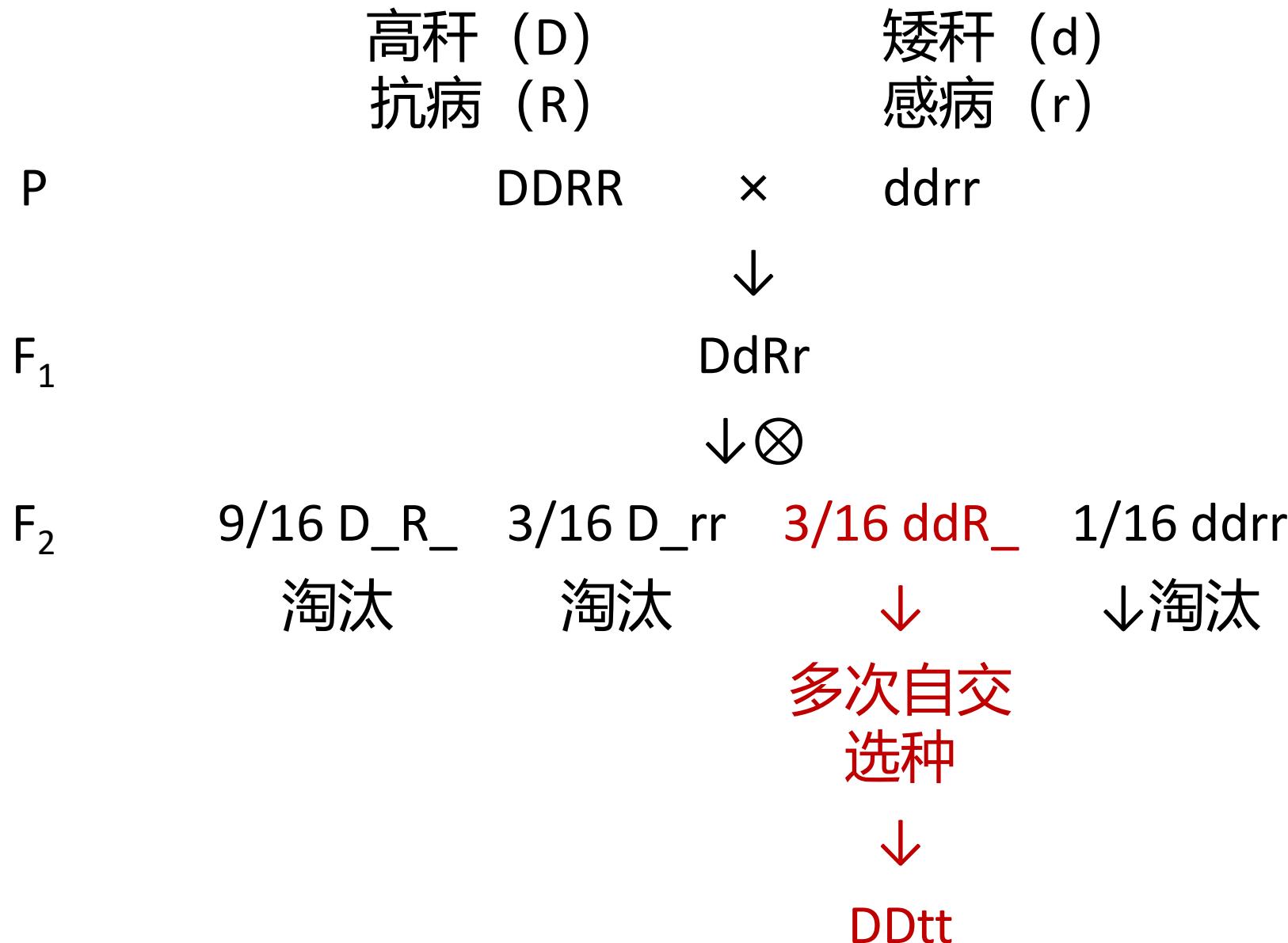
3.孟德尔遗传规律包括分离定律和自由组合定律。下列相关叙述正确的是 **A**

- 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 **3/16**

## 二、拓展应用

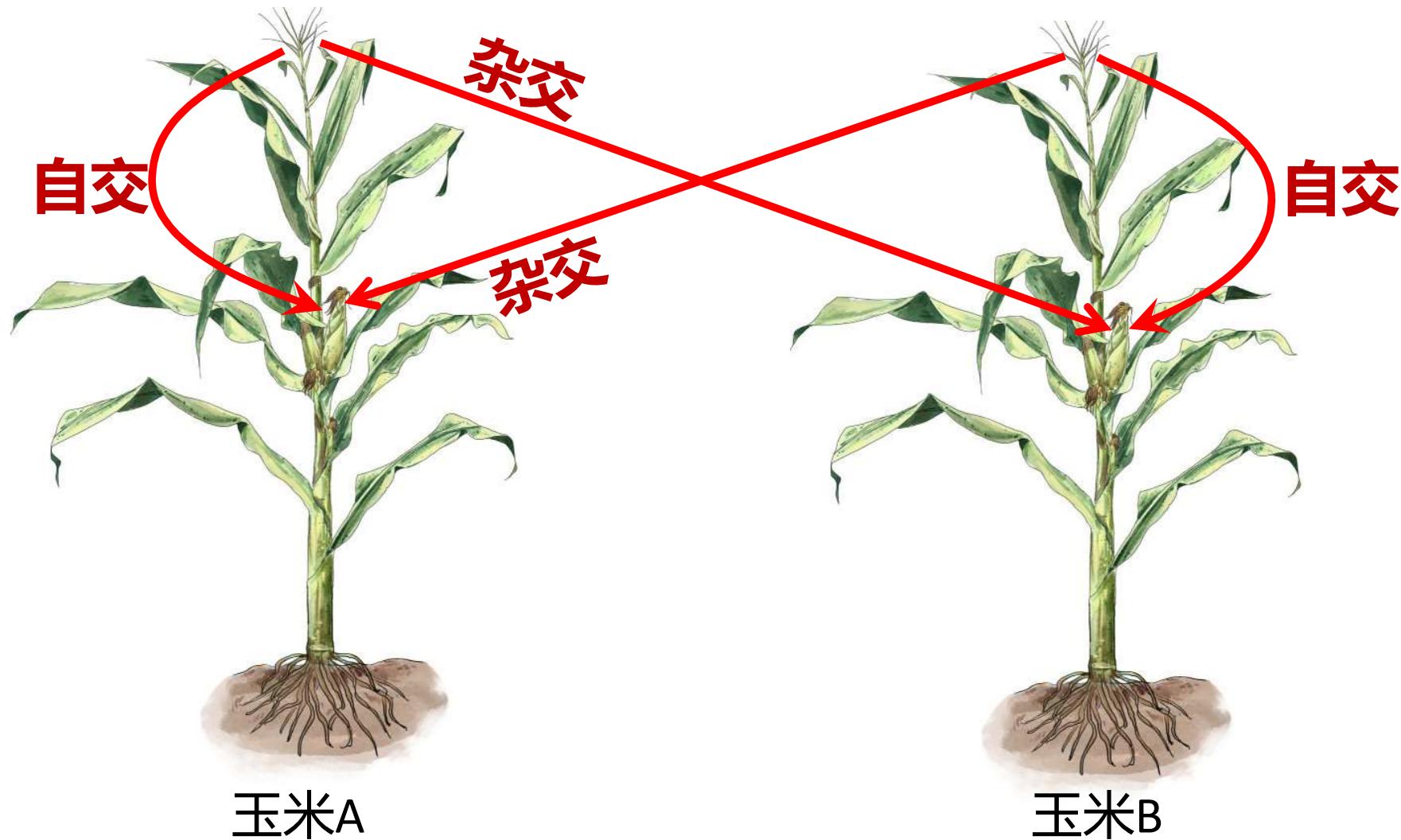


## 二、拓展应用

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。

因为控制非甜玉米性状的是显性基因，控制甜玉米性状的是隐性基因。当甜玉米接受非甜玉米的花粉时，后代为杂合子(既含有显性基因，也含有隐性基因)。表现为显性性状，故在甜玉米植株上结出非甜玉米的籽粒；当非甜玉米接受甜玉米的花粉时，后代为杂合子，表现为显性性状，即非甜玉米的性状，故在非甜玉米植株上结出的仍是非甜玉米的籽粒。

## 二、拓展应用



## 二、拓展应用

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？

单、双眼皮的形成与人眼睑中一条提上睑肌纤维的发育有关。用A和a分别表示控制双眼皮的显性基因和控制单眼皮的隐性基因，如果父母是基因型为Aa的杂合子，其表型虽然为双眼皮，但子女可能会表现为单眼皮（基因型为aa）。

## 二、拓展应用

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？

生物体的性状主要决定于基因型，但也会受到环境因素、个体发育中的其他条件等影响。基因型为AA或Aa的人，如果因提上睑肌纤维发育不完全，则可能表现为单眼皮；这样的男性和女性婚配所生的子女，如果遗传了来自父母的双眼皮显性基因A，由于提上睑肌纤维发育完全，则表现为双眼皮。在现实生活中，还能见到有人一只眼是单眼皮、另一只眼是双眼皮的现象，这是由两只眼睛的提上睑肌纤维发育程度不同导致的。由此可见，遗传规律虽然通常由基因决定但也受到环境等多种因素的影响，因而表现得十分复杂。

## 复习与提高：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**

- 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

## 复习与提高：一、选择题

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 **B**

- 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

## 复习与提高：一、选择题

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**

