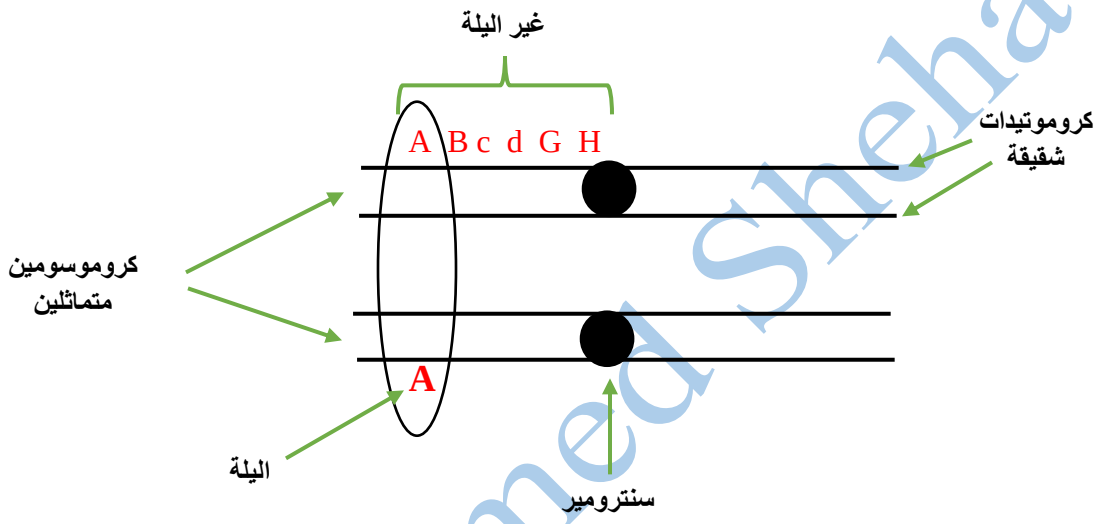
## Linkage and Crossing over :الارتباط والتعابر

يقصد بالارتباط هو ميل الجينات الغير الاليلية الواقعة على نفس الكروموسوم او في نفس زمر الارتباط الدخول معا بتراكيب ابوية بنسبة أعلى مما يتوقع من الانعزال الحر وزمرة الارتباط هي مجموعة الجينات التي تقع على نفس الكروموسوم او مجموعة الجينات المرتبطة على كروموسوم واحد ويوجد في حشرة الذبابة اربعة زمر ارتباطية اما في الانسان فتوجد 23 زمرة ارتباطية. أن الجينات الغير اليلية تكون مرتبطة بسبب وقوعها على نفس الكروموسوم لذا تحاول أن تبقى معاً اثناء عملية الانقسام الاختزالي وتدخل نفس المشيج.




شكل يوضح صورة لكروموسومين جسميين يوضح الكروموسومات المتماثلة وكل كروموسوم يتكون من كرومتيدين شقيقين

ويوجد نوعين من الارتباط هما:

1- **الارتباط التام: Complete linkage:** وهو الارتباط التي تكون فيه الجينات متقاربة جداً من بعضها وتبقى على الدوام على نفس الكروموسوم وعادة التعابر بين الكرومتيدات غير الشقيقة يكون معدوماً عند عملية الانقسام الاختزالي وتكون نسبة التراكيب الابوية عالية جدا وقد تصل إلى 100% وهذا الارتباط نادر الحدوث في الكائنات الحية التي تتكاثر جنسياً ومحصور عادة في ذكور حشرة ذبابة الفاكهة واناث حشرة دودة الحرير.

2- **الارتباط غير التام: Incomplete linkage:** هو الارتباط التي تكون فيه الجينات متباعدة عن بعضها البعض على الكروموسوم ويحدث تبادل تبادل او تعابر بين ازواج الكروموسومات المتماثلة وبين الكرومتيدات غير الشقيقة ويحدث هذا الارتباط في اكثر النباتات والحيوانات والانسان ومعظم الكائنات التي تتكاثر جنسيا.

