

例题 15：在一系列两点实验中，得到下列互换数据（以图距表示）：

基因座 S 到 D 的图距为 2，

R 到 S 的图距是 9，

P 到 S 的图距是 8，

D 到 R 的图距是 11，

D 到 P 的图距是 6。

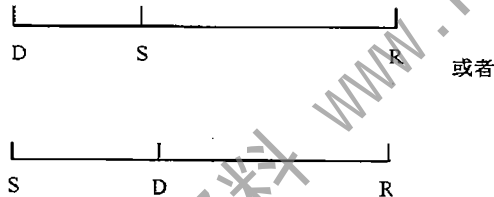
试确定这些基因的顺序和相对距离（要求写出分析思路）。（北京师范大学 1991 年考研试题）

知识要点

在一定范围内图距就代表了基因间的交换值，两个基因之间图距越大发生交换的概率越高。

解题思路

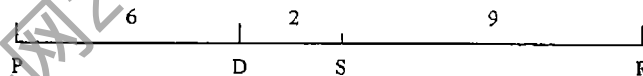
1. 首先确定 D 到 R 距离最远，D 到 S 最近。因此三个基因的顺序可能为



2. 根据 S 到 D 的图距为 2，R 到 S 的是 9， $2+9=11$ ，刚好是 S 到 D 的值加上 R 到 S 的值，说明 S 在 D 和 R 之间。

3. 根据 P 到 S 的是 8 和 D 到 P 的是 6，说明 D 在 P 和 S 之间。

标准答案



例题 16：在果蝇中，黄体（ y ）、白眼（ w ）和残翅（ ct ）这三个隐性性状与 X 染色体连锁，现将一具有黄体白眼和正常翅膀的雌性果蝇和一正常的体色和眼睛，但为残翅的雄性果蝇交配， F_1 雌性果蝇三个性状均表现为野生型，而雄性果蝇表现出黄体白眼和正常翅膀的性状。 F_1 雌雄果蝇交配得到 F_2 代， F_2 代雄性个体的表现型如下：

$y+ct$	9	$+w+$	6
$ywct$	90	$+++$	95
$++ct$	424	$yw+$	376
$y++$	0	$+wct$	0

- (1) 写出亲本及 F_1 代雌雄个体的基因型。
- (2) 计算基因的图距，绘出遗传图谱。
- (3) F_2 代中的雌性群体能否用于构建图谱？为什么？（四川大学 2004 年考研试题）

知识要点

1. 果蝇的性染色体组成是 XY 型，即雄蝇具有 XY 性染色体，雌蝇具有 XX 性染色体。
2. 伴性遗传 (sex-linked inheritance) (见例题 7)。
3. 三点测验 (见例题 7)。

解题思路

1. 根据知识要点 1 和 2，表现型是黄体白眼和正常翅膀的雌性的基因型是 $yvw++$ ，正常的体色和眼睛但是残翅的雄性果蝇的基因型是 $++ct/Y$ 。因此雌性亲本产生一种基因型的卵细胞： $yw+$ ，雄性亲本产生两种类型的精子： Y 和 $++ct$ 。精子和卵细胞结合后产生的 F_1 代的基因型为： $yw+/++ct$ (雌) 和 $yw+/Y$ (雄)。

2. 根据知识要点 3，由于三个基因均位于 X 染色体上，因此是连锁的关系。根据题意由于 F_2 代雄蝇的 $y++$ 和 $++wct$ 表型的个体为 0，说明没有双交换的产物。其余六种基因型其中两种亲本型 ($++ct$ 和 $yw+$)，两种单交换 1 型 ($ywct$ 和 $+++$)，和单交换 2 型组成 ($y+ct$ 和 $++w$)。然后可根据给定的数值计算出两种单交换的值，绘出连锁图。

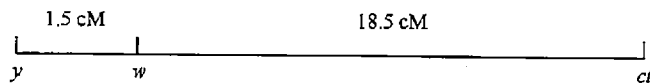
3. 由于 F_2 代雌蝇是由 F_1 的雄蝇产生的 $yw+$ 精子和雌蝇产生的 6 种类型的卵细胞结合后产生的。因此根据 F_2 每一种类型的表现型不能确定其基因型，因此不能用来计算重组值。

标准答案

(1) 亲本的基因型分别是： $yvw++$ (雌) 和 $++ct/Y$ (雄)

F_1 代雌雄个体基因型分别是： $yw+/++c$ (雌) 和 $yw+/Y$ (雄)

(2) w 和 ct 之间图距为 18.5 cM， w 和 y 之间的图距为 1.5 cM， y 和 ct 之间图距为 20 cM。



(3) 不能，因为根据雌性群体的表现型没有办法确定其基因型，因此没有办法计算基因之间的重组值。

例题 17：两个看起来正常的果蝇杂交，得到的后代如下：

雌性：+++	2000
雄性：+++	3
abc	1
+bc	839
a++	835
ab+	86
++c	90
a+c	81
+b+	75
合计	4000

问：双亲的基因型？*abc* 三个基因的遗传图及并发系数如何？（河南师范大学 1999 年考研试题）

知识要点

1. 伴性遗传的特点之一是杂交后代的表现型和性别相关。
2. 同例题 5、例题 16。

解题思路

1. 根据题意由于杂交得到的后代表型和性别相关，可以判断这三个基因是属于伴 X 遗传的雌蝇表现型为三个显性性状，而雄蝇是 8 种表现型，说明亲本雄蝇的基因型是 +++/Y，雌蝇基因型是 +a+/b+c。

2. 由于雄果蝇完全连锁，因此交换是发生在雌性果蝇的 X 染色体的非姐妹染色单体之间。基因间的连锁关系可以通过雄性后代的数值来确定。根据三个基因交换的特点将获得的子代雄蝇分为亲本型（+bc、a++）、单交换 1（ab+、++c）、单交换 2（a+c、+b+）和双交换型（abc、+++）。将亲本型和双交换型的相比较发现 *a* 基因的相对位置发生了变化，即可判断出 *a* 基因位于中间。

