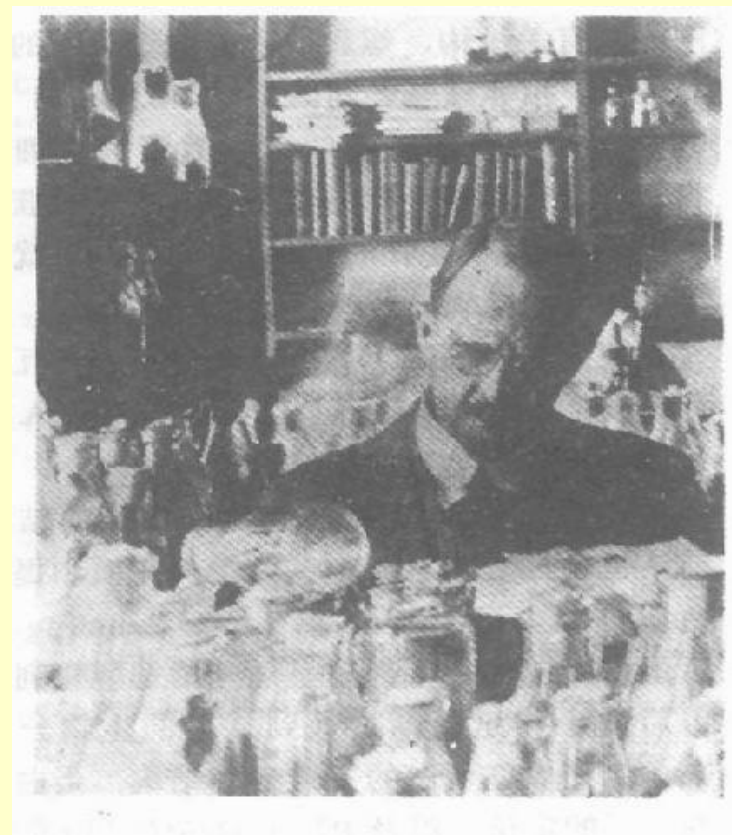


第4章 连锁遗传和性连锁

W. Bateson(1906)在香豌豆两对相对性状杂交试验中发现连锁遗传(linkage)现象。

T. H. Morgan et al.(1910)提出连锁遗传规律以及连锁与交换的遗传机理，并创立基因论(theory of the gene)。



第5章 连锁遗传和性连锁

第一节 连锁与交换

第二节 交换值及其测定

第三节 基因定位与连锁遗传图

第四节 真菌类的连锁与交换

第五节 连锁遗传规律的应用

第六节 性别决定与性连锁

第1节 连锁与交换

一、连锁遗传现象

香豌豆(*Lathyrus odoratus*)两对相对性状杂交试验。 **花色**：紫花(P) 对红花(p) 为显性；

花粉粒形状：长花粉粒(L) 对圆花粉粒(l) 为显性。

1. 紫花、长花粉粒 × 红花、圆花粉粒。
2. 紫花、圆花粉粒 × 红花、长花粉粒。

组合一：紫花、长花粉粒 × 红花、圆花粉粒

P	紫花、长花粉粒 × 红花、圆花粉粒				
	PPLL	↓	ppll		
F ₁	紫花、长花粉粒				
	PpLl				
	↓ ⊗				
F ₂	紫、长	紫、圆	红、长	红、圆	总数
	P_L_	P_ll	ppL_	ppll	
实际个体数	4831	390	393	1338	6952
按9:3:3:1推算的理论数	3910.5	1303.5	1303.5	434.5	6952

组合二：紫花、圆花粉粒×红花、长花粉粒

P	紫花、圆花粉粒 × 红花、长花粉粒				
	PPll		ppLL		
F ₁	紫花、长花粉粒				
	PpLl				
F ₂	↓ ⊗				
	紫、长	紫、圆	红、长	红、圆	总数
	P_L_	P_ll	ppL_	ppll	
实际个体数	226	95	97	1	419
按9:3:3:1推算的理论数	235.8	78.5	78.5	26.2	419

◆原来为同一亲本所具有的两个性状在F₂中不符合独立分配规律，而常有连在一起遗传的倾向，这种现象叫做**连锁(linkage)遗传现象**。

◆**相引组(coupling phase)与相斥组(repulsion phase)**。

	描述	亲本	花色	花粉粒形状
相引组	两个显性性状连在一起遗传	P ₁	紫花(显)	长花粉粒(显)
	两个隐性性状连在一起遗传	P ₂	红花(隐)	圆花粉粒(隐)
相斥组	一个显性性状与另一个隐性性状	P ₁	紫花(显)	圆花粉粒(隐)
	一个隐性性状与另一个显性性状	P ₂	红花(隐)	长花粉粒(显)

二、连锁遗传的解释

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

每对相对性状是否符合分离规律？

	性状	F2表现型	F2个体数	F2分离比例
相引组	花色	紫花(显)	$4831+390=5221$	3:1
		红花(隐)	$1338+393=1731$	
	花粉粒形状	长花粉粒(显)	$4831+393=5224$	3:1
		圆花粉粒(隐)	$1338+390=1728$	
相斥组	花色	紫花(显)	$226+95=321$	3:1
		红花(隐)	$97+1=98$	
	花粉粒形状	长花粉粒(显)	$226+97=323$	3:1
		圆花粉粒(隐)	$95+1=96$	

两对相对性状自由组合？

摩尔根等的果蝇遗传试验

果蝇(*Drosophila melanogaster*)：

- 眼色：红眼(pr^+)对紫眼(pr)为显性；
- 翅长：长翅(vg^+)对残翅(vg)为显性。

相引组杂交与测交
相斥组杂交与测交



果蝇眼色与翅长连锁遗传：相引组

P **$pr^+pr^+vg^+vg^+ \times prprvgvg$**



F₁ **$pr^+prvg^+vg \times prprvgvg$ (测交)**



Ft	pr^+prvg^+vg	1339
	$prprvgvg$	1195
	$pr^+prvgvg$	151
	$prprvg^+vg$	154

果蝇眼色与翅长连锁遗传：相斥组

P $\text{pr}^+\text{pr}^+\text{vgvg} \times \text{prprvg}^+\text{vg}^+$



F₁ $\text{pr}^+\text{prvg}^+\text{vg} \times \text{prprvgvg}$ (测交)



Ft	$\text{pr}^+\text{prvg}^+\text{vg}$	157
	prprvgvg	146
	pr^+prvgvg	965
	prprvg^+vg	1067

连锁遗传现象的解释

◆**连锁遗传规律：**连锁遗传的相对性状是由位于同一对染色体上的非等位基因间控制，具有连锁关系，在形成配子时倾向于连在一起传递；交换型配子是由于非姊妹染色单体间交换形成的。

◆**控制果蝇眼色和翅长的两对非等位基因位于同一同源染色体上。即：**

相引相中， $pr^{+}vg^{+}$ 连锁在一条染色体上，而 $prvg$ 连锁在另一条染色体，杂种F1一对同源染色体分别具有 $pr^{+}vg^{+}$ 和 $prvg$ 。

三、完全连锁和不完全连锁

◆完全连锁 (complete linkage):

如果连锁基因的杂种 F_1 (双杂合体)只产生两种亲本类型的配子，而不产生非亲本类型的配子，就称为完全连锁。

◆不完全连锁 (incomplete linkage):

指连锁基因的杂种 F_1 不仅产生亲本类型的配子，还会产生重组型配子(例子见前)。

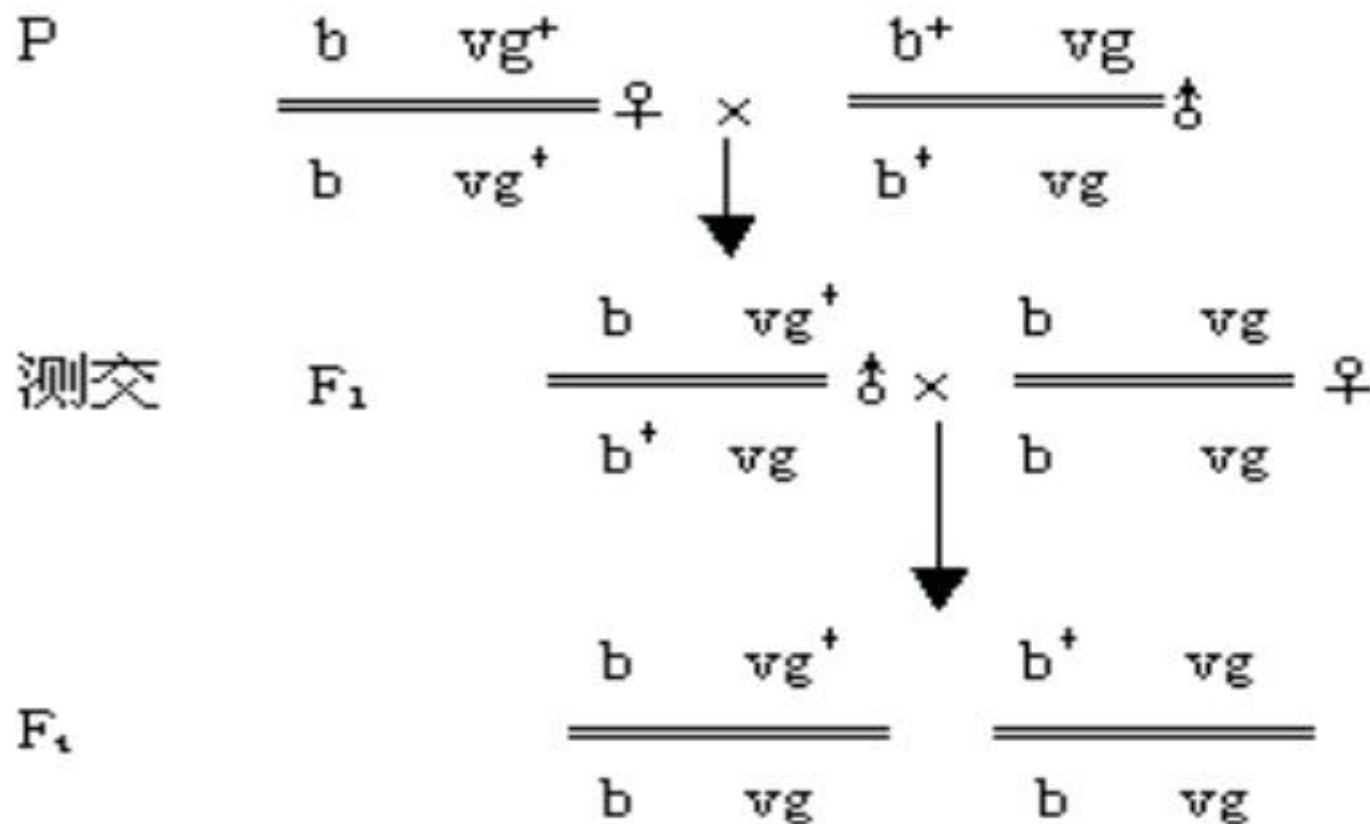
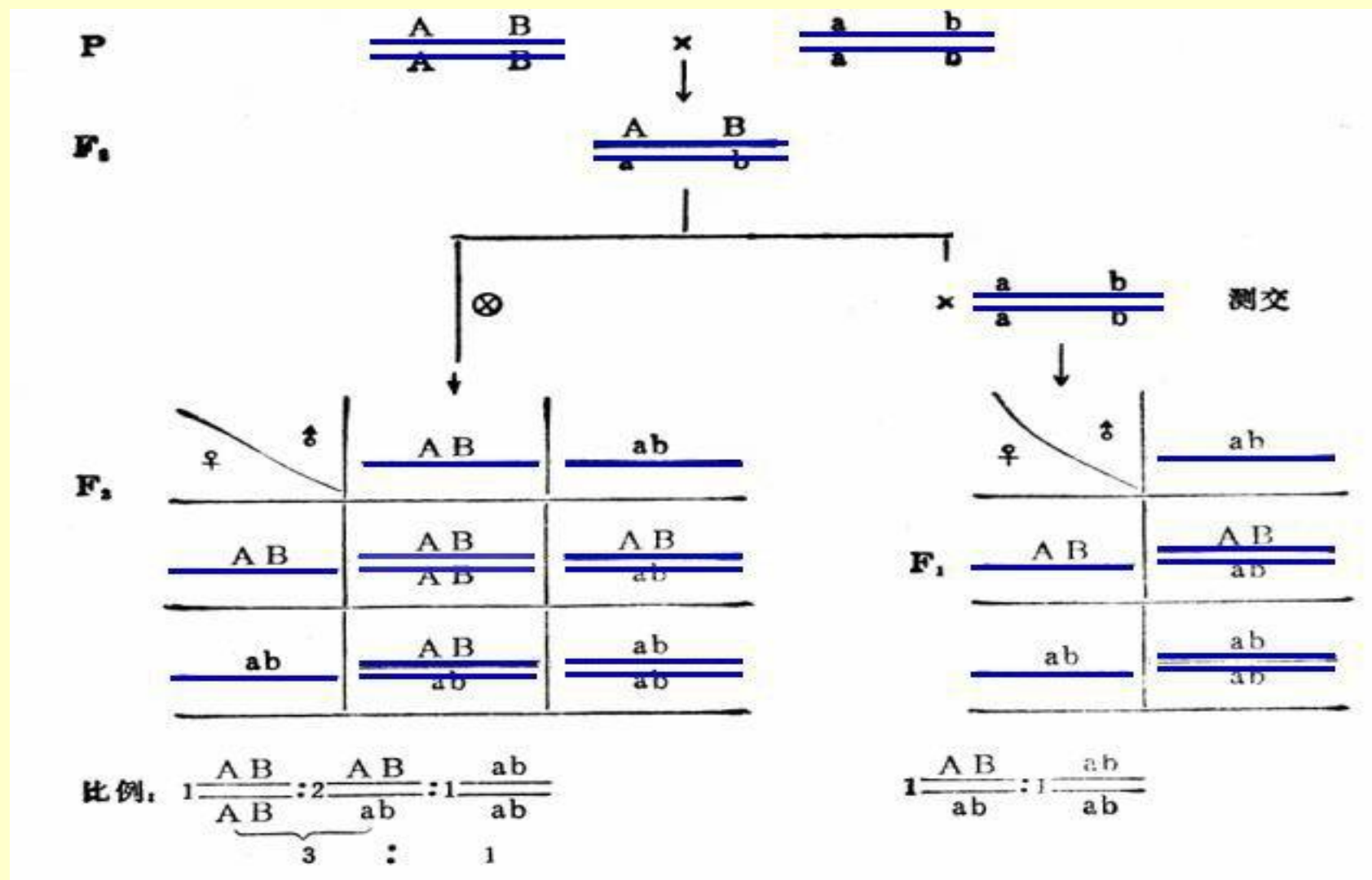


图 5—5 果蝇的完全连锁

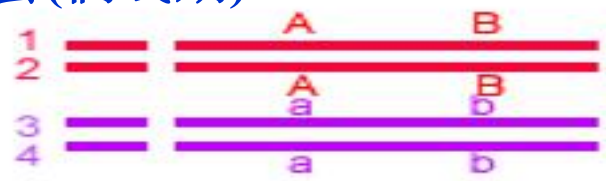


四、交换与不完全连锁的形成

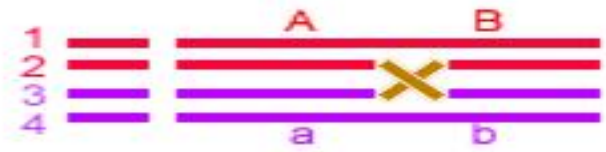
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net



(复制)同源染色体联会(偶线期)

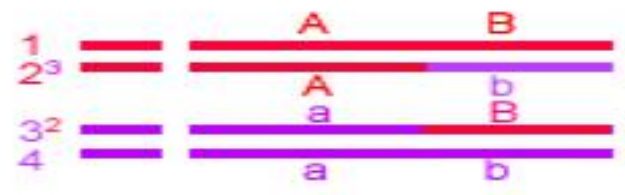


非姊妹染色单体交换(偶线期到双线期)