- 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

## 复习与提高：一、选择题

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 **B**

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

## 复习与提高：一、选择题

5.孟德尔在研究中运用了假说一演绎法，以下叙述不属  
于假说的是 C

- 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. $F_2$ 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香番茄进行杂交，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

## 二、非选择题

请回答下列问题。

- (1) 紫茎和绿茎这对相对性状中，显性性状为紫茎；缺刻叶和马铃薯叶这对相对性状中，显性性状为缺刻叶。
- (2) 如果用Aa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杂交的表型及比值分别为\_。

## 二、非选择题

请回答下列问题。

- (1) 紫茎和绿茎这对相对性状中，显性性状为紫茎；缺刻叶和马铃薯叶这对相对性状中，显性性状为缺刻叶。
- (2) 如果用Aa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  
AABb、aaBb、AaBb

## 二、非选择题

(3)紫茎缺刻叶①与紫茎缺刻叶③杂交的表型及比值分别为紫茎缺刻叶：紫茎马铃薯叶 = 3:1

## 二、非选择题

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。

## 二、非选择题

(1) 除了上述条件，其他两个条件是什么？

高秆与矮秆这对相对性状受一对等位基因控制，且符合分离定律；控制这两对相对性状的基因独立遗传。

## 二、非选择题

(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。

将纯合抗病高秆植株与感病矮秆植株杂交，得到 $F_1$ ，  
让 $F_1$ 与感病矮秆植株杂交。

## 二、非选择题

(3) 获得的 $F_2$ 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？

有抗病矮秆品种。但其中有杂合子，需对 $F_2$ 中的抗病矮秆植株进行如下操作以获得纯合子。