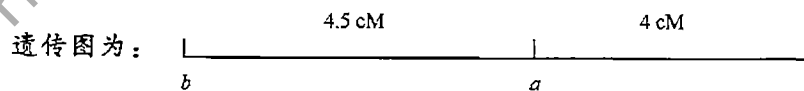
3. 根据重组值计算公式分别计算 *ab* 和 *ac* 之间的重组值：

$$RF(a-b) = 4.5\% ; RF(a-c) = 4\% , \text{即可绘出遗传图。}$$

$$\text{并发系数} = \text{实际双交换} / \text{理论双交换} = 0.1\% / (4.5\% \times 4\%) = 0.56。$$

标准答案

亲本的基因型是：雌性，+a+/b+c；雄性，+++/Y。



并发系数为 0.56。

例题 18：携带基因 *a* 的链孢霉品系与携带基因 *b* 的品系杂交，结果如下：

①	$a+$	$a+$	$+b$	$+b$	78%
②	$a+$	$++$	ab	$+b$	15%
③	$a+$	ab	$++$	$+b$	6%
④	$a+$	$+b$	$a+$	$+b$	1%

问：(1) a 和 b 与着丝粒的重组值是多少？

(2) a 与 b 连锁吗？若连锁请绘出 a 、 b 及着丝粒的遗传图。(河南师范大学 1999 年考研试题)

知识要点

1. 链孢霉生活史及有性生殖特点 (见例题 14)。
2. 四分子分析与着丝粒作图的方法 (见例题 14)。

解题思路

1. 携带 a 基因的品系基因型为 $a+$ ，携带 b 基因的品系基因型为 $+b$ ，因此，可以将结果中的四种类型四分子进行分析如下：(1)、(4) 为 PD 型，即四个四分子均为亲本型；(2)、(3) 为 T 型，即四个四分子中两个是亲本型，两个是交换型的。根据题中比例，由于亲本型四分子的比例是 78%，远远大于交换型的，因此 a 、 b 基因是连锁的。并且 ab 之间的重组值为：

$$RF(a-b) = [(15\% + 6\%) / 2] / 100\% = 10.5\%$$

2. 分别判断 ab 基因的分离模式。 ab 基因在 (1) (2) (3) (4) 种类型的四分子中的分离模式分别为：MIMI、MIMI、MIMI、MIMI。根据着丝粒作图的重组值计算公式分别计算着丝粒和 a 的重组值、着丝粒和 b 的重组值。

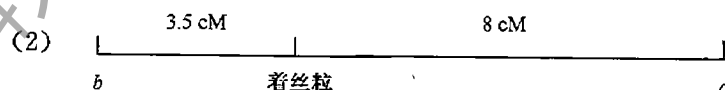
$$RF(\text{着丝粒}-a) = \frac{MII \times 1/2}{MI + MII} \times 100\% = 8\%$$

$$RF(\text{着丝粒}-b) = \frac{MII \times 1/2}{MI + MII} \times 100\% = 3.5\%$$

根据着丝粒和 ab 基因及 ab 基因间的重组值大小可以判断出着丝粒位于 b 基因和 a 基因之间。

标准答案

(1) a 到着丝粒的距离为 8 cM， b 到着丝粒的距离为 3.5 cM。



例题 19：假如果蝇有 A 、 B 两个连锁基因，相距 14 个图距单位，那么 ab/AB (雌) $\times ab/ab$ (雄) 杂交，请你预计 1000 个子代中各种基因型子代的个数有多

少？如果反交呢？（厦门大学 1999 年考研试题）

知识要点

1. 正反交的概念。

正反交是相对的，如果表现型为 A 的作父本，表现型为 a 的作母本为正交，那么 a 作父本 A 作母本时就叫反交。对于伴性遗传和细胞质遗传来说正反交的结果是不一样的，而对于细胞核遗传来说正反交的结果是一样的。

2. 连锁遗传概念及特点（见例题 2、例题 3）。

3. 相引相和相斥相的概念（见例题 2）。

4. 霍尔丹定律：1922 年英国的霍尔丹（J. B. S Haldane）提出“凡是较少发生交换的个体必定是异配性别个体”。

解题思路

题中杂交亲本的基因型中雌性是双杂合体，并且 AB 两个基因连锁，因此雌性亲本可以产生四种类型的配子，由于是相引相，并且 AB 的交换值是 14%，因此四种配子中 AB、ab 是亲本型，比例均为 43%，Ab、aB 是交换型配子，比例均为 7%。雄性是双隐性纯合体因此只产生 ab 一种类型的配子。据此即可计算出 1000 个子代中各种基因型的数目。

如果反交，根据霍尔丹定律雄蝇是完全连锁的，因此当雄蝇基因型为 AB/ab 时，只能产生 AB 和 ab 两种类型配子，各占 50%。1000 个子代中 AaBb 和 aabb 基因型子代各 500 只。

标准答案

雌性果蝇和基因型为 ab/ab 的雄性果蝇杂交后产生的 1000 个子代中各基因型子代的个数分别为：

AaBb 430

aabb 430

Aabb 70

aaBb 70

如果是反交，由于雄性果蝇是完全连锁的，因此只能产生两种相同比例的配子 AB 和 ab。所以 1000 个子代中 aabb 和 AaBb 各 500 只。

【试题荟萃】

一、名词解释

1. 图距单位（中国科学院水生生物所 2001 年考研试题）
2. 双交换（中国科学院水生生物所 2005 年考研试题）
3. 连锁群（南开大学 2003 年考研试题）

4. 干涉 (南开大学 2001 年、云南大学 2003 年考研试题)
5. 四分子分析 (中国科学院昆明植物所 2002 年考研试题)
6. 交换值 (中国科学院昆明植物所 2002 年考研试题)
7. 完全连锁 8. 不完全连锁 9. 相斥相
10. 相引相 11. 符合系数 12. 连锁遗传定律
13. 连锁 14. 基因定位 15. 连锁遗传图
16. 顺序四分子

