

# 高中生物学常见遗传问题研究

生物学笔记

2025 年 11 月 9 日

## 目录

<b>1 第一部分：遗传学基础概念</b>	<b>4</b>
1.1 核心术语	4
1.2 遗传符号系统	5
<b>2 第二部分：孟德尔遗传定律</b>	<b>5</b>
2.1 分离定律	5
2.2 自由组合定律	6
<b>3 第三部分：配子法（核心方法）</b>	<b>7</b>
3.1 配子法的基本原理	7
3.2 一对相对性状的配子法	9
3.3 两对相对性状的配子法	10
3.4 三对相对性状的配子法	12
3.5 配子法的优势与应用	13
<b>4 第四部分：常见遗传问题类型与解题方法</b>	<b>13</b>
4.1 已知亲本求子代	14
4.2 已知子代推亲本	15
4.3 概率计算问题	17
<b>5 第五部分：特殊遗传问题</b>	<b>18</b>
5.1 不完全显性	18
5.2 共显性	19
5.3 母本效应	20
5.4 基因互作	21
5.5 致死基因	26

<b>6 第六部分：连锁遗传与互换</b>	<b>29</b>
6.1 连锁遗传的基本概念	29
6.2 连锁遗传的配子类型	30
6.3 互换概率的计算	32
6.4 逆推互换概率	33
<b>7 第七部分：伴性遗传</b>	<b>34</b>
7.1 伴性遗传的基本概念	34
7.2 X 连锁隐性遗传	35
7.3 X 连锁显性遗传	36
7.4 Y 连锁遗传	37
<b>8 第八部分：人类遗传病与系谱图</b>	<b>38</b>
8.1 系谱图的绘制规范	38
8.2 常见遗传病的遗传方式	38
8.3 系谱图分析方法	39
8.4 概率计算	40
<b>9 第九部分：育种应用</b>	<b>40</b>
9.1 单倍体育种	41
9.2 无籽西瓜（三倍体）	43
<b>10 第十部分：解题技巧总结与快速参考</b>	<b>45</b>
10.1 配子法解题流程	45
10.2 常见比例及对应基因型	46
10.3 快速计算方法	47
10.4 易错点提醒	47
<b>11 附录：公式速查表</b>	<b>48</b>
11.1 配子种类计算公式	48
11.2 子代基因型和表现型种类	48
11.3 概率计算技巧	48
11.4 三对等位基因计算公式	49
11.5 连锁遗传计算公式	49
11.6 伴性遗传计算公式	49
11.7 基因互作比例	50
11.8 致死基因计算	50

## 1 第一部分：遗传学基础概念

### 1.1 核心术语

#### 定义：等位基因

**等位基因** (allele): 控制相对性状的成对基因，位于同源染色体的相同位置上。

例如：控制豌豆高茎和矮茎的基因  $A$  和  $a$  就是一对等位基因。

#### 定义：基因型与表现型

**基因型** (genotype): 生物个体基因的组成，如  $AA$ 、 $Aa$ 、 $aa$ 。

**表现型** (phenotype): 生物个体表现出来的性状，如高茎、矮茎。

关系：表现型 = 基因型 + 环境条件

#### 定义：纯合子与杂合子

**纯合子** (homozygote): 基因型中成对的等位基因相同，如  $AA$ 、 $aa$ 。

**杂合子** (heterozygote): 基因型中成对的等位基因不同，如  $Aa$ 。

#### 定义：显性与隐性

**显性基因**: 在杂合子中能表现出其性状的基因，用大写字母表示（如  $A$ ）。

**隐性基因**: 在杂合子中不能表现出其性状的基因，用小写字母表示（如  $a$ ）。

**显性性状**: 由显性基因控制的性状。

**隐性性状**: 只有在隐性纯合子中才能表现出来的性状。

## 1.2 遗传符号系统

### 关键点：常用符号约定

- 显性基因：大写字母（ $A$ 、 $B$ 、 $D$  等）
- 隐性基因：小写字母（ $a$ 、 $b$ 、 $d$  等）
- 父本： $P$  或  $P$ （父本）
- 母本： $P$  或  $P$ （母本）
- 子一代： $F_1$
- 子二代： $F_2$
- 杂交： $\times$
- 自交： $\bigcirc$

## 2 第二部分：孟德尔遗传定律

### 2.1 分离定律

#### 遗传定律：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。

核心要点：

1. 成对的等位基因在形成配子时分离
2. 分离后的基因独立进入不同的配子
3. 配子中只含等位基因中的一个

解题技巧：分离定律的验证

实验： $F_1$  高茎豌豆 ( $Aa$ ) 自交

过程：

1.  $F_1$  产生配子： $A$  和  $a$ ，比例 1:1
2. 雌雄配子随机结合
3.  $F_2$  基因型： $AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1$
4.  $F_2$  表现型：高茎: 矮茎 = 3:1

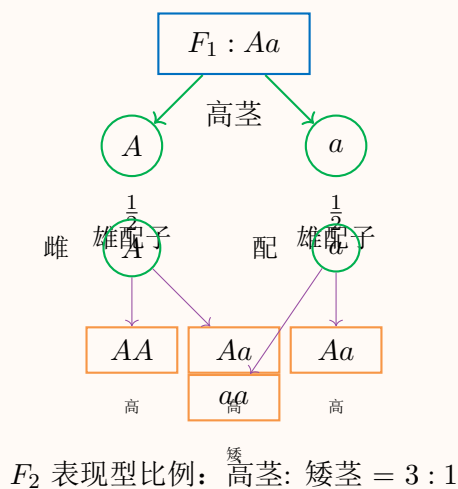


图 1: 分离定律图解

## 2.2 自由组合定律

### 遗传定律：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。

适用条件：

1. 两对或两对以上的等位基因
2. 控制不同性状的基因位于非同源染色体上
3. 各对基因独立遗传

解题技巧：自由组合定律的验证

实验：黄色圆粒（YYRR）× 绿色皱粒（yyrr）

F<sub>1</sub>：黄色圆粒（YyRr）

F<sub>1</sub> 自交产生 F<sub>2</sub>：

F<sub>1</sub> 产生配子类型：YR、Yr、yR、yr，比例 1 : 1 : 1 : 1

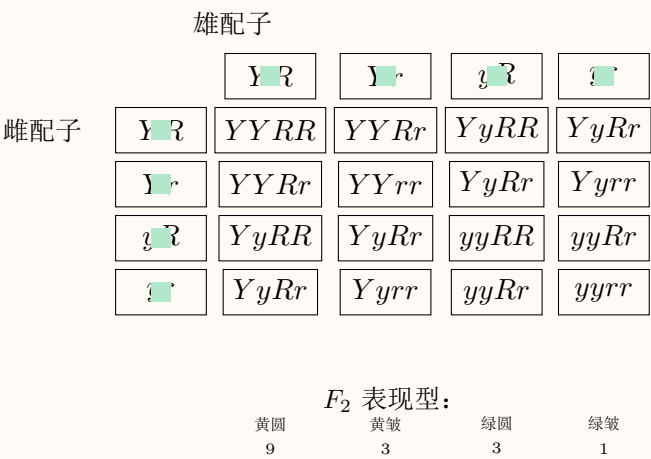


图 2：自由组合定律棋盘格（F<sub>2</sub>）

F<sub>2</sub> 表现型比例：黄色圆粒：黄色皱粒：绿色圆粒：绿色皱粒 = 9 : 3 : 3 : 1

F<sub>2</sub> 基因型种类：3<sup>2</sup> = 9 种

3 第三部分：配子法（核心方法）

3.1 配子法的基本原理

定义：配子法

配子法是通过分析亲本产生配子的类型和比例，然后计算配子随机结合后子代基因型和表现型的方法。

核心步骤：

1. 确定亲本基因型
2. 分析亲本产生的配子类型及比例
3. 计算配子结合的概率
4. 统计子代基因型和表现型

**关键点：配子产生的规律**

- 一对等位基因： $Aa$  产生  $A$  和  $a$ ，比例  $1:1$
- 两对等位基因（独立遗传）：
  - $AaBb$  产生  $AB$ 、 $Ab$ 、 $aB$ 、 $ab$ ，比例  $1:1:1:1$
  - 配子种类数  $= 2^n$ （ $n$  为杂合基因对数）
- 多对等位基因：每对基因独立分离，然后自由组合