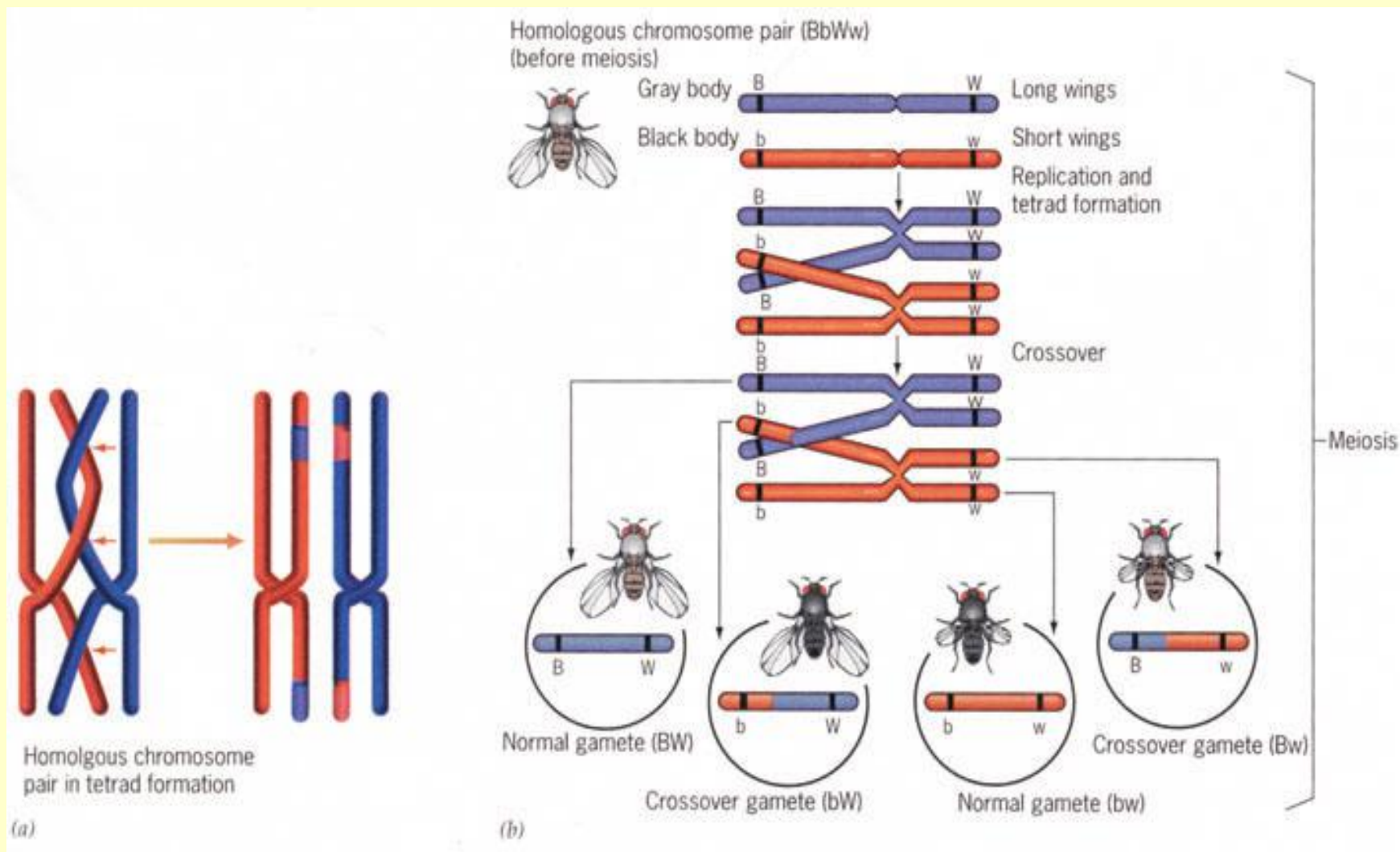
终变期

四分体



重组型配子的形成

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net



完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

重组型配子的比例

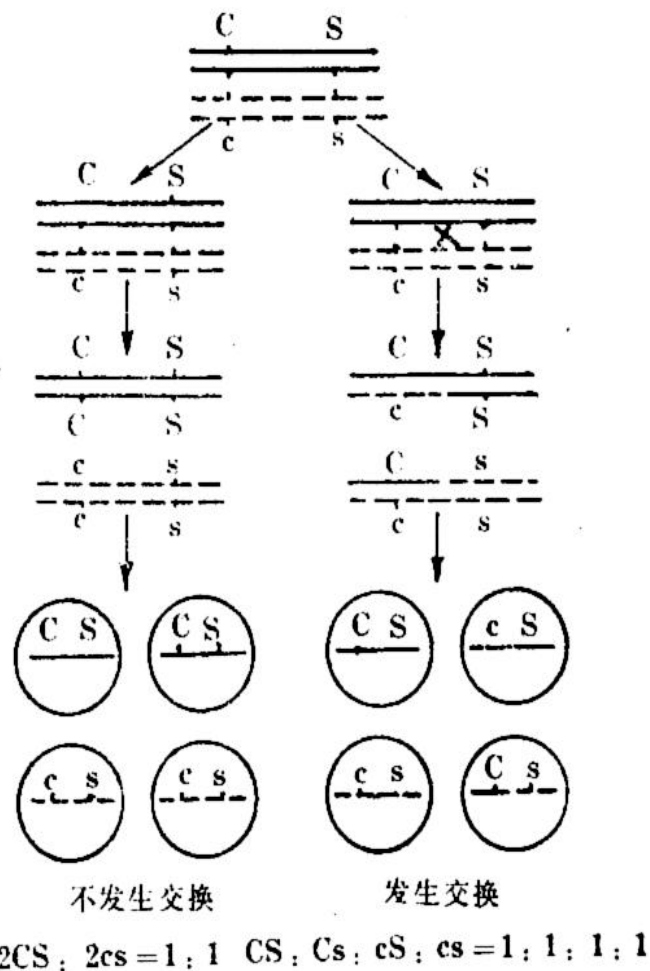


图 4-1 连锁基因交换和未交换的结果

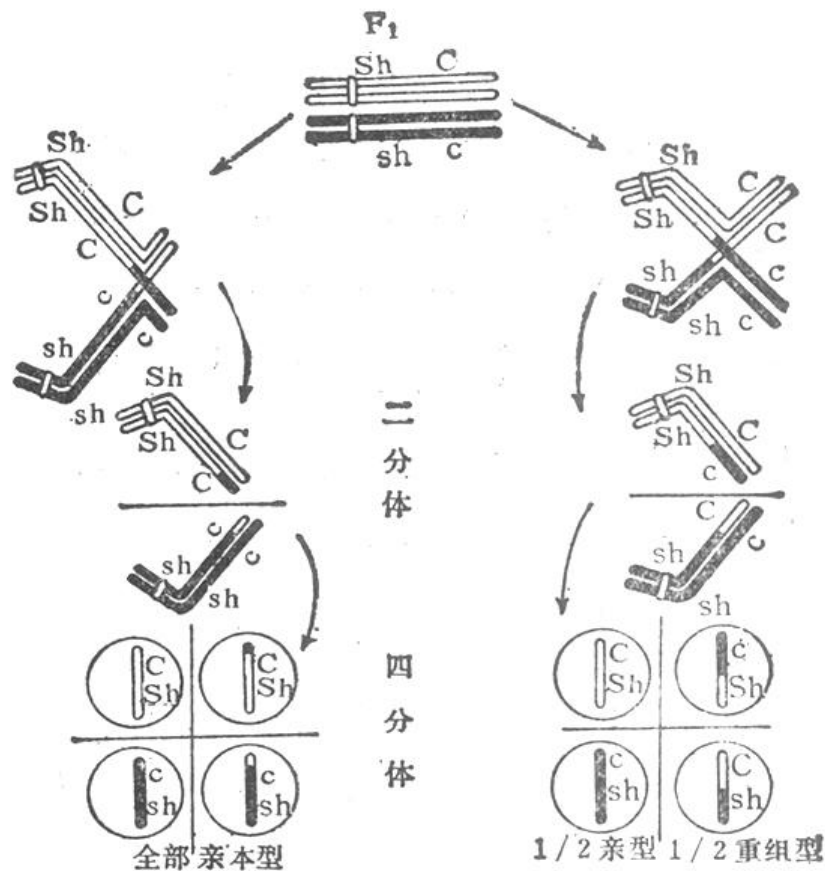
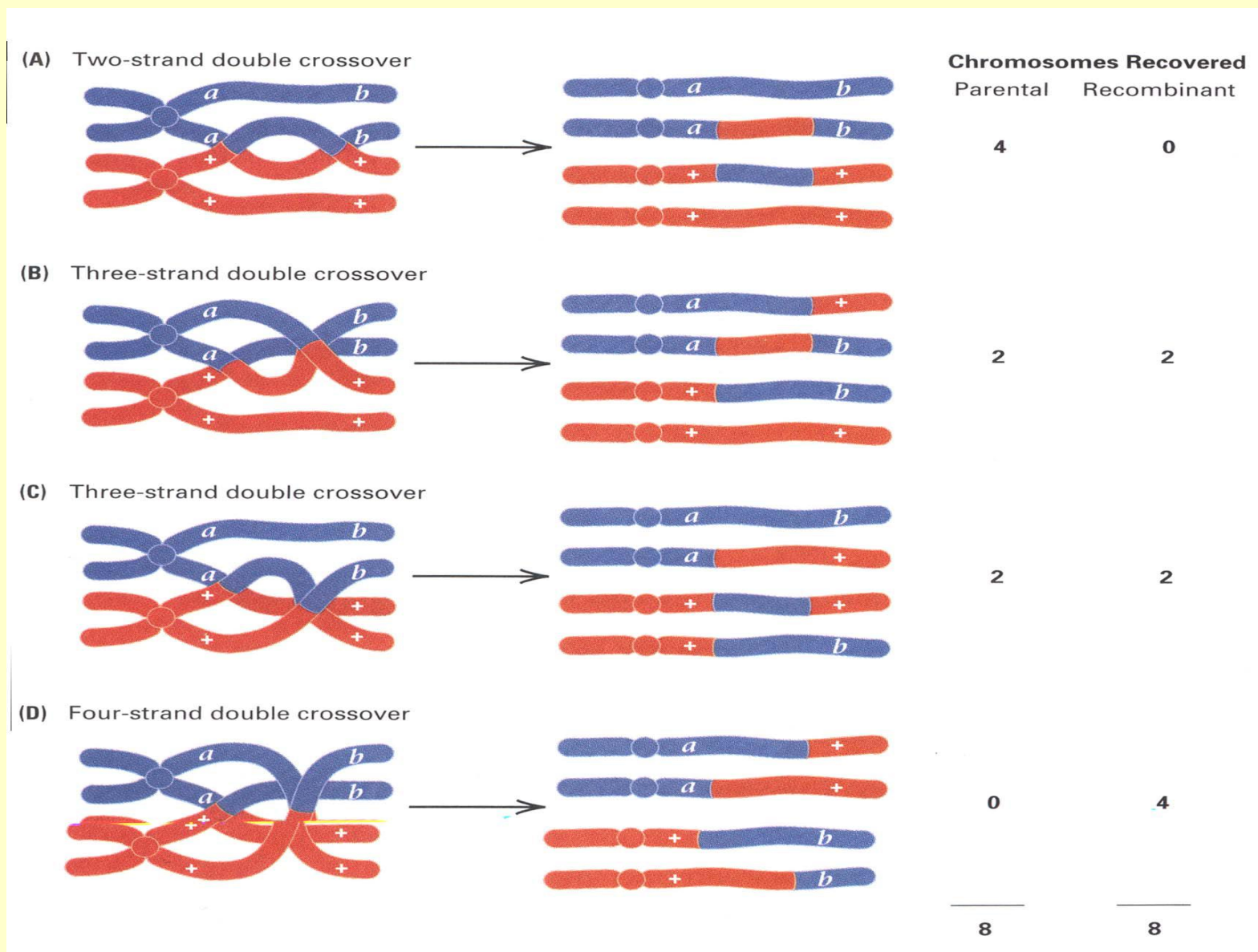


图 4-2 交换与重组型配子形成过程的示意图

同源染色体上两个非等位基因之间的双交换



◆ 尽管在发生交换的孢(性)母细胞所产生的配子中，亲本型和重组型配子各占一半，但是双杂合体所产生的四种配子的比例并不相等，因为并不是所有的孢母细胞都发生两对基因间的交换。

◆ 重组型配子比例是发生交换的孢母细胞比例的一半，并且两种重组型配子的比例相等，两种亲本型配子的比例相等。

重组型配子的比例

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

总配子数	亲型配子		重组型配子	
	CSh	csh	Csh	cSh
93个胞母细胞连锁基因内 不发生交换 $93 \times 4 = 372$ 个配子	186	186		
7个胞母细胞 连锁基因内 发生交换 $7 \times 4 = 28$ 个 配子	7	7	7	7
400个配子	193	193	7	7

第2节 交换值及其测定

一、交换值的概念

二、交换值的测定

三、交换值与遗传距离

四、影响交换值的因素

一、交换值的概念

交换值(cross-over value)，也称**重组率/重组值**，是指**重组型配子占总配子的百分率**。

即：

$$\text{交换值 (\%)} = \frac{\text{重组型配子数}}{\text{总配子数}} \times 100\%$$

亲本型配子+重组型配子

二、交换值的测定

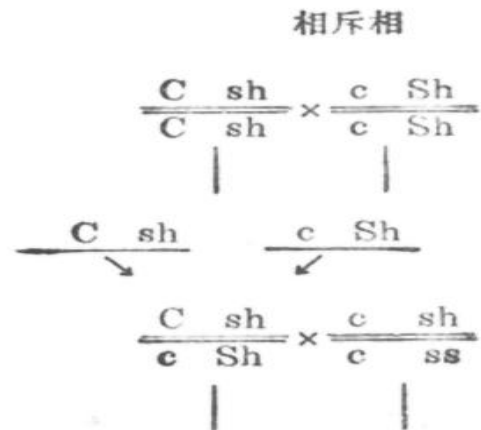
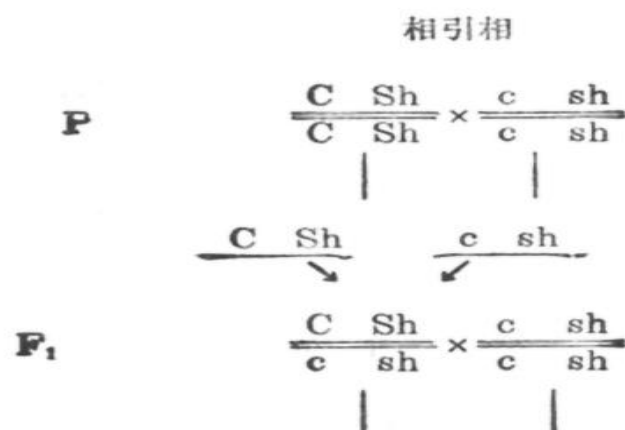
◆ 测交法

测交后代(F_1)的表现型的种类和比例直接反映被测个体(如 F_1)产生配子的种类和比例。

◆ 自交法

自交法的原理与过程(以香豌豆花色与花粉粒形状两对相对性状，P-L交换值测定为例。)

(一)、测交法: C-Sh基因间的连锁与交换



配 子			配 子	F ₁ 比 例
类 型	基因型	百分比	c sh	
亲 本 型	C Sh	48.2	$\frac{C \quad Sh}{c \quad sh}$	48.2
	c sh	48.2	$\frac{c \quad sh}{c \quad sh}$	48.2
重 组 型	C sh	1.8	$\frac{C \quad sh}{c \quad sh}$	1.8
	c Sh	1.8	$\frac{c \quad Sh}{c \quad sh}$	1.8

配 子			配 子	F ₁ 比 例
类 型	基因型	百分比	c sh	
亲 本 型	C sh	48.5	$\frac{C \quad sh}{c \quad sh}$	48.5
	c Sh	48.5	$\frac{c \quad Sh}{c \quad sh}$	48.5
重 组 型	C Sh	1.5	$\frac{C \quad Sh}{c \quad sh}$	1.5
	c sh	1.5	$\frac{c \quad sh}{c \quad sh}$	1.5

(二) 自交法: 香豌豆P-L基因间交换值测定

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

P	紫花、长花粉粒 × 红花、圆花粉粒				
	PPLL		ppll		
F ₁	紫花、长花粉粒				
	PpLl				
F ₂	紫、长	紫、圆	红、长	红、圆	总数
	P_L_	P_ll	ppL_	ppll	
实际个体数	4831	390	393	1338	6952
按9:3:3:1推算的理论数	3910.5	1303.5	1303.5	434.5	6952

P	紫花、圆花粉粒 × 红花、长花粉粒				
	PPll		ppLL		
F ₁	紫花、长花粉粒				
	PpLl				
F ₂	紫、长	紫、圆	红、长	红、圆	总数
	P_L_	P_ll	ppL_	ppll	
实际个体数	226	95	97	1	419
按9:3:3:1推算的理论数	235.8	78.5	78.5	26.2	419

	PL	Pl	pL	pl
	a	b	b	a
PL				
a				
Pl				
b				
pL				
b				
pl				a ²
a				

香豌豆P-L基因间交换值测定

相引组

$$a^2 = 1338/6952 = 0.192$$

$$a = 0.44$$

$$\text{交换值} = 1 - 2 \times 0.44 = 0.12 = 12 \%$$

相斥组

$$a^2 = 1/419 = 0.00239$$

$$a = 0.049$$

$$\text{交换值} = 0.049 \times 2 = 0.098 = 9.8 \%$$

三、交换值与遗传距离

1. 两个连锁基因间交换值的变化范围是 $[0, 50\%]$ ，其变化反映基因间的连锁强度、基因间的相对距离；

两基因间的距离越远，基因间的连锁强度越小，交换值就越大；反之，基因间的距离越近，基因间的连锁强度越大，交换值就越小。

三、交换值与遗传距离

2. 通常用交换值/重组率来度量基因间的相对距离，也称为遗传距离(genetic distance)。

通常以1%的重组率作为一个遗传距离单位/遗传单位（centi-Morgan, cM）。

四、影响交换值的因素

1. 年龄对交换值的影响

老龄雌果蝇的重组率明显下降。

2. 性别对交换值的影响

雄果蝇和雌家蚕的进行减数分裂时很少发生交换。

3. 环境条件对交换值的影响

高等植物的干旱条件下重组率会下降，一定范围内，增加温度可以提高交换值。

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

第3节 基因定位与连锁遗传图

一、基因定位

(一)、两点测验

(二)、三点测验

(三)、干扰和符合

二、连锁遗传图

一、基因定位 (*gene location/localization*)

与参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程 访问: www.kaoyancas.net

广义的基因定位有三个层次:

染色体定位(单体、缺体、三体定位法);

染色体臂定位(端体分析法);

连锁分析(linkage analysis)。

- ③ 基因定位(*gene location/localization*): 确定基因在染色体上的相对位置和排列次序。
- ③ 根据两个基因位点间的交换值能够确定两个基因间的相对距离, 但并不能确定基因间的排列次序。
- ③ 因此, 一次基因定位工作常涉及三对或三对以上基因位置及相互关系。

(一) 两点测验——步骤1

通过三次亲本间两两杂交，杂种 F_1 与双隐性亲本测交，考察测交子代的类型与比例。



例：玉米第9染色体上三对基因间连锁分析：

子粒颜色：有色(C)对无色(c)为显性；

饱满程度：饱满(SH)对凹陷(sh)为显性；

淀粉粒：非糯性(W_x)对糯性(wx)为显性。

(1).($CCShSh \times ccshsh$) $F_1 \times ccshsh$

(2).($wxwxShSh \times W_xW_xshsh$) $F_1 \times wxwxshsh$

(3).($wxwxCC \times W_xW_xcc$) $F_1 \times wxwxcc$

试验类别	亲本和后代	表现型及基因型		种子粒数
		种 类	亲本组合或重新组合	
相引组试验	P ₁	有色、饱满 (CCShSh)		
	P ₂	无色、凹陷 (ccshsh)		
	测交后代	有色、饱满 (CcShsh)	亲	4 032
		无色、饱满 (ccShsh)	新	152
		有色、凹陷 (Ccshsh)	新	149
		无色、凹陷 (ccshsh)	亲	4 035
相斥组试验	P ₁	糯性、饱满 (wxwxShSh)		
	P ₂	非糯性、凹陷 (WxWxshsh)		
	测交后代	非糯性、饱满 (WxwxShsh)	新	1 531
		非糯性、凹陷 (Wxwxshsh)	亲	5 885
		糯性、饱满 (wxwxShsh)	亲	5 991
		糯性、凹陷 (wxwxshsh)	新	1 488
相引组试验	P ₁	非糯性、有色 (WxWxCC)		
	P ₂	糯性、无色 (wxwxcc)		
	测交后代	非糯性、有色 (WxwxCc)	亲	2 542
		非糯性、无色 (Wxwxcc)	新	739
		糯性、有色 (wxwxCc)	新	717
		糯性、无色 (wxwxcc)	亲	2 716