二、填空题

1. 在链孢霉中，某一基因发生第二次分裂分离的频率是 $2/3$ ，则基因型为 $AaAa$ 的子囊所占比例为 (不包括 $aAaA$) _____。(北京师范大学 2001 年考研试题)
2. 植物有 10% 的花粉母细胞的某染色体上两个基因在减数分裂前期 I 发生单交换，则该两个基因之间的理论交换值是 _____。(北京师范大学 2001 年考研试题)
3. 三个连锁基因的杂合体的测交后代中出现 6 种表现型 (而不是通常的 8 种)，其原因是 _____。(北京师范大学 2001 年考研试题)
4. 玉米 6 号染色体上有两对基因 PL (紫株)、 pl (绿株) 及 PY (高茎)、 py (矮茎)。他们之间图距为 20 个单位。对于 $PLPY/plpy \times PLPY/plpy$ 杂交后代中 $plpy/plpy$ 基因型的比率是 _____，紫色矮茎植株的比率是 _____。(北京师范大学 2002 年考研试题)
5. 一对同源四倍体的染色体数目是 48，则它的连锁群数目为 _____；一对异源四倍体的染色体数目是 48，则它的连锁群数目是 _____。(北京师范大学 1999 年考研试题)
6. 在果蝇中，雌 $+++/abc \times$ 雄 abc/abc ，得到下列结果： $+++460$ ， $abc460$ ， $a++18$ ， $+bc12$ ， $ab+22$ ， $++c28$ 。则这三个基因间的符合系数 (并发系数) 为 _____。(北京师范大学 2000 年考研试题)
7. 如果在 F_1 的性母细胞减数分裂时，有 6% 的细胞在连锁着的基因 AB 之间出现了交叉结，则表明在这 6% 的细胞中有总数的 _____ 的染色单体在 A 、 B 之间发生过 _____。所以这些 F_1 个体在配子形成将有 _____ 重组型，_____ 亲本型。(厦门大学 2000 年考研试题)
8. 已知 A 、 B 、 C 连锁，若在 AC 基因之间观察到 0.09% 的双交换率，而 AB 之间及 BC 之间的单交换率分别为 18.4% 与 3.5% 时，正干涉作用则应该为 _____。一般而言，如果 AC 基因之间的图距越远，所受到正干涉作用就越 _____，当 AC 基因之间的距离十分临近时正干涉作用可以达到 _____%。(厦门大学 2000 年考研试题)

9. 基因 a 和 b 位于同一染色体上，图距是 8 cM。这意味着在 1000 个卵母细胞中有 _____ 个卵母细胞在这两个基因间在减数分裂前期 I 发生了 _____。(河南师范大学 2000 年考研试题)

10. 减数分裂产生重组型配子的两个途径是 _____、_____。(河南师范大学 2001 年考研试题)

11. 已知人体中 G 、 T 、 C 三个基因都位于 17 号染色体的长臂，在检出 T 转化株时，发现 19% 的细胞株中有 G 和 T 共转化，74% 的细胞株中有 C 和 T 共转化，这一发现表明 _____。(河南师范大学 2004 年考研试题)

12. 两个基因在 _____ 上的距离的数量单位称为图距。1% 重组值去掉其百分率的数值定义为一个图距单位，后人为纪念现代遗传学的奠基人 _____，将图距单位称为 _____。(中国科学院水生生物所 2005 年考研试题)

13. 绘制遗传学图时，基因定位所采用的主要方法有两种，即 _____ 和 _____。(中国科学院昆明植物所 2002 年考研试题)

14. 在 abc 三杂合体的测交中得到如下结果： $a++$ 、 $ab+$ 、 $+b+$ 、 $+bc$ 、 $++c$ 、 $a+c$ 六种表型的个体数依次为 810、62、89、828、88、103，则这三个基因的排列顺序为 _____。(中山大学 2004 年考研试题)

15. 两点测交测得每两个基因间的重组值是 $a-b$ 3%， $a-c$ 13%， $b-c$ 11%，则这三个基因间的顺序是 _____， $a-c$ 间的图距是 _____。(徐州师范大学 2005 年考研试题)

三、判断题

1. 在连锁遗传中， $(abc)/(ABC) \times (abc)/(abc)$ (括弧内表示基因的次序没有定) 的杂交，后代个体数量最少的类型是 $(abC)/(abc)$ 和 $(ABc)/(abc)$ (括弧内表示基因的次序没有定)。由此可以确定三个基因位点的顺序是 $A(a)-C(c)-B(b)$ 或 $B(b)-C(c)-A(a)$ 。() (北京师范大学 2002 年考研试题)

2. 基因型是 $+c/sh+$ 的个体在减数分裂中有 6% 的性母细胞在 sh 与 c 之间形成了一个交叉，那么所产生的重组型配子 $++$ 和 shc 将各占 3%。() (北京师范大学 2002 年考研试题)

3. 两种类型的链孢霉杂交，每一单倍体孢子用亲本染色体着丝粒 A 和 a 表示，则通常所见到的孢子排列的方式是 $AAAAaaaa$ 。() (北京师范大学 1999 年考研试题)

4. 在链孢霉杂交中凡属于 MII 分离的不一定都是染色单体转换的结果。() (河南师范大学 2003 年考研试题)

5. 一对等位基因在 MI 减数分离时，说明发生了交换。() (河南师范大学 2001 年考研试题)