3.2 一对相对性状的配子法

解题技巧：基础配子法应用

题目：高茎豌豆（ $Aa$ ）与矮茎豌豆（ $aa$ ）杂交，求子代基因型和表现型。

解题步骤：

步骤 1：确定亲本基因型

- 亲本 1:  $Aa$ （高茎）
- 亲本 2:  $aa$ （矮茎）

步骤 2：分析配子类型及比例

- $Aa$  产生:  $A$  ( $\frac{1}{2}$ )、 $a$  ( $\frac{1}{2}$ )
- $aa$  产生:  $a$  (1)

步骤 3：配子结合（利用概率）

- $Aa$  的概率:  $P(A) \times P(a) = \frac{1}{2} \times 1 = \frac{1}{2}$
- $aa$  的概率:  $P(a) \times P(a) = \frac{1}{2} \times 1 = \frac{1}{2}$

步骤 4：结果

- 基因型:  $Aa : aa = 1 : 1$
- 表现型: 高茎: 矮茎 = 1 : 1

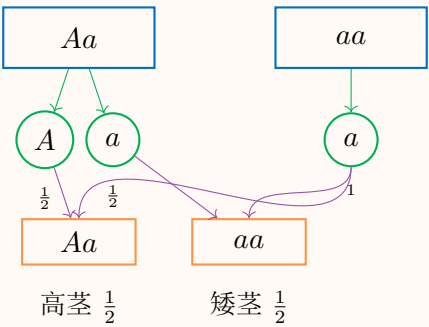


图 3: 一对相对性状配子法图解



3.3 两对相对性状的配子法

解题技巧：两对相对性状的配子法

题目：AaBb 与 Aabb 杂交，求子代基因型和表现型。

方法一：完整配子法

步骤 1：确定配子类型及比例

- AaBb 产生：AB ( $\frac{1}{4}$ )、Ab ( $\frac{1}{4}$ )、aB ( $\frac{1}{4}$ )、ab ( $\frac{1}{4}$ )
- Aabb 产生：Ab ( $\frac{1}{2}$ )、ab ( $\frac{1}{2}$ )

步骤 2：配子结合（棋盘格法）

AaBb 配子	Aabb 配子	
	Ab ( $\frac{1}{2}$ )	ab ( $\frac{1}{2}$ )
AB ( $\frac{1}{4}$ )	AABb ( $\frac{1}{8}$ )	AaBb ( $\frac{1}{8}$ )
Ab ( $\frac{1}{4}$ )	AAbb ( $\frac{1}{8}$ )	Aabb ( $\frac{1}{8}$ )
aB ( $\frac{1}{4}$ )	AaBb ( $\frac{1}{8}$ )	aaBb ( $\frac{1}{8}$ )
ab ( $\frac{1}{4}$ )	Aabb ( $\frac{1}{8}$ )	aabb ( $\frac{1}{8}$ )

步骤 3：统计结果

- 基因型（合并相同）：
  - AABb:  $\frac{1}{8}$
  - AaBb:  $\frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{2}{8} = \frac{1}{4}$
  - AAbb:  $\frac{1}{8}$
  - Aabb:  $\frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{2}{8} = \frac{1}{4}$
  - aaBb:  $\frac{1}{8}$
  - aabb:  $\frac{1}{8}$
- 表现型（假设 A、B 为显性）：
  - A\_B\_:  $\frac{1}{8} + \frac{2}{8} = \frac{3}{8}$
  - A\_bb:  $\frac{1}{8} + \frac{2}{8} = \frac{3}{8}$
  - aaB\_:  $\frac{1}{8}$
  - aabb:  $\frac{1}{8}$

方法二：分离定律分别计算

将两对基因分别考虑，然后用乘法原理：

第一对基因 (Aa × Aa)：

- AA:  $\frac{1}{4}$ , Aa:  $\frac{1}{2}$ , aa:  $\frac{1}{4}$

第二对基因 (Bb × bb)：

- Bb:  $\frac{1}{2}$ , bb:  $\frac{1}{2}$



## 3.4 三对相对性状的配子法

## 解题技巧：三对等位基因的配子法

题目： $AaBbCc$  自交，求  $F_2$  的基因型种类、表现型种类及比例。

解题：

方法：分离定律分别计算

第一对基因 ( $Aa \times Aa$ ):

- 基因型： $AA$  ( $\frac{1}{4}$ )、 $Aa$  ( $\frac{1}{2}$ )、 $aa$  ( $\frac{1}{4}$ )
- 表现型：显性 ( $\frac{3}{4}$ )、隐性 ( $\frac{1}{4}$ )

第二对基因 ( $Bb \times Bb$ ):

- 基因型： $BB$  ( $\frac{1}{4}$ )、 $Bb$  ( $\frac{1}{2}$ )、 $bb$  ( $\frac{1}{4}$ )
- 表现型：显性 ( $\frac{3}{4}$ )、隐性 ( $\frac{1}{4}$ )

第三对基因 ( $Cc \times Cc$ ):

- 基因型： $CC$  ( $\frac{1}{4}$ )、 $Cc$  ( $\frac{1}{2}$ )、 $cc$  ( $\frac{1}{4}$ )
- 表现型：显性 ( $\frac{3}{4}$ )、隐性 ( $\frac{1}{4}$ )

配子类型：

$AaBbCc$  产生配子种类 =  $2^3 = 8$  种

配子类型： $ABC$ 、 $ABc$ 、 $AbC$ 、 $Abc$ 、 $aBC$ 、 $aBc$ 、 $abC$ 、 $abc$

各占  $\frac{1}{8}$

基因型种类：

$F_2$  基因型种类 =  $3^3 = 27$  种

表现型种类及比例：

使用乘法原理，表现型比例 =  $(3:1)^3$

展开： $(3:1)^3 = 27:9:9:9:3:3:3:1$

具体表现型：

- 三显性 ( $A\_B\_C\_$ ):  $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{27}{64}$
- 两显一隐 ( $A\_B\_cc$ ):  $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{9}{64}$
- 两显一隐 ( $A\_bbC\_$ ):  $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{64}$
- 两显一隐 ( $aaB\_C\_$ ):  $\frac{1}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{64}$
- 一显两隐 ( $A\_bbcc$ ):  $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{64}$
- 一显两隐 ( $aaB\_cc$ ):  $\frac{1}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{64}$
- 一显两隐 ( $aabbC\_$ ):  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{64}$
- 三隐性 ( $aabbcc$ ):  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{64}$

结果：

**关键点：三对等位基因的规律**

- 配子种类： $2^3 = 8$  种（每对基因产生 2 种配子）
- 基因型种类： $3^3 = 27$  种（每对基因有 3 种基因型）
- 表现型种类： $2^3 = 8$  种（完全显性时）
- 表现型比例： $(3:1)^3 = 27:9:9:9:3:3:3:1$
- 计算方法：分离定律分别计算，然后用乘法原理组合

