

第 22 课时 自由组合定律

课标要求	阐明有性生殖中基因的自由组合使得子代的基因型和表型有多种可能,并可由此预测子代的遗传性状。
考情分析	1.基因自由组合定律的实质和应用: 2025·湖北·T12 2025·四川·T20 2025·广东·T19 2025·浙江 1 月选考·T23 2024·新课标·T5 2024·河北·T23 2024·山东·T22 2023·山东·T23 2023·湖北·T14 2022·全国乙·T32 2022·天津·T9 2021·北京·T20 2021·河北·T20 2021·全国甲·T5 2021·全国乙·T6
	2.利用分离定律思维解决自由组合定律的问题: 2025·甘肃·T6 2025·河南·T15 2025·山东·T22 2025·黑吉辽蒙·T24 2023·全国甲·T32 2022·广东·T19 2022·辽宁·T25 2022·山东·T17 2021·海南·T23 2021·全国甲·T32 2021·全国乙·T6 2021·山东·T6 2021·重庆·T10

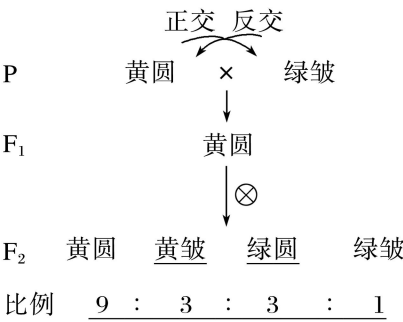
考点一 两对相对性状的杂交实验

整合·必备知识

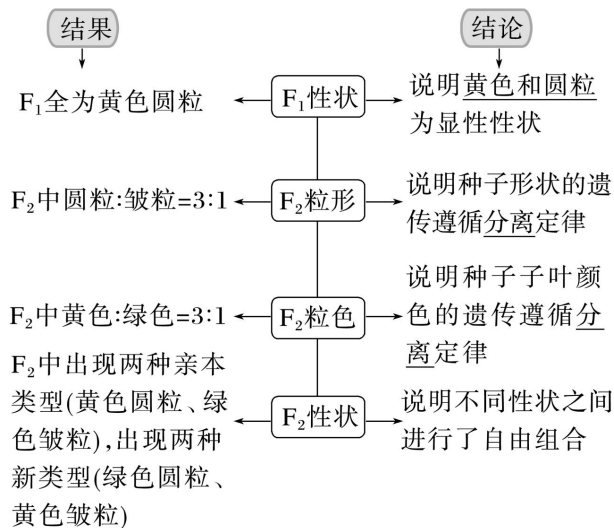
1. 两对相对性状杂交实验的“假说—演绎”分析

(1)观察现象，提出问题

①两对相对性状杂交实验的过程



②对杂交实验结果的分析



③提出问题

F₂中为什么会出现新的性状组合呢? F₂中不同性状的比(9:3:3:1)与一对相对性状杂交实验中 F₂的 3:1 的数量比有联系吗?

(2)提出假说, 解释问题

①假说内容

- a. 两对相对性状分别由两对遗传因子控制。
- b. F₁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。
- c. F₁产生的雌配子和雄配子各有 4 种: YR、Yr、yR、yr, 且数量比为 1:1:1:1。
- d. 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, 基因型有 9 种, 表型有 4 种, 且比例为 9:3:3:1。

②遗传图解

棋盘格式:

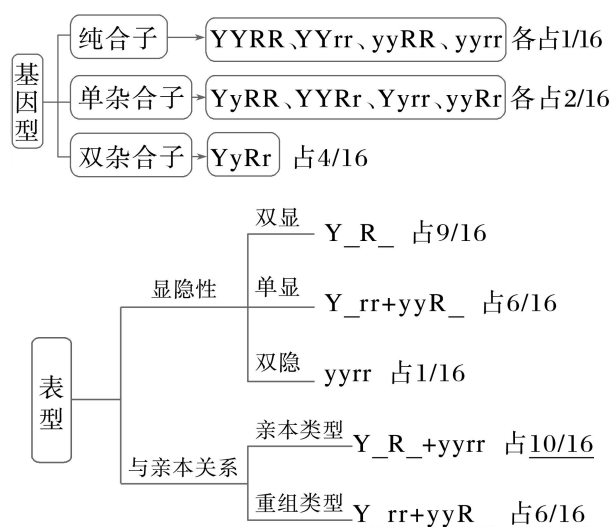
P	YYRR (黄色圆粒)	×	yyrr (绿色皱粒)	
	↓			
F ₁	YyRr (黄色圆粒)			
	⊗			

F ₂	雌配子 雄配子	YR	Yr	yR	yr	
	YR	YYRR	YYRr	YyRR	YyRr	4种表型 9种基因型 9Y ₋ R ₋ (黄圆) 3Y ₋ rr (黄皱) 3yyR ₋ (绿圆) 1yyrr (绿皱)
	Yr	YYRr	YYrr	YyRr	Yyrr	
	yR	YyRR	YyRr	yyRR	yyRr	
	yr	YyRr	Yyrr	yyRr	yyrr	

分解组合式:



③结果分析

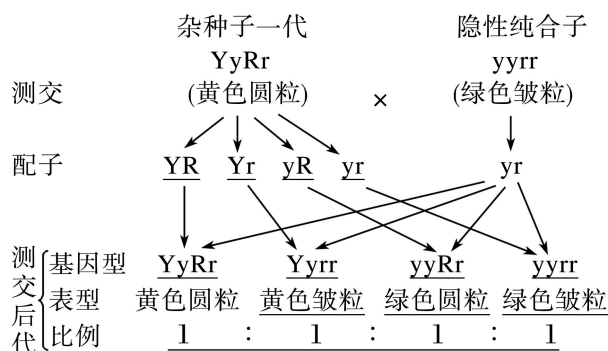


延伸应用 含两对相对性状的纯合亲本杂交， F_2 中重组类型所占比例一定是 $6/16$ 吗？并说明理由。

提示 不一定；当亲本基因型为 $YYRR$ 和 $yyrr$ 时， F_2 中重组类型所占比例是 $6/16$ ；当亲本基因型为 $YYrr$ 和 $yyRR$ 时， F_2 中重组类型所占比例是 $10/16$ 。

(3)演绎推理，验证假说

①演绎推理图解—测交



②实验验证：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(如表)都符合预期的设想。

性状组合		黄圆	黄皱	绿圆	绿皱
实际籽粒数	F ₁ 作母本	31	27	26	26
	F ₁ 作父本	24	22	25	26

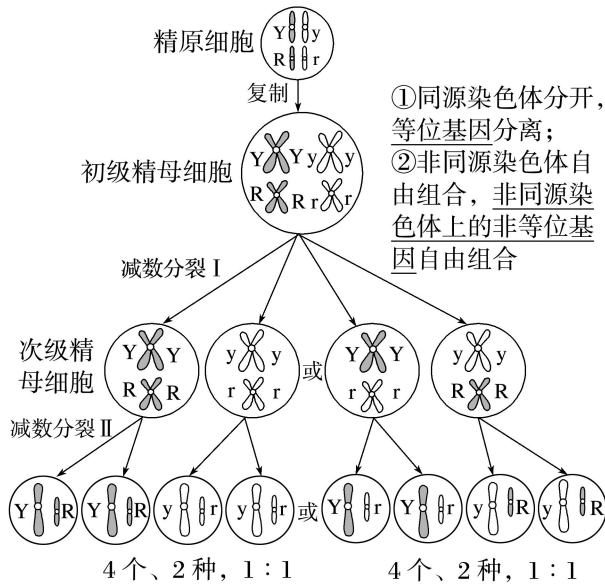
(4)归纳总结，得出结论：实验结果与演绎结果相符，假说成立。

2. 基因的自由组合定律分析

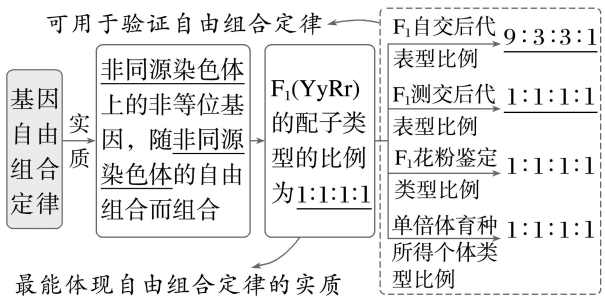
(1)内容解读

研究对象	位于非同源染色体上的非等位基因
发生时间	减数分裂 I 后期
实质	非同源染色体上的非等位基因自由组合
适用生物	进行有性生殖的真核生物的遗传
适用遗传方式	适用于细胞核遗传，不适用于细胞质遗传，也不适用于原核生物和病毒