6. 两个单交换百分率的乘积等于理论双交换率。() (昆明植物所 2004 年考研试题)
7. 在三点测交的 8 种可能的表型中，个体数最少甚至没有产生的两种表型是双交换的产物。() (昆明植物所 2004 年考研试题)
8. $A/a-B/b$ 间的遗传距离为 59 cM，这意味着两基因座之间的交换值为 59%。() (中山大学 2004 年考研试题)
9. 染色体干涉影响交换的频率，染色单体干涉则影响交换的方式。() (中山大学 2005 年考研试题)
10. 进行链孢霉着丝粒作图时，测得基因 A/a 与着丝点之间的图距为 10 cM，说明在分析过的子囊中有 20% 的交换型。() (中山大学 2005 年考研试题)
11. 配子总体中有 5% 发生了交换，则重组率为 10%。() (湛江海洋大学 2004 年考研试题)
12. 具有三个连锁基因的杂合体雄果蝇，测交后代只有两种表现型。() (徐州师范大学 2005 年考研试题)
13. 基因对间的距离缩短时，并发率降低，干扰值上升。() (中国科学院等离子体物理研究所 2004 年考研试题)
14. 两个连锁遗传的基因，如果两者在染色体上的距离近说明这两个基因的连锁强度大，若距离远则连锁强度小。()
15. 两对非等位基因在完全连锁和不完全连锁的情况下， F_1 代同样产生出亲本型和重组型两类配子。()
16. 在连锁遗传中，交换值的变动幅度在 0~50% 之间，交换值越大，两个连锁基因之间的距离越近，则两个基因的连锁强度越大；交换值越小，两个连锁基因之间的距离就越大，连锁强度就越小。()
17. 二倍体生物连锁群的数目与染色体的对数是一致的。换句话说，有 n 对染色体就有 n 个连锁群。()
18. 在某一植物中， $AABBDD \times aabbdd$ ， F_1 再与三隐性亲本回交，获得回交后代的数据是： ABD 20； abd 20； abD 20； ABd 20； Abd 5； aBD 5； aBd 5； AbD 5。从这些数据看出 ABD 三个基因是连锁的。()
19. 重组率是指亲本型配子数占总配子数的百分率。()
20. 当两对连锁基因的交换值大于 0 而小于 50% 时，则表明它们是完全连锁。()
21. 以无芒、白颖小麦与有芒、红颖小麦杂交， F_1 表现无芒、红颖， F_2 出现无芒、白颖 99 株，有芒、红颖 104 株，无芒、红颖 299 株，有芒、白颖 28 株，可见这两对基因是连锁在一起的。()
22. 当交换值是 20% 时，杂种 (F_1) 产生的两种亲本型配子数各占

30%。()

23. 利用自交的结果估算交换值，可以把 F_2 代出现双隐性个体的频率数开平方即可求得配子的频率。()

24. 交换值与基因之间的距离成反比，即交换值越大基因之间的距离越小，交换值越小基因之间的距离越大。()

四、选择题

1. 在动物 1000 个雄配子中有 100 个是交换型的，那么这是由()精母细胞在减数分裂过程中发生了交换。

- A. 25 个 B. 200 个 C. 100 个 D. 50 个

2. 在 F_2 代中 $aabb$ 个体仅占 16%，说明基因 a 与 b 间的交换值为()。

- A. 16% B. 20% C. 10% D. 4%

3. 两种粗糙链孢霉 lys^+ 和 lys^- 杂交，统计得到 M I 型子囊数为 200 个，M II 型子囊数为 40 个，则该基因与着丝粒的重组率为()。

- A. 20% B. 16.7% C. 10% D. 8.3%

4. 下列四分子哪种子囊型属于交换型()。(徐州师范大学 2005 年考研试题)

- A. 十—十— B. 十十— — C. —十十— D. 十— —十

5. 在链孢霉中，如果一个基因显示 $2/3$ 的 M II 频率，将出现 $AAaaAAaa$ 型子囊的比例是()。(不包括颠倒的 $aaAAaaAA$ 型)

- A. $2/3$ B. $1/6$ C. $1/3$ D. 无法确定

6. 原来为同一亲本所具有的 2 个性状，在 F_2 中常常有连在一起遗传的现象是()。

- A. 独立遗传 B. 连锁遗传 C. 互补遗传 D. 细胞质遗传

7. 若花粉母细胞在减数分裂前期有 16% 发生了非姐妹染色单体间的一次交换，那么减数分裂后能产生多少重组型配子？若算得交换率为 4.8%，将意味着有多少性母细胞发生了一次单交换？()

- A. 16% 9.6% B. 16% 4.8% C. 8% 9.6% D. 8% 4.8%

8. 基因型 DE/de 的个体在减数分裂中有 6% 的性母细胞在 $D-E$ 之间形成交叉，那么产生的重组型配子 De 和 dE 各占多少？()

- A. 3% B. 6% C. 12% D. 1.5%

9. 现在有一个三个基因的杂合体 ABC/abc ，如果在 A 与 B 之间以 0.05 的频率发生交换，并且在没有干涉的情况下产生 aBc 配子的频率是 0.0025，那么 BC 之间的交换频率是多少？()

- A. 0.1 B. 0.025 C. 0.05 D. 0.0025

10. 下列方法中最适合对人类基因进行定位的方法是()。

- A. 体细胞杂交定位 B. 三点测验 C. 着丝粒作图 D. 两点测验

五、简答题

1. 基因型为 AB/ab 的植物与基因型为 ab/ab 的植物杂交，如果这两个基因座位相距 10 cM，则后代中有多少是 $AaBb$ 型？（南开大学 2005 年考研试题）

2. 正反交的 F_1 得出不同的结果，这可能是由①伴性遗传，②细胞质遗传导致，怎样能用实验方法确定其遗传模式是属于哪一种？（南开大学 2005 年考研试题）

3. 绘制连锁图的依据是：两基因座间的距离与这两个基因座间的重组频率有关。距离越近，重组频率越低；反之越高。因此只要知道两基因座间的重组频率即可估计出它们之间的距离，为什么在实际应用中还要做三点测交呢？（南开大学 2001 年考研试题）

4. 家蚕第二条染色体上有 6 个基因，其相对距离如下所示，请绘出相应的遗传图谱。（东北师范大学 2001 年考研试题）

	<i>Gr</i>	<i>Rc</i>	<i>S</i>	<i>Y</i>	<i>P</i>	<i>oa</i>
<i>Gr</i>		25	1	19	7	20
<i>Rc</i>	25		26	6	32	5
<i>S</i>	1	26		20	6	21
<i>Y</i>	19	6	20		26	1
<i>P</i>	7	32	6	26		7
<i>oa</i>	20	5	21	1	27	