**3.5 配子法的优势与应用****关键点：配子法的优势**

1. 直观清晰：直接展示遗传过程
2. 计算准确：基于概率原理，结果可靠
3. 适用广泛：适用于各种遗传问题
4. 易于理解：符合遗传学基本原理

**注意事项：配子法使用注意事项**

- 确保等位基因正确分离
- 注意配子比例的计算
- 多对基因时，确认基因是否独立遗传
- 合并相同基因型时不要遗漏
- 计算表现型时注意显隐性关系

**4 第四部分：常见遗传问题类型与解题方法**

## 4.1 已知亲本求子代

## 解题技巧：已知亲本基因型求子代

题目：黄色圆粒豌豆 ( $YyRr$ ) 与绿色皱粒豌豆 ( $yyrr$ ) 杂交，求  $F_1$  的表现型及比例。

解题：

方法一：配子法

亲本 1 ( $YyRr$ ) 配子： $YR$ 、 $Yr$ 、 $yR$ 、 $yr$ ，各占  $\frac{1}{4}$

亲本 2 ( $yyrr$ ) 配子： $yr$ ，占 1

配子结合：

- $YyRr$ :  $\frac{1}{4} \times 1 = \frac{1}{4}$  (黄圆)
- $Yyrr$ :  $\frac{1}{4} \times 1 = \frac{1}{4}$  (黄皱)
- $yyRr$ :  $\frac{1}{4} \times 1 = \frac{1}{4}$  (绿圆)
- $yyrr$ :  $\frac{1}{4} \times 1 = \frac{1}{4}$  (绿皱)

结果： $F_1$  表现型比例 = 黄圆: 黄皱: 绿圆: 绿皱 = 1:1:1:1

方法二：分离定律分别计算

第一对基因 ( $Yy \times yy$ ):

- $Yy$ :  $\frac{1}{2}$  (黄色)
- $yy$ :  $\frac{1}{2}$  (绿色)

第二对基因 ( $Rr \times rr$ ):

- $Rr$ :  $\frac{1}{2}$  (圆粒)
- $rr$ :  $\frac{1}{2}$  (皱粒)

组合 (乘法原理):

- 黄圆:  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
- 黄皱:  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
- 绿圆:  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
- 绿皱:  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$

## 4.2 已知子代推亲本

### 解题技巧：逆推法：已知子代推亲本基因型

题目：某植物的高茎（显性）与矮茎（隐性）杂交， $F_1$  中高茎：矮茎 = 1 : 1，求亲本基因型。

解题步骤：

步骤 1：分析  $F_1$  表现型比例

- 高茎：矮茎 = 1 : 1
- 说明  $F_1$  中既有显性纯合或杂合，也有隐性纯合

步骤 2：反推配子类型

- $F_1$  基因型为  $Aa$  和  $aa$ ，比例 1 : 1
- 说明一个亲本产生  $A$  和  $a$  配子（比例为 1 : 1），基因型为  $Aa$
- 另一个亲本只产生  $a$  配子，基因型为  $aa$

步骤 3：确定亲本

- 亲本 1： $Aa$ （高茎）
- 亲本 2： $aa$ （矮茎）

验证： $Aa \times aa \rightarrow Aa : aa = 1 : 1$ ，表现型高茎：矮茎 = 1 : 1，符合题意。

## 解题技巧：复杂逆推：两对相对性状

题目：某植物两对相对性状杂交， $F_1$  表现型及比例为：

- 黄色圆粒：黄色皱粒：绿色圆粒：绿色皱粒 = 3 : 3 : 1 : 1

求亲本可能的基因型。

解题：

步骤 1：分别分析两对性状

第一对性状（颜色）：

- 黄色：绿色 =  $(3 + 3) : (1 + 1) = 6 : 2 = 3 : 1$
- 说明第一对基因杂交为  $Aa \times Aa$

第二对性状（形状）：

- 圆粒：皱粒 =  $(3 + 1) : (3 + 1) = 4 : 4 = 1 : 1$
- 说明第二对基因杂交为  $Bb \times bb$

步骤 2：组合得到亲本基因型

- 亲本 1：  $AaBb$
- 亲本 2：  $Aabb$

验证：

- $AaBb$  产生配子：  $AB$ 、 $Ab$ 、 $aB$ 、 $ab$ ，各  $\frac{1}{4}$
- $Aabb$  产生配子：  $Ab$ 、 $ab$ ，各  $\frac{1}{2}$
- 子代表现型：
  - 黄圆 ( $A\_B\_$ ):  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{8}$ （但实际应为  $\frac{3}{8}$ ，比例 3 : 3 : 1 : 1 需要重新计算）

实际上，更精确的分析：

- 黄圆：  $A\_B\_ = \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{8}$
- 黄皱：  $A\_bb = \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{8}$
- 绿圆：  $aaB\_ = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$
- 绿皱：  $aabb = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$

比例 =  $\frac{3}{8} : \frac{3}{8} : \frac{1}{8} : \frac{1}{8} = 3 : 3 : 1 : 1$ ，符合题意。

## 4.3 概率计算问题

## 解题技巧：遗传概率计算

题目： $AaBb$  自交，求  $F_2$  中：

1. 基因型为  $AABB$  的概率
2. 表现型为双显性的概率
3. 基因型为  $AaBb$  的概率
4. 至少有一对基因为纯合的概率

解题：

方法：分离定律分别计算

第一对基因 ( $Aa \times Aa$ ):

- $AA$ :  $\frac{1}{4}$
- $Aa$ :  $\frac{1}{2}$
- $aa$ :  $\frac{1}{4}$

第二对基因 ( $Bb \times Bb$ ):

- $BB$ :  $\frac{1}{4}$
- $Bb$ :  $\frac{1}{2}$
- $bb$ :  $\frac{1}{4}$

计算结果：

- (1)  $AABB$  的概率  $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$
- (2) 双显性 ( $A\_B\_$ ) 的概率  $= \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{16}$
- (3)  $AaBb$  的概率  $= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
- (4) 至少有一对纯合的概率  $= 1 - \text{两对都是杂合的概率}$ 
  - 两对都是杂合 ( $AaBb$ ) 的概率  $= \frac{1}{4}$
  - 至少有一对纯合  $= 1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$



### 解题技巧：条件概率问题

题目： $AaBb$  自交，在  $F_2$  的双显性个体中，基因型为  $AABB$  的概率是多少？

解题：

方法：条件概率公式

$$P(AABB|A\_B\_) = \frac{P(AABB \cap A\_B\_) }{P(A\_B\_) } = \frac{P(AABB)}{P(A\_B\_) }$$

- $P(AABB) = \frac{1}{16}$
- $P(A\_B\_) = \frac{9}{16}$
- $P(AABB|A\_B\_) = \frac{\frac{1}{16}}{\frac{9}{16}} = \frac{1}{9}$

结果：在双显性个体中， $AABB$  占  $\frac{1}{9}$ 。

## 5 第五部分：特殊遗传问题

### 5.1 不完全显性

#### 定义：不完全显性

不完全显性：杂合子的表现型介于两个纯合子之间，如  $AA$ （红色） $\times aa$ （白色） $\rightarrow Aa$ （粉色）。

特点：

- 杂合子表现中间性状
- $F_2$  表现型比例 = 基因型比例 =  $1:2:1$
- 表现型种类 = 基因型种类

### 解题技巧：不完全显性遗传

题目：紫茉莉花色遗传， $RR$ （红花） $\times rr$ （白花） $\rightarrow Rr$ （粉花）。 $F_1$  自交，求  $F_2$  表现型及比例。

解题：

$F_1$ :  $Rr$ （粉花）

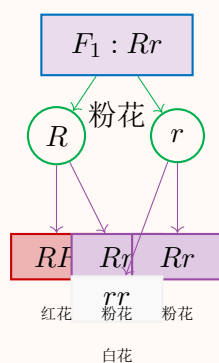
$F_1$  自交:  $Rr \times Rr$

配子:  $R$  ( $\frac{1}{2}$ )、 $r$  ( $\frac{1}{2}$ )

$F_2$  基因型及表现型:

- $RR$ :  $\frac{1}{4}$ （红花）
- $Rr$ :  $\frac{1}{2}$ （粉花）
- $rr$ :  $\frac{1}{4}$ （白花）