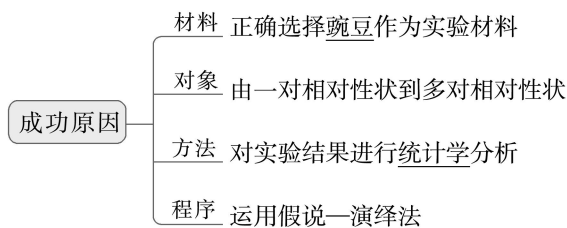
(2)细胞学基础



(3)基因自由组合定律实质与比例的关系



3. 孟德尔获得成功的原因

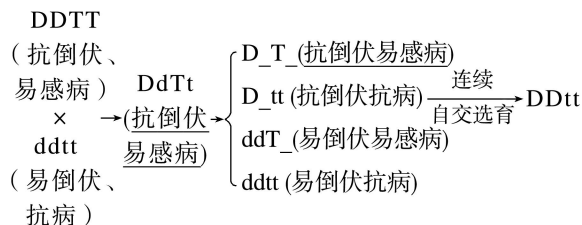


4. 孟德尔遗传规律的应用

(1)应用：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。

(2)实例

①杂交育种：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。例如既抗倒伏又抗条锈病的纯种小麦的选育。

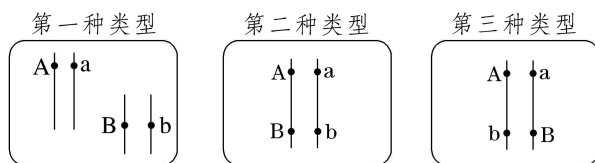


②医学实践：人们可以依据分离定律和自由组合定律，对某些遗传病在后代中的患病概率作出科学的推断，从而为遗传咨询提供理论依据。

形成·解题能力

两对等位基因位置关系的判断

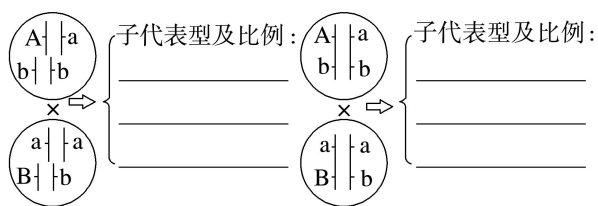
某二倍体植物叶片的缺刻叶和马铃薯叶，果实的红色与黄色为两对相对性状，分别受基因 A、a 和 B、b 控制，基因型为 AaBb 的个体表型为缺刻叶红果，基因 A、a 和 B、b 的位置关系如图所示，请思考并回答下列问题：



(1)请分析预测图示三种类型的个体自交和测交所得子代的表型及比例(不考虑染色体互换)。

提示 第一种类型自交结果为缺刻叶红果：马铃薯叶红果：缺刻叶黄果：马铃薯叶黄果＝9：3：3：1，测交结果为缺刻叶红果：马铃薯叶红果：缺刻叶黄果：马铃薯叶黄果＝1：1：1：1；第二种类型自交结果为缺刻叶红果：马铃薯叶黄果＝3：1，测交结果为缺刻叶红果：马铃薯叶黄果＝1：1；第三种类型自交结果为缺刻叶红果：马铃薯叶红果：缺刻叶黄果＝2：1：1，测交结果为马铃薯叶红果：缺刻叶黄果＝1：1。

(2)基因型为 Aabb(缺刻叶黄果)的个体与基因型为 aaBb 个体杂交，请完成图中相关结果预测。



提示 题图两种结果依次均为缺刻叶红果：马铃薯叶红果：缺刻叶黄果：马铃薯叶黄果＝1：1：1：1。

(3)综合上述分析，思考在杂交组合： $AaBb \times AaBb$ 、 $AaBb \times aabb$ 、 $Aabb \times aaBb$ 中不能判断两对等位基因遵循自由组合定律的杂交组合是 $Aabb \times aaBb$ 。

(4)若基因型为 $AaBb$ 的个体测交后代出现四种表型，比例为缺刻叶红果：马铃薯叶红果：缺刻叶黄果：马铃薯叶黄果＝42%：8%：8%：42%，则可推知两对基因位置关系可用上述图示第二种类型表示，后代表型出现该比例的原因是基因型为 $AaBb$ 的个体减数分裂产生配子时，同源染色体的非姐妹染色单体间基因片段发生交换。

强化·迁移应用

考向一 两对相对性状杂交实验过程

1. (2025·湖北，12)某学生重复孟德尔豌豆杂交实验，取一粒黄色圆粒 F_1 种子($YyRr$)，培养成植株，成熟后随机取 4 个豆荚，所得 32 粒豌豆种子表型计数结果如表所示。下列叙述最合理的是()

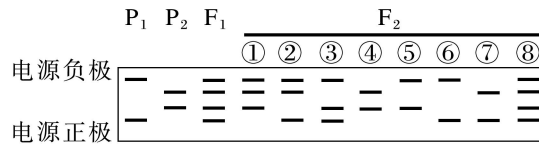
性状	黄色	绿色	圆粒	皱粒
个数(粒)	25	7	20	12

- A. 32 粒种子中有 18 粒黄色圆粒种子，2 粒绿色皱粒种子
- B. 实验结果说明含 R 基因配子的活力低于含 r 基因的配子
- C. 不同批次随机摘取 4 个豆荚，所得种子的表型比会有差别
- D. 该实验豌豆种子的圆粒与皱粒表型比支持孟德尔分离定律

答案 C

解析 黄色圆粒种子理论值为 18 粒($32 \times 9/16$)，绿色皱粒为 2 粒($32 \times 1/16$)，黄色与绿色理论比值为 3：1，圆粒与皱粒理论比值为 3：1，因该学生取样太少，造成无法直接推导黄色圆粒种子、绿色皱粒种子的具体数值，也造成黄色与绿色的比值、圆粒与皱粒的比值均偏离 3：1，C 合理。

2. (2024·新课标，5)某种二倍体植物的 P_1 和 P_2 植株杂交得 F_1 ， F_1 自交得 F_2 。对个体的 DNA 进行 PCR 检测，产物的电泳结果如图所示，其中①～⑧为部分 F_2 个体，上部 2 条带是一对等位基因的扩增产物，下部 2 条带是另一对等位基因的扩增产物，这 2 对等位基因位于非同源染色体上。下列叙述错误的是()



- A. ①②个体均为杂合子，F₂中③所占的比例大于⑤
- B. 还有一种F₂个体的PCR产物电泳结果有3条带
- C. ③和⑦杂交子代的PCR产物电泳结果与②⑧电泳结果相同
- D. ①自交子代的PCR产物电泳结果与④电泳结果相同的占1/2

答案 D

解析 由题可知，P₁、P₂为纯合子，F₁为杂合子，且两对等位基因的遗传符合自由组合定律，假设基因由上到下依次为A、a、B、b，则P₁基因型为AAbb，P₂基因型为aaBB，F₁基因型为AaBb，据此分析选项。F₂中，①基因型为AaBB，②基因型为Aabb，均为杂合子；③基因型为AABb，所占比例为1/8，⑤基因型为AABB，所占比例为1/16，③所占比例大于⑤，A正确；据图分析，图中缺少aaBb的基因型对应的电泳结果，其电泳结果为3条带，分别为第2条带、第3条带和第4条带，B正确；由题可知，③×⑦(AABb×aabb)杂交，后代基因型为AaBb、Aabb，与②(Aabb)、⑧(AaBb)电泳结果相同，C正确；①基因型为AaBB，其自交后代基因型及比例为AABB：AaBB：aaBB=1：2：1，④的基因型为aaBB，因此①自交子代与④电泳结果相同的占1/4，D错误。

考向二 自由组合定律的实质及验证

3. (2024·中山质检)玉米粒的颜色由基因A/a控制，形状由基因B/b控制，现用纯种黄色饱满玉米和白色皱缩玉米杂交，F₁全部表现为黄色饱满。F₁自交得到F₂，F₂的表型及比例为黄色饱满66%、黄色皱缩9%、白色饱满9%、白色皱缩16%。下列分析错误的是()

- A. 两对相对性状的遗传不遵循自由组合定律
- B. 基因A和B位于一条染色体上
- C. F₂中纯合子所占比例为34%
- D. F₁植株体内有20%的卵原细胞在减数分裂过程中发生了互换