(一) 两点测验——步骤2

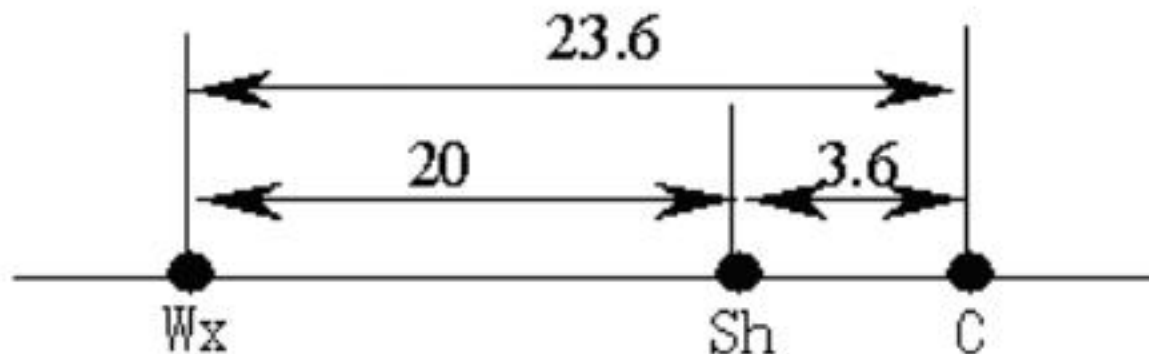
$$(1). C-Sh间的交换值 = \frac{152+149}{4032+4035+152+149} \times 100\% = 3.6\%$$

$$(2). W_x-Sh间的交换值 = \frac{1531+1488}{5885+5991+1531+1488} \times 100\% = 20\%$$

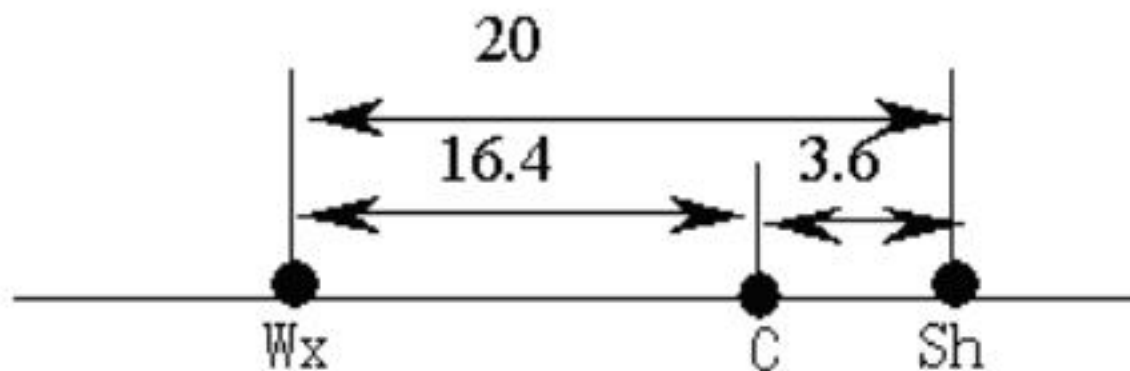
$$(3). W_x-C间的交换值 = \frac{739+717}{2542+2716+739+717} \times 100\% = 22\%$$

(一) 两点测验——步骤3

第一种：



第二种：



(一) 两点测验——局限性

1. 工作量大，需要作三次杂交，三次测交；
 2. 不能排除双交换的影响，准确性不够高。
- 当两基因位点间超过五个遗传单位时，两点测验的准确性就不够高。

(二) 三点测验——实验

实验：

P: 陷、非糯性、有色 × 饱满、糯性、无色

shsh ++ ++ ++ wxwx cc



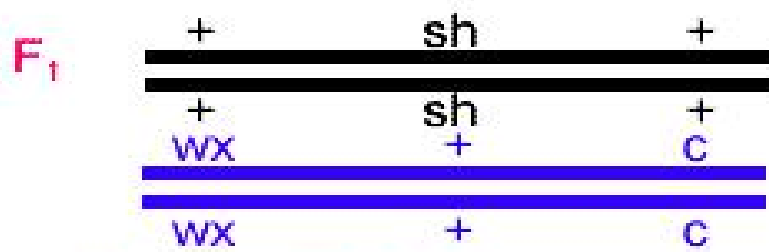
F1及测交: 饱满、非糯性、有色 × 凹陷、糯性、无色

+sh +wx +c shsh wxwx cc

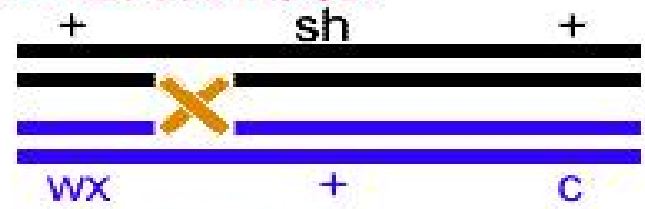


Ft

测交后代的表现型	F1配子种类	粒数	交换类别
饱满、糯性、无色	+ wx c	2708	亲本型
凹陷、非糯、有色	sh + +	2538	
饱满、非糯、无色	+ + c	626	单交换
凹陷、糯性、有色	sh wx +	601	
凹陷、非糯、无色	sh + c	113	单交换
饱满、糯性、有色	+ wx +	116	
饱满、非糯、有色	+ + +	4	双交换
凹陷、糯性、无色	sh wx c	2	
总 数		6708	



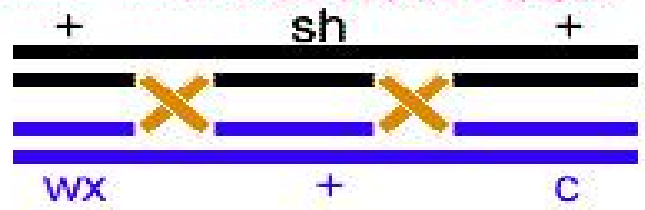
wx和sh之间发生交换



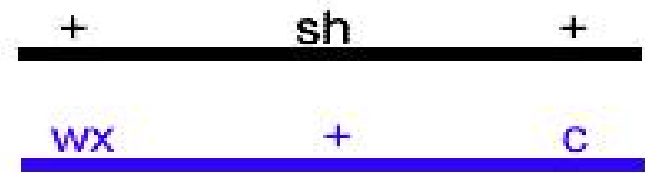
sh和c之间发生交换



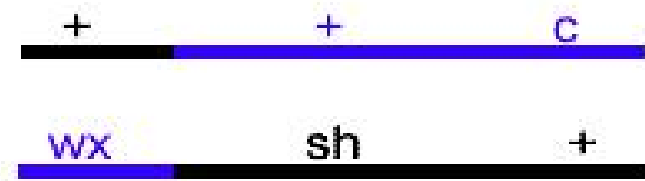
wx和sh、sh和c之间都发生交换



亲本型配子



交换型配子一



交换型配子二



双交换型配子



2. 计算基因间的交换值

$$\text{双交换值} = \frac{4+2}{6708} \times 100\% = 0.09\%$$

$$wx \text{ 与 } sh \text{ 间的交换值} = \frac{601+626}{6708} \times 100\% + 0.09\% = 18.4\%$$

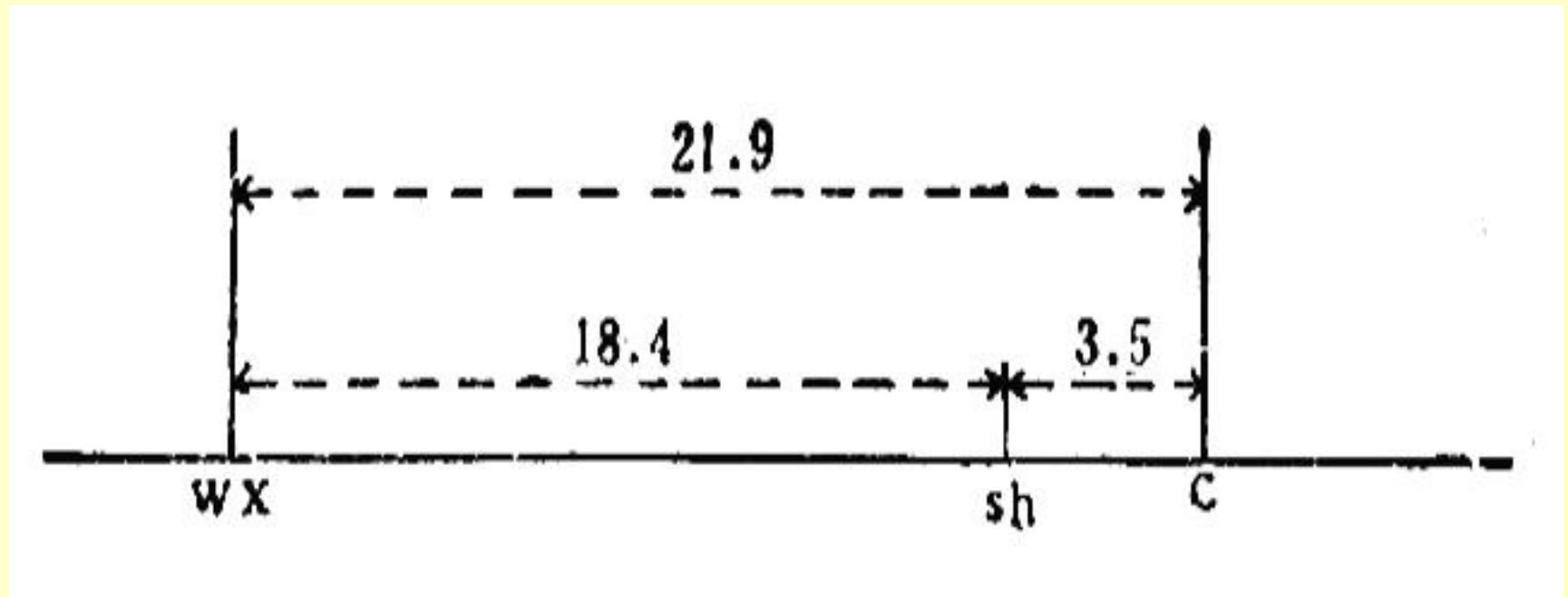
$$sh \text{ 与 } c \text{ 间的交换值} = \frac{116+113}{6708} \times 100\% + 0.09\% = 3.5\%$$

$$wx \text{ 与 } c \text{ 间的交换值} = 18.4\% + 3.5\% = 21.9\%$$

3. 绘制连锁遗传图

Sh位于wx与c之间；

wx-sh: 18.4 sh-c: 3.5 wx-c: 21.9



(三)、干扰和符合

1. 理论双交换值

◎如果相邻两交换间互不影响，即交换独立发生，那么根据乘法定理，双交换发生的理论频率(理论双交换值)应该是两个区域交换频率(交换值)的乘积。

◎例：wxshc三点测验中，wx和c基因间理论双交换值应为： $0.184 \times 0.035 = 0.64\%$ 。

2. 干扰(interference):

◎wx和c基因间的实际双交换值为0.09%，低于理论双交换值，这是由于wx-sh间或sh-c间一旦发生一次交换后就会影响另一个区域交换的发生，使双交换的频率下降。

◎这种现象称为**干扰(interference)或干涉**：一个交换发生后，它往往会影响其邻近交换的发生。

◎为了度量两次交换间相互影响的程度，提出了符合系数的概念。

(三)、干扰和符合

符合系数(coefficient of coincidence)

符合系数=实际双交换值/理论双交换值

用以衡量两次交换间相互影响的性质和程度。
例如前述中：符合系数= $0.09/0.64=0.14$ 。

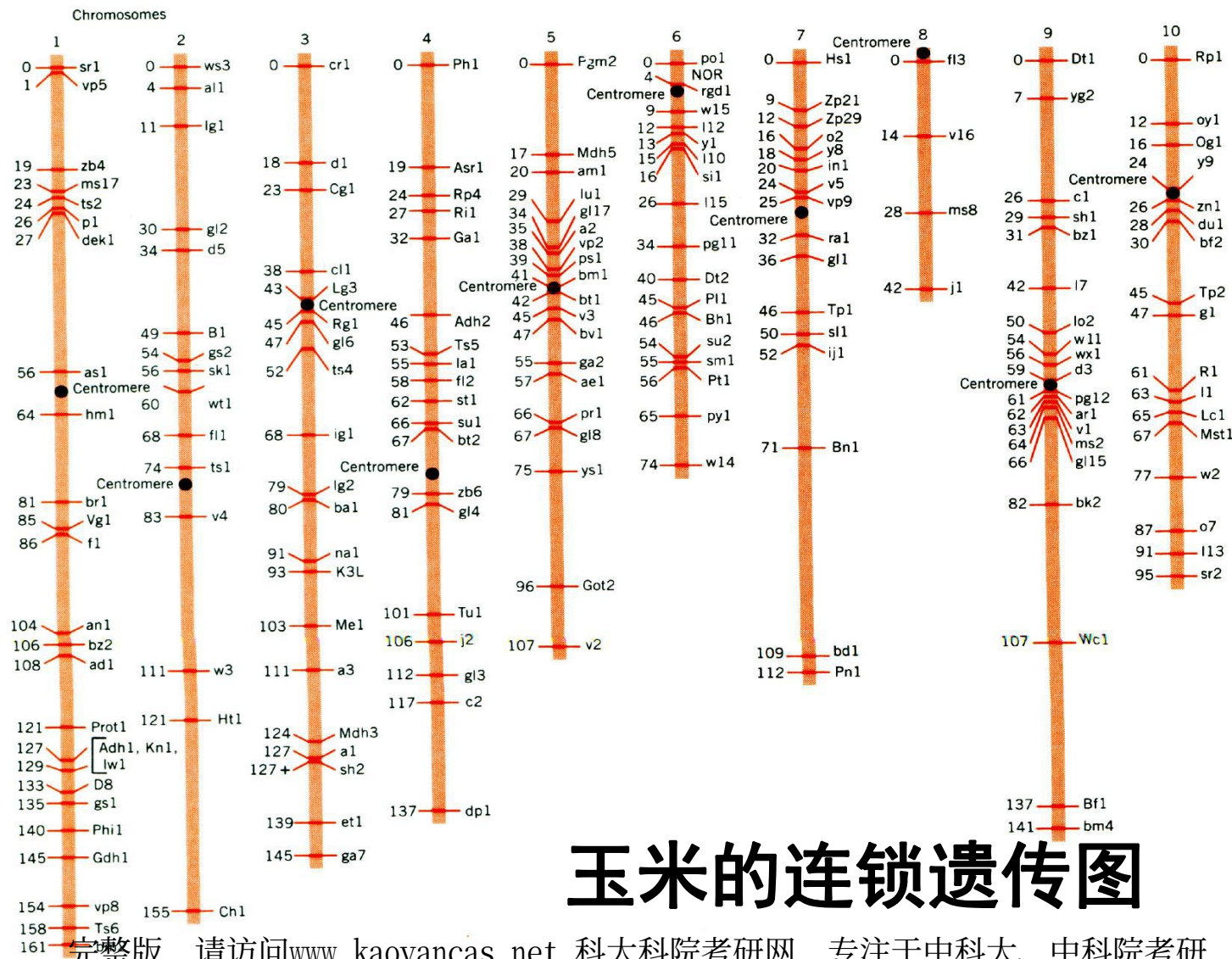
符合系数的性质：

真核生物： $[0, 1]$ —正干扰；某些微生物中往往大于1，称为负干扰。

二、

连锁遗传图 (linkage map)

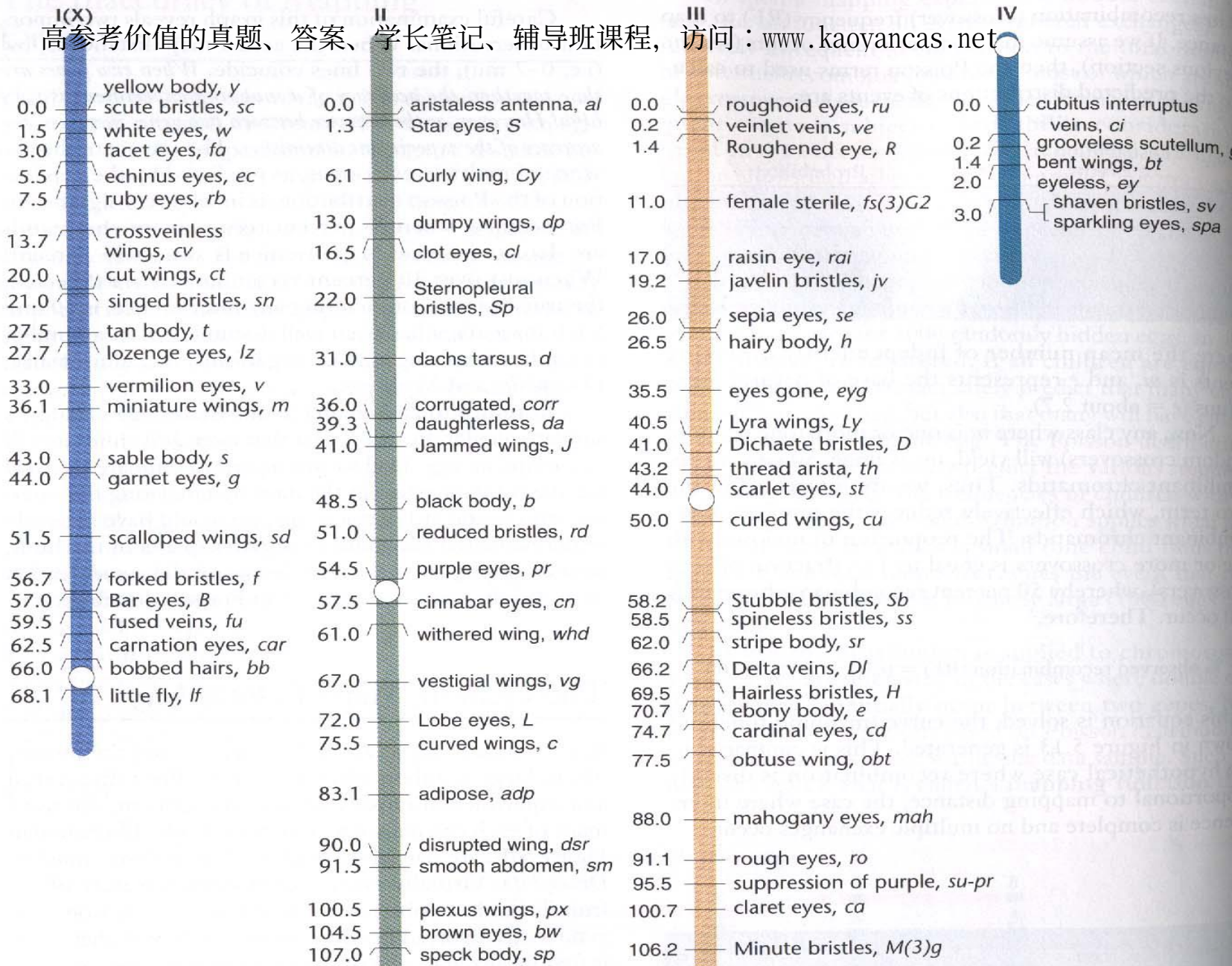
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net