结果:  $F_2$  表现型比例 = 红花: 粉花: 白花 = 1 : 2 : 1



$F_2$  比例: 红花: 粉花: 白花 = 1 : 2 : 1

图 5: 不完全显性遗传图解

## 5.2 共显性

### 定义：共显性

共显性：杂合子中两个等位基因都能表达，如  $AB$  血型。

特点：

- 两个等位基因同时表达
- 表现型与基因型一一对应
- 常见的例子:  $ABO$  血型系统中的  $AB$  血型

### 5.3 母本效应

#### 定义：母本效应

**母本效应** (maternal effect)：子代的某些性状由母本的基因型决定，而不是由子代自身的基因型决定。

**特点：**

- 子代表现型取决于母本基因型
- 属于细胞质遗传或早期发育影响
- 正反交结果不同
- 常见于细胞质中的遗传物质（如线粒体、叶绿体）

#### 解题技巧：母本效应遗传

**题目：**紫茉莉叶色遗传，绿色叶片 ( $GG$  或  $Gg$ )  $\times$  白色叶片 ( $gg$ )，正反交结果不同。分析其遗传特点。

**分析：**

**正交：**绿色 ( $GG$ )  $\times$  白色 ( $gg$ )

- 子代基因型：全部  $Gg$
- 子代表现型：全部绿色（由母本绿色决定）

**反交：**白色 ( $gg$ )  $\times$  绿色 ( $GG$ )

- 子代基因型：全部  $Gg$
- 子代表现型：全部白色（由母本白色决定）

**特点：**

- 正反交结果不同
- 子代表现型与母本一致
- 说明叶色由细胞质中的遗传物质控制

**关键点：母本效应与核遗传的区别**

- **核遗传**：子代表现型由子代自身基因型决定，正反交结果相同
- **母本效应**：子代表现型由母本基因型决定，正反交结果不同
- **细胞质遗传**：遗传物质在细胞质中（如线粒体、叶绿体），只通过母本传递
- **判断方法**：通过正反交实验，如果结果不同，可能是母本效应或细胞质遗传

**5.4 基因互作****定义：基因互作**

**基因互作**：多对基因共同控制同一性状，不同基因之间相互作用，导致表现型比例偏离经典的  $9:3:3:1$ 。

**特点**：

- 多对基因控制同一性状
- 基因之间存在相互作用
- 表现型比例发生改变
- 常见类型：互补作用、累加作用、上位作用、抑制作用等

**解题技巧：互补作用 ( $9:7$ )**

**题目**：香豌豆花色遗传， $A\_B\_$  为紫色，其他为白色。 $AaBb$  自交，求  $F_2$  表现型及比例。

**解题**：

$F_1$ :  $AaBb$  (紫色)

$F_1$  自交:  $AaBb \times AaBb$

$F_2$  基因型比例 (正常):  $9:3:3:1$

**表现型分析**：

- $A\_B\_$ :  $\frac{9}{16}$  (紫色, 需要  $A$  和  $B$  同时存在)
- $A\_bb$ :  $\frac{3}{16}$  (白色, 缺少  $B$ )
- $aaB\_$ :  $\frac{3}{16}$  (白色, 缺少  $A$ )
- $aabb$ :  $\frac{1}{16}$  (白色, 缺少  $A$  和  $B$ )

**结果**:  $F_2$  表现型比例 = 紫色: 白色 =  $9:7$

**原理**:  $A$  和  $B$  基因互补, 两者同时存在才表现紫色。

## 解题技巧：累加作用（9:6:1）

题目：南瓜果形遗传， $A\_B\_$  为扁盘形， $A\_bb$  或  $aaB\_$  为圆球形， $aabb$  为长圆形。 $AaBb$  自交，求  $F_2$  表现型及比例。

解题：

$F_1$ :  $AaBb$ （扁盘形）

$F_1$  自交:  $AaBb \times AaBb$

表现型分析：

- $A\_B\_$ :  $\frac{9}{16}$ （扁盘形）
- $A\_bb$ :  $\frac{3}{16}$ （圆球形）
- $aaB\_$ :  $\frac{3}{16}$ （圆球形）
- $aabb$ :  $\frac{1}{16}$ （长圆形）

合并相同表现型：

- 扁盘形:  $\frac{9}{16}$
- 圆球形:  $\frac{3}{16} + \frac{3}{16} = \frac{6}{16}$
- 长圆形:  $\frac{1}{16}$

结果:  $F_2$  表现型比例 = 扁盘形: 圆球形: 长圆形 = 9:6:1

原理: 显性基因数量决定表现型，2 个显性基因 = 扁盘形，1 个 = 圆球形，0 个 = 长圆形。

## 解题技巧：显性上位（12:3:1）

题目：某植物花色遗传， $A\_ \_$  为白色（ $A$  基因上位）， $aaB\_$  为红色， $aabb$  为黄色。 $AaBb$  自交，求  $F_2$  表现型及比例。

解题：

$F_1$ :  $AaBb$ （白色）

$F_1$  自交：  $AaBb \times AaBb$

表现型分析：

- $A\_B\_$ :  $\frac{9}{16}$ （白色， $A$  上位）
- $A\_bb$ :  $\frac{3}{16}$ （白色， $A$  上位）
- $aaB\_$ :  $\frac{3}{16}$ （红色）
- $aabb$ :  $\frac{1}{16}$ （黄色）

合并相同表现型：

- 白色:  $\frac{9}{16} + \frac{3}{16} = \frac{12}{16}$
- 红色:  $\frac{3}{16}$
- 黄色:  $\frac{1}{16}$

结果：  $F_2$  表现型比例 = 白色: 红色: 黄色 = 12:3:1

原理：  $A$  基因对  $B$  基因有上位作用，只要存在  $A$  就表现白色。

## 解题技巧：隐性上位（9:3:4）

题目：某植物花色遗传， $A\_B\_$  为紫色， $A\_bb$  为红色， $aa\_\_\_$  为白色（ $aa$  基因上位）。 $AaBb$  自交，求  $F_2$  表现型及比例。

解题：

$F_1$ :  $AaBb$ （紫色）

$F_1$  自交:  $AaBb \times AaBb$

表现型分析：

- $A\_B\_$ :  $\frac{9}{16}$ （紫色）
- $A\_bb$ :  $\frac{3}{16}$ （红色）
- $aaB\_$ :  $\frac{3}{16}$ （白色， $aa$  上位）
- $aabb$ :  $\frac{1}{16}$ （白色， $aa$  上位）

合并相同表现型：

- 紫色:  $\frac{9}{16}$
- 红色:  $\frac{3}{16}$
- 白色:  $\frac{3}{16} + \frac{1}{16} = \frac{4}{16}$

结果:  $F_2$  表现型比例 = 紫色: 红色: 白色 = 9:3:4

原理:  $aa$  基因对  $B$  基因有上位作用，只要存在  $aa$  就表现白色。

## 解题技巧：抑制作用（13:3）

题目：某植物花色遗传， $A\_bb$  为白色，其他为有色（ $A$  基因抑制  $B$  基因）。 $AaBb$  自交，求  $F_2$  表现型及比例。

解题：

$F_1$ :  $AaBb$ （有色）

$F_1$  自交:  $AaBb \times AaBb$

表现型分析：

- $A\_B\_$ :  $\frac{9}{16}$ （有色）
- $A\_bb$ :  $\frac{3}{16}$ （白色， $A$  抑制  $B$ ）
- $aaB\_$ :  $\frac{3}{16}$ （有色）
- $aabb$ :  $\frac{1}{16}$ （有色）

合并相同表现型：

- 有色:  $\frac{9}{16} + \frac{3}{16} + \frac{1}{16} = \frac{13}{16}$
- 白色:  $\frac{3}{16}$