答案 D

解析 F₂中黄色：白色=3：1，饱满：皱缩=3：1，但四种表型比例不是9：3：3：1，故两对性状的遗传不遵循自由组合定律，A正确；纯种黄色饱满玉米(AABB)与白色皱缩玉米(aabb)杂交，后代中黄色饱满和白色皱缩的比例较大，说明AB和ab的配子较多，说明AB连锁，ab连锁，即基因A、B位于同一条染色体上，B正确；F₂的表型及比例为黄色饱满66%：黄色皱缩9%：白色饱满9%：白色皱缩16%，说明ab配子的比例为4/10，则AB配子的比例也为4/10，则另外两种配子的比例为(1-4/10-4/10)/2=1/10，即F₁产生配子AB：Ab：aB：ab=4：1：1：4，F₂中纯合子所占比例为(4/10)²+(4/10)²+(1/10)²+(1/10)²=34%，C正确；F₁植株减数分裂产生的卵细胞中Ab、aB重组类型各占1/10，且发生互换

的卵原细胞产生的卵细胞的种类及比例为 $AB:Ab:aB:ab=1:1:1:1$ ，各占 $1/4$ ，故可判断发生互换的卵原细胞占 $(1/10)/(1/4)=2/5=40\%$ ，D 错误。

4. 某小组利用某二倍体自花传粉植物进行两组杂交实验，杂交涉及的四对相对性状分别是：红果(红)与黄果(黄)、子房二室(二)与多室(多)、圆形果(圆)与长形果(长)、单一花序(单)与复状花序(复)。实验数据如表：

组别	杂交组合	F ₁ 表型	F ₂ 表型及个体数
甲	红二×黄多	红二	450 红二、160 红多、150 黄二、50 黄多
	红多×黄二	红二	460 红二、150 红多、160 黄二、50 黄多
乙	圆单×长复	圆单	660 圆单、90 圆复、90 长单、160 长复
	圆复×长单	圆单	510 圆单、240 圆复、240 长单、10 长复

回答下列问题：

(1)根据表中数据可得出结论：控制甲组两对相对性状的基因位于_____上，依据是_____；控制乙组两对相对性状的基因位于_____ (填“一对”或“两对”)同源染色体上，依据是_____。

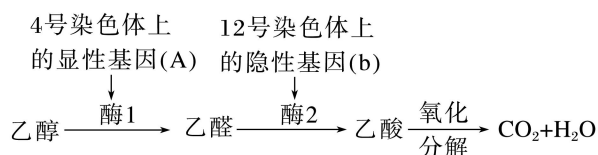
(2)某同学若用“长复”分别与乙组的两个 F₁ 进行杂交，结合表中数据分析，其子代的统计结果不符合_____的比例。

答案 (1)非同源染色体 F₂ 中两对相对性状表型的分离比符合 $9:3:3:1$ 一对 F₂ 中每对相对性状表型的分离比都符合 $3:1$ ，而两对相对性状表型的分离比不符合 $9:3:3:1$ (2) $1:1:1:1$

解析 (1)由于表中数据显示甲组 F₂ 的表型及比例为红二：红多：黄二：黄多 $\approx 9:3:3:1$ ，该比例符合基因的自由组合定律的性状分离比，所以控制甲组两对相对性状的基因位于非同源染色体上。乙组 F₂ 的表型中，每对相对性状表型的比例都符合 $3:1$ ，即圆形果：长形果 $=3:1$ ，单一花序：复状花序 $=3:1$ 。而圆单：圆复：长单：长复不符合 $9:3:3:1$ 的性状分离比，不符合自由组合定律，所以控制乙组两对相对性状的基因位于一对同源染色体上。(2)根据乙组的相对性状表型分离比可知，控制乙组两对相对性状的基因位于一对同源染色体上，所以用“长复”(隐性纯合子)分别与乙组的两个 F₁ 进行杂交，不会出现测交结果为 $1:1:1:1$ 的比例。

考向三 孟德尔遗传规律的应用

5. (2025·深圳模拟)人体的酒精代谢途径如图所示。人体内的乙醛不能转化为乙酸，积累的乙醛会刺激血管引起人脸红，乙醇不能顺利转化为乙醛的人特别容易醉酒，乙醇会被快速分解为 CO_2 和 H_2O 的人，饮酒不易醉。下列相关叙述错误的是()

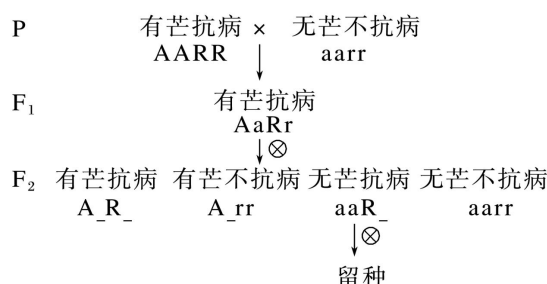


- A. 与人体乙醇代谢相关的两对等位基因的遗传遵循自由组合定律
- B. 饮酒后易脸红的人的基因型有 4 种
- C. 一对饮酒易醉和不易醉的兄弟，其父母不可能都饮酒易脸红
- D. 一对饮酒易脸红的夫妻有个饮酒不易醉的女儿和一个饮酒易醉的儿子，再生一个饮酒不易醉儿子的概率是 $3/32$

答案 C

解析 由图示可知，与人体乙醇代谢相关的两对等位基因位于两对同源染色体上，因此遵循基因自由组合定律，A 正确；由题意可知，喝酒脸红的人的基因型为 $A_B_$ ，有 4 种，B 正确；饮酒易醉的人的基因型为 $aa_ _$ ，饮酒不易醉的人的基因型为 A_bb ，饮酒易脸红的人的基因型为 $A_B_$ ，若父母基因型都为 $AaBb$ ，可能出现饮酒易醉和不易醉的后代，C 错误；饮酒易脸红的夫妻基因型为 $A_B_$ ，后代有个饮酒不易醉的女儿(A_bb)和一个饮酒易醉的儿子($aa_ _$)，则该夫妇的基因型为 $AaBb$ ，那么再生一个饮酒不易醉(A_bb)儿子的概率是 $3/16 \times 1/2 = 3/32$ ，D 正确。

6. 已知小麦的有芒(A)对无芒(a)为显性，抗病(R)对不抗病(r)为显性，小麦一年只播种一次。如图是培育无芒抗病小麦的示意图：



下列相关叙述错误的是()

- A. 杂交的目的是将控制无芒和抗病的基因集中到 F₁ 中
- B. F₁ 自交的目的是使 F₂ 中出现无芒抗病个体
- C. 得到纯合的无芒抗病种子至少需要五年
- D. F₂ 中无芒抗病植株自交的目的在于筛选 F₂ 中无芒抗病植株中的纯合子

答案 C

考点二 自由组合定律的常规解题规律和方法

题型一 已知亲代推配子及子代(正向推断法)

基本模型

1. 思路

将多对等位基因的自由组合分解为若干分离定律分别分析，再运用乘法原理进行组合(拆分组合法)。

2. 方法

题型分类		示例	解题规律
种类问题	配子类型(配子种类数)	AaBbCCDd 产生配子种类数为 8 种(即： $2 \times 2 \times 1 \times 2 = 8$)	2^n (n 为等位基因对数)
种类问题	配子间结合方式	AABbCc $\times$ aaBbCC，配子间结合方式种类数为 8 种	配子间结合方式种类数等于配子种类数的乘积
	子代基因型(或表型)种类	AaBbCc $\times$ Aabbcc，子代基因型种类数为 12 种，表型为 8 种	双亲杂交(已知双亲基因型)，子代基因型(或表型)种类等于各性状按分离定律所求基因型(或表型)种类的乘积
概率问题	某基因型(或表型)的比例	AABbDd $\times$ aaBbdd，F ₁ 中 AaBbDd 所占比例为 1/4	按分离定律求出相应基因型(或表型)的比例，然后利用乘法原理进行组合
	纯合子或杂合子出现的比例	AABbDd $\times$ AaBBdd，F ₁ 中纯合子所占比例为 1/8	按分离定律求出纯合子的概率的乘积为纯合子出现的比例，杂合子概率=1-纯合子概率