اما **التعابر: Crossing over:** هو تبادل القطع الكروموسومية الحاوية على الجينات (الأليلات) بين الكرومتيدات غير الشقيقة للكروموسومات المتماثلة في الدور الضام عند تكوين الرباعيات في الطور التمهيدي الأول من الانقسام الاختزالي الأول وتسمى منطقة

Dr. Ahmed Shehab

تبادل القطع بمناطق التصالب الكيازما Chiasma ويحصل التعابر بفعل انزيمين نوويين هما انزيم endonuclease الذي يعمل على كسر او قطع في الكرومتيدات ثم يقوم انزيم ligase باعادة حيوية القطع المكسورة ولحمها في منطقة الكيازما فكلما طال الكروموسوم وزادت المسافة بين الجينات كلما زادت فرصة حدوث الكيازما بين الكرومتيدات غير الشقيقة للكروموسومات المتماثلة والعكس صحيح. والكيازما الواحدة (1) بين موقعين وراثيين فان النواتج العبورية تكون نصف أي أن:

1 كيازما = 1/2 النواتج العبورية (%)

وان تكرار النواتج العبورية = تكرار الكيازما او نسبة الكيازما = 2× النواتج العبورية.

ملاحظة: لحل الاسئلة الوراثية عن الارتباط العام أو غير التام واجراء التحليل الوراثي تكتب الصفة المظهرية فوق خطين متوازيين يمثلان الكروموسومات الجسمية وتوضع الرموز او الحروف للصفات فوق الخطين فالصفة المتنحية تأخذ الحروف الصغيرة small اما الصفة السائدة فتكتب بالحروف الكبيرة او بعلامة + بدلا من الحرف او يكتب الحرف Capital وفوقه + او بدون +.

**مثال:**

P ♀ b S / b S × + + / + + ♂

b S / b S  B⁺ S⁺ / B⁺ S⁺

واذا كانت الصفات مرتبطة بالجنس او تضريب بين ذكور واناث فتطبق نفس طريقة كتابة الرموز ولكن الذكور تأخذ خط ونهاية نصف سهم.

**مثال:**

P ♀ × ♂

ولغرض حل اسئلة التعابر في مناطق الكيازما وعند النواتج العبورية واللاعبورية وعند تكرار الكيازما او النواتج العبورية نطبق القوانين التالية:

A- (1) كيازما = 1/2 النواتج العبورية

Dr. Ahmed Shehab

B- النسبة المئوية او تكرار النواتج العبورية او تكرار الكيازما او نسبة الكيازما (%) او المسافة الوراثية = 2× النواتج العبورية (%)

C- عدد النواتج اللاعبورية = 1- النواتج العبورية (%) تؤخذ كنسبة مئوية

D- درجة الارتباط

$$\text{درجة الارتباط} = \sqrt[2]{\frac{2(\text{المجاميع الارتباطية})}{\text{العدد الكلي}}}$$

نسبة العبور = 1- درجة الارتباط *ملاحظة: درجة الارتباط + نسبة العبور = 1

وقد وصفت ظاهرة الارتباط لأول مرة من قبل العالمين باتسون وبونيت عند مراجعتهم لقوانين مندل مطلع القرن العشرين وعد استثناء من مبدأ الانعزال الحر لمندل من خلال التجارب على البزاليا الحلوة لصفتي طول حبة اللقاح ولون الأزهار. وفسر فيما بعد تغيير النسبة (1 : 3 : 3 : 9) بأن الكروماتيدات غير الشقيقة تتبادل قطعاً عند الطور التمهيدي المبكر في الانقسام الاختزالي أثناء تكوين الأمشاج. فعندما قاما بتضريب نباتات بلون الأزهار الحمراء وطويلة حبوب اللقاح السائدتين مع أخرى بيضاء الأزهار قصيرة حبوب اللقاح حصلا على نسبة (7: 1 : 1 : 23) والنسب الأعلى كانت للطرز المظهرية المماثلة للآباء. ولا تزيد نسبة الاتحادات الجديدة عن 50% في جميع الأحوال، اما عندما يكون الارتباط تاماً بين الصفتين فلا تظهر أي اتحادات جديدة يكون التعابر صفراً.

ملاحظة: اذا كان الارتباط تام كان الناتج كله ابوي يكون العبوري = صفر، اما اذا كان الارتباط جزئي فيكون الناتج 20% عبوري و 80% ابوي، اما الارتباط غير التام فيكون الناتج الأبوي والعبوري معتمداً على تردد التعابر.