结果:  $F_2$  表现型比例 = 有色: 白色 = 13:3

原理:  $A$  基因抑制  $B$  基因的表达，只有当  $A\_bb$  时才表现白色。

## 关键点：基因互作类型总结

- 互补作用: 9:7，需要两对显性基因同时存在
- 累加作用: 9:6:1，显性基因数量决定表现型
- 显性上位: 12:3:1，一对显性基因抑制另一对基因
- 隐性上位: 9:3:4，一对隐性基因抑制另一对基因
- 抑制作用: 13:3，一对基因抑制另一对基因的表达
- 判断方法: 根据  $F_2$  表现型比例判断基因互作类型



## 5.5 致死基因

### 定义：致死基因

**致死基因：**某些基因型会导致个体死亡，从而改变正常的分离比。

**类型：**

1. **显性致死：**显性纯合子或杂合子致死
2. **隐性致死：**隐性纯合子致死
3. **配子致死：**某些配子不能存活

### 解题技巧：隐性致死遗传

**题目：**小鼠毛色遗传， $YY$ （黄色）、 $Yy$ （黄色）、 $yy$ （黑色），但  $YY$  胚胎致死。黄色小鼠自交，求子代表现型及比例。

**解题：**

亲本： $Yy$ （黄色， $YY$  致死）

自交： $Yy \times Yy$

正常情况：

- $YY$ :  $\frac{1}{4}$ （致死）
- $Yy$ :  $\frac{1}{2}$ （黄色）
- $yy$ :  $\frac{1}{4}$ （黑色）

考虑致死：

- 存活个体总数  $= \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$
- $Yy$  概率  $= \frac{\frac{1}{2}}{\frac{3}{4}} = \frac{2}{3}$ （黄色）
- $yy$  概率  $= \frac{\frac{1}{4}}{\frac{3}{4}} = \frac{1}{3}$ （黑色）

**结果：**子代表现型比例 = 黄色: 黑色 = 2 : 1

## 解题技巧：显性致死遗传

题目：某植物  $AA$  致死， $Aa$  表现显性性状， $aa$  表现隐性性状。 $Aa$  自交，求子代表现型及比例。

解题：

亲本： $Aa$ （显性性状）

自交： $Aa \times Aa$

正常情况：

- $AA$ :  $\frac{1}{4}$ （致死）
- $Aa$ :  $\frac{1}{2}$ （显性）
- $aa$ :  $\frac{1}{4}$ （隐性）

考虑致死：

- 存活个体总数  $= \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$
- $Aa$  概率  $= \frac{\frac{1}{2}}{\frac{3}{4}} = \frac{2}{3}$ （显性）
- $aa$  概率  $= \frac{\frac{1}{4}}{\frac{3}{4}} = \frac{1}{3}$ （隐性）

结果：子代表现型比例 = 显性：隐性 = 2 : 1

## 解题技巧：配子致死

题目：某植物  $Aa$  产生配子时， $A$  配子致死。 $Aa$  自交，求子代表现型及比例。

解题：

亲本： $Aa$

配子产生：

- $A$  配子：致死（不能形成）
- $a$  配子：正常（占 1）

实际配子：只有  $a$  配子

自交： $a \times a \rightarrow aa$

结果：子代全部为  $aa$ （隐性性状），比例 1 : 0

## 解题技巧：合子致死

题目：某植物  $Aa \times Aa$ ，其中  $Aa$  合子致死。求子代表现型及比例。

解题：

正常情况：

- $AA$ :  $\frac{1}{4}$  (显性)
- $Aa$ :  $\frac{1}{2}$  (致死)
- $aa$ :  $\frac{1}{4}$  (隐性)

考虑致死：

- 存活个体总数  $= \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$
- $AA$  概率  $= \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2}$  (显性)
- $aa$  概率  $= \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2}$  (隐性)

结果：子代表现型比例 = 显性: 隐性 = 1 : 1

## 解题技巧：条件致死

题目：某植物在高温条件下， $aa$  致死；在常温条件下正常。 $Aa$  在常温下自交，然后  $F_1$  在高温下培养，求存活个体的表现型及比例。

解题：

常温下  $Aa \times Aa$ ：

- $AA$ :  $\frac{1}{4}$
- $Aa$ :  $\frac{1}{2}$
- $aa$ :  $\frac{1}{4}$

高温条件下， $aa$  致死：

存活个体：

- 存活总数  $= \frac{1}{4} + \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$
- $AA$  概率  $= \frac{\frac{1}{4}}{\frac{3}{4}} = \frac{1}{3}$  (显性)
- $Aa$  概率  $= \frac{\frac{1}{2}}{\frac{3}{4}} = \frac{2}{3}$  (显性)

结果：高温下存活个体全部表现显性性状。

**关键点：致死基因的类型总结**

- **显性致死**：显性纯合子或杂合子致死，改变 3 : 1 比例
- **隐性致死**：隐性纯合子致死，改变 3 : 1 比例
- **配子致死**：某些配子不能形成，严重影响子代比例
- **合子致死**：某些合子不能发育，改变正常分离比
- **条件致死**：在特定条件下致死，需要分条件计算
- **计算方法**：先按正常情况计算，然后除去致死个体，重新计算比例

## 6 第六部分：连锁遗传与互换

### 6.1 连锁遗传的基本概念

**定义：连锁遗传**

**连锁遗传**：控制不同性状的基因位于同一对同源染色体上，在形成配子时，这些基因倾向于连在一起传递给子代。

**特点**：

- 两对或两对以上的基因位于同一对同源染色体上
- 基因不遵循自由组合定律
- 表现型比例偏离 9 : 3 : 3 : 1
- 亲本型配子多于重组型配子

**定义：完全连锁与不完全连锁**

**完全连锁**：位于同一染色体上的基因完全不分离，只产生亲本型配子。

**不完全连锁**：由于同源染色体之间的交叉互换，产生部分重组型配子。

**互换（交叉互换）**：减数分裂过程中，同源染色体的非姐妹染色单体之间发生片段交换。

**遗传定律：连锁遗传的规律**

连锁定律：

1. 位于同一染色体上的基因连锁遗传
2. 互换概率 = 重组型配子比例
3. 互换概率 =  $\frac{\text{重组型个体数}}{\text{总个体数}} \times 100\%$
4. 互换概率的范围： $0\% \leq \text{互换概率} \leq 50\%$

**6.2 连锁遗传的配子类型****解题技巧：完全连锁遗传**

题目：果蝇灰身长翅（ $BBVV$ ）与黑身残翅（ $bbvv$ ）杂交， $B$  和  $V$  基因完全连锁。求  $F_1$  产生的配子类型及  $F_2$  表现型比例。

解题：

亲本： $BBVV$ （灰身长翅） $\times$   $bbvv$ （黑身残翅）

$F_1$ ： $BbVv$ （灰身长翅）

完全连锁时：

$F_1$  产生配子：

- $BV$ :  $\frac{1}{2}$ （亲本型）
- $bv$ :  $\frac{1}{2}$ （亲本型）
- 无重组型配子

$F_1$  自交： $BV/bv \times BV/bv$

$F_2$  表现型：

- 灰身长翅（ $BBVV$ 、 $BbVv$ ）： $\frac{3}{4}$
- 黑身残翅（ $bbvv$ ）： $\frac{1}{4}$

结果： $F_2$  表现型比例 = 灰身长翅：黑身残翅 = 3 : 1（只有两种表现型）

### 解题技巧：不完全连锁遗传

题目：果蝇灰身长翅（ $BBVV$ ）与黑身残翅（ $bbvv$ ）杂交， $B$  和  $V$  基因不完全连锁，互换概率为 20%。求  $F_1$  产生的配子类型及比例。