典例 1 某植物个体的基因型为 Aa(高茎)Bb(红花)Cc(灰种皮)dd(小花瓣)，请思考并回答下列问题：

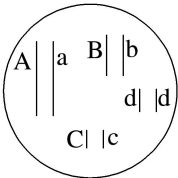


图 1

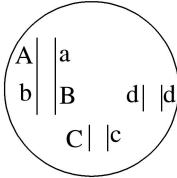


图 2

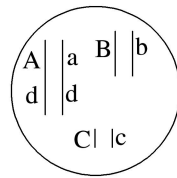


图 3

(1)若某个体 AaBbCcdd 体细胞中基因与染色体的位置关系如图 1 所示，则其产生的配子种类数为_____种，基因型为 AbCd 的配子所占比例为_____。其自交所得子代的基因型有_____种，其中 AABbccdd 所占比例为_____，其自交所得子代的表型有_____种，其中高茎红花灰种皮小花瓣个体所占比例为_____。

(2)若某个体 AaBbCcdd 体细胞中基因与染色体的位置关系如图 2 所示(不发生染色体互换)，则其产生的配子种类数为_____种，基因型为 AbCd 的配子所占比例为_____。其自交

所得子代的基因型有_____种, 其中 AaBbccdd 所占比例为_____, 其自交所得子代的表型有_____种, 其中高茎红花灰种皮小花瓣个体所占比例为_____。

(3)若某个体 AaBbCcdd 体细胞中基因与染色体的位置关系如图 3 所示(不发生染色体互换), 则其产生的配子种类数为_____种, 基因型为 AbCd 的配子所占比例为_____。其自交所得子代的基因型有_____种, 其中 AABbccdd 所占比例为_____, 其自交所得子代的表型有_____种, 其中高茎红花灰种皮小花瓣个体所占比例为_____。

答案 (1)8 1/8 27 1/32 8 27/64 (2)4

1/4 9 1/8 6 3/8 (3)8 1/8 27 1/32 8 27/64

题型二 已知子代推亲代(逆向组合法)

基本模型

1. 基因填充法

根据亲代表型可大概写出其基因型, 如 A_B_、aaB_ 等, 再根据子代表型将所缺处补充完整, 特别要学会利用后代中的隐性性状, 因为后代中一旦存在双隐性个体, 那亲代基因型中一定存在 a、b 等隐性基因。

2. 分解组合法

根据子代表型比例拆分为分离定律的分离比, 确定每一对相对性状的亲本基因型, 再组合。

如:

(1)9 : 3 : 3 : 1 $\rightarrow$ (3 : 1)(3 : 1) $\rightarrow$ (Aa $\times$ Aa)(Bb $\times$ Bb) $\rightarrow$ AaBb $\times$ AaBb。

(2)1 : 1 : 1 : 1 $\rightarrow$ (1 : 1)(1 : 1) $\rightarrow$ (Aa $\times$ aa)(Bb $\times$ bb) $\rightarrow$ AaBb $\times$ aabb 或 Aabb $\times$ aaBb。

(3)3 : 3 : 1 : 1 $\rightarrow$ (3 : 1)(1 : 1) $\rightarrow$ (Aa $\times$ Aa)(Bb $\times$ bb) 或 (Aa $\times$ aa)(Bb $\times$ Bb) $\rightarrow$ AaBb $\times$ Aabb 或 AaBb $\times$ aaBb。

典例 2 已知子代基因型及比例为 YYRr : YYrr : YyRr : Yyrr : yyRr : yyrr =

1 : 1 : 2 : 2 : 1 : 1, 按自由组合定律推测双亲的基因型是()

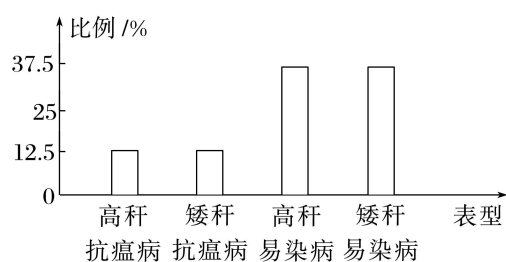
A. yyRR $\times$ YYRr B. yyRr $\times$ YyRr

C. YyRr $\times$ Yyrr D. YyRR $\times$ Yyrr

答案 C

解析 由题意可知, 对于 Y、y 来说, 双亲交配后子代的基因型及比例为 YY : Yy : yy = 1 : 2 : 1, 因此双亲的基因型为 Yy 和 Yy; 对于 R、r 来说, 双亲交配后子代的基因型及比例为 Rr : rr = 1 : 1, 因此双亲的基因型为 Rr 和 rr, 所以双亲的基因型是 YyRr $\times$ Yyrr。

典例 3 假如水稻的高秆(D)对矮秆(d)为显性, 抗瘟病(R)对易染病(r)为显性。现有一高秆抗瘟病的亲本水稻和矮秆易染病的亲本水稻杂交, 产生的 F₁ 再和隐性类型进行测交, 结果如图所示(两对基因位于两对同源染色体上)。则 F₁ 的基因型为()



- A. DdRR 和 ddRr B. DdRr 和 ddRr
C. DdRr 和 Ddrr D. ddRr

答案 C

解析 单独分析高秆和矮秆这一对相对性状，测交后代高秆：矮秆=1：1，说明F₁的基因型为Dd；单独分析抗瘟病与易染病这一对相对性状，测交后代抗瘟病：易染病=1：3，说明F₁中有2种基因型，即Rr和rr，且比例为1：1。综合以上分析可判断F₁的基因型为DdRr和Ddrr。

题型三 多对等位基因的自由组合

基本模型 n 对等位基因(完全显性)分别位于 n 对同源染色体上的遗传规律

亲本相对性状的对数	1	2	n
F ₁ 配子种类和比例	2 种(1：1) ¹	2 ² 种(1：1) ²	2 ^{n} 种(1：1) ^{n}
F ₂ 表型种类和比例	2 种(3：1) ¹	2 ² 种(3：1) ²	2 ^{n} 种(3：1) ^{n}
F ₂ 基因型种类和比例	3 种(1：2：1) ¹	3 ² 种(1：2：1) ²	3 ^{n} 种(1：2：1) ^{n}
F ₂ 全显性个体比例	(3/4) ¹	(3/4) ²	(3/4) ^{n}
F ₂ 中隐性个体比例	(1/4) ¹	(1/4) ²	(1/4) ^{n}
F ₁ 测交后代表型种类及比例	2 种(1：1) ¹	2 ² 种(1：1) ²	2 ^{n} 种(1：1) ^{n}
F ₁ 测交后代全显性个体比例	(1/2) ¹	(1/2) ²	(1/2) ^{n}

逆向思维 (1)某显性亲本的自交后代中，若全显个体的比例为(3/4) ^{n} 或隐性个体的比例为(1/4) ^{n} ，可知该显性亲本含有 n 对杂合基因，该性状至少受 n 对等位基因控制。

(2)某显性亲本的测交后代中，若全显性个体或隐性个体的比例为(1/2) ^{n} ，可知该显性亲本含有 n 对杂合基因，该性状至少受 n 对等位基因控制。

(3)若F₂中子代性状分离比之和为4 ^{n} ，则该性状由 n 对等位基因控制。

典例 4 (2021·全国乙，6)某种二倍体植物的 n 个不同性状由 n 对独立遗传的基因控制(杂合子表现显性性状)。已知植株A的 n 对基因均杂合。理论上，下列说法错误的是()

- A. 植株A的测交子代中会出现2 ^{n} 种不同表型的个体
B. n 越大，植株A测交子代中不同表型个体数目彼此之间的差异越大
C. 植株A测交子代中 n 对基因均杂合的个体数和纯合子的个体数相等
D. $n \geq 2$ 时，植株A的测交子代中杂合子的个体数多于纯合子的个体数

答案 B

解析 每对等位基因测交后会出现2种表型,故 n 对等位基因杂合的植株A的测交子代会出现 2^n 种不同表型的个体,A正确;不管 n 有多大,植株A测交子代比为 $(1:1)^n=1:1:1:1\cdots$ (共 2^n 个1),即不同表型个体数目均相等,B错误;植株A测交子代中 n 对基因均杂合的个体数为 $1/2^n$,纯合子的个体数也是 $1/2^n$,两者相等,C正确; $n\geq 2$ 时,植株A的测交子代中纯合子的个体数是 $1/2^n$,杂合子的个体数为 $1-(1/2^n)$,故杂合子的个体数多于纯合子的个体数,D正确。

典例5 (2024·东莞二模)用两纯种花生杂交得 F_1 , F_1 自交得 F_2 , F_2 籽粒的表型及比例为厚壳高含油量:厚壳低含油量:薄壳高含油量:薄壳低含油量=27:9:21:7。不考虑突变及交叉互换,下列说法正确的是()

- A. 厚壳和薄壳的遗传至少受3对等位基因的调控
- B. 两亲本的表型不可能是厚壳低含油量和薄壳高含油量
- C. F_2 发育成植株后,薄壳个体之间随机受粉,得到的子代花生中厚壳个体占8/49
- D. F_2 中厚壳低含油量花生植株开花时均可产生4种花粉且比例为1:1:1:1