5. 通常遗传学中的连锁分析难以区分同一染色体上相距很远的基因和非同源染色体上独立分配的基因，特别是在两个基因间交换值大于 40%、接近 50% 时。

(1) 请设计一个遗传学实验来判断果蝇中的两个形态标记基因究竟是在同一染色体上相距很远的位置还是位于非同源染色体上。

(2) 请设计一个体细胞遗传学实验来判断人类中一个抗药性标记基因，一个控制营养的标记基因，是在同一染色体上相距很远的位置还是位于非同源染色体上。

（注意在这两个实验中均不能采取原位分子杂交的方法）（中国科学院遗传研究所 1996 年考研试题）

6. 重组率和交换率的定义各是什么？说明二者之间的关系。（中国科学院遗传研究所 1998 年考研试题；北京师范大学 1997 年考研试题）

7. 独立遗传与连锁遗传的主要区别是什么？试以图解加以说明。（北京师范大学

大学 1996 年考研试题)

8. 在家鸡中，白色羽毛是由隐性基因 c 和 o 两个都或者其中一个处于纯合状态产生的；有色羽毛必须两个显性基因 C 和 O 同时存在。做了以下杂交：

$$CCoo \times ccOO$$

↓

F_1 有色

F_1 用 $ccoo$ 测交，所得到的后代中，有色 68 只，白色 204 只，问 oc 间是否连锁？为什么？（南开大学 2004 年考研试题）

9. 对噬菌体、大肠杆菌、链孢霉、玉米和人都能进行基因的连锁分析，但分析的方法有所不同，请结合材料的特征和这些不同的分析方法，并总结出对各种生物进行连锁分析的基本前提，再根据这一前提来判断能否对植物的叶绿体基因组和动物的线粒体基因组进行连锁分析。（中国科学院遗传所 1999 年考研试题）

10. 有一种生物具有 12 对染色体，但在用遗传分析构建连锁群时，获得的连锁少于 12 个，这是否可能？为什么？另一种生物具有 10 对染色体，但在用遗传分析构建连锁群时，获得的连锁群多于 10 个，这是否可能？为什么？（中国科学院遗传研究所 1998 年考研试题）

11. 什么是遗传图上的图距，如何计算？有两个实验室分别用豌豆的两个不同的杂交组合测得的同一染色体上的两个基因之间的图距很不一致。你觉得会出现这种情况吗？造成这种矛盾的原因何在？有可能克服这种矛盾吗？（中国科学院遗传所 1997 年考研试题）

12. 酵母基因组全序列的测定业已完成，结果发现根据序列确定的相邻基因间的物理距离（千碱基对，kb）与连锁图上的相应基因间的遗传图距（厘摩，cM）不成比例，如 A、B、C、D 四个基因的物理距离为：
 $\overline{A \quad 2.5 \text{ kb} \quad B \quad 1 \text{ kb} \quad C \quad 1.5 \text{ kb} \quad D}$ ，而遗传图距为 $\overline{A \quad 0.5 \text{ cM} \quad B \quad 2 \text{ cM} \quad C \quad 4 \text{ cM} \quad D}$ 。

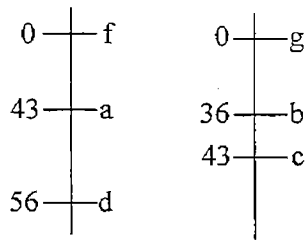
请问这种现象是正常的还是不正常的？可否设计更精确的遗传分析实验解决这一矛盾？如何解决？并说明理由。（中国科学院遗传所 2000 年考研试题）

13. 基因 a 、 b 、 c 、 d 位于果蝇的同一染色体上。经过一系列杂交后得出如下交换值：

基因	交换值
a 与 c	40%
a 与 d	25%
b 与 d	5%
b 与 c	10%

试绘出这 4 个基因的连锁遗传图。

14. 已知某生物的两个连锁群如下图，试求杂合体 $AaBbCc$ 可能产生的类型和比例。



第五章 性别决定与伴性遗传

【真题解析】

例题 1：一个妇女有两个杂合的显性基因，一个来自父亲，另一个来自母亲，已经知道此二基因连锁且图距为 15 个图距单位，她与无此二基因的丈夫结婚后所生的第一个孩子具有这两个性状的概率是多少？第二个孩子呢？（南京师范大学 2004 年考研试题）

知识要点

1. 相引相 (coupling phase) 与相斥相 (repulsion phase)。

把甲乙两个显性性状联系在一起遗传，而甲乙两个隐性性状联系在一起遗传的杂交组合，称为相引相或相引组 (coupling phase)；把甲显性性状和乙隐性性状联系在一起遗传，而乙显性性状和甲隐性性状联系在一起遗传的杂交组合，称为相斥相或相斥组 (repulsion phase)。

2. 重组频率可以作为两个基因在染色体图上的距离的数量指标，基因在染色体图上的距离简称图距，用图距单位表示。1% 的重组率为一个图距单位 (map unit, mu)， $1 \text{ mu} = 1 \text{ cM} = 1\%$ 的重组率。

解题思路

我们首先确定那个妇女的两个显性基因的连锁相，因为她的这两个基因分别来自她的父亲和母亲，因此，这两个显性基因一定位于不同的染色体上，即它们以相斥相排列： Cp/cP 。如果她孩子要遗传到这两个显性基因，这个女人产生的卵细胞一定带有重组 $C-P$ 的染色体。由于两基因间的距离是 15 cM，那么得到重组子的概率是 15%。然而只有一半的重组子是 CP ，另一半是 cp ，所以，这对夫妇第一个孩子同时具有这两个性状的机会是 $15\% \div 2 = 7.5\%$ 。第二个孩子不受第一个孩子的影响概率仍为 7.5%。

标准答案

7.5%；7.5%

例题 2：在人类中，已经知道红细胞抗原 X_g^a 为 X 染色体连锁显性性状，个体可以分为阳性 (X_g^{a+}) 和阴性 (X_g^{a-}) 两种，ABO 血型则常为常染色体上一套复等位基因控制，假设一个 A 血型 X_g^{a-} 女性和一个 AB 血型 X_g^{a+} 男人结婚，预计后代中会有什么类型出现？比例如何？（青岛海洋大学 2000 年考研试题）