解题：

亲本： $BBVV$ （灰身长翅） $\times$   $bbvv$ （黑身残翅）

$F_1$ :  $BV/bv$ （灰身长翅， $B$  和  $V$  连锁， $b$  和  $v$  连锁）

配子类型及比例：

亲本型配子（不发生互换）：

- $BV$ :  $\frac{1-0.2}{2} = 40\%$
- $bv$ :  $\frac{1-0.2}{2} = 40\%$

重组型配子（发生互换）：

- $Bv$ :  $\frac{0.2}{2} = 10\%$
- $bV$ :  $\frac{0.2}{2} = 10\%$

结果：配子比例 =  $BV : bv : Bv : bV = 40\% : 40\% : 10\% : 10\% = 4 : 4 : 1 : 1$

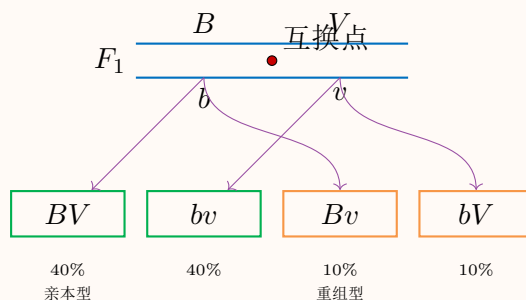


图 6: 不完全连锁遗传的配子形成

### 6.3 互换概率的计算

#### 解题技巧：计算互换概率

题目：果蝇  $BV/bv$  与  $bv/bv$  测交，子代表现型及数量为：

- 灰身长翅：420 只
- 黑身残翅：430 只
- 灰身残翅：45 只
- 黑身长翅：55 只

求  $B$  和  $V$  基因之间的互换概率。

解题：

步骤 1：确定亲本型和重组型

亲本型（数量多）：

- 灰身长翅：420 只
- 黑身残翅：430 只

重组型（数量少）：

- 灰身残翅：45 只
- 黑身长翅：55 只

步骤 2：计算总数和重组型总数

$$\text{总数} = 420 + 430 + 45 + 55 = 950 \text{ 只}$$

$$\text{重组型总数} = 45 + 55 = 100 \text{ 只}$$

步骤 3：计算互换概率

$$\text{互换概率} = \frac{\text{重组型总数}}{\text{总个体数}} \times 100\% = \frac{100}{950} \times 100\% \approx 10.5\%$$

结果： $B$  和  $V$  基因之间的互换概率约为 10.5%

## 6.4 逆推互换概率

## 解题技巧：逆推互换概率

题目：已知果蝇  $BV/bv$  自交， $F_2$  中：

- 灰身长翅：72%
- 黑身残翅：22%
- 灰身残翅：3%
- 黑身长翅：3%

求  $B$  和  $V$  基因之间的互换概率。

解题：

方法一：通过重组型比例计算

重组型比例 =  $3\% + 3\% = 6\%$

由于  $F_1$  自交，重组型配子产生的重组型个体比例为：

- 重组型配子比例 =  $\sqrt{0.06} \approx 0.245$
- 互换概率 =  $0.245 \times 2 = 0.49 = 49\%$

方法二：通过配子比例计算

设互换概率为  $x$ ，则：

- 亲本型配子： $BV$  和  $bv$ ，各占  $\frac{1-x}{2}$
- 重组型配子： $Bv$  和  $bV$ ，各占  $\frac{x}{2}$

$F_1$  自交， $F_2$  中重组型个体比例 =  $2 \times \frac{1-x}{2} \times \frac{x}{2} + 2 \times \frac{x}{2} \times \frac{x}{2} = x(1-x) + x^2 = x$

因此： $x = 6\%$

结果：互换概率 =  $6\%$

注意： $F_1$  自交时，重组型个体比例 = 互换概率

## 关键点：互换概率计算要点

- 测交法：互换概率 =  $\frac{\text{重组型个体数}}{\text{总个体数}}$
- 自交法： $F_1$  自交时，重组型个体比例 = 互换概率
- 配子法：重组型配子比例 =  $\frac{\text{互换概率}}{2}$
- 范围： $0\% \leq \text{互换概率} \leq 50\%$
- 距离关系：基因距离越远，互换概率越大



## 7 第七部分：伴性遗传

### 7.1 伴性遗传的基本概念

#### 定义：伴性遗传

**伴性遗传：**控制性状的基因位于性染色体（ $X$  或  $Y$  染色体）上，因此性状的遗传与性别相关联。

**特点：**

- 基因位于性染色体上
- 遗传方式与性别相关
- 正反交结果不同
- 常见类型： $X$  连锁显性、 $X$  连锁隐性、 $Y$  连锁

#### 定义：性染色体

**$X$  染色体：**雌性有两条  $X$  染色体（ $XX$ ），雄性有一条  $X$  染色体和一条  $Y$  染色体（ $XY$ ）。

**$Y$  染色体：**只在雄性中存在，长度较短，基因较少。

**性连锁：**位于性染色体上的基因，其遗传方式与性别相关。

## 7.2 X 连锁隐性遗传

## 解题技巧：X 连锁隐性遗传

题目：人类红绿色盲是 X 连锁隐性遗传病，正常基因为  $X^B$ ，色盲基因为  $X^b$ 。正常男性与携带者女性婚配，求子代的基因型和表现型。

解题：

亲本： $X^B Y$ （正常男性） $\times$   $X^B X^b$ （携带者女性）

父本配子： $X^B$  ( $\frac{1}{2}$ )、 $Y$  ( $\frac{1}{2}$ )

母本配子： $X^B$  ( $\frac{1}{2}$ )、 $X^b$  ( $\frac{1}{2}$ )

子代基因型及表现型：

- $X^B X^B$ :  $\frac{1}{4}$ （正常女性）
- $X^B X^b$ :  $\frac{1}{4}$ （携带者女性，表现正常）
- $X^B Y$ :  $\frac{1}{4}$ （正常男性）
- $X^b Y$ :  $\frac{1}{4}$ （色盲男性）

结果：

- 女性：正常：携带者 = 1 : 1（全部表现正常）
- 男性：正常：色盲 = 1 : 1
- 总体：正常：色盲 = 3 : 1

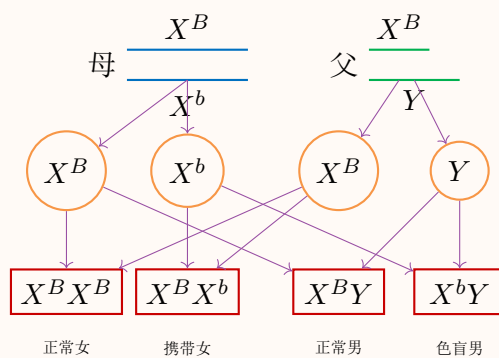


图 7: X 连锁隐性遗传图解

**关键点：X 连锁隐性遗传的特点**

- 男性患者多于女性患者
- 交叉遗传：男性患者将基因传给女儿，女儿传给外孙
- 女性携带者与正常男性婚配，儿子有一半概率患病
- 常见疾病：红绿色盲、血友病、进行性肌营养不良

**7.3 X 连锁显性遗传****解题技巧：X 连锁显性遗传**

**题目：**抗维生素 D 佝偻病是 X 连锁显性遗传病，正常基因为  $X^d$ ，患病基因为  $X^D$ 。患病男性与正常女性婚配，求子代的基因型和表现型。

**解题：**

亲本： $X^D Y$ （患病男性） $\times$   $X^d X^d$ （正常女性）

父本配子： $X^D$  ( $\frac{1}{2}$ )、 $Y$  ( $\frac{1}{2}$ )

母本配子： $X^d$  (1)