答案 C

解析 两纯种花生杂交得 F_1 , F_1 自交得 F_2 , F_2 籽粒的表型及比例为厚壳高含油量:厚壳低含油量:薄壳高含油量:薄壳低含油量=27:9:21:7,其中厚壳:薄壳=36:28=9:7,为9:3:3:1的变式,说明花生壳的厚薄由两对等位基因控制,A错误;根据 F_2 中高含油量:低含油量=3:1可知,高含油量对低含油量为显性,受一对等位基因控制,题中上述比例的出现,两亲本的表型可能是厚壳低含油量和薄壳高含油量,若相关基因用A/a、B/b、D/d表示,则亲本的基因型可表示为AABBdd(厚壳低含油量)和aabbDD(薄壳高含油量),B错误; F_1 的基因型可表示为AaBbDd, F_2 中薄壳个体的基因型为2Aabb、1AAbb、1aaBB、2aaBb、1aabb,该群体中配子的种类和比例为Ab:aB:ab=2:2:3,则它们之间随机受粉,得到的子代花生中厚壳个体占 $2\times 2/7\times 2/7=8/49$,C正确; F_1 的基因型可表示为AaBbDd, F_2 中厚壳低含油量花生植株的基因型为1AABBdd、2AABbdd、2AaBBdd、4AaBbdd,根据自由组合定律可知,在开花时,该群体中可产生4种花粉且比例为1:1:1:1的基因型为AaBbdd,其他个体不能产生四种比例均等的花粉,D错误。

课时精练

选择题1~4题,每小题5分,5~9题,每小题6分,共50分。

一、选择题

1. (2025·河源月考)豌豆子叶的黄色(Y)对绿色(y)为显性,种子的圆粒(R)对皱粒(r)为显性,控制这两对性状的两对基因独立遗传。现用纯合黄色圆粒品种与纯合绿色皱粒品种杂交获得

F₁, F₁ 自交得到 F₂。下列相关叙述正确的是()

- A. F₁ 产生的配子随机结合形成不同基因型受精卵的过程体现了自由组合定律的实质
- B. F₁ 产生的雄配子总数与雌配子总数相等是 F₂ 出现 9:3:3:1 性状分离比的前提
- C. 从 F₂ 的黄色皱粒豌豆植株中任取两株, 则这两株豌豆基因型不同的概率为 5/9
- D. 若自然条件下将 F₂ 中黄色圆粒豌豆混合种植, 后代出现绿色皱粒豌豆的概率为 1/36

答案 D

解析 基因自由组合定律的实质为在减数分裂过程中, 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, A 错误; 通常情况下, 生物产生的雄配子数量远多于雌配子数量, B 错误; F₂ 中黄色皱粒豌豆植株的基因型为 1/3YYrr、2/3Yyrr, 从 F₂ 黄色皱粒豌豆植株中任取两株, 这两株豌豆基因型不同的概率为 $2 \times 1/3 \times 2/3 = 4/9$, C 错误; F₂ 中黄色圆粒豌豆植株的基因型为 1/9YYRR、2/9YYRr、2/9YyRR、4/9YyRr, 因豌豆为自花传粉、闭花受粉植物, 自然条件下将 F₂ 中黄色圆粒豌豆植株混合种植相当于让 F₂ 中所有黄色圆粒豌豆植株自交, 故后代出现绿色皱粒豌豆植株的概率为 $4/9 \times 1/16 = 1/36$, D 正确。

2. 下列关于基因自由组合定律的叙述, 正确的是()

- A. 若基因型为 aaBb 和 Aabb 的个体杂交, 后代表型比例为 1:1:1:1, 说明两对基因能自由组合
- B. 若基因型为 AaBb 的个体产生基因型为 AB、Ab、aB、ab 的四种配子, 说明两对基因能自由组合
- C. 若基因型为 AaBb 的个体自交, 后代表型比例不为 9:3:3:1, 则两对基因一定不能自由组合
- D. 若基因型为 AaBb 和 aaBb 的个体杂交, 后代表型比例为 3:1:3:1, 说明两对基因能自由组合

答案 D

解析 若基因型为 aaBb 和 Aabb 的个体杂交, 不管两对基因是否能自由组合, aaBb 产生的配子基因型及比例均为 ab:aB=1:1, Aabb 产生的配子基因型及比例均为 Ab:ab=1:1, 后代表型比例均为 1:1:1:1, A 错误; 若两对基因能自由组合, 基因型为 AaBb 的个体将产生基因型为 AB、Ab、aB、ab 的四种配子, 但如果基因连锁且发生互换, 也能产生这四种配子, B 错误; 若基因型为 AaBb 的个体自交, 后代表型比例不为 9:3:3:1, 可能为 12:3:1 等变式, 也能说明两对基因自由组合, C 错误; 基因型为 AaBb 和 aaBb 的个体杂交, 若两对基因能自由组合, AaBb 产生的配子基因型及比例为 AB:Ab:aB:ab=1:1:1:1, aaBb 产生的配子基因型及比例为 aB:ab=1:1, 则后代表型比例为 3:1:3:1, D 正确。

3. (2024·珠海三模)野生型油菜含糖量低且对病原菌的抵抗力弱。科学家通过基因工程技术

分别构建了抗病和高糖的纯合品系，并进行了以下三组实验：

实验一：野生型×抗病纯合品系→F₁(抗病)自交→F₂(抗病：不抗病=3：1)。

实验二：野生型×高糖纯合品系→F₁(高糖)自交→F₂(高糖：低糖=3：1)。

实验三：F₁(抗病)×F₁(高糖)杂交→F₂(抗病高糖：抗病低糖：不抗病高糖：不抗病低糖=1：1：1：1)。下列相关叙述错误的是()

- A. 从实验结果可以推出，抗病和高糖均为显性性状
- B. 将实验一中 F₂ 抗病个体自交，后代抗病植株中能稳定遗传的个体的比例为 3/5
- C. 将实验二中 F₂ 高糖个体自由交配，后代表现为高糖的比例为 8/9
- D. 实验三的结果说明对病原体的抗性和含糖量这两对相对性状遵循自由组合定律

答案 D

解析 分析实验一，野生型×抗病纯合品系→F₁(抗病)，说明抗病是显性性状，而实验二中野生型×高糖纯合品系→F₁(高糖)，说明高糖为显性性状，A 正确；设抗病与不抗病由 A/a 基因控制，则实验一野生型 aa×抗病纯合品系 AA 得到的 F₁ 是 Aa，F₂ 抗病个体包括 1/3AA、2/3Aa，自交后代中包括 3/6AA、2/6Aa、1/6aa，抗病植株(A₋)中能稳定遗传的个体(AA)的比例为 3/5，B 正确；设高糖与低糖相关基因是 B/b，实验二野生型×高糖纯合品系，将实验二中 F₂ 高糖个体(1/3BB、2/3Bb)自由交配，配子类型及比例是 2/3B、1/3b，后代表现为低糖(bb)的比例=1/3×1/3=1/9，则高糖的比例为 1-1/9= 8/9，C 正确；实验三中 F₁(抗病)×F₁(高糖)杂交→F₂(抗病高糖：抗病低糖：不抗病高糖：不抗病低糖=1：1：1：1)，无论是 A/a 与 B/b 位于一对同源染色体上还是两对同源染色体上，两亲本各自都只能产生两种配子，F₁(抗病)×F₁(高糖)杂交，后代结果均为有四种表型且比例为 1：1：1：1，故不能说明对病原体的抗性和含糖量这两对相对性状遵循自由组合定律，D 错误。

4. 如表为 3 个不同小麦杂交组合及其子代的表型和植株数目。据表分析，下列推断不正确的是()

组合	杂交组合类型	子代的表型和植株数目			
		抗病红种皮	抗病白种皮	易感病红种皮	易感病白种皮
一	抗病红种皮①×易感病红种皮②	416	138	410	135
二	抗病红种皮③×易感病白种皮④	180	184	178	182
三	易感病红种皮⑤×易感病白种皮⑥	140	136	420	414

- A.由组合一可以判定白种皮为隐性性状
- B. 如果将②和④杂交，其后代表型不同于双亲的占 1/8
- C. 基因型相同的亲本有①和③、②和⑤、④和⑥
- D. 由组合三可以判定抗病为隐性性状