هناك ثلاث حالات من العلاقات بين الجينات مع بعضها اثناء الانعزال هي:

**1-حالة الانعزال الحر:**

هذه الحالة هي كما جاء بها قانوني مندل الأول والثاني، حيث ان الجينات المختلفة والمتعلقة كل منها بصفة معينة تكون واقعة على كروموسومات مختلفة وعليه فأنها تتوزع توزيعة حرة طبقا لقوانين مندل في التوزيع الحر، وللكشف على هذه الحالة فأننا نستخدم التلقيح الاختباري للجيل الأول مع الاب المتنحي، فأذا حصلنا على اربعة اشكال مظهرية وبنسبة 1: 1 : 1 : 1 فيعني ذلك أن هذه الجينات تتوزع توزيعاً حراً وتخضع لقوانين مندل وكما موضح أدناه: أي نحصل على اربعة اشكال مظهرية وبنسب متساوية:

Dr. Ahmed Shehab

**مثال:**

(P.) AABB × aabb

(G.) (A) (B) (a) (b)

(F1) AaBb

تم بعد ذالك تضريب Crossing افراد الجيل الأول تضريب اختباري Test cross وكما يلي:

Parent (P.) AaBb × aabb

Gamete (G.) AB, Ab, aB, ab ab

AaBb : Aabb : aaBb : aabb

1 : 1 : 1 : 1

## 2- حالة الارتباط التام بين الجينات:

وهي أن تنتقل الجينات المرتبطة مع بعضها ارتباطاً تامة دون أن تتوزع توزيعا حراً. اي ان الجينات واقعة على نفس الكروموسوم فهي تنتقل معا من جيل اخر دون انفصال كما في المثال التالي:

**مثال:**

**P1** $\frac{A\ B}{A\ B} \times \frac{a\ b}{a\ b}$

**G1** A B a b

**F1** $\frac{A\ B}{a\ b}$

**P2** $\frac{A\ B}{a\ b} \times \frac{a\ b}{a\ b}$

Dr. Ahmed Shehab

G2 A B a b , a b

F2 A B / a b  a b / a b

1 : 1

وللكشف عن حالة الارتباط التام فأننا نعمل تضريب اختباري للجيل الاول مع الاب المتنحي فأذا حصلنا على شكلين مظهريين فقط وبنسبتين متساويتين اي (1:1) فأن ذلك يعني وجود ارتباط تام بين ذلك الزوج من الجينات كما موضح في المثال اعلاه.

## 3- حالة الارتباط غير التام بين الجينات:Incomplete Linkage

آن الكروموسومات غالبا لا تنتقل سليمة بكامل جيناتها الى الكاميتات اي ان الارتباط التام بين الجينات يكون نادرا في الكائنات التي تتكاثر جنسياً، واول من لاحظ هذه الظاهرة هو العالم موركان عند دراسته لصفتين في الدورسوفلا، ينتج الارتباط غير التام اذا كان الجينان على كروموسوم واحد وحدث عبور بين ازواج الكروموسومات المتناظرة في المسافة بين الجينين ويمكن الكشف على هذه الحالة من خلال اجراء تضريب اختباري للجيل الأول مع الاب المتنحي فاذا حصلنا على اربعة اشكال مظهرية على شرط ان لا تكون متشابهة أي لا تخضع للنسبة (1: 1 : 1 : 1) فعندة ذلك يكون الارتباط غير التام. ومثال على ذلك: في نبات الذرة وجد أن اليل لحبوب الملونة (C) سائد على أليله عديم اللون (c) وأليل الحبوب الممتلئة (S) سائد على اليل الحبوب المجعدة (s). وعند تضريب نبات ذات حبوب ملونة ممتلئة مع نبات عديم اللون وبذوره مجعدة كانت نباتات الجيل الأول كلها ذات حبوب ملونة ممتلئة، وعند تلقيح الجيل الأول اختباريا مع الاب المتنحي للصفتين امكن الحصول على اربع اشكال مظهرية وبنسب مختلفة وبهذا فلم تتحقق النسبة المندلية (1: 1 : 1 : 1) وعليه فان الارتباط في هذا المثال هو غير تام وكما موضح أدناه:

Dr. Ahmed Shehab

**مثال:** عديم البذور مجعد البذور — ملون ممتلأ البذور

**P** ♀ $\frac{C\ S}{C\ S}$ × $\frac{c\ s}{c\ s}$ ♂

**G** $\frac{C\ S}{}$ $\frac{c\ s}{}$

**F1** $\frac{C\ S}{c\ s}$

**P2** $\frac{C\ S}{c\ s}$ × $\frac{c\ s}{c\ s}$

ملون ممتلأ البذور — عديم اللون مجعد البذور

**G1** $\frac{C\ S}{}$ $\frac{C\ s}{}$ $\frac{c\ S}{}$ $\frac{c\ s}{}$ $\frac{c\ s}{}$

**F2**

| $\frac{C\ S}{c\ s}$ | $\frac{C\ s}{c\ s}$ | $\frac{c\ S}{c\ s}$ | $\frac{c\ s}{c\ s}$ |
|---|---|---|---|
| ملون ممتلأ | ملون مجعد | عديم اللون ممتلأ | عديم اللون مجعد |
| %48.18 | %1.78 | %1.82 | %22.48 |

$$\text{تردد التعابر} = \frac{\text{الاتحادات الجديدة}}{\text{جميع الطرز المظهرية (الابوية والاتحادات الجديدة)}}$$

$$\text{تردد التعابر} = \frac{3.6}{70.66+3.6} = 0.048$$

Dr. Ahmed Shehab

**2- حساب المسافة الوراثية بين الجينات على الكروموسوم وتردد التعابر ودرجة التعابر:**

المسافة بين الجينات تتناسب طردياً مع عدد حالات التعابر الحاصلة بينهما إذ كلما زادت المسافة بينهما زادت حالات التعابر. قد يحدث تعابر واحد أو اثنان أو أكثر أو لا يحدث فلو كانت عدد حالات التعابر الأحادي 60 مرة والتعابر المزدوج 15 مرة والتعابر الثلاثي 10 مرات فإن المسافة تكون فالمسافة هي معدل حالات التعابر الحاصلة ولما كانت هذه الحالات غير قابلة للتمييز فيلجأ الباحثون إلى استخدام طريقة أخرى هي حساب تكرار الاتحادات الجديدة من خلال التضريب الاختباري لأفراد الجيل الأول.

العبور الوراثي: Crossing over

يلعب العبور دوراً بالغ الأهمية في التطور، ويعد العبور والتوزيع الحر من اكثر الاليات اهمية الانتاج اتحادات جديدة من الجينات ويعمل الانتخاب الطبيعي على حفظ تلك التراكيب التي تنتج كائنات تمتاز بأعلى درجات الموائمة والتي تمنح الكائن الحي اعلى فرص البقاء والاستمرار ويمكن تلخيص أهم خصائص مفهوم العبور الوراثي بالاتي:

1- يطلق على مكان وجود الجين على كروموسوم معين اسم Locus والجمع Loci وتترتب مواقع الجينات على الكروموسومات في تتابع طولي، ويطلق أحيانا على مجموعة الجينات المتجاورة والتي تربطها علاقة وظيفية اصطلاح الموقع .Locus.

2- يشغل اليلى الجين في التركيب الوراثي الخليط اماكن متطابقة على الكروموسومين النظريين، أي أن الاليل A يشغل نفس المكان على الكروموسوم (1) والذي يشغله الاليل a على الكروموسوم النظير (2).

3- يتضمن العبور كسر لكل من الكروموسومين النظيرين ويتبادل الأجزاء فيما بينهما.

4- يحدث العبور اثناء تلاصق الكروموسومات المتناظرة في الدور التمهيدي الأول Prophase - من الانقسام الميوزي.

5- تتكون الكروموسومات ذات الاتحادات الوراثية الجديدة بالنسبة للجينات المرتبطة كنتيجة لحدوث العبور في المناطق بين موقعين.

6- يزداد احتمال حدوث العبور بين الموقعين بزيادة المسافة بينهما على الكروموسوم.