子代基因型及表现型：

- $X^D X^d$ :  $\frac{1}{2}$ （患病女性）
- $X^d Y$ :  $\frac{1}{2}$ （正常男性）

**结果：**

- 女性：全部患病
- 男性：全部正常
- 总体：患病: 正常 = 1 : 1

**关键点：X 连锁显性遗传的特点**

- 女性患者多于男性患者
- 男性患者将基因传给所有女儿
- 女性患者可以是杂合子或纯合子
- 常见疾病：抗维生素 D 佝偻病、遗传性肾炎

## 7.4 Y 连锁遗传

### 定义：Y 连锁遗传

**Y 连锁遗传：**基因位于 Y 染色体上，只在男性中遗传和表达。

**特点：**

- 只在男性中表现
- 父传子，子传孙
- 女性不患病，也不传递
- 常见例子：外耳道多毛症

### 解题技巧：Y 连锁遗传

**题目：**外耳道多毛症是 Y 连锁遗传。患病男性与正常女性婚配，分析子代的遗传情况。

**解题：**

亲本： $XY^H$ （患病男性） $\times$   $XX$ （正常女性）

子代：

- 男性：全部  $XY^H$ （全部患病）
- 女性：全部  $XX$ （全部正常）

**特点：**

- 只有男性患病
- 父传子，代代相传
- 女性不患病，也不传递

### 关键点：伴性遗传的判断方法

- 正反交结果不同：可能是伴性遗传
- 与性别相关：男性与女性表现不同
- 交叉遗传：X 连锁隐性遗传的特征
- 父传子：Y 连锁遗传的特征
- 通过系谱图分析：观察遗传方式与性别的关系

## 8 第八部分：人类遗传病与系谱图

### 8.1 系谱图的绘制规范

#### 定义：系谱图

**系谱图** (pedigree chart)：用特定符号表示家族中个体之间关系的图示，用于分析遗传病的遗传方式。

**常用符号：**

- 方形 (□)：男性
- 圆形 (○)：女性
- 实心 (■、●)：患病个体
- 空心 (□、○)：正常个体
- 横线 (—)：婚姻关系
- 竖线 (|)：亲子关系
- 罗马数字 (I、II、III)：世代
- 阿拉伯数字 (1、2、3)：同代个体编号

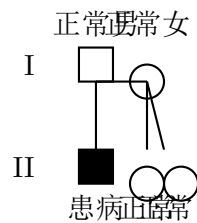


图 8: 系谱图符号示例

### 8.2 常见遗传病的遗传方式

#### 关键点：人类常见遗传病

- 常染色体显性：多指、并指、软骨发育不全
- 常染色体隐性：白化病、苯丙酮尿症、镰刀型细胞贫血症
- X 连锁显性：抗维生素 D 佝偻病
- X 连锁隐性：红绿色盲、血友病、进行性肌营养不良
- Y 连锁：外耳道多毛症

## 8.3 系谱图分析方法

## 解题技巧：系谱图分析

题目：分析以下系谱图的遗传方式。

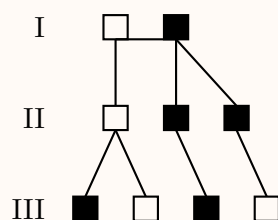


图 9: 系谱图分析示例

分析步骤：

步骤 1：判断显隐性

- II-1 和 II-2 都正常，但 III-1 患病
- 说明是隐性遗传（无中生有）

步骤 2：判断常染色体还是性染色体

- 如果是  $X$  连锁隐性，II-1 正常，III-1 不应该患病
- 但 III-1 是男性患者，说明可能是常染色体隐性
- 如果是  $X$  连锁隐性，II-2 应该是携带者，但 III-2 正常，不符合
- 因此判断为常染色体隐性遗传

步骤 3：确定基因型

- I-1:  $AA$ （正常）
- I-2:  $aa$ （患病）
- II-1:  $Aa$ （正常，携带者）
- II-2:  $Aa$ （正常，携带者）
- III-1:  $aa$ （患病）
- III-2:  $AA$  或  $Aa$ （正常）

结果：该遗传病为常染色体隐性遗传。

**关键点：系谱图判断技巧**

- 无中生有为隐性：父母都正常，子代患病
- 有中生无为显性：父母都患病，子代正常
- 隐性看女病：隐性遗传时，看女性患者的父、子
- 显性看男病：显性遗传时，看男性患者的母、女
- 伴性遗传特点：与性别相关，交叉遗传

**8.4 概率计算****解题技巧：系谱图概率计算**

题目：上例中，III-2 与一个正常女性（人群中携带者概率为  $\frac{1}{100}$ ）婚配，求子代患病的概率。

解题：

III-2 的基因型：AA 或 Aa

III-2 是 Aa 的概率 =  $\frac{2}{3}$ （因为 III-2 正常，排除 aa）

正常女性是 Aa 的概率 =  $\frac{1}{100}$

子代患病（aa）的条件：

- III-2 是 Aa（概率  $\frac{2}{3}$ ）
- 正常女性是 Aa（概率  $\frac{1}{100}$ ）
- 两者都是 Aa 时，子代 aa 的概率 =  $\frac{1}{4}$

子代患病概率 =  $\frac{2}{3} \times \frac{1}{100} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{600}$

结果：子代患病概率为  $\frac{1}{600}$ 。

**9 第九部分：育种应用**

## 9.1 单倍体育种

### 定义：单倍体育种

**单倍体育种：**通过花药（花粉）离体培养获得单倍体植株，然后通过染色体加倍获得纯合子，从而缩短育种年限的方法。

**优点：**

- 快速获得纯合子，缩短育种年限
- 后代不发生性状分离
- 可用于筛选优良性状



### 解题技巧：单倍体育种过程

过程：

步骤 1：花药离体培养

- 取  $F_1$  的花药 ( $AaBb$ )
- 花药中的花粉是单倍体 ( $AB$ 、 $Ab$ 、 $aB$ 、 $ab$ )
- 通过组织培养获得单倍体植株

步骤 2：染色体加倍

- 使用秋水仙素处理单倍体植株
- 抑制纺锤体形成，使染色体加倍
- 获得纯合二倍体 ( $AABB$ 、 $AAbb$ 、 $aaBB$ 、 $aabb$ )

步骤 3：筛选

- 选择具有优良性状的纯合子
- 直接用于生产，不发生性状分离

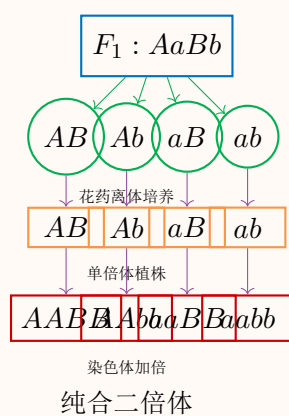


图 10: 单倍体育种过程

## 9.2 无籽西瓜（三倍体）

### 定义：三倍体

**三倍体：**体细胞中含有三套染色体组的个体，染色体数为  $3n$ 。

**特点：**

- 减数分裂时染色体不能正常配对
- 产生的配子大多不正常
- 无法形成正常的种子
- 应用：无籽西瓜、无籽香蕉

解题技巧：无籽西瓜的培育

**原理：**三倍体西瓜在减数分裂时，同源染色体不能正常配对，导致配子染色体数异常，无法形成正常的种子。

**培育过程：**

**步骤 1：获得四倍体**

- 用秋水仙素处理二倍体西瓜 ( $2n = 22$ )
- 染色体加倍，获得四倍体 ( $4n = 44$ )

**步骤 2：获得三倍体**

- 四倍体 ( $4n$ )  $\times$  二倍体 ( $2n$ )
- 子代为三倍体 ( $3n = 33$ )

**步骤 3：产生无籽西瓜**

- 三倍体植株开花
- 用二倍体花粉刺激（提供生长素）
- 果实发育，但种子不发育（无籽）

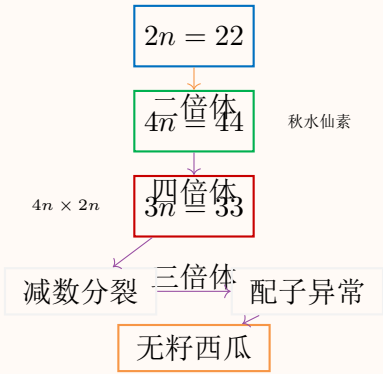


图 11: 无籽西瓜培育过程

**关键点：三倍体无籽的原理**

- **减数分裂异常：**三倍体减数分裂时，同源染色体不能正常配对
- **配子异常：**产生的配子染色体数大多不正常（ $n$ 、 $2n$ 、 $0$  等）
- **无法受精：**异常配子无法正常受精，不能形成种子
- **需要刺激：**用二倍体花粉刺激，提供生长素，使果实发育
- **应用：**无籽西瓜、无籽香蕉、无籽柑橘