玉米的连锁遗传图

果蝇的4个连锁群

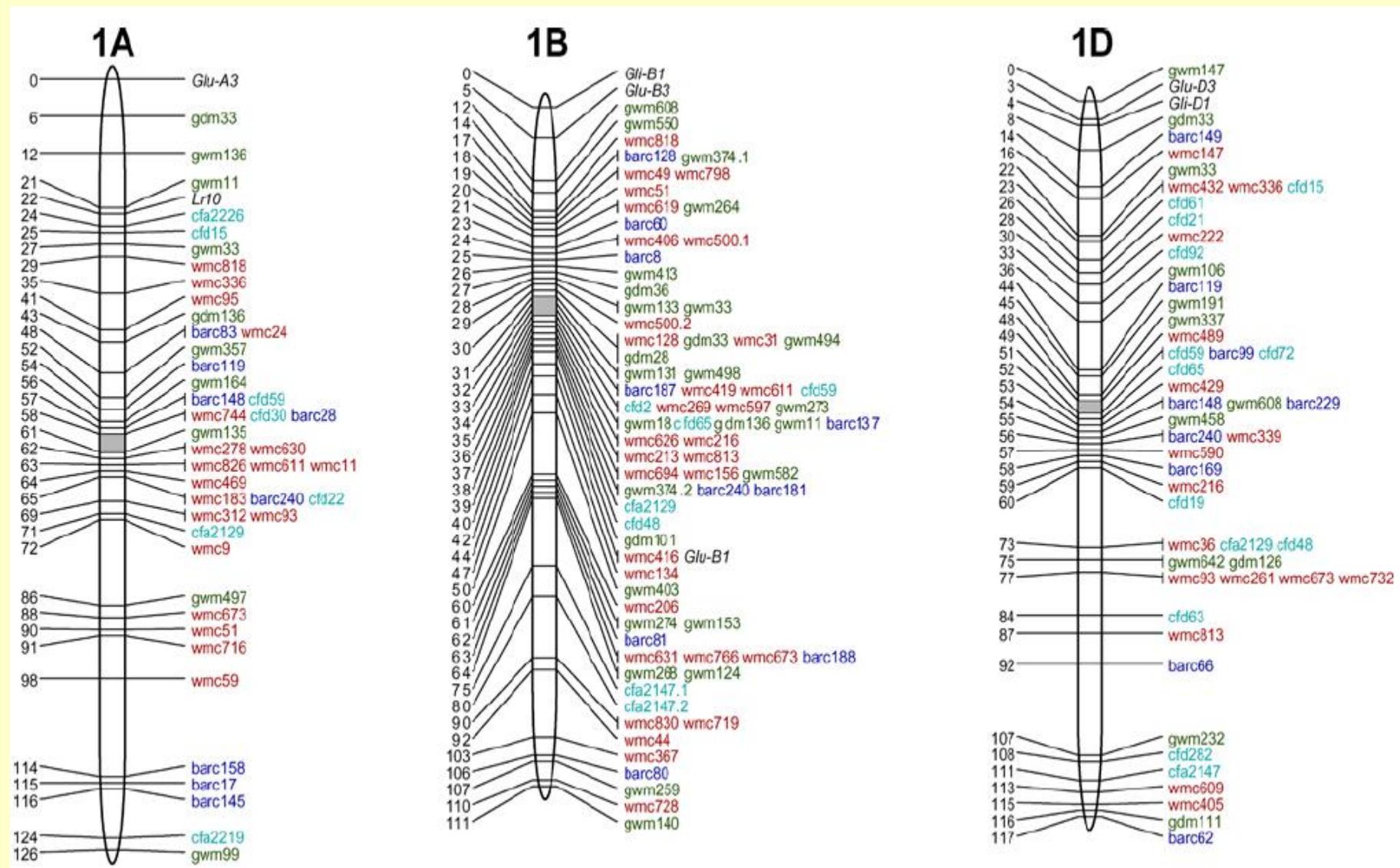
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net



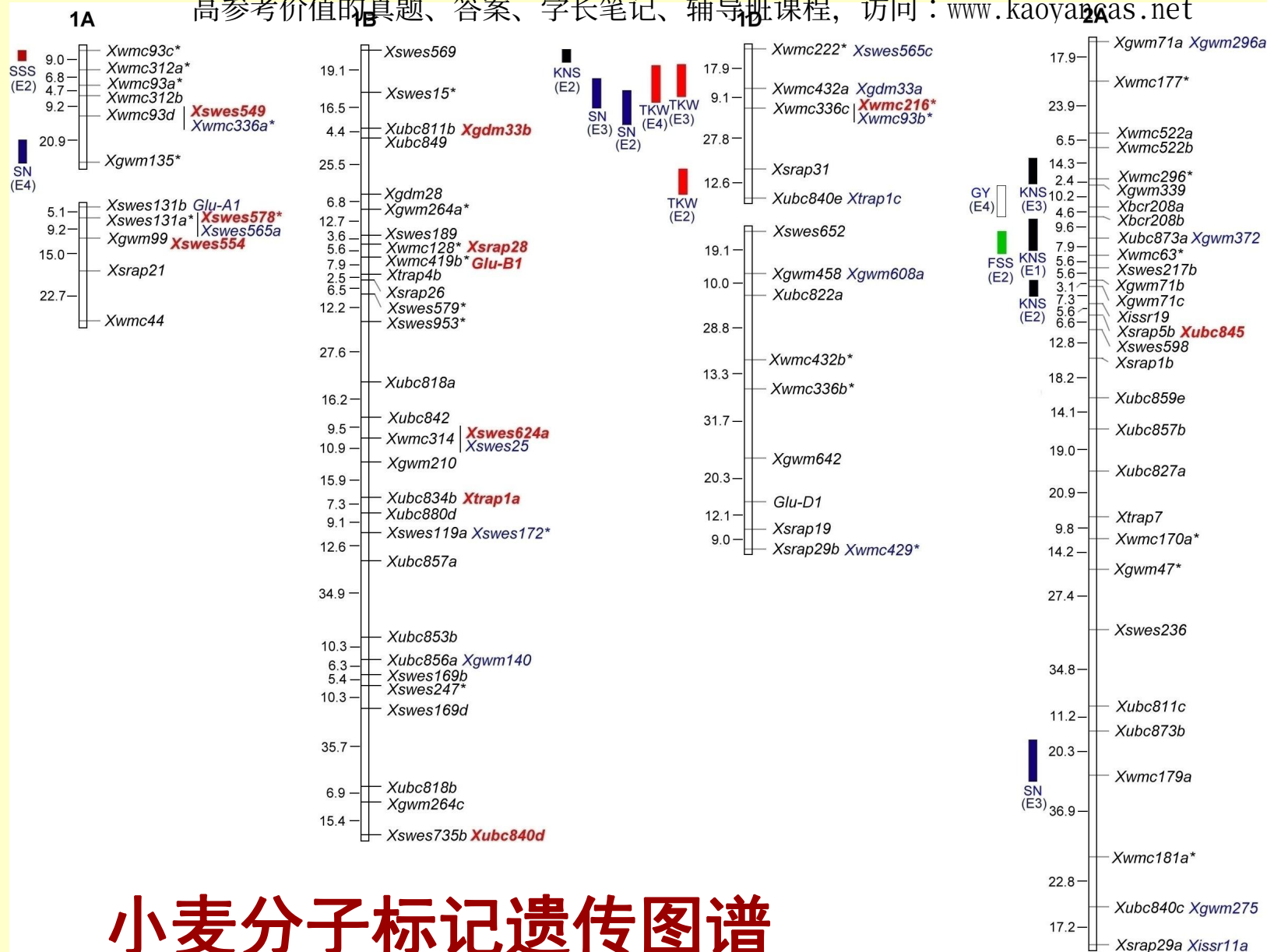
完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

小麦分子标记遗传图谱

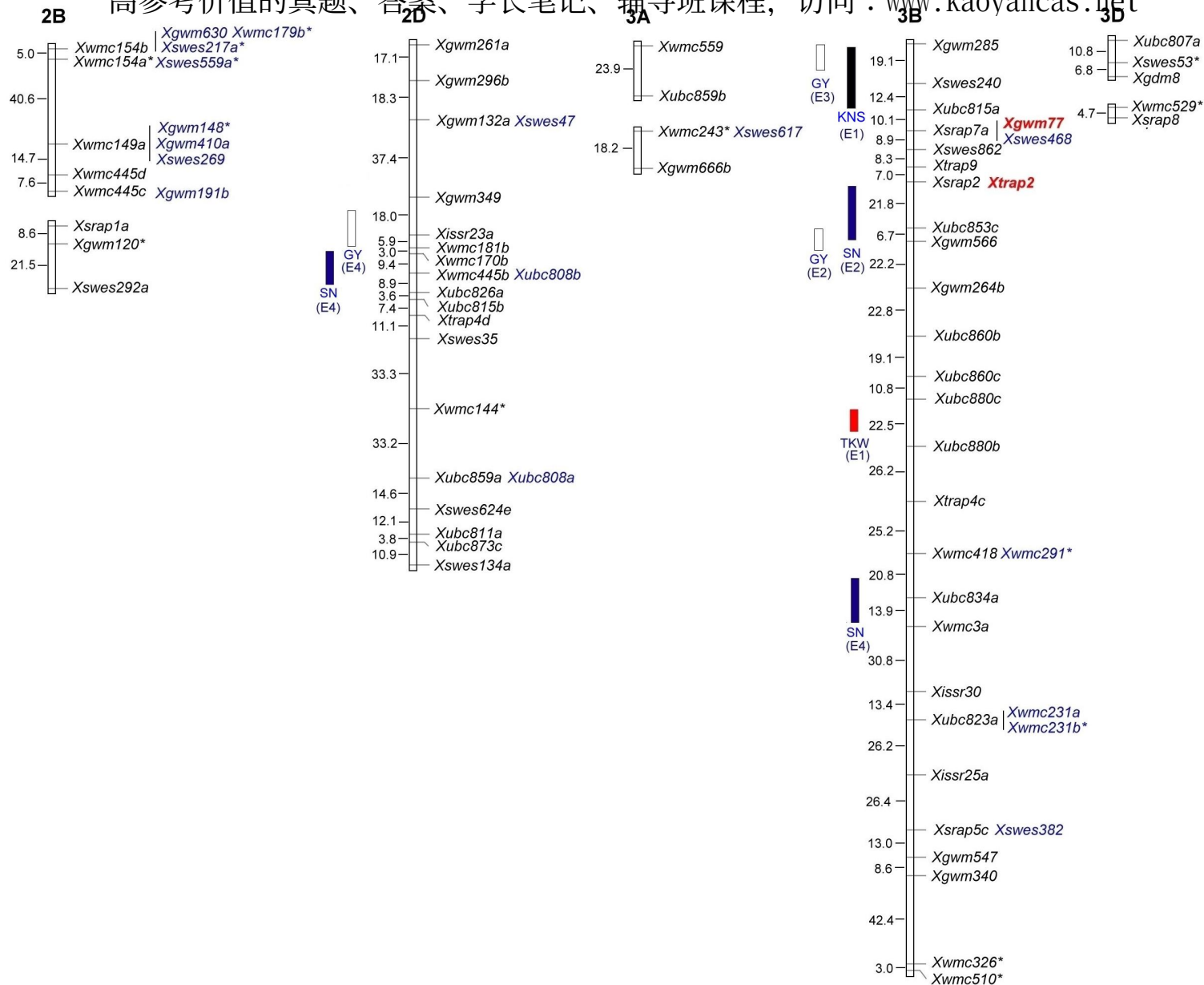
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

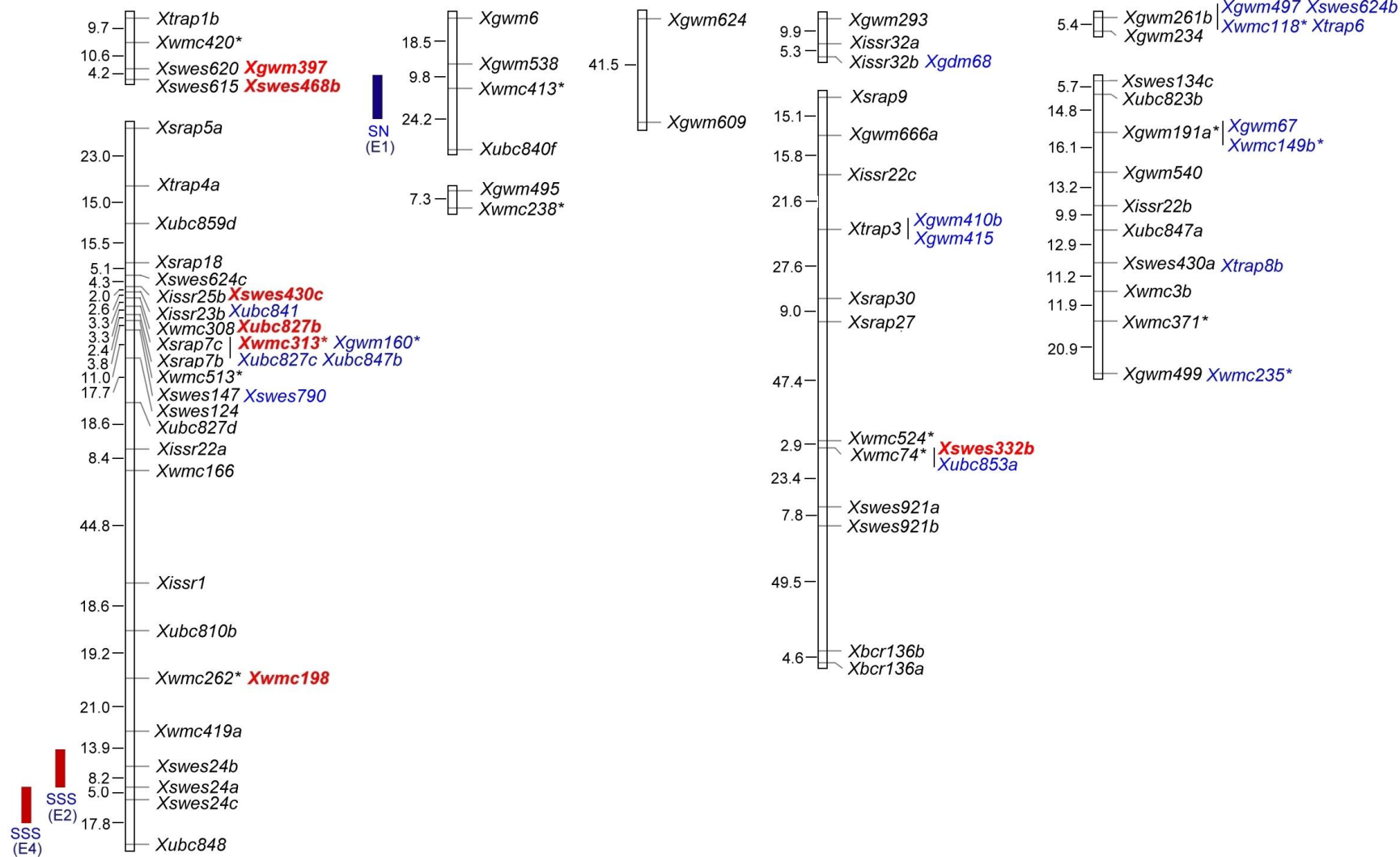


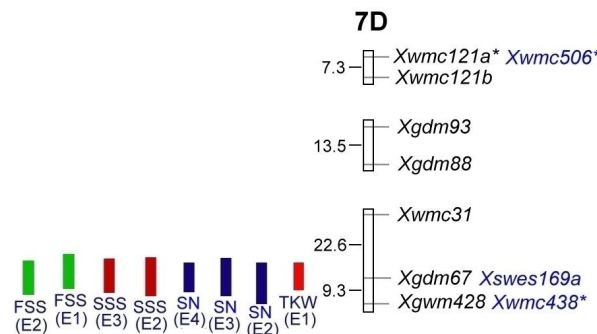
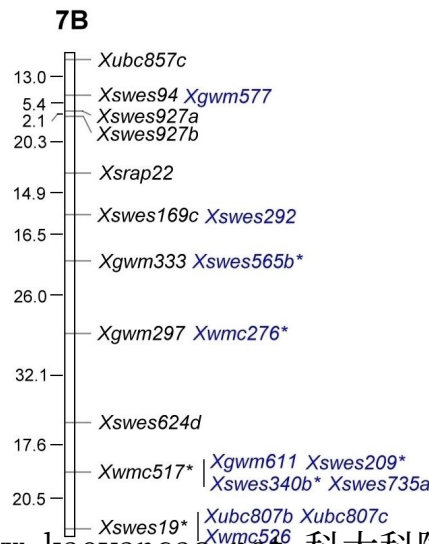
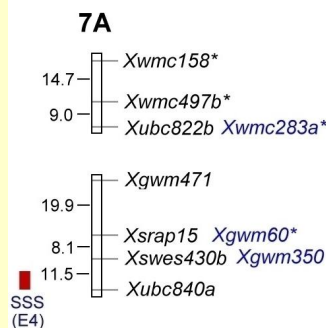
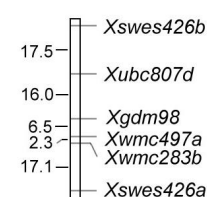
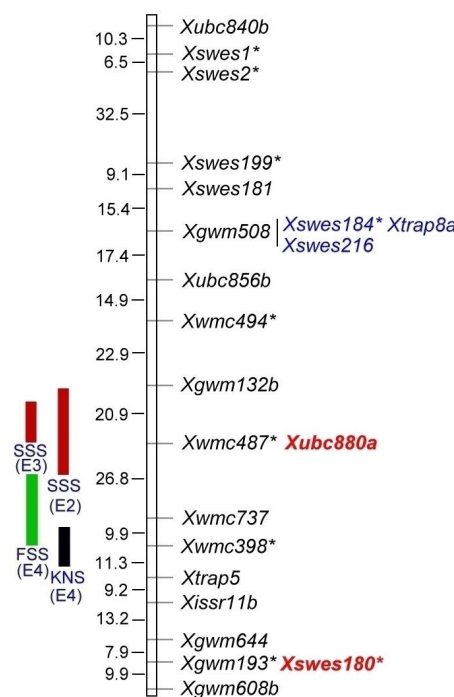
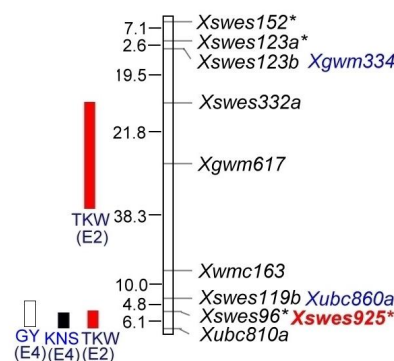
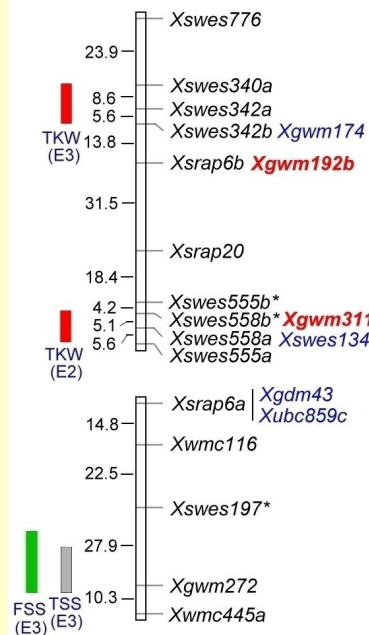
完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研