答案 B

解析 组合一中,红种皮 $\times$ 红种皮 $\rightarrow$ 后代出现白种皮,即出现性状分离,说明红种皮相对于白种皮为显性性状, A 正确;假设相关基因用 A/a、B/b 表示,如果将②(AaBb)和④(Aabb)杂交,其后代表型不同于双亲的占 $1-3/4\times 1/2-3/4\times 1/2=1/4$, B 错误;亲本①和③的基因型都是 aaBb、②和⑤的基因型都是 AaBb、④和⑥的基因型都是 Aabb, C 正确;组合三中,易感病 $\times$ 易感病 $\rightarrow$ 后代出现抗病,即出现性状分离,说明易感病相对于抗病为显性, D 正确。

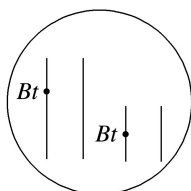
5. (2024·中山二模)某植株 M 含有 4 对独立遗传的等位基因,每对基因只控制一种性状,相应基因可以依次用 A/a、B/b、C/c、D/d 表示,已知植株 M 的 4 对基因均杂合(杂合子表现为显性性状)。下列说法正确的是()

- A. M 测交子代中单杂合子(仅一对基因杂合)的比例为 1/4
- B. M 测交子代中纯合子和杂合子比例相等
- C. M 自交子代中显性性状和隐性性状个体的比例相等
- D. M 自交子代中杂合子所占的比例为 1/16

答案 A

解析 基因型为 AaBbCcDd 的个体能够产生 $2\times 2\times 2\times 2=16$ (种)配子,其中含有单个显性基因的配子有 Abcd、aBcd、abCd、abcD 四种类型,所占的比例为 $4/16=1/4$,与测交对象 aabbccdd 产生的唯一一种配子 abcd 随机结合,即 M 测交子代中单杂合子(仅一对基因杂合)的比例为 1/4,据此也可以推知, M 测交子代中纯合子所占的比例为 1/16,杂合子为 15/16,即 M 测交子代中纯合子和杂合子比例不相等, A 正确, B 错误; M 自交,即基因型为 AaBbCcDd 的个体自交,隐性性状所占的比例为 $1/4\times 1/4\times 1/4\times 1/4=1/256$,显性性状(包括多显性和单显性)所占的比例为 $1-1/256=255/256$,自交后代中纯合子共有 $2\times 2\times 2\times 2=16$ (种),所占的比例为 $16/64=1/4$,即 M 自交子代中杂合子所占的比例为 $1-1/4=3/4$, C、D 错误。

6.(2025·深圳月考)科学家将抗虫基因(*Bt* 基因)转入棉花细胞中,从而获得转基因抗虫棉(如图所示)。假设 *Bt* 基因在棉花细胞中均能正常表达,且该基因越多抗虫效应越强。下列有关该抗虫棉的叙述正确的是()



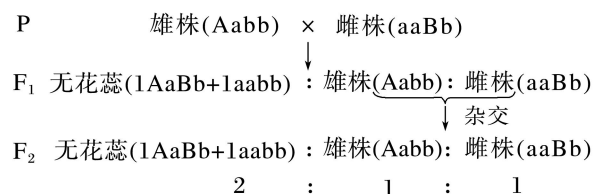
- A. 从 *Bt* 基因数量的角度分析,该抗虫棉能产生四种不同的配子,比例为 1:1:1:1
- B. 该抗虫棉抗虫性状的遗传遵循自由组合定律,自交后代表型之比为 9:3:3:1
- C. 该抗虫棉自交产生的后代中,体细胞含有两个 *Bt* 基因的个体占 3/8

D. 该抗虫棉与正常棉花杂交，子代棉花中具有抗虫特性的个体占 $1/2$

答案 C

解析 由于该抗虫棉的两个 *Bt* 基因位于非同源染色体上,从配子中含有 *Bt* 基因的数量来看,只能产生三种配子:含两个 *Bt* 基因、含一个 *Bt* 基因、不含 *Bt* 基因,它们的比例为 1:2:1, A 错误;根据基因越多抗虫效应越强来看,该抗虫棉自交后代中包括五种表型:含四个 *Bt* 基因:含三个 *Bt* 基因:含两个 *Bt* 基因:含一个 *Bt* 基因:不含 *Bt* 基因=1:4:6:4:1,体细胞含有两个 *Bt* 基因的个体占 $6/16=3/8$, B 错误, C 正确;该抗虫棉与正常棉花杂交相当于测交,子代中没有抗虫特性的棉花不含 *Bt* 基因,只占测交后代的 1/4,因此具有抗虫特性的个体占 3/4, D 错误。

7. 苧麻草是雌雄异株的植物, 其性别由两对等位基因决定, 且经常出现雌雄败育(无花)现象, 杂交实验发现, F_1 总是无花蕊: 雄株: 雌株=2:1:1, 再将 F_1 雄株和雌株杂交, F_2 也出现无花蕊: 雄株: 雌株=2:1:1。不考虑突变, 下列相关叙述正确的是()



- A. 图解属于假说—演绎法中的演绎环节
- B. 由图解可知, A、a 和 B、b 两对基因的遗传遵循自由组合定律
- C. 可利用测交的方法验证某雄株的基因型
- D. 正常情况下, 荨麻草在自然界中不存在纯合的雄株

答案 D

解析 图示对题干实验现象进行了解释,属于假说—演绎法中的提出假说环节,A错误;当不同对的基因位于一对同源染色体上时,杂交的结果和以上解释相同,所以不能确定A、a和B、b两对基因的遗传遵循自由组合定律,B错误;若要验证某雄株个体的基因型为Aabb,不能用测交的方式,因为雄株基因型为Aabb,而测交时,必须用到aabb,但aabb个体雌雄败育,C错误;纯合雄株基因型应为AAbb,自然界中只有Ab的雄配子,没有Ab的雌配子,因此正常情况下,苧麻草在自然界中不存在纯合的雄株,D正确。

8. (2025·阳江模拟)多对等位基因在细胞中的分布可以在同一对同源染色体上,也可以在不同对的同源染色体上,如表是某种动物甲和乙两个个体的体细胞中有关基因的组成及基因位于染色体上的情况,下列有关叙述错误的是()

染色体编号	甲个体(aaBbDd)基因的位置情况		乙个体(AaBbdd)基因的位置情况	
6 号染色体	aa	Bb	Aa	Bb
8 号染色体	Dd		dd	

- A. 乙个体的一个精原细胞减数分裂时发生染色体互换可产生 4 种配子
 B. 要验证 D、d 的遗传遵循基因的分离定律，可以让甲和乙进行杂交
 C. 甲和乙个体杂交，子代中出现隐性纯合子的概率为 1/8
 D. A、a 与 B、b 的遗传不遵循基因的自由组合定律

答案 C

解析 分析题意可知，乙个体(AaBbdd)中 Aa 与 Bb 连锁，正常情况下，只能产生两种配子，但若减数分裂时染色体发生互换可产生 4 种配子，A 正确；要验证 D、d 的遗传遵循基因的分离定律，可以让甲和乙进行杂交，相关基因型组合是 Dd×dd，子代会出现 1：1 的分离比，B 正确；甲个体(aaBbDd)与乙个体(AaBbdd)杂交，若是乙个体中 A 与 B 连锁，a 与 b 连锁，则子代出现隐性纯合子 aabbdd 的概率为 $1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/8$ ，若是乙个体中 A 与 b 连锁，a 与 B 连锁，则子代出现隐性纯合子 aabbdd 的概率为 0，C 错误；基因的自由组合定律适用于独立遗传的基因，A、a 与 B、b 位于一对同源染色体上，不遵循基因的自由组合定律，D 正确。

9. (2024·惠州三模)某雌雄同株植物的花色有三种表型，受三对独立遗传的等位基因 R/r、B/b、D/d 控制，已知基因 R、B 和 D 三者共存时表现为红花(分为深红花、浅红花两种表型)。选择深红花植株与某白花植株进行杂交，F₁ 均为浅红花，F₁ 自交，F₂ 中深红花：浅红花：白花=1：26：37。下列关于 F₂ 的说法正确的是()

- A. 浅红花植株的基因型有 7 种，白花植株的基因型有 19 种
 B. 白花植株之间杂交，后代可能出现深红花植株
 C. 浅红花植株自交，后代中不会有白花植株出现
 D. F₂ 浅红花中纯合子占 1/26