• 70 •

知识要点

1. 人类的性别决定方式属于XY型。
2. 决定ABO血型的基因有 I^A （表达A抗原，显性）、 I^B （表达B抗原，显性）和 i （不表达抗原，隐性），以上三个等位基因即为复等位基因。ABO血型与基因型的关系：A型为 $I^A I^A$ 或 $I^A i$ ；B型为 $I^B I^B$ 或 $I^B i$ ；AB型为 $I^A I^B$ ；O型为 ii 。
3. 伴性遗传（sex-linked inheritance）：也称为性连锁遗传，指位于性染色体上的基因所控制的某些性状总是伴随性别而遗传的现象。伴X显性遗传特点：患者的双亲必有一方是患者，女性患者多于男性；男性患者后代中，女儿都是患者；患病有世代连续性。伴X隐性遗传的特点：男性患者多于女性患者，系谱中往往只有男性患者；有交叉遗传现象，即外公→女儿→外孙；世代不连续性。

解题思路

1. A型血 X_g^- 女性的基因型有两种： $I^A I^A X_g^- X_g^-$ 和 $I^A i X_g^- X_g^-$ ，可以分别产生比例为 $3/4 I^A X_g^-$ 和 $1/4 i X_g^-$ 。

2. AB型血的男性的基因型是： $I^A I^B X_g^+ Y$ ，可以产生各 $1/4$ 的 $I^A X_g^+$ 、 $I^B X_g^+$ 、 $I^A Y$ 和 $I^B Y$ 的配子。

因此后代的基因型有：

	$1/4 I^A X_g^+$	$1/4 I^B X_g^+$	$1/4 I^A Y$	$1/4 I^B Y$
$3/4 I^A X_g^-$	$3/16 I^A I^A X_g^- X_g^-$	$3/16 I^A I^B X_g^- X_g^-$	$3/16 I^A I^A X_g^- Y$	$3/16 I^A I^B X_g^- Y$
$1/4 i X_g^-$	$1/16 I^A i X_g^- X_g^-$	$1/16 I^B i X_g^- X_g^-$	$1/16 I^A i X_g^- Y$	$1/16 I^B i X_g^- Y$

标准答案

后代的类型及比例为：

A型 X_g^- 阳性： $1/4$ ；A型 X_g^- 隐性： $1/4$

AB型 X_g^- 阳性： $3/16$ ；AB型 X_g^- 隐性： $3/16$

B型阳性： $1/16$ ；B型隐性： $1/16$

例题3：有一例人的异常家系，两个同卵孪生姐妹的父亲是色盲，这对孪生姐妹在其他方面都相似，但是在色盲上却不相同。请用最简单的方式解释这个不一致现象。

知识要点

1. X染色体失活假说，即Lyon假说，其要点是：①雌性哺乳动物细胞内只有一条X染色体有活性，另一条失活并固缩，后者在间期细胞表现为性染色质；②失活发生在胚胎的早期；③失活是随机的，即失活的X染色体既可来自父亲也可来自母亲，但一个细胞某条X染色体一旦失活，由该细胞繁衍而来的子细

胞都具有同一条失活的 X 染色体。

2. 同卵孪生的遗传特点是两个个体在遗传组成上是完全一致的。
3. 人类的性别决定方式是 XY 型性染色体决定的。
4. 色盲的遗传方式是伴 X 的隐性遗传方式。

解题思路

同卵孪生的姐妹其遗传组成是相同的，孪生姐妹的父亲是色盲，因此说明孪生姐妹的两条 X 染色体上来自父亲的那条携带色盲基因；由于 X 染色体的随机失活，因此，这对姐妹的体细胞中 X 的失活是随机的，在其中一个人中可能是携带色盲基因的 X 染色体失活，就会表现正常的表型，如另一个是不携带色盲基因的 X 染色体失活，则表现出色盲的表型，因此在色盲的表现上出现不同。

标准答案

因为色盲是伴 X 的隐性遗传，因此虽然是孪生姐妹但是由于其 X 失活是随机的，所以她们在色盲的表现上可能是不同的。

例题 4：在果蝇中，红眼 (D) 对白眼 (d) 为显性并位于 X 染色体上，灰身 (B) 对黑身 (b) 为显性，长翅 (V) 对残翅 (v) 为显性（这两对基因位于同一染色体上），现在将一只杂合红眼灰身長翅雌果蝇与一只白眼黑身残翅雄果蝇杂交，已经知道在子一代中灰身長翅：黑身残翅：黑身長翅：灰身残翅 = 42 : 42 : 8 : 8。问：

- (1) 两个亲本基因型各是什么？雌雄亲本各产生何种基因型配子？
- (2) F_1 红眼雌蝇、白眼雌蝇、红眼雄蝇、白眼雄蝇的比例是多少？
- (3) 在 400 只子一代中，从理论上测算红眼黑身長翅雄果蝇为多少？白眼灰身長翅雌果蝇比例为多少？（青岛海洋大学 2001 年考研试题）

知识要点

1. 果蝇的性别决定方式是属于基因平衡决定的，但是二倍体的雄蝇具有 XY 性染色体，雌蝇具有两条 X 性染色体。
2. 相引相和相斥相的概念和区别（见例题 1）。

解题思路

1. 根据题中所给后代比例知道雌性亲本是相引相，灰身、长翅基因是常染色体的连锁遗传，红眼基因是伴 X 遗传。

因此亲本基因型为：

雌性亲本： $BbVvX^D X^d$ 产生 8 种类型配子： BVX^D 、 BvX^D 、 bvX^D 、 bVX^d 、 BVX^d 、 BvX^d 、 bvX^d 、 bVX^d

雄性亲本： $bbvvX^d Y$ 产生 2 种类型配子： bvX^d 、 bvY

2. 再根据 (1) 中分析的结果可以知道 F_1 代中红眼雌蝇、白眼雌蝇、红眼雄蝇、白眼雄蝇的比例为 1 : 1 : 1 : 1。

3. 子一代中黑身长翅个体的比例为 8%，由于控制眼色的基因和控制灰身长翅的基因不在同一染色体上，因此属于自由组合的关系，所以从理论上来说在这 8% 的群体中红眼和白眼各占 50%。其次在红眼黑身长翅的个体中从理论上来说雌雄各占 50%，因此在 400 只子一代中，从理论上测算红眼黑身长翅雄果蝇为 8 只 ($8\% \times 1/2 \times 1/2 \times 400$)。同样的道理白眼灰身长翅雌果蝇比例为 $42\% \times 1/2 \times 1/2 = 10.5\%$ 。