اذن فالعبور يحدث بعد عملية استنساخ أو تضاعف الكروموسومات اثناء الانقسام الاختزالي، أي بعد أن يصبح كل كروموسوم عبارة عن كروموتيدتين شقيقتين ومتطابقتين، وبعد أن تتزاوج الكروموسومات المتناظرة يحدث العبور بين الكروماتيدات غير الشقيقة. وتتضمن هذه العملية على كسر واعادة الالتحام لاثنين فقط من الخيوط الأربعة عند اية نقطة على الكروموسومات. لذلك أن اثنين من الكروماتيدات الناتجة من الانقسام الميوزي وهي الكروماتيدة AB والكروماتيدة ab مثلا تكون فيها الجينات مرتبطة بنفس التسلسل كما كانتا في الكروموسومات الأبوية، ويطلق على هذه الكروماتيدات التي لم تشترك في العبور بالكروماتيدات الابوية او الاعبورية. من هنا يتضح أن التراكيب الابوية الجديدة مضمونة

Dr. Ahmed Shehab

بنسبة لاتقل عن 50% لان اثنين من اربع كروماتيدات لم يحصل فيها عبور. اما الكروماتيدتين الأخريين aB وAb اللتان نشاتا من العبور الوراثي قد شكلنا اتحادين جديدين من العلاقات الارتباطية وتسمى بالاتجادات العبورية او الطرز العبورية، والارتباطات الناشئة الجديدة تكون على شكلين:-

1- الدور التجاذبي: Coupling (AB/ab)

حيث يكون الاليلان السائدان على كروموسوم (AB) والاليلان المتنحيان (ab) على الكروموسوم الآخر فيطلق على العلاقة الارتباطية الدور التجاذبي.

2- الدور التنافري: Repulsing (Ab/aB)

حيث يحتل الاليل السائد لموقع وراثي والاليل المتنحي للموقع الاخر على نفس الكروموسوم اي aB على كروموسوم وAb على كروموسوم الاخر.

**3- رسم الخارطة الوراثية:**

ترسم عادة الخريطة الوراثية من خلال ايجاد المسافة بين كل جينين على شكل اجزاء من الخريطة الوراثية بعدها يعاد تجميع اجزاء الخريطة الوراثية فتصبح الجينات مرتبة على كروموسوم واحد حسب المسافات بين الجينات وبذلك نحصل على الخريطة الوراثية النهائية للجينات على الكروموسوم ويمكن توضيح ذلك بالامثلة التالية:

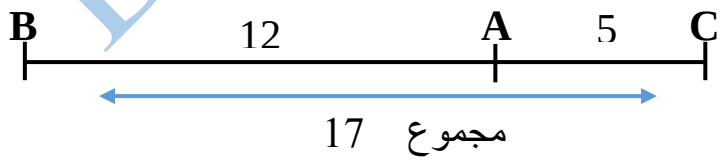
**مثال1:** اذا كانت المسافة بين الجينين على قطعة الكروموسوم B - A = 12 cm وحدة وراثة وبين الجين B - C = 7 Cm وحدة وراثية والجين A - C = 5 cm وحدة وراثية، رتب هذه القطع الكروموسومية واجعلها على كروموسوم واحد يمثل الخريطة الوراثية.

ملاحظة:

**اولاً:** تحسب اطول مسافة بين الجينين ومن ثم توزع الجينات الاخرى حسب المسافة.

**ثانياً:** نفرض كل جين على أنه نقطة وسطية فاذا كانت المسافة بين الجانبين لا تساوي المسافة بين الجينات الطرفية يؤخذ جين اخر كوسط ولكن افضل طريقة هي حساب اطول مسافة بين الجينين الذين يشكلون طرفي الخريطة وتوزع باقي الجينات.

الحل: 1- نفرض أن الجين A بالوسط

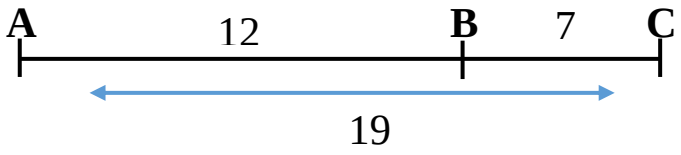



بما ان المسافة بين B و C هي 17 ولكن في السؤال بين الجينين B و C هو 7 لذا فأن الجين A لايمكن ان يكون في الوسط.