答案 A

解析 由 F₂ 中深红花：浅红花：白花=1：26：37 可知，深红花所占比例为 1/64，即 $1/4 \times 1/4 \times 1/4$ ，应为显性纯合子，浅红花为三个基因全部为显性但是三个基因不能同时为纯合子，即必须有一个基因为隐性，R_ B_ D_ 基因型共有 $2 \times 2 \times 2 = 8$ (种)，去掉显性纯合子即为浅红花基因型，有 7 种，后代基因型一共有 $3 \times 3 \times 3 = 27$ (种)，白花植株的基因型有 $27 - 8 = 19$ (种)，A 正确；白花植株必须有一对基因为隐性，其杂交后代可能同时出现 R、B 和 D，即出现浅红花，但不会出现深红花植株，B 错误；如果浅红花植株为杂合子 RrBbDd 自交，后代会出现白花植株，C 错误；浅红花中不含纯合子，D 错误。

二、非选择题

10. (14 分)(2024·江苏，24)有一种植物的花色受常染色体上独立遗传的两对等位基因控制，有色基因 B 对白色基因 b 为显性，基因 I 存在时抑制基因 B 的作用，使花色表现为白色，基因 i 不影响基因 B 和 b 的作用。现有 3 组杂交实验，结果如下。请回答下列问题：

组别	①	②	③
P	甲(有色) × 乙(白色)	甲(有色) × 丙(白色)	乙(白色) × 丙(白色)
F ₁	有色 ↓ ⊗	白色 ↓ ⊗	白色 ↓ ⊗
F ₂	有色 : 白色 3 : 1	白色 : 有色 3 : 1	?

(1)(2分)甲和丙的基因型分别是_____、_____。

(2)(2分)组别①的 F₂ 中有色花植株有_____

种基因型。若 F₂ 中有色花植株随机传粉，后代中白色花植株比例为_____。

(3)组别②的 F₂ 中白色花植株随机传粉，后代白色花植株中杂合子比例为_____。

(4)组别③的 F₁ 与甲杂交，后代表型及比例为_____。组别③的 F₁ 与乙杂交，后代表型及比例为_____。

(5)若这种植物性别决定类型为 XY 型，在 X 染色体上发生基因突变产生隐性致死基因 k，导致合子致死。基因型为 IiBbX⁺Y 和 IiBbX⁺X^k 的植株杂交，F₁ 中雌雄植株的表型及比例为

F₁ 中有色花植株随机传粉，后代中有色花雌株比例为_____。

答案 (1)iiBB IIBB (2)2 1/9 (3)1/2 (4)有色 : 白色 = 1 : 1 有色 : 白色 = 1 : 3 (5)白色♀ : 有色♀ : 白色♂ : 有色♂ = 26 : 6 : 13 : 3 32/63

解析 (1)分析题干信息，该植物花色受常染色体上独立遗传的两对等位基因控制，其中有色基因 B 对白色基因 b 为显性，基因 I 对基因 B 有抑制作用，则有色基因型是 iiB₋，白色基因型是 I₋B₋、I₋bb、iibb，组别②中甲(有色)×丙(白色)，F₁ 都是白色，自交后代中白色 : 有色 = 3 : 1，说明 F₁ 是单杂合子，F₂ 白色花植株的基因型为 I₋BB，说明 F₁ 的基因型是 IiBB，据此可推知甲的基因型应是 iiBB，丙的基因型是 IIBB。(2)组别①中甲(iiBB)×乙(白色)，F₁ 都是有色，自交后代中有色 : 白色 = 3 : 1，说明 F₁ 是单杂合子，F₂ 有色花植株的基因型为 iiB₋，说明 F₁ 的基因型是 iiBb，乙的基因型是 iibb。F₁ 自交后，F₂ 有色花的基因型及比例是 1/3iiBB、2/3iiBb，产生的配子及比例是 2/3iB、1/3ib，随机传粉，后代中白色花植株 iibb 的比例为 1/9。(3)由(1)可知，组别②的 F₂ 白色花植株的基因型为 I₋BB，F₂ 白色花植株的基因型包括 1/3IIBB、2/3IiBB，产生的配子是 2/3IB、1/3iB，随机传粉，后代白色花植株的基因型及比例为 4/9IIBB、4/9IiBB，所以后代白色花植株中杂合子占 1/2。(4)组别③乙(iibb)×丙(IIBB)，F₁ 是 IiBb(配子及比例是 IB : iB : Ib : ib = 1 : 1 : 1 : 1)，F₁ 与甲(iiBB)杂交，后代基因型及比例为 IiBB : iiBB : IiBb : iiBb = 1 : 1 : 1 : 1，所以后代表型及比例为有色 : 白色 = 1 : 1；组别③中 F₁ 与乙(iibb)杂交，后代基因型及比例为 IiBb : iiBb : iibb : iibb = 1 : 1 : 1 : 1，所以后代表型及比例为有色 : 白色 = 1 : 3。(5)若这种植物性别决定类型为 XY 型，在 X 染色体上发生基因突变产生隐性致死基因 k，导致合子致死。基因型为 IiBbX⁺Y 和 IiBbX⁺X^k

的植株杂交，逐对考虑，F₁中关于花色的基因型及比例为 I₋B₋：I₋bb：iiB₋：iibb = 9：3：3：1，所以 F₁ 中关于花色的基因型及比例为白色：有色 = 13：3，X⁺Y 和 X⁺X^k 的植株杂交，F₁ 关于性别的基因型及比例为 X⁺X⁺：X⁺X^k：X⁺Y：X^kY(致死)，即 F₁ 中雌性：雄性 = 2：1，所以 F₁ 中雌雄植株的表型及比例为白色♀：有色♀：白色♂：有色♂ = 26：6：13：3。F₁ 中有色花植株随机传粉，其中有色花雌性基因型有 iiB₋X⁺X⁺、iiB₋X⁺X^k，雄性是 iiB₋X⁺Y，其中 iiB₋ 的比例为 1/3iiBB、2/3iiBb，产生的配子及比例是 2/3iB、1/3ib，随机交配后有色个体(iiB₋)占 8/9，考虑性染色体相关基因，雌配子及比例是 3/4X⁺、1/4X^k，雄配子及比例是 1/2X⁺、1/2Y，随机交配后子代是 3/8X⁺X⁺、1/8X⁺X^k、3/8X⁺Y、1/8X^kY(致死)，即雌株：雄株 = 4：3，故后代中有色花雌株比例为 8/9 × 4/7 = 32/63。

11. (22 分)(2024·河北, 23)西瓜瓜形(长形、椭圆形和圆形)和瓜皮颜色(深绿、绿条纹和浅绿)均为重要育种性状。为研究两类性状的遗传规律，选用纯合子 P₁(长形深绿)、P₂(圆形浅绿)和 P₃(圆形绿条纹)进行杂交。为方便统计，长形和椭圆形统一记作非圆，结果见表。

实验	杂交组合	F ₁ 表型	F ₂ 表型和比例
①	P ₁ × P ₂	非圆深绿	非圆深绿：非圆浅绿：圆形深绿：圆形浅绿 = 9：3：3：1
②	P ₁ × P ₃	非圆深绿	非圆深绿：非圆绿条纹：圆形深绿：圆形绿条纹 = 9：3：3：1

回答下列问题：

(1)由实验①结果推测，瓜皮颜色遗传遵循_____定律，其中隐性性状为_____。

(2)由实验①和②结果不能判断控制绿条纹和浅绿性状基因之间的关系。若要进行判断，还需从实验①和②的亲本中选用_____进行杂交。若 F₁ 瓜皮颜色为_____，则推测两基因为非等位基因。

(3)对实验①和②的 F₁ 非圆形瓜进行调查，发现均为椭圆形，则 F₂ 中椭圆深绿瓜植株的占比应为_____。若实验①的 F₂ 植株自交，子代中圆形深绿瓜植株的占比为_____。

(4)(8 分)SSR 是分布于各染色体上的 DNA 序列，不同染色体具有各自的特异 SSR。SSR1 和 SSR2 分别位于西瓜的 9 号和 1 号染色体。在 P₁ 和 P₂ 中 SSR1 长度不同，SSR2 长度也不同。为了对控制瓜皮颜色的基因进行染色体定位，电泳检测实验①F₂ 中浅绿瓜植株、P₁ 和 P₂ 的 SSR1 和 SSR2 的扩增产物，结果如图。据图推测控制瓜皮颜色的基因位于_____染色体。检测结果表明，15 号植株同时含有两亲本的 SSR1 和 SSR2 序列，同时具有 SSR1 的根本原因是_____。

_____，

同时具有 SSR2 的根本原因是_____。

_____。

		F ₂ 浅绿瓜植株																					
		P ₁	P ₂	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SSR1																							
SSR2																							