小麦分子标记遗传图谱







第四节 真菌类的连锁与交换

一、红色面包霉的特点

二、四分子分析与着丝点作图

三、红色面包霉的连锁与交换

一、红色面包霉的特点

③ 红色面包霉(真菌类)的特点：

- ⊙ 易于繁殖、培养、管理；
- ⊙ 可直接观察基因表现，无需测交；
- ⊙ 可获得、分析单次减数分裂的结果；等。

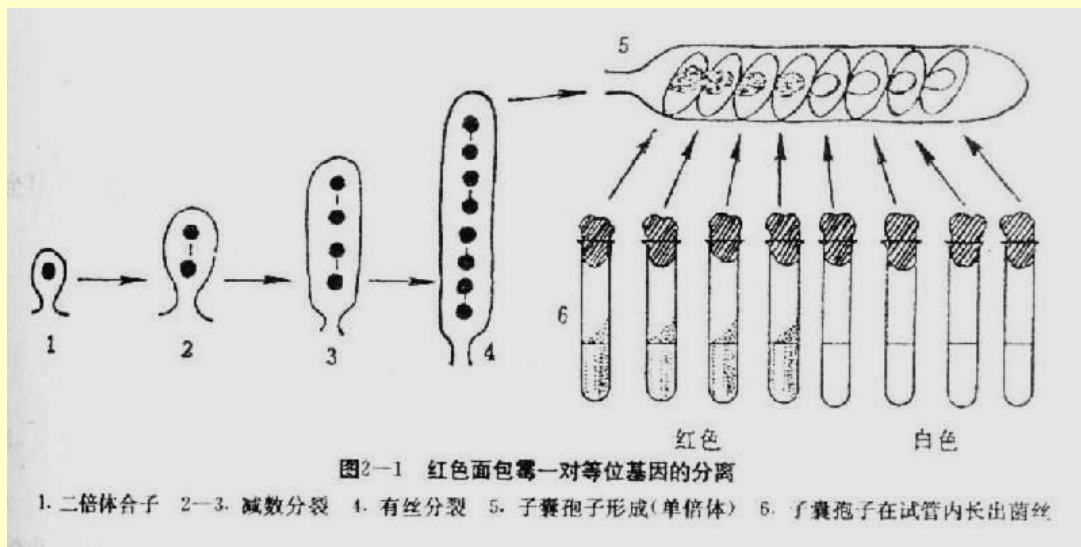
③ 红色面包霉减数分裂特点：

- ⊙ 每次减数分裂结果都保存在一个子囊中；
- ⊙ 四分子或八分子在子囊中呈直线排列——直列四分子/八分子，具有严格的顺序。

④ 四分子分析(tetrad analysis):

指根据一个子囊中四个按严格顺序直线排列的四分子(或其有丝分裂产物子囊孢子)表现进行的遗传分析，也称为**直列四分子分析**。

④ 非直列四分子分析：四分子没有严格排列顺序，如酵母菌。



③ 着丝点作图(centromere mapping):

◎ 减数分裂过程中，基因位点与着丝点间：

不发生非姊妹染色单体间交换，

如果发生交换将产生不同的排列方式

子囊中孢子排列方式不同，判断是否发生交换，并计算交换值；

◎ 该交换值为基因与着丝点间的交换值，因此可估计基因位点与着丝点间遗传距离，并进行连锁作图，称着丝点作图。

三、红色面包霉的连锁与交换

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

③与赖氨酸合成有关的基因(lys):

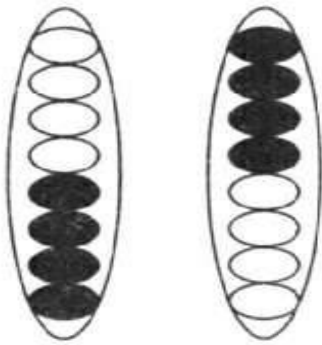
野生型——能够合成赖氨酸，记为 lys^+ ，能在基本培养基(不含赖氨酸)上正常生长，成熟子囊孢子呈黑色；

突变型——不能合成赖氨酸，称为赖氨酸缺陷型，记为 lys^- ，在基本培养基上生长缓慢，子囊孢子成熟较迟，呈灰色。

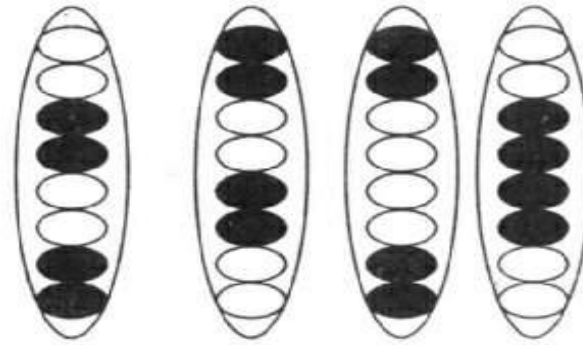
③用不同接合型的 lys^+ 和 lys^- 杂交，可预期八个孢子中 lys^+ 和 lys^- 呈4:4的比例。

③在对子囊进行镜检时发现子中 lys^+ 和 lys^- 有六种排列方式。

非交换型	(1)	+	+	+	+	-	-	-	-
	(2)	-	-	-	-	+	+	+	+
交换型	(3)	+	+	-	-	+	+	-	-
	(4)	-	-	+	+	-	-	+	+
	(5)	+	+	-	-	-	-	+	+
	(6)	-	-	+	+	+	+	-	-



First division segregation



Second division segregation

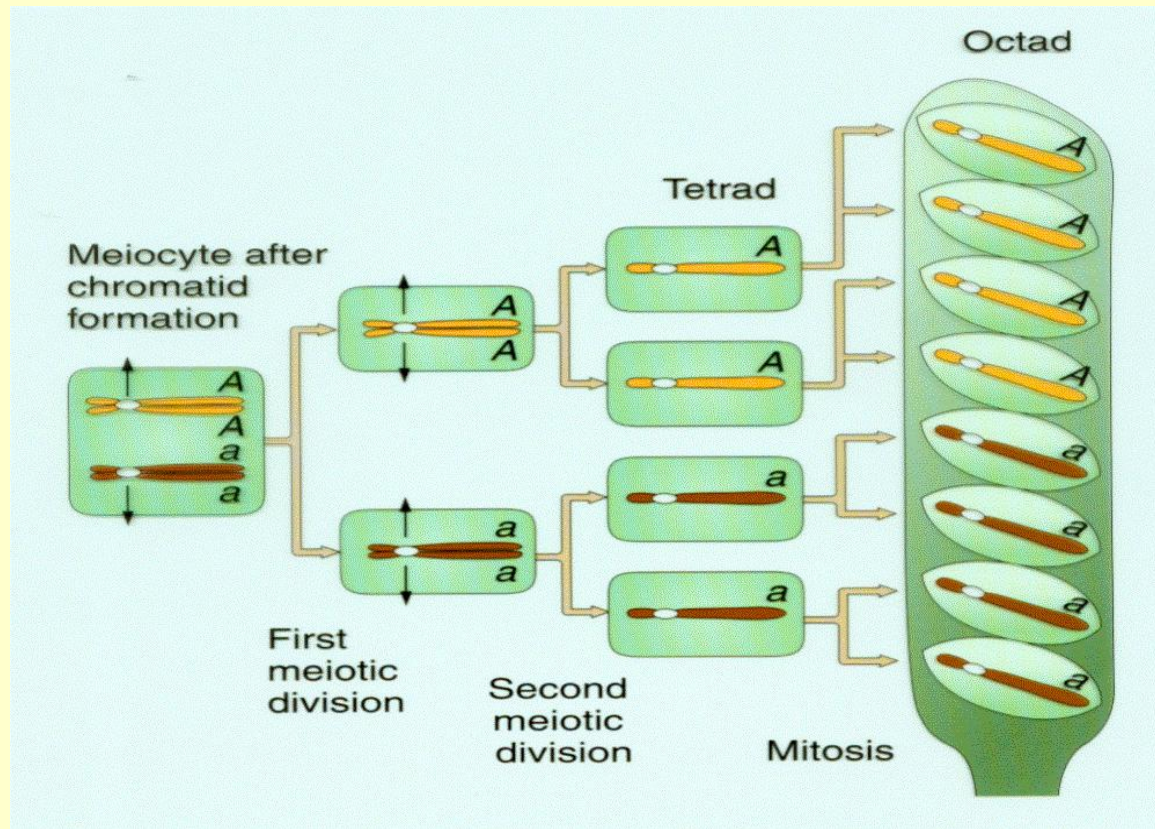
Fig. 2. Different arrangements of asci in ascospores showing first or second division segregation. As shown each pattern is present twice depending on which member of the bivalent is distal at the time of meiosis. The two different patterns of second division segregation asci depend on which pairs of chromatids were involved in the cross-over.

第一次分裂分离与第二次分裂分离

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问 www.kaoyancas.net

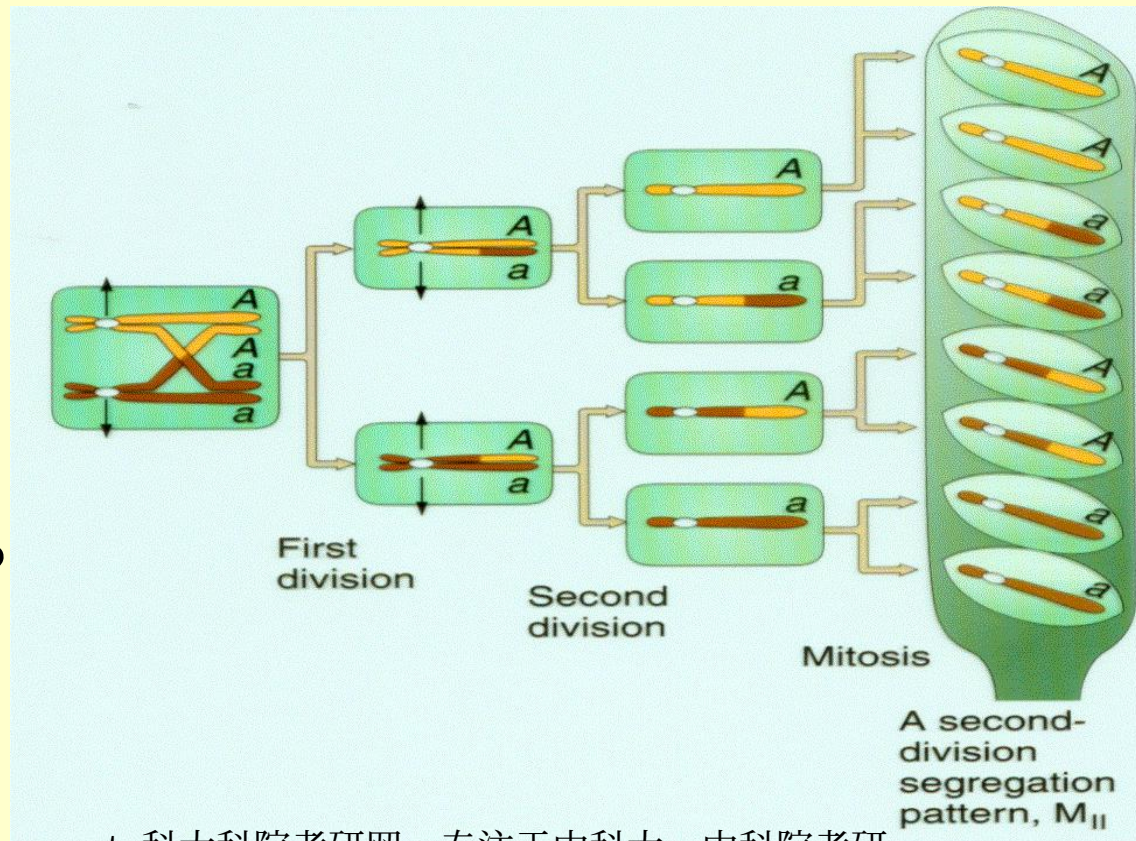
⊙(1-2)两种排列方式：野生型 lys^+ 和突变型 lys^- 在 AI 彼此分离，称**第一次分裂分离(first division segregation)**。

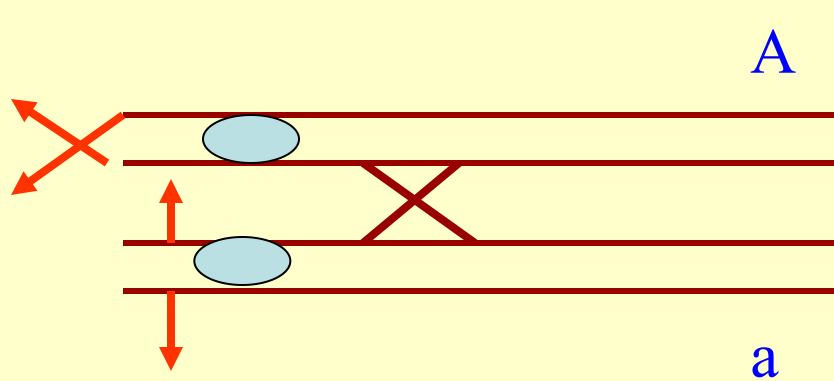
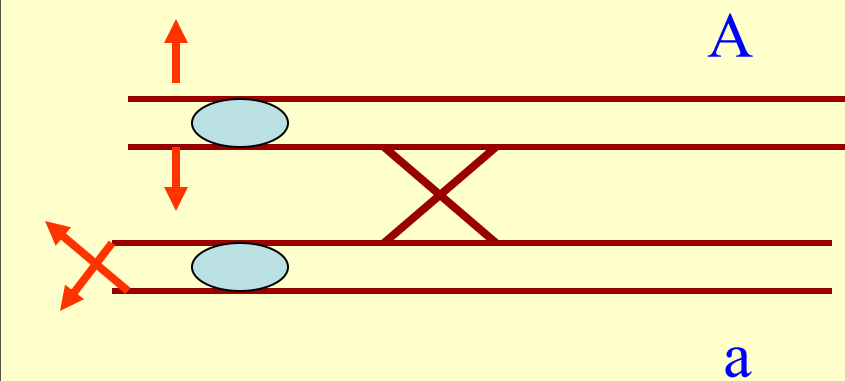
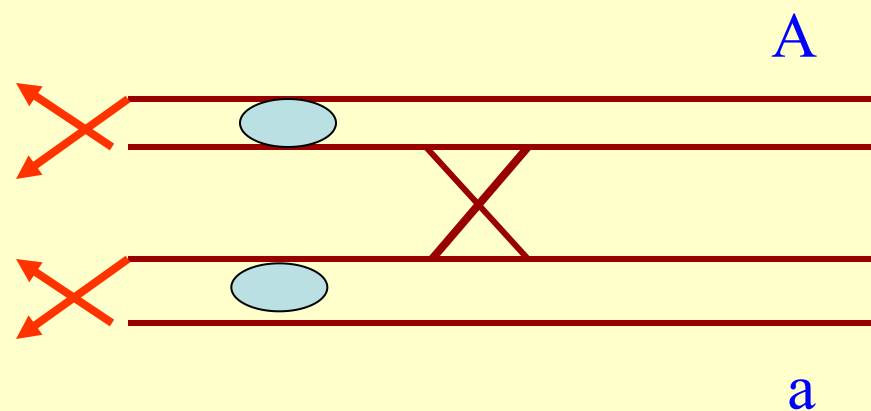
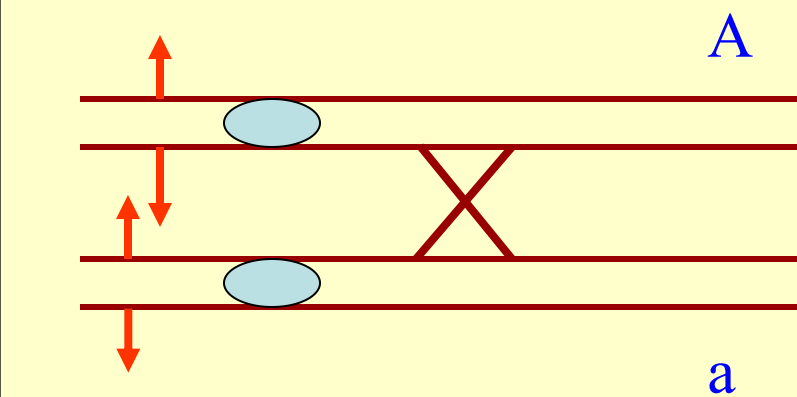
着丝粒和 lys 基因位点间不发生非姊妹染色单体交换，因此这两种子囊类型就是非交换型子囊。



(3-6)四种排列方式：第一分裂产物中野生型与突变型未发生分离，野生型和突变型 AII 发生分离，称第二次分裂分离(second division segregation)。