标准答案

(1) 亲本基因型及产生的配子为：

雌性亲本： $BbVvX^D X^d$ ；产生 8 种类型配子： BVX^D 、 BvX^D 、 bvX^D 、 bVX^d 、 BvX^d 、 BvX^d 、 bvX^d 、 bVX^d

雄性亲本： $bbvvX^d Y$ ；产生 2 种类型配子： bvX^d 、 bvY

(2) $1:1:1:1$ 。

(3) 8 只，10.5%。

例题 5：在果蝇中，一常染色体上的隐性基因 tra 只在雌性中起作用，并使其成为不育的雄性蝇。在 $+/tra$ (雌) $\times +/tra$ (雄) 的子代中雌雄比例如何？并说明雌雄个体的基因型。(东北师范大学 1999 年考研试题)

知识要点

1. 果蝇的性别决定方式 (见例题 4)。

2. 从性遗传 (sex-controlled inheritance) 又称性影响遗传 (sex-influenced inheritance)，或称性别影响性状，是指基因在常染色体上，但由于受到性激素的作用，基因在不同性别中表达不同。

从性遗传和限性遗传之间的区别在于：限性遗传指一种表型只局限于一种性别，而从性遗传指同样的表型在两个性别中都存在，只是在一种性别中会更常见。

解题思路

根据给定的亲本推出子代的基因型；

亲本的基因型分别为： $+/tra$ XX (雌) $\times +/tra$ XY (雄)，雌雄性分别产生 2 种和 4 种配子。

↓
子代基因型： $+/+XX$ $+/+XY$ $+/tra XX$ $+/tra XY$

子代表现性：雌 雄 雌 雄

$+/tra XX$ $+/tra XY$ $tra/tra XX$ $tra/tra XY$

雌 雄 雄 雄

标准答案

子代中雌/雄=3/5

雌性基因型： $+/+XX$ $+/tra XX$

雄性基因型： $+/+XY$ $+/tra XY$ $tra/tra XY$ $tra/tra XX$

例题 6：人类中红绿色盲是隐性连锁遗传。一个母亲是色盲、父亲正常的妇女同一个色盲男人结婚，他们生育了一个儿子和一个女儿，问：

- (1) 儿子是色盲的概率是多少？
- (2) 女儿是色盲的概率是多少？
- (3) 两个都是色盲的概率是多少？

知识要点

1. 人类性别决定方式属于 XY 型。
2. 人类红绿色盲的遗传方式。红色盲和绿色盲分属两个基因控制，由于他们紧密连锁所有一般把他们当一个基因位点分析。色盲是由伴 X 的隐性基因控制，一般遵循伴 X 隐性遗传的特点。
3. 概率的相乘原理：两个各自独立的事件同时发生的概率等于他们各自独立发生概率的乘积。概率的相加原理：两个互斥事件发生的总概率等于各自独立发生的概率之和。

解题思路

人类红绿色盲是伴 X 的隐性遗传方式，一个母亲是色盲父亲正常的妇女应该是色盲基因的携带者，她和一个色盲的男人（X 染色体上携带有色盲基因）结婚，其后代的基因型和表型如下：

$X^B X^b$	$\times$	$X^b Y$	
$\downarrow$			
$X^B Y$	$X^b Y$	$X^B X^b$	$X^b X^b$
儿子（正常）	儿子（色盲）	女儿（正常）	女儿（色盲）

由此可见，生儿子是色盲的概率是 $1/2$ ，由于生儿子和生女儿互不影响，因此生女儿是色盲的概率也是 $1/2$ ，两个都是色盲的概率是 $1/2 \times 1/2 = 1/4$ 。

标准答案

- (1) $1/2$ ；(2) $1/2$ ；(3) $1/4$

例题 7：雄性家猫的皮毛只有黑色和橙色两种颜色，而雌猫有黑色、黑橙花斑和橙色三种。问：

- (1) 若皮毛颜色是由性连锁基因所控制的，如何解释所观察到的这一现象。
- (2) 若一只橙色雌猫与一只黑色雄猫交配，它们的后代期望有哪些表型？

(以你自己设定的一组符号表示)。

(3) 以上实验若反交，其结果如何？

(4) 由某种特定的交配所产生的一半雌猫是黑橙花斑，一半是黑色；一半雄猫是橙色，另一半是黑色。在这一交配中，雄性和雌性亲本的颜色如何？

(5) 另一种交配产生的后代比如下：1/4 橙色雄性，1/4 橙色雌性，1/4 黑色雄性，1/4 黑橙花斑雌性。在这一交配中，雌性和雄性亲本的颜色如何？
(南开大学 2000 年考研试题)

知识要点

1. 家猫的性别决定方式是属于 XY 型。
2. 剂量补偿效应 (dosage compensantion effect)：在 XY 性别决定机制的生物中，使性连锁基因在两种性别中有相等或近乎相等的有效剂量的遗传效应。剂量补偿有两种方式：一是 X 染色体的转录速率不同，如果雄性的细胞；二是雌性细胞中有一条 X 染色体是失活的，如哺乳类动物和人类。
3. 莱昂假说主要内容是：①正常雌性哺乳动物体细胞中的两个 X 染色体之一在遗传性状表达上是失活的；②在同一个体的不同细胞中，失活的 X 染色体可来源于雌性亲本，也可来源于雄性亲本；③失活现象发生在胚胎发育的早期，一旦出现则从这一细胞分裂增殖而成的体细胞克隆中失活的都是同一来源的染色体。
4. 伴性遗传的特点 (见例题 2)。
5. 正反交是相对的，如果表现型为 A 的作父本，表现型为 a 的作母本为正交，那么 a 作父本 A 作母本时就叫反交。对于伴性遗传和细胞质遗传来说正反交的结果是不一样的，而对于细胞核遗传来说正反交的结果是一样的。