(5)为快速获得稳定遗传的圆形深绿瓜株系，对实验①F₂中圆形深绿瓜植株控制瓜皮颜色的基因所在染色体上的 SSR 进行扩增、电泳检测。选择检测结果为_____的植株，不考虑交换，其自交后代即为目的株系。

答案 (1)分离 浅绿 (2)P₂、P₃ 深绿 (3)3/8 15/64 (4)9 号 F₁在减数分裂 I 前期发生染色体片段互换，产生了同时含 P₁、P₂ 的 SSR1 的配子 F₁减数分裂时同源染色体分离的同时，非同源染色体自由组合，F₁产生的含 P₁1 号染色体的配子与含 P₂1 号染色体的配子受精 (5)SSR1 的扩增产物条带与 P₁ 亲本相同

解析 (1)由实验①可知，P₁(长形深绿)与 P₂(圆形浅绿)杂交，F₁全为非圆(包括长形和椭圆形)深绿，F₂出现性状分离，且深绿：浅绿=3：1，推测瓜皮颜色的遗传遵循基因的分离定律，且浅绿为隐性性状。(2)据题表分析可知，由实验①和实验②的结果不能判断控制浅绿和绿条纹性状的基因的关系。若想进行判断，需选择分别具有浅绿性状和绿条纹性状的个体进行杂交，故可选择实验①和实验②亲本中的 P₂和 P₃进行杂交，若两基因为非等位基因，设分别为 A/a、B/b，则浅绿的基因型可能为 AAbb(或 aaBB)，而绿条纹的基因型可能为 aaBB(或 AAbb)，则二者杂交得到的 F₁基因型为 AaBb，表现为深绿色。(3)调查实验①和②的 F₁发现全为椭圆形瓜，亲本长形和圆形均为纯合子，F₁椭圆形为杂合子，则 F₂非圆瓜中有 1/3 为长形，2/3 为椭圆形，故椭圆深绿瓜植株占比为 9/16×2/3=3/8。由题意可设瓜形基因为 D/d，瓜皮颜色基因为 E/e，P₁基因型为 DDEE，P₂基因型为 ddee，由实验①F₂的表型和比例可知，圆形深绿瓜的基因型为 ddE_。实验①中 F₂植株自交子代能产生圆形深绿瓜植株的基因型有 DdEE、DdEe、ddEE、ddEe，其在 F₂中所占比例分别为 1/8、1/4、1/16、1/8，自交子代中圆形深绿瓜的占比为 1/8×1/4+1/4×3/16+1/16×1+1/8×3/4=15/64。(4)电泳检测实验①F₂中浅绿瓜植株、P₁和 P₂的 SSR1 和 SSR2 的扩增产物，由电泳图谱可知，F₂浅绿瓜植株中都含有 P₂亲本的 SSR1，而 SSR1 和 SSR2 分别位于西瓜的 9 号和 1 号染色体上，故推测控制瓜皮颜色的基因位于 9 号染色体上。由电泳图谱可知，F₂浅绿瓜植株中只有 15 号植株含有亲本 P₁的 SSR1，推测根本原因是 F₁在减数分裂 I 前期发生染色体片段互换，产生了同时含 P₁、P₂ 的 SSR1 的配子；而包括 15 号植株在内的半数植株同时含有两亲本的 SSR2，根本原因是 F₁减数分裂时同源染色体分离的同时，非同源染色体自由组合，随后 F₁产生的含 P₁1 号染色体的配子与含 P₂1 号染色体的配子受精。(5)为快速获得稳定遗传的深绿瓜株系，对实验①F₂中深绿瓜植株控制瓜皮颜色的基因所在染色体上的 SSR 进行扩增、电泳检测。稳定遗传的深绿瓜株系应是纯合子，其深绿基因最终来源于亲本 P₁，故应选择 SSR1 的扩增产物条带与 P₁亲本相同的植株。

12. (14 分)(2024·河源二模)2020 年，袁隆平团队在全国十地启动海水稻万亩片种植示范。

这源于两项重大研究成果：一是成功地培育出了耐盐碱的“海水稻”，二是利用现代生物技术将普通水稻中的吸镉基因敲除，获得了含镉量低的低镉水稻。有关遗传分析见表。

水稻品种	表型	导入或敲除的相关基因
普通水稻	不耐盐高镉	未导入和敲除
海水稻	耐盐高镉	B^+
低镉稻	不耐盐低镉	C^-

注： B^+ 表示导入的耐盐基因， C^- 表示吸镉基因被敲除， B^+ 对 B^- 为完全显性，基因型 C^+C^+ 、 C^+C^- 和 C^-C^- 分别表现为高镉、中镉和低镉。

(1)水稻的耐盐与不耐盐称为一对相对性状，推测 B^+ 基因表达产物能_____ (填“提高”或“减低”)水稻根部细胞液的浓度。

(2)结合题干，纯合普通水稻的基因型为_____，与低镉稻杂交， F_1 自交， F_2 中表型及比例为_____。

(3)(8分)现有普通水稻、海水稻和低镉稻(均为纯合子)，请设计杂交实验探究 B^+/B^- 和 C^+/C^- 两对基因是否位于一对同源染色体上。

实验思路：_____。

预期实验结果：

①若 F_2 中不耐盐低镉的比例为_____，则 B^+/B^- 和 C^+/C^- 两对基因位于一对同源染色体上。

②若 F_2 中不耐盐低镉的比例为_____，则 B^+/B^- 和 C^+/C^- 两对基因位于两对同源染色体上。

答案 (1)提高 (2) $B^-B^-C^+C^+$ 不耐盐高镉：不耐盐中镉：不耐盐低镉 = 1：2：1 (3)用纯合海水稻和低镉稻杂交得 F_1 ，再用 F_1 自交得 F_2 ，观察并统计 F_2 中的表型及比例(或用纯合海水稻和低镉稻杂交得 F_1 ，再用 F_1 测交得 F_2 ，观察并统计 F_2 中的表型及比例) ①1/4(或1/2) ②1/16(或1/4)

解析 (1)根据题意可知， B^+ 表示导入的耐盐基因，则 B^+ 基因表达产物可以使水稻在高盐环境中生存，使水稻根部吸收大量无机盐，提高根部细胞液的浓度。(2)结合题干可得，纯合普通水稻的基因型为 $B^-B^-C^+C^+$ ，低镉稻的基因型为 $B^-B^-C^-C^-$ ，两者杂交得到 F_1 ， F_1 为中镉稻 $B^-B^-C^+C^-$ ， F_1 自交得到 F_2 ，根据孟德尔分离定律， F_2 中表型及比例为不耐盐高镉($B^-B^-C^+C^+$)：不耐盐中镉($B^-B^-C^+C^-$)：不耐盐低镉($B^-B^-C^-C^-$)=1：2：1。(3)探究两对基因是否位于一对同源染色体上，常用的方法是利用双杂合个体自交或者测交，现有的材料是普通水稻($B^-B^-C^+C^+$)、海水稻($B^+B^+C^+C^+$) 和低镉稻($B^-B^-C^-C^-$)，因此首先要得到双杂合个体，可用海水稻($B^+B^+C^+C^+$) 和低镉稻($B^-B^-C^-C^-$) 杂交得到 $B^+B^-C^+C^-$ ，然后再进行自交或者测交。据此实验思路为：用纯合海水稻和低镉稻杂交得 F_1 ，再用 F_1 自交或者测交得 F_2 ，观察并统计 F_2 中的表型及比例。如果 B^+/B^- 和 C^+/C^- 两对基因位于一对同源染色体上， $F_1(B$

$B^+C^+C^-$ 能产生 B^+C^+ 和 B^-C^- 两种配子，自交后代为 $B^+B^+C^+C^+$ (耐盐高镉)： $B^+B^-C^+C^-$ (耐盐中镉)： $B^-B^-C^-C^-$ (不耐盐低镉)=1：2：1，不耐盐低镉的比例为 1/4；测交后代为 $B^+B^-C^+C^-$ (耐盐中镉)： $B^-B^-C^-C^-$ (不耐盐低镉)=1：1，不耐盐低镉的比例为 1/2。如果 B^+/B^- 和 C^+/C^- 两对基因位于两对同源染色体上， $F_1(B^+B^-C^+C^-)$ 能产生 B^+C^+ 、 B^+C^- 、 B^-C^+ 、 B^-C^- 四种配子，自交后代为不耐盐低镉($B^-B^-C^-C^-$)的比例为 $1/4 \times 1/4 = 1/16$ ；测交后代不耐盐低镉($B^-B^-C^-C^-$)的比例为 $1/4 \times 1 = 1/4$ 。