着丝粒与基因位点间发生非姊妹染色单体交换，因此这四种子囊均为交换型子囊。



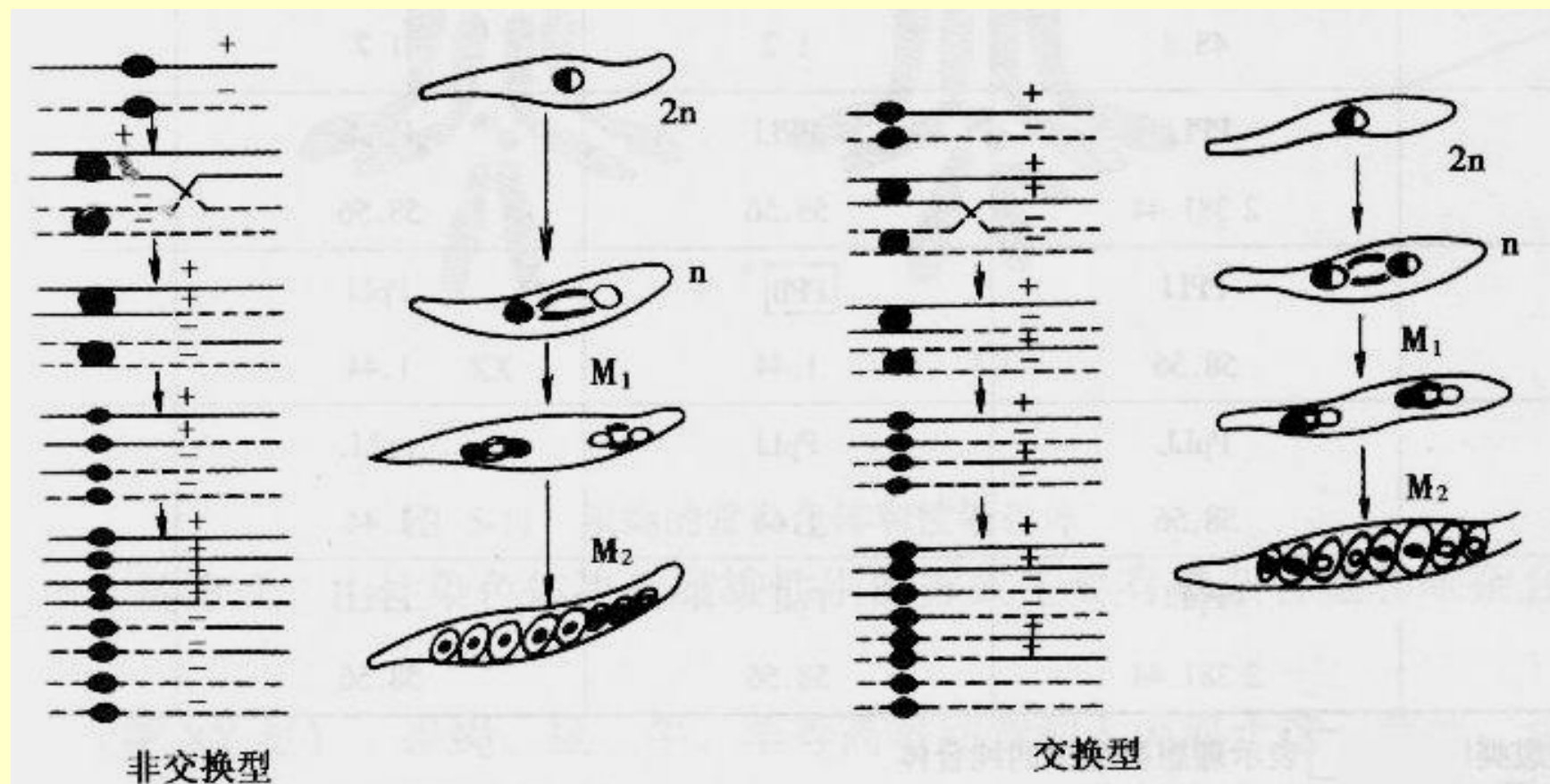


AAaaaaAA

aaAAAAaa

非交换型、交换型子囊的形成

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net



(交换未发生在着丝点与+/-基因之间) (交换发生在着丝点与+/-基因之间)

图 5-10 红色面包霉不同菌株杂交产生的非交换型和交换型的示意图

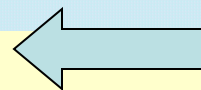
着丝点距离与着丝点作图

高参考价值真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

③ 将着丝点当作一个基因位点看待，计算基因位点与着丝点间的交换值，估计基因与着丝点间的遗传距离，称为**着丝点距离**。

④ 每个交换型子囊中，基因位点与着丝粒间发生一次交换，其中半数孢子是重组型(重组型配子)。因此，交换值的计算公式为：

$$\text{交换值} = \frac{\text{交换型子囊数} \times \frac{1}{2}}{\text{交换型子囊数} + \text{非交换型子囊数}} \times 100\%$$



第五节 连锁遗传规律的应用

一、理论研究中的意义

1. 基因与染色体的关系
2. 生物变异产生的最重要的理论解释之一
3. 连锁遗传作图的理论基础

二、育种改良的理论基础

1. 育种目标是否可能达到
2. 育种目标实现可能性大小(确定分离选择群体的大小)
3. 间接选择

第六节 性别决定与性连锁

一、性染色体与性别决定

二、性连锁

一、性染色体与性别决定

(一)、性染色体

③ 性染色体(sex chromosome)

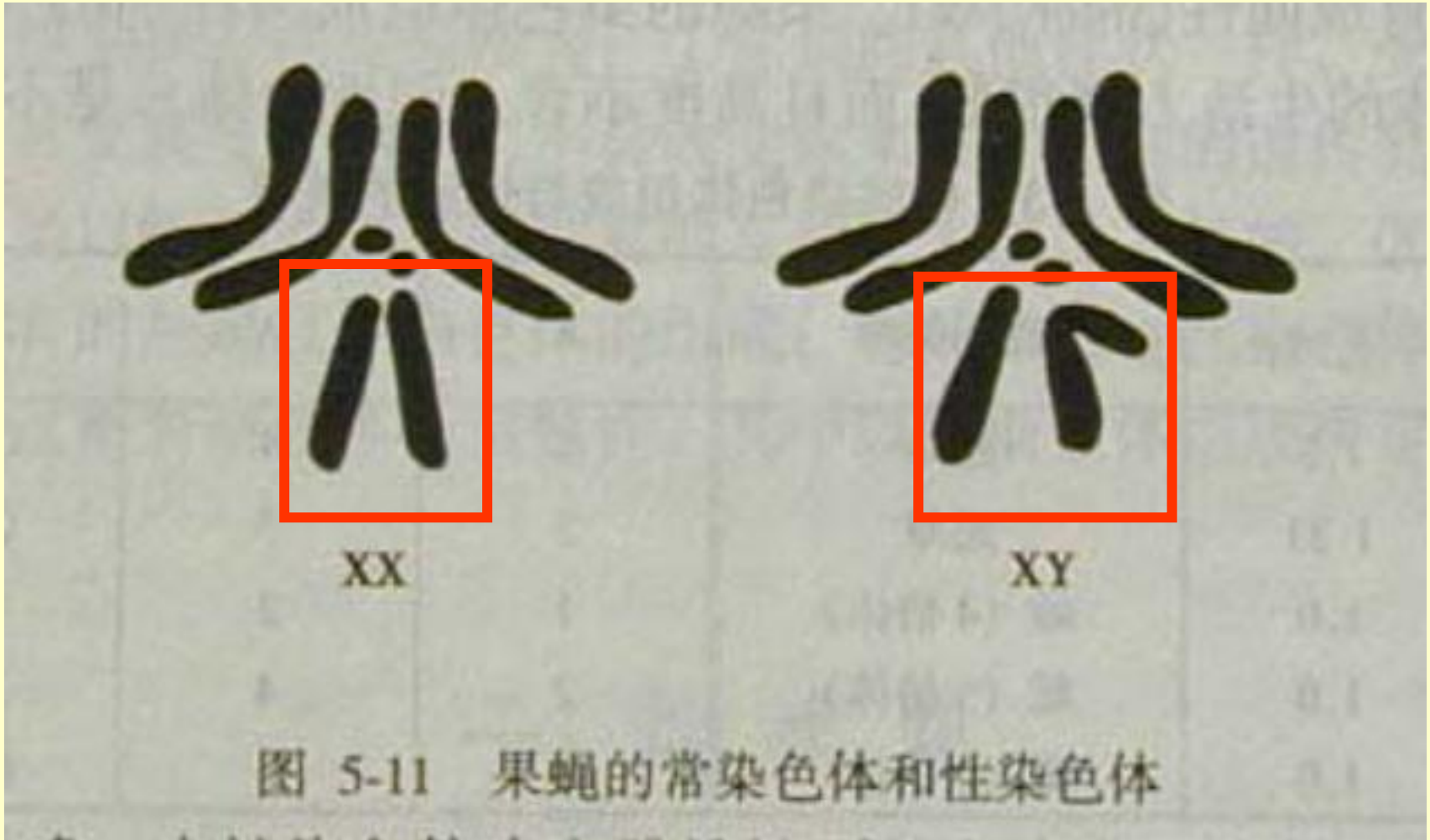
◎ 成对染色体中直接与性别决定有关的一个或一对染色体。

◎ 成对性染色体往往是异型的：形态、结构、大小、功能上都有所不同。

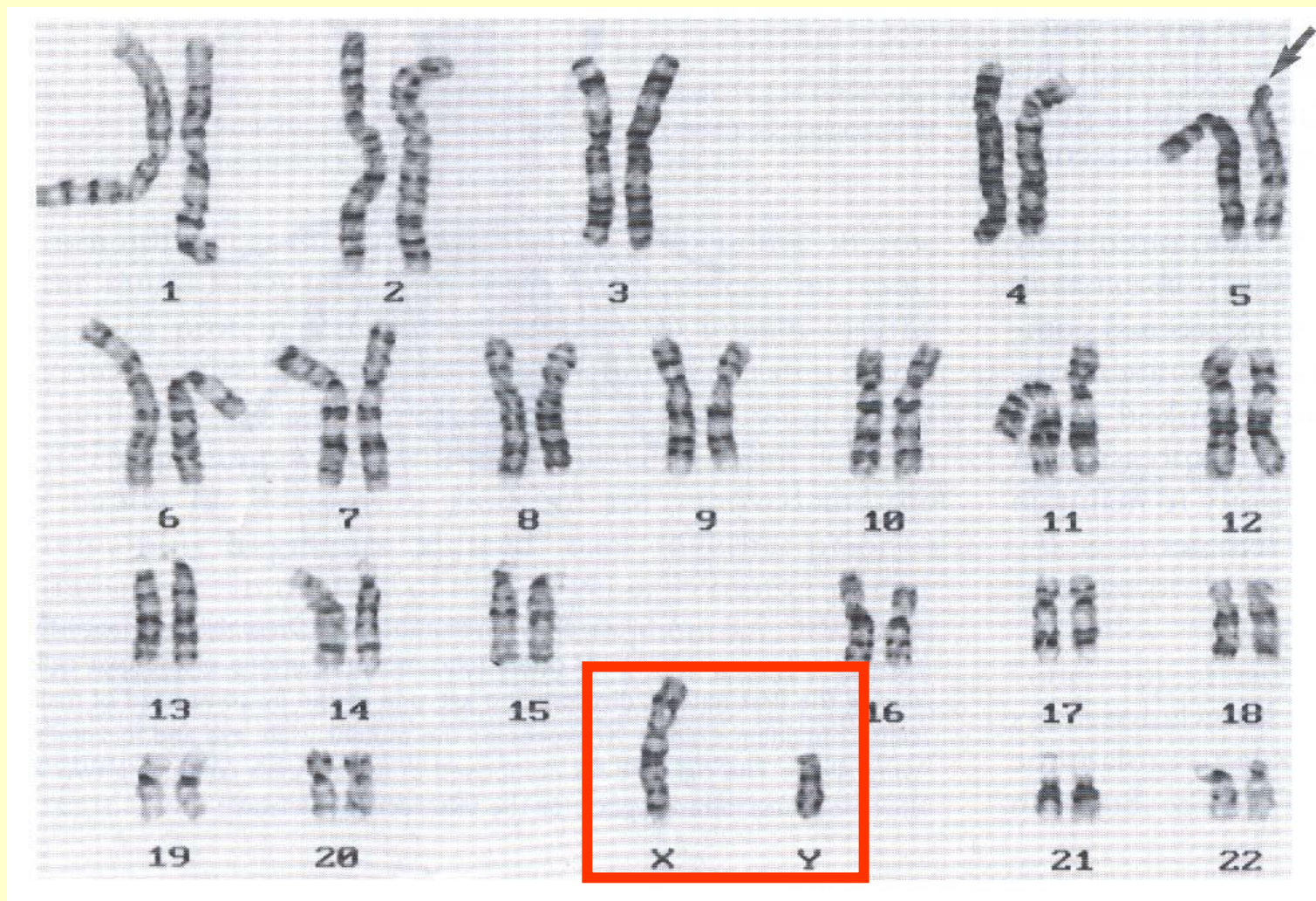
③ 常染色体(autosome, A)

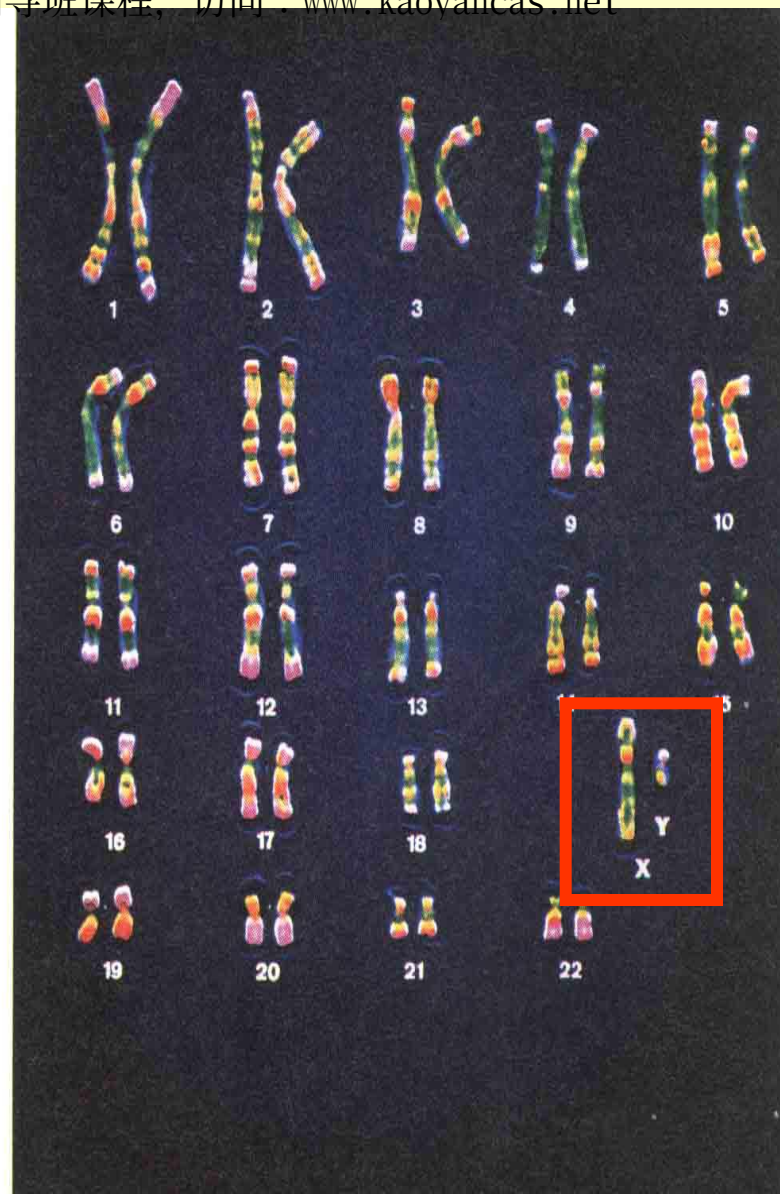
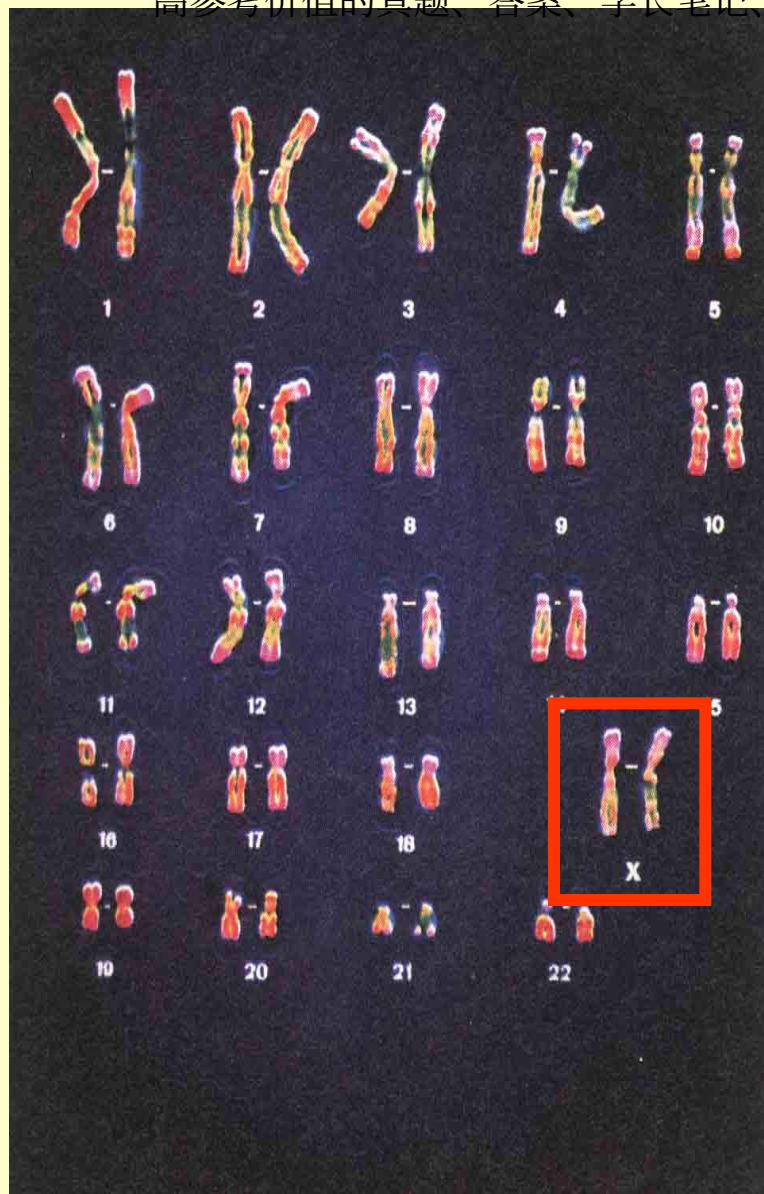
◎ 同源染色体是同型的。

果蝇的常染色体和性染色体



人的常染色体和性染色体





(二)、性染色体决定性别方式

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

1. XY型 (雄杂合型):

- ③ 两种性染色体分别为X、Y;
- ③ 雄性个体的性染色体组成为XY(异配子性别), 产生两种类型的配子, 分别含X和Y染色体;
- ③ 雌性个体则为XX(同配子性别), 产生一种配子含X染色体。
- ③ 性比一般是1:1。

2. XO型:

- ③ 与XY型相似, 但只有一条性染色体X;
- ③ 雄性个体只有一条X染色体(XO, 不成对), 它产生含X染色体和不含性染色体两种类型的配子;
- ③ 雌性个体性染色体为XX。
- ③ 如: 蝗虫、蟋蟀。