解题思路

1. 本题主要是考查哺乳动物剂量补偿效应与 X 染色体失活的特点。
2. 从题中可知猫皮颜色和性别有关，而家猫的性别决定属于 XY 型，因此根据哺乳动物剂量补偿效应与 X 染色体失活的特点，X 染色体随机失活会造成杂合雌性猫皮颜色的斑块状。

3. 假设橙色雌猫基因型为 X^aX^a ，黑色雄猫基因型为 X^AY ，其后代表型如下：

P: $X^aX^a \times X^AY$

↓

F: $X^AX^a \quad X^aY$

表型: 黑橙花斑 橙色

反交:

P: $X^AX^A \times X^aY$

↓

F: $X^AX^a \quad X^AY$

表型: 黑橙花斑 黑色

4. 要产生一半雌猫是黑橙花斑，一半是黑色；一半雄猫是橙色，另一半是黑色的后代表型，那么其亲本的母本是杂合体，因此这一后代的亲本组合的基因型应该为：

$$\begin{array}{l} P: \quad X^A X^a \quad \times \quad X^A Y \\ \quad \quad \downarrow \\ F: \quad X^A X^a \quad X^A X^A \quad X^A Y \quad X^a Y \\ \text{表型: 黑橙花斑} \quad \text{黑色} \quad \text{黑色} \quad \text{橙色} \end{array}$$

因此，这一亲本组合的亲本的颜色为：母本是黑橙花斑，父本是黑色。

5. 产生 1/4 橙色雄性，1/4 橙色雌性，1/4 黑色雄性，1/4 黑橙花斑雌性的交配组合如下：

$$\begin{array}{l} P: \quad X^A X^a \quad \times \quad X^a Y \\ \quad \quad \downarrow \\ F: \quad X^A X^a \quad X^a X^a \quad X^A Y \quad X^a Y \\ \text{表型: 黑橙花斑} \quad \text{橙色} \quad \text{黑色} \quad \text{橙色} \end{array}$$

那么这一组合的亲本颜色为：母本是黑橙花斑，父本是橙色。

标准答案

(1) 根据剂量补偿效应和 X 染色体随机失活的特点，雌性猫的两条 X 染色体在毛皮的体细胞中失活是随机的，一个杂合的雌性猫的毛皮就可能出现黑橙花斑的表型。

(2) 后代中雌性是黑橙花斑，雄性是橙色。

(3) 反交的结果是雌性是黑橙花斑，雄性是黑色的。

(4) 亲本的颜色为：母本是黑橙花斑，父本是黑色。

(5) 亲本颜色为：母本是黑橙花斑，父本是橙色。

例题 8：一个女人的父亲是色盲，她的兄弟中有两人和一个舅舅是血友病患者。

(1) 所有这些人的可能的基因型如何？

(2) 如果这个女人有一个血友病的患儿，则她的基因型必定是什么？

知识要点

1. 人类的性别决定方式是 XY 型。

2. 常见人类遗传病，如色盲、血友病的遗传方式都是属于伴 X 的隐性遗传。

3. 伴性遗传的特点（见例题 2）。

解题思路

1. 血友病和色盲都属于伴 X 的隐性遗传—— X^h 和 X^b 。

2. 一个女人的父亲是色盲，那么该父亲的基因型为 $X^{hb}Y$ ，该女人应该是色盲基因的携带者。

3. 她的兄弟是血友病患者；那么他的基因型是 $X^{bh}Y$ ；该女人的舅舅也是血友病患者同样其基因型应该是 $X^{bh}Y$ 。这些说明该女人的母亲是血友病基因的携带者。因此该女人的基因型应该为 $X^{BH}X^{bh}$ 或 $X^{Bh}X^{BH}$ 。

4. 如果该女人有一血友病的患儿，说明该女人必定是血友病基因的携带者，因此其基因型应为 $X^{Bh}X^{BH}$ 。

标准答案

(1) 女人的基因型为 $X^{BH}X^{bh}$ 或 $X^{Bh}X^{BH}$ ；女人的父亲的基因型为 $X^{bh}Y$ ；女人的兄弟的基因型为 $X^{bh}Y$ ；女人的舅舅的基因型为 $X^{bh}Y$ 。

(2) $X^{Bh}X^{BH}$ 。

例题 9：在火鸡的一个优良品系中，出现一种遗传性的白化症，养禽工作者把 5 只有关的雄禽进行测验，发现其中 3 只带有白化基因。当这 3 只雄禽与无亲缘关系的正常母禽交配时，得到 229 只幼禽，其中 45 只是白化的，而且全是雌的。育种场中可以进行一雄多雌交配，但在表型正常的 184 只幼禽中，育种工作者除了为消除白化基因外，想尽量多保存其他个体。你看火鸡的这种白化症的遗传方式怎样？哪些个体应该淘汰，哪些个体可以放心地保存？你怎样做？

知识要点

1. 常见家禽的性别决定方式是 ZW 型，雌禽为异配性别，雄禽为同配性别。
2. 伴性遗传的特点（见例题 2）。

解题思路

1. 229 只幼禽是 3 只雄禽的子代数量。因而，根据题意，这 3 只雄禽基因型可视为相同的。

2. 由于雌禽为异配性别，又表现正常，于是推断，其基因型为 ZW。雄禽为同配性别，又在子代中出现白化个体，并且全是雌的，所以这 3 只雄禽肯定是白化基因杂合子，即 Z^AZ^a 。

上述交配可图示如下：

$$\text{♀ } Z^A W \times Z^A Z^a \text{ ♂}$$

↓

$$\begin{array}{cccc} 1/4 Z^A Z^A & 1/4 Z^A Z^a & 1/4 Z^A W & 1/4 Z^a W \\ \text{正常♂} & \text{正常♂} & \text{正常♀} & \text{白化♀} \end{array}$$

3. 基于上述分析，可以认为，在火鸡中，这种白化症的遗传方式为性连锁隐性遗传。并且，全部雌禽（ZW）可以放心地保留，由于雄禽里面包含了部分白化基因的携带者，因此对于雄禽应进一步与表型正常的雌禽作一次交配，凡子代出现白化火鸡者应淘汰。