## 10 第十部分：解题技巧总结与快速参考

### 10.1 配子法解题流程

**关键点：配子法标准流程**

#### 1. 确定亲本基因型

- 直接给出
- 通过表现型推断
- 通过子代逆推

#### 2. 分析配子类型及比例

- 每对基因独立分离
- 多对基因自由组合
- 注意纯合子只产生一种配子

#### 3. 计算配子结合概率

- 使用棋盘格（直观）
- 使用概率乘法（快捷）

#### 4. 统计子代结果

- 合并相同基因型
- 根据显隐性确定表现型
- 计算比例或概率

## 10.2 常见比例及对应基因型

### 关键点：经典分离比

- 3 : 1:  $Aa \times Aa$  (完全显性,  $F_2$ )
- 1 : 1:  $Aa \times aa$  (测交)
- 1 : 2 : 1:  $Aa \times Aa$  (不完全显性,  $F_2$ )
- 9 : 3 : 3 : 1:  $AaBb \times AaBb$  (两对独立基因,  $F_2$ )
- 1 : 1 : 1 : 1:  $AaBb \times aabb$  (测交)
- 3 : 3 : 1 : 1:  $AaBb \times Aabb$  或  $AaBb \times aaBb$
- 27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1:  $AaBbCc \times AaBbCc$  (三对独立基因,  $F_2$ )
- 9 : 7: 互补作用 (基因互作)
- 9 : 6 : 1: 累加作用 (基因互作)
- 12 : 3 : 1: 显性上位 (基因互作)
- 9 : 3 : 4: 隐性上位 (基因互作)
- 13 : 3: 抑制作用 (基因互作)
- 2 : 1: 显性致死或隐性致死

### 10.3 快速计算方法

#### 解题技巧：分离定律快速计算

对于独立遗传的多对基因，可以分别计算每对基因，然后相乘。

公式：

- 子代基因型种类 =  $\prod_{i=1}^n m_i$  ( $m_i$  为第  $i$  对基因的子代基因型种类)
- 子代表现型种类 =  $\prod_{i=1}^n p_i$  ( $p_i$  为第  $i$  对基因的子代表现型种类)
- 特定基因型概率 =  $\prod_{i=1}^n P_i$  ( $P_i$  为第  $i$  对基因的相应基因型概率)

例子： $AaBbCc \times AabbCc$

第一对 ( $Aa \times Aa$ ):  $AA$  ( $\frac{1}{4}$ )、 $Aa$  ( $\frac{1}{2}$ )、 $aa$  ( $\frac{1}{4}$ )

第二对 ( $Bb \times bb$ ):  $Bb$  ( $\frac{1}{2}$ )、 $bb$  ( $\frac{1}{2}$ )

第三对 ( $Cc \times Cc$ ):  $CC$  ( $\frac{1}{4}$ )、 $Cc$  ( $\frac{1}{2}$ )、 $cc$  ( $\frac{1}{4}$ )

子代  $AabbCc$  的概率 =  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$

### 10.4 易错点提醒

#### 注意事项：常见错误

1. 配子类型遗漏：多对基因时，注意配子种类数 =  $2^n$  ( $n$  为杂合对数)
2. 比例计算错误：合并相同基因型时，概率要相加
3. 显隐性判断：注意不完全显性、共显性等特殊情况
4. 独立遗传假设：确认基因是否位于非同源染色体上
5. 条件概率：注意题目问的是“在... 中”的条件概率
6. 致死基因：考虑致死基因型后，要重新计算比例
7. 连锁遗传：注意区分连锁遗传和独立遗传，互换概率的范围
8. 伴性遗传：注意性染色体的遗传方式，正反交结果不同
9. 基因互作：注意表现型比例偏离 9:3:3:1 的情况
10. 系谱图分析：注意判断显隐性和常染色体/性染色体
11. 三倍体：注意三倍体减数分裂异常，配子大多不正常
12. 母本效应：注意正反交结果不同，子代表现型由母本决定

## 11 附录：公式速查表

### 11.1 配子种类计算公式

#### 关键点：配子种类数

- 一对等位基因： $Aa$  产生 2 种配子
- $n$  对独立等位基因：产生  $2^n$  种配子
- 杂合对数  $m$ ：产生  $2^m$  种配子
- 纯合子：只产生 1 种配子

### 11.2 子代基因型和表现型种类

#### 关键点：种类数计算

- 基因型种类：
  - 一对基因：3 种 ( $AA$ 、 $Aa$ 、 $aa$ )
  - $n$  对独立基因： $3^n$  种
- 表现型种类（完全显性）：
  - 一对基因：2 种
  - $n$  对独立基因： $2^n$  种
- 表现型种类（不完全显性）：
  - 一对基因：3 种
  - $n$  对独立基因： $3^n$  种

### 11.3 概率计算技巧

#### 关键点：概率计算

- 乘法原理：独立事件同时发生的概率 = 各事件概率的乘积
- 加法原理：互斥事件任一发生的概率 = 各事件概率的和
- 条件概率： $P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$
- 至少一个： $P(\text{至少一个}) = 1 - P(\text{全不})$

### 11.4 三对等位基因计算公式

#### 关键点：三对等位基因

- 配子种类： $2^3 = 8$  种
- 基因型种类： $3^3 = 27$  种
- 表现型种类（完全显性）： $2^3 = 8$  种
- 表现型比例： $(3:1)^3 = 27:9:9:9:3:3:3:1$
- 计算方法：分离定律分别计算，然后用乘法原理组合

### 11.5 连锁遗传计算公式

#### 关键点：连锁遗传

- 互换概率（测交法）： $r = \frac{\text{重组型个体数}}{\text{总个体数}} \times 100\%$
- 互换概率（自交法）： $r = \frac{\text{重组型个体比例}}{1} \times 100\%$
- 重组型配子比例： $\frac{r}{2}$
- 亲本型配子比例： $\frac{1-r}{2}$ （每种）
- 范围： $0\% \leq r \leq 50\%$
- 完全连锁： $r = 0\%$ ，只有亲本型配子
- 独立遗传： $r = 50\%$ ，等于自由组合

### 11.6 伴性遗传计算公式

#### 关键点：伴性遗传

- X 连锁隐性：男性患者比例 = 基因频率
- X 连锁显性：女性患者多于男性患者
- Y 连锁：只在男性中遗传，父传子
- 交叉遗传：男性患者  $\rightarrow$  女儿（携带者） $\rightarrow$  外孙（患者）
- 概率计算：考虑性别比例，X 染色体随机分配



### 11.7 基因互作比例

#### 关键点：基因互作

- 互补作用：9 : 7（需要两对显性基因）
- 累加作用：9 : 6 : 1（显性基因数量决定）
- 显性上位：12 : 3 : 1（一对基因抑制另一对）
- 隐性上位：9 : 3 : 4（一对隐性基因抑制另一对）
- 抑制作用：13 : 3（一对基因抑制另一对的表达）
- 基础比例：独立遗传时为 9 : 3 : 3 : 1

### 11.8 致死基因计算

#### 关键点：致死基因

- 存活个体比例： $1 - P(\text{致死基因型})$
- 调整后比例： $\frac{P(\text{基因型})}{P(\text{存活})}$
- 显性致死：显性纯合子或杂合子致死
- 隐性致死：隐性纯合子致死
- 配子致死：某些配子不能形成
- 合子致死：某些合子不能发育