(二)、性染色体决定性别方式

3. ZW型 (雌杂合型):

- ◎两种性染色体分别为Z、W染色体；
- ◎雌性个体性染色体组成为ZW(异配子性别)，产生两种类型的配子，分别含Z和W染色体；
- ◎雄性个体则为ZZ(同配子性别)，产生一种配子含Z染色体。
- ◎性比一般是1:1。

(三)、性别决定畸变-果蝇性别决定畸变

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

③ 果蝇的性别决定与Y染色体有无与数目无关，而是由X染色体与常染色体的组成比例决定。其中：

$X:A=1 \rightarrow$ 雌性 $X:A=0.5 \rightarrow$ 雄性

③ $X:A$ 大于1的个体将发育成超雌性，小于0.5时发育成超雄性，介于两者则为间性；伴随着生活力、育性下降。

果蝇染色体组成与性别的关系

X	A	X/A	性别类型	X	A	X/A	性别类型
3	2	1.5	超雌	3	4	0.75	间性
4	3	1.33	超雌	2	3	0.67	间性
4	4	1.0	雌 (4 倍体)	1	2	0.5	雄
3	3	1.0	雌 (3 倍体)	2	4	0.5	雄
2	2	1.0	雌 (2 倍体)	1	3	0.33	超雄

(三)、性别决定畸变

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

③ 人类也存在由于性染色体组成异常而产生的性别畸变现象，对这些畸变现象的研究表明：
与果蝇不同，人类的性别主要取决于是否存在Y染色体。

③ 几种常见的畸变现象：

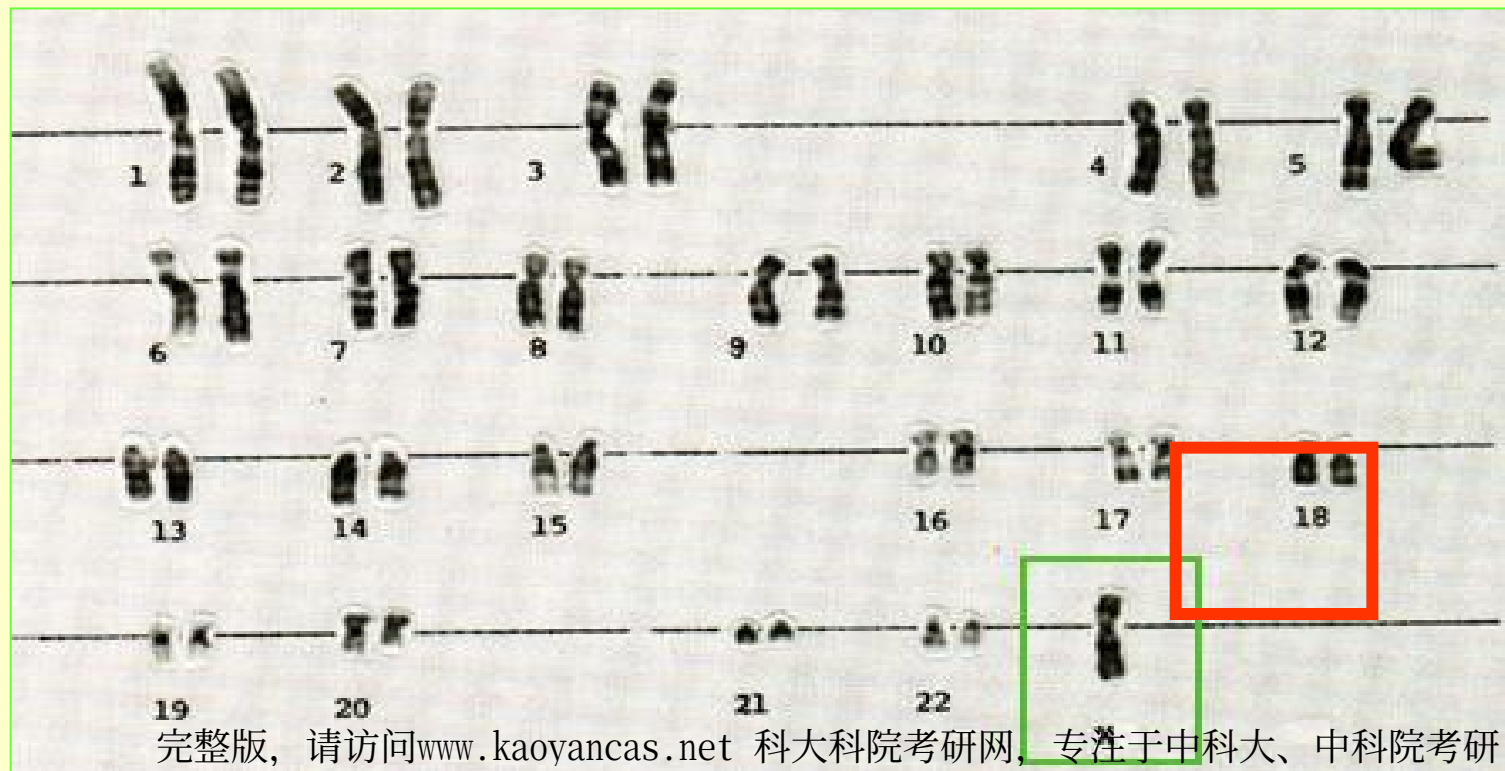
XO: 表现为女性

XXY: 表现为男性

XYY: 表现为男性。

③ XO型($2n=45$): 唐纳氏(Turner's)综合症。

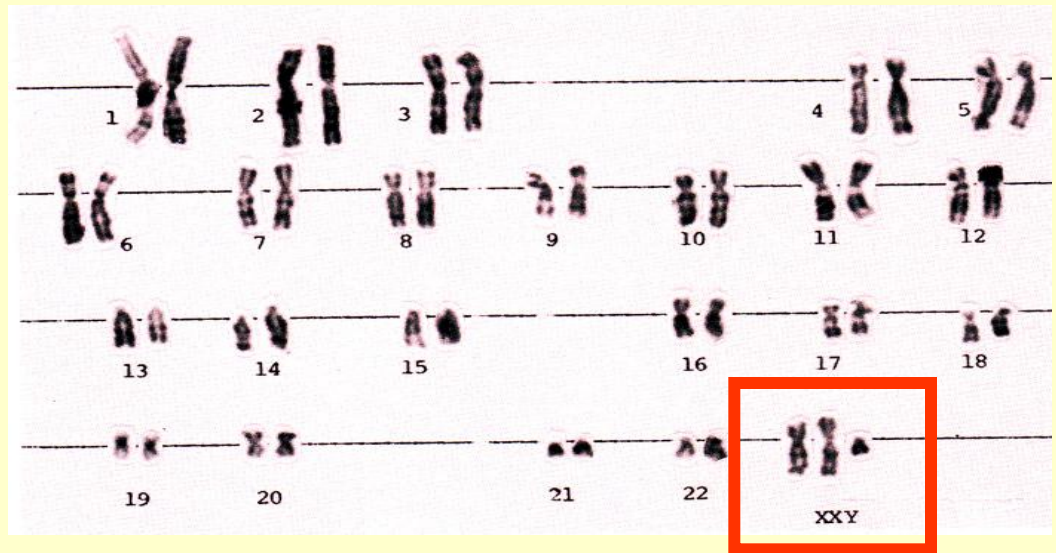
性别为女性，身材矮小(120-140cm)，蹼颈、肘外翻和幼稚型生殖器官；部分表现为智力低下；卵巢发育不全、无生育能力。



人类性别决定畸变

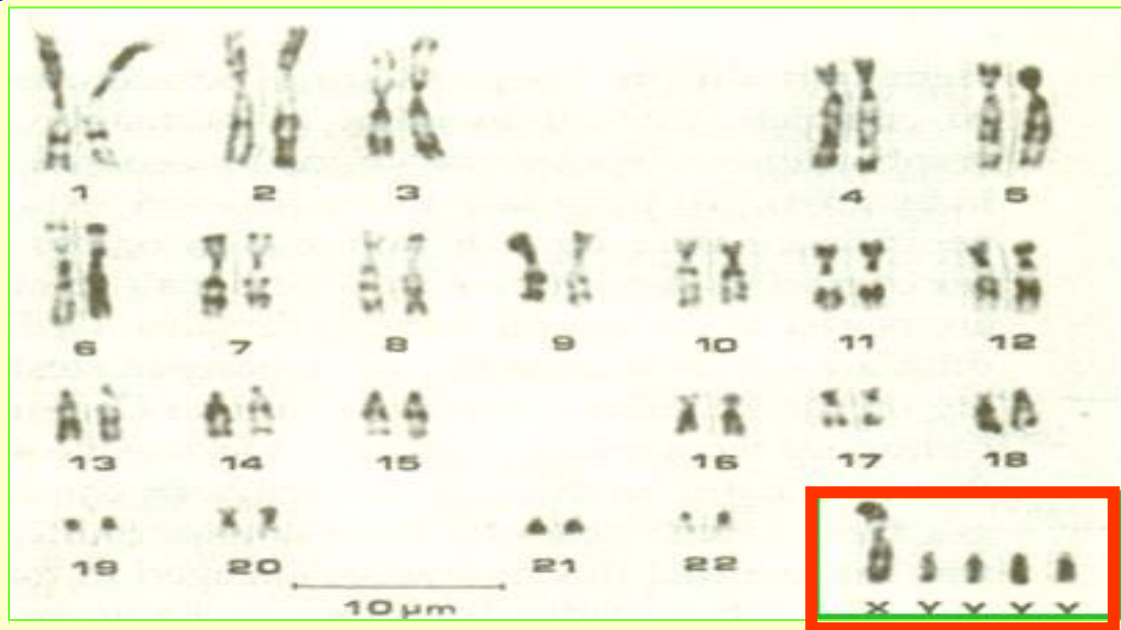
XXY型($2n=47$): 克氏(Klinefelter's)综合症。

**性别为男性，身材高大，第二性征类似女性，
一般智力低下，睾丸发育不全、无生育能力。**



XYY型($2n=47$):

性别为男性，智力稍差(也有智力高于一般人的)、较粗野、进攻性强，有生育能力。生殖器官发育不良,多数不育,有人认为患者有反社会行为。



(四) 染色体倍数性决定

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

蜜蜂等膜翅目的昆虫：性别取决于染色体的倍数性，并受到环境影响。

雄蜂为单倍体，孤雌生殖产生，形成配子时不进行减数分裂；

雌蜂(蜂王)为二倍体，受精卵发育而来，并在幼虫期得到足够的蜂王浆(5天)；如果幼虫期仅得到2-3天蜂王浆则发育为工蜂。

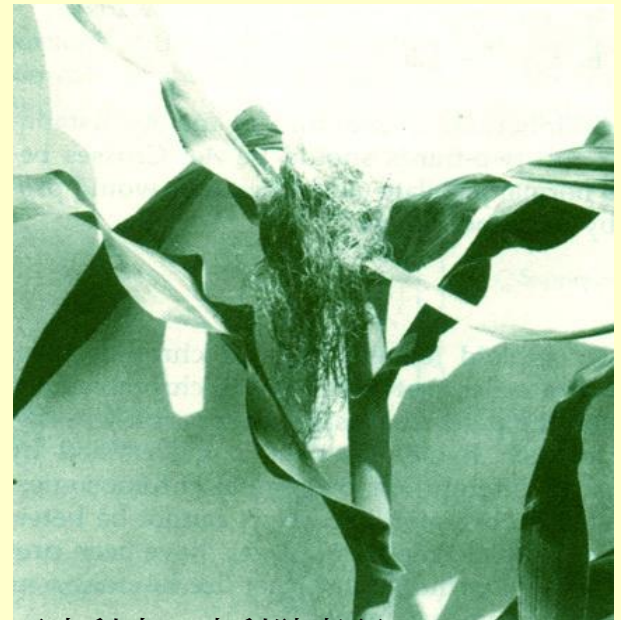


(五) 植物性别决定

- ③ 植物存在性染色体决定个体性别（如雌雄异株的蛇麻XY型性别决定）的类型；
- ③ 也可能是由少数几对等位基因控制的个体性别。如玉米为雌雄同株异花。

Ba: 正常 ♀ 花序，ba 无 ♀ 穗；
Ts 正常 ♂ 花序，
ts : ♂ 花序发育成 ♀ 穗并结实。

Ba_Ts_: 正常 ♀、♂ 同株
Ba_tsts: 顶端、叶腋均为 ♀ 穗
babaTs_: 仅有 ♂ 花序 (♂ 株)
babatsts: 顶端 ♀ 穗 (♀ 穗株)



(六) 环境对性别的影响与决定

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

⊕环境对性别决定的作用主要表现在遗传作用的基础上的修饰性作用；例如：

⊙蜂王(♀)与工蜂形成的差异；

⊙牝鸡司晨现象；

⊙雌雄同株异花植物的花芽分化；等。

⊕少数情况下，环境也会超越遗传作用而决定性别：

⊙有些蛙类性别决定是XY型：蝌蚪在20℃以下环境发育时性别由其性染色体决定；但在30℃条件下XX和XY个体均会发育成雄性个体。

③性连锁：也称为伴性遗传(*sex-linked inheritance*)，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；特指X或Z染色体上基因的遗传。

③1910年摩尔根等在研究果蝇中最先发现性连锁现象，同时最终证明了基因位于染色体上。

果蝇的眼色不仅受 pr^+/pr 基因控制(红眼对紫眼显性)；还受另一对基因 W/w 控制(红眼对白眼为显性，白眼突变体)。

(一)、果蝇眼色基因 W/w 的遗传

高价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

红眼(W)对白眼(w)为显性；

P: 红眼(♀) × 白眼(♂)

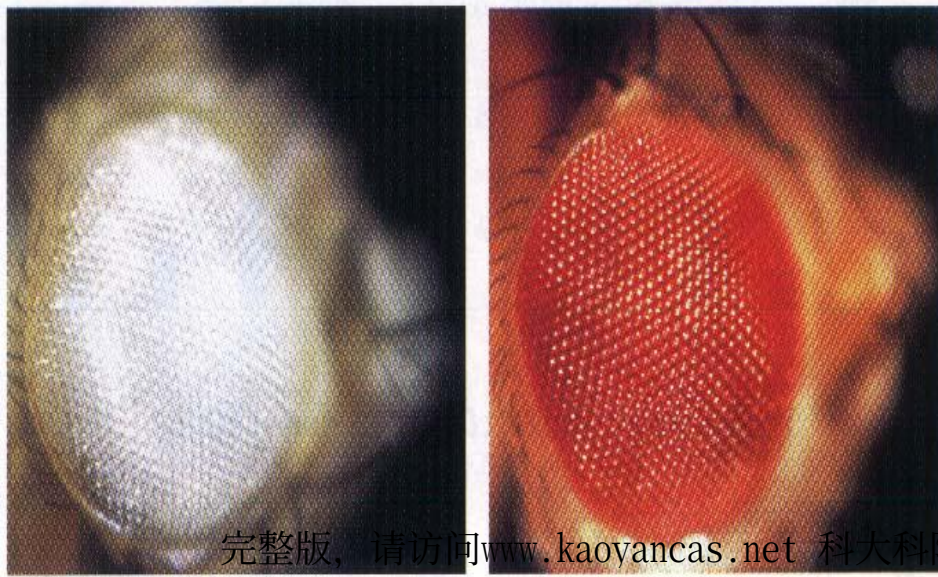


F₁: 红眼(♀) × 红眼(♂)

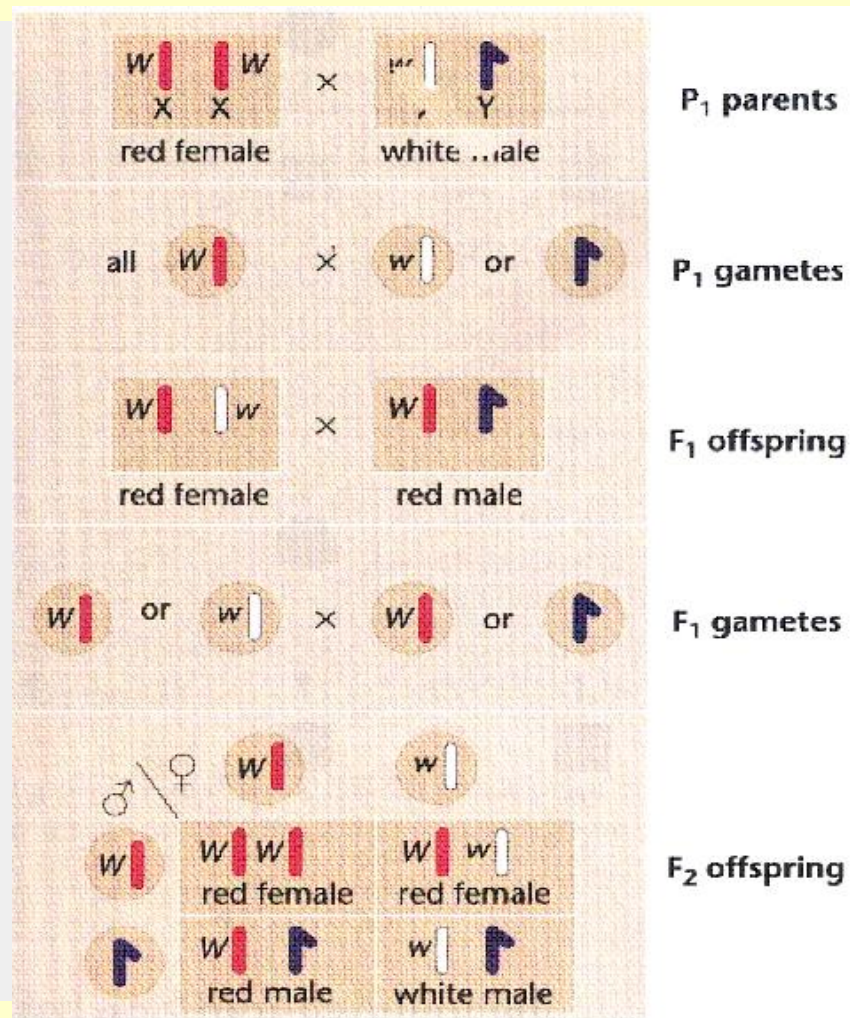
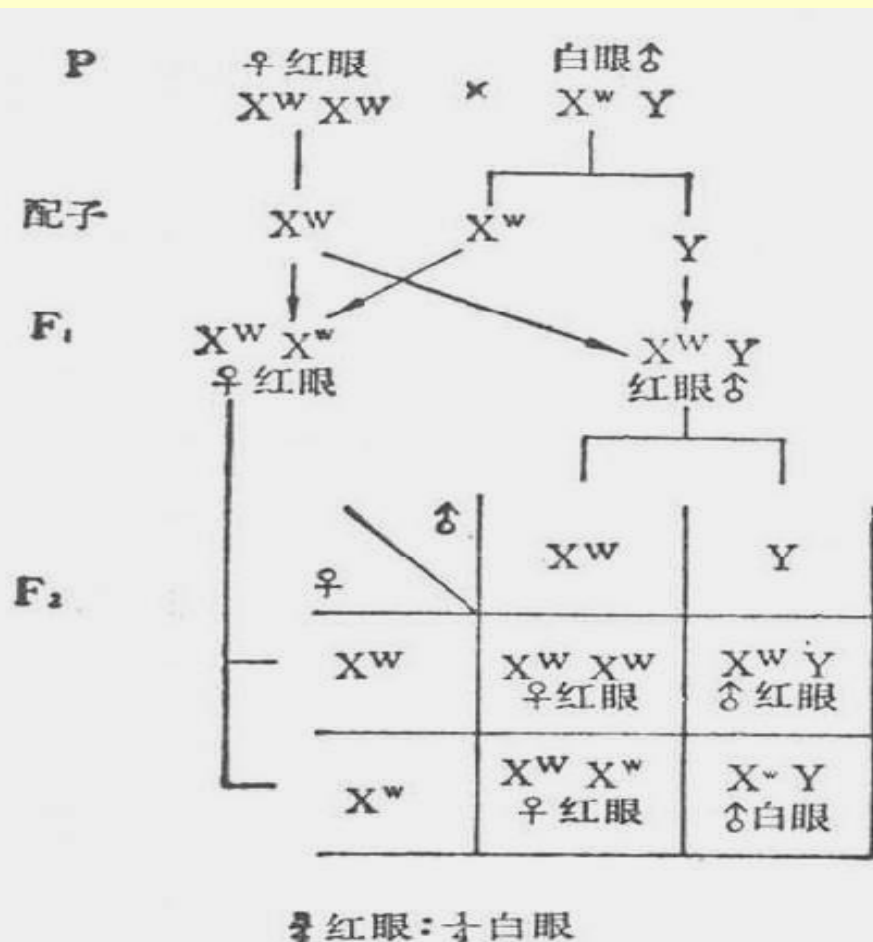


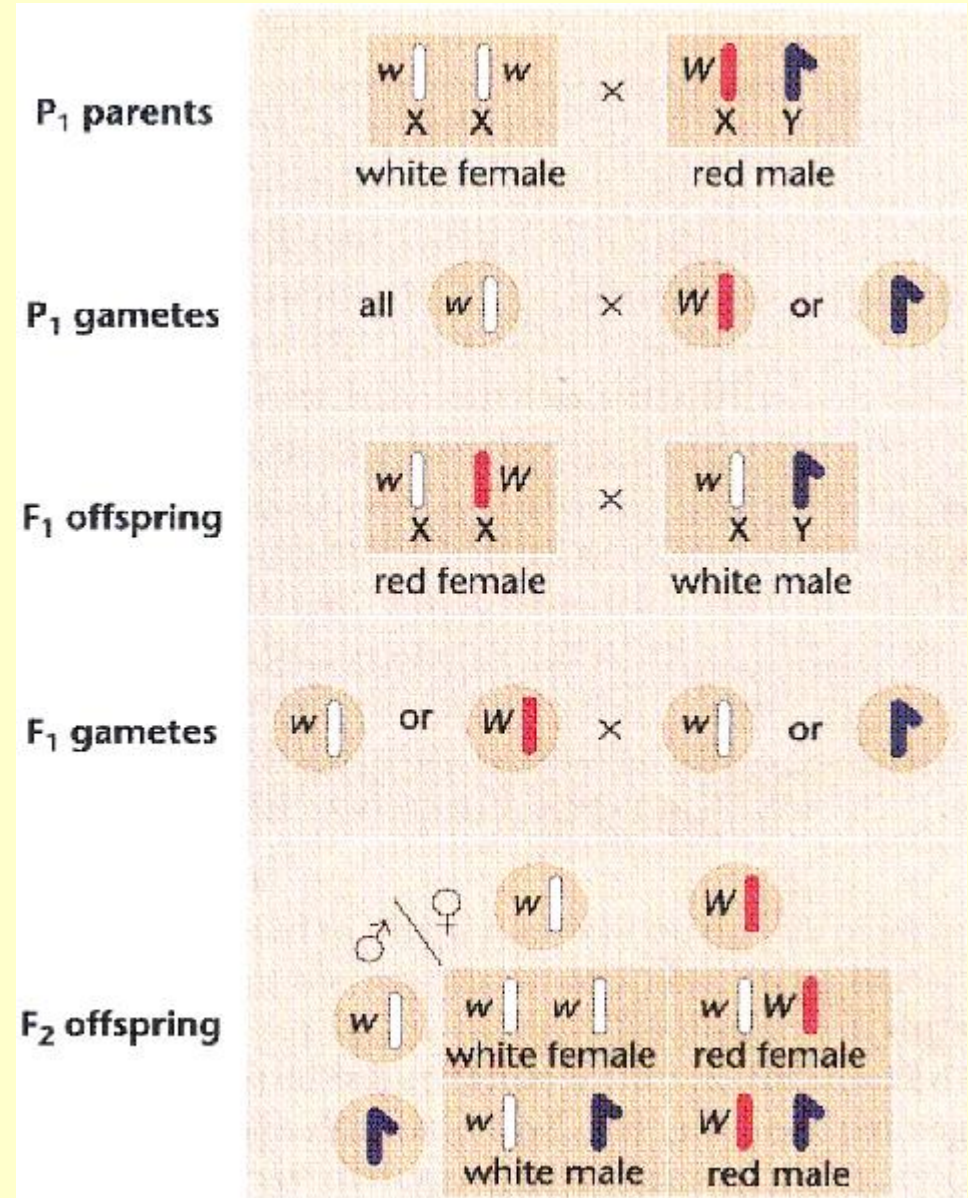
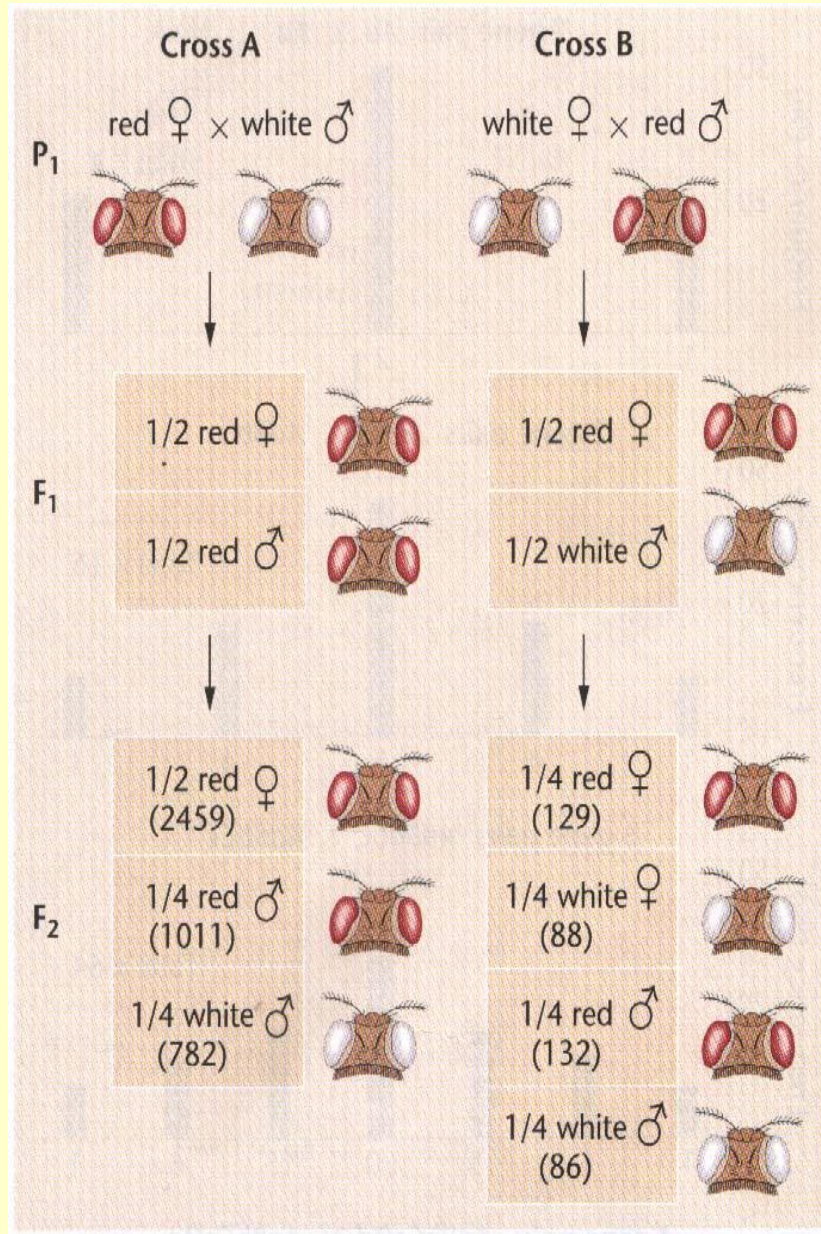
F₂: $\frac{3}{4}$ 红眼 : $\frac{1}{4}$ 白眼
(♀ / ♂) (♂)

⊕ 解释：眼色基因(W, w)位于X染色体上，而Y染色体上没有决定眼色的基因， X^WY 的表现型为白眼。



果蝇眼色性连锁遗传的解释





果蝇眼色的测交试验

③ 为了证明 F_1 中雌果蝇从父本得到的是带 w 基因的 X 染色体(X^w)；摩尔根等进行了下述测交试验：

以 F_1 中的雌性果蝇为母本；表型为白眼的雄果蝇为父本。

③ 测交结果(F_t 表现)：

测交亲本

红眼(♀) × 白眼(♂)
($X^W X^w$) ($X^w Y$)



F_t $\frac{1}{4}$ 红眼(♀)($X^W X^w$)
 $\frac{1}{4}$ 红眼(♂)($X^W Y$)
 $\frac{1}{4}$ 白眼(♀)($X^w X^w$)
 $\frac{1}{4}$ 白眼(♂)($X^w Y$)

(二)、人类X染色体性连锁遗传----红绿色盲

P 色盲(♀) × 正常(♂)
(X^cX^c) (X^CY)



F1 X^CX^c X^cY
 正常 色盲

P 正常(♀) × 色盲(♂)
(X^CX^c) (X^cY)



F1 X^CX^c ♀ 正常
 X^cX^c ♀ 色盲
 X^CY ♂ 正常
 X^cY ♂ 色盲

P 正常(♀) × 色盲(♂)
(X^CX^C) (X^cY)



F1 X^CX^c X^CY
 正常 正常

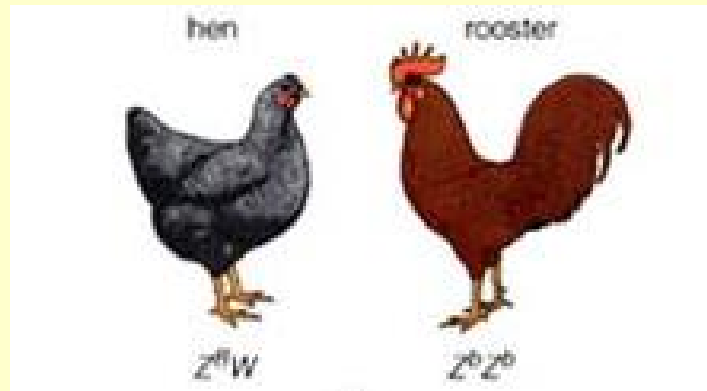
P 正常(♀) × 正常(♂)
(X^CX^c) (X^CY)



F1 X^CX^C ♀ 正常
 X^CX^c ♀ 正常
 X^CY ♂ 正常
 X^cY ♂ 色盲

ZW性别Z染色体性连锁遗传——鸡的芦花

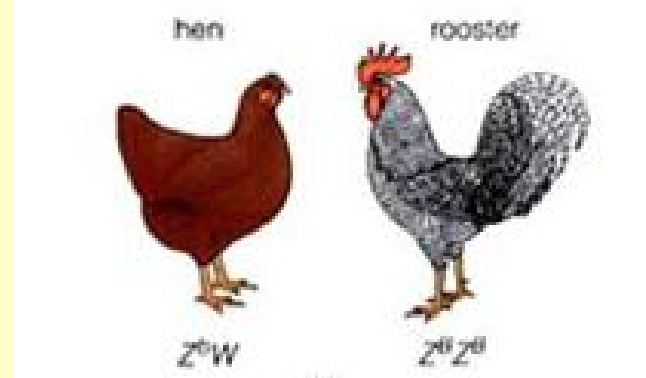
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net



P 芦花(♀) × 非芦花(♂)
($Z^B W$) ($Z^b Z^b$)

F1 $Z^b W$ $Z^B Z^b$
♀ 非芦花 × ♂ 芦花

F2 $Z^B Z^b$ ♂ 芦花
 $Z^b Z^b$ ♂ 非芦花
 $Z^B W$ ♀ 芦花
 $Z^b W$ ♀ 非芦花



P 非芦花(♀) × 芦花(♂)
($Z^b W$) ($Z^B Z^B$)

F1 $Z^B W$ $Z^B Z^b$
♀ 芦花 × ♂ 非芦花

F2 $Z^B Z^B$ ♂ 芦花
 $Z^B Z^b$ ♂ 芦花
 $Z^B W$ ♀ 芦花
 $Z^b W$ ♀ 非芦花

(三)、限性遗传

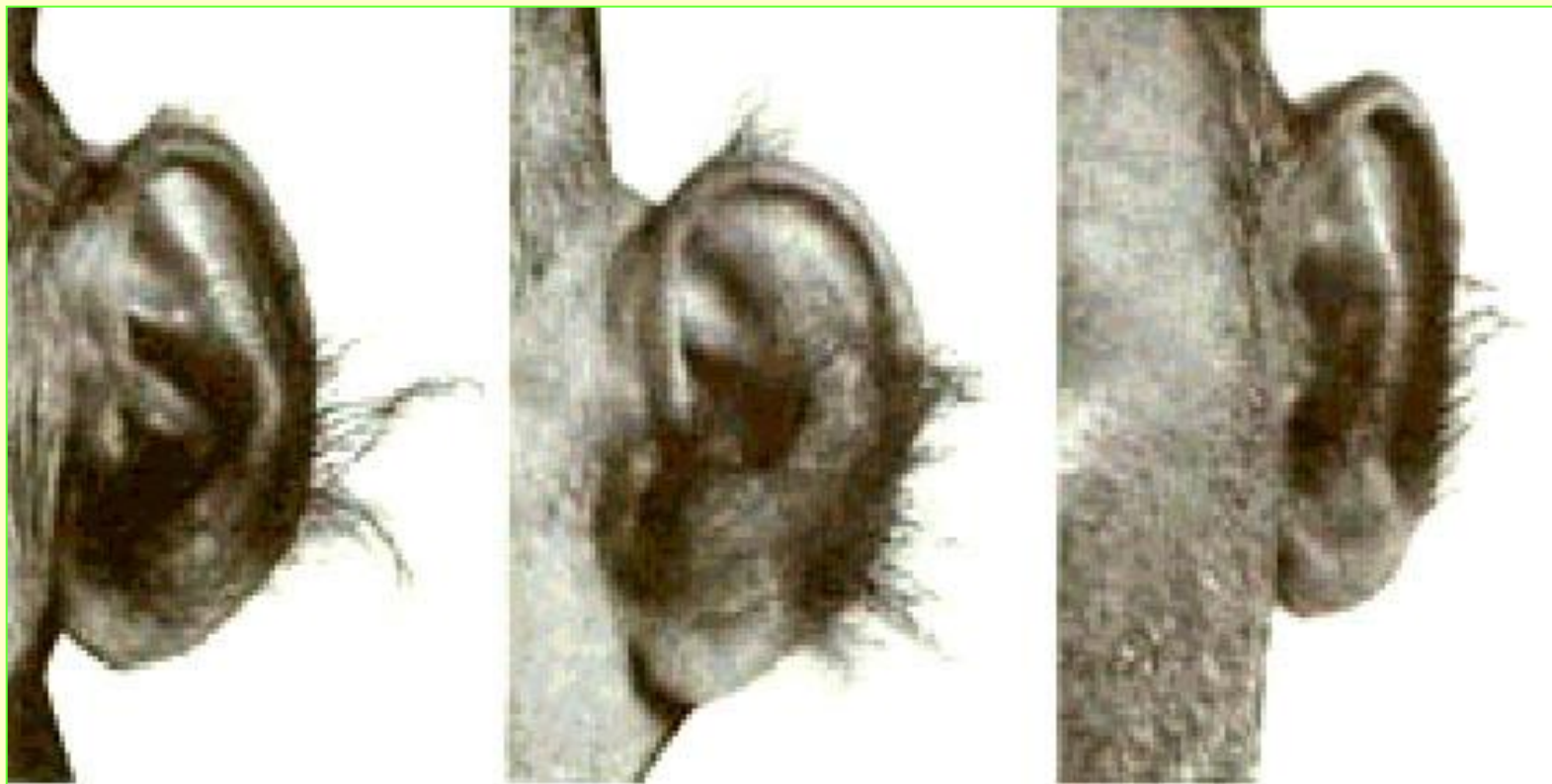
③ 限性遗传(sex-limited inheritance):

⊙指位于Y/W染色体上基因所控制的性状，它们只在异配性别上表现出来的现象。

⊙位于Y/W染色体上的基因(限性遗传):

由于Y/W染色体仅在异配性别中出现，因此其上基因仅在异配性别中才可能表现，并且无论显性基因还是隐性基因都会得到表现。

(三)、限性遗传



(三)、限性遗传

⊙位于X/Z染色体上的基因(伴性遗传):

☺在同配性别中总是成对存在，并可能存在显性纯合-杂合-隐性纯合三种情况，隐性基因可能不能表现出来；

☺在异配性别中成单存在，无论显隐性也会直接表现出来。

(四)、从性遗传

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

③ 从性遗传(sex-controlled inheritance):

也称为性影响遗传(sex-influenced inheritance):

控制性状的基因位于常染色体上，但其性状表现受个体性别影响的现象。

从性遗传的实质是常染色体上基因所控制的性状受到性染色体遗传背景和生理环境(内分泌等因素)的影响。

例：秃头的遗传

绵羊角的遗传



本章重点：

- 连锁遗传规律
- 交换发生的机制
- 三点测验
- 着丝点作图
- 性别决定和兴连锁

作业：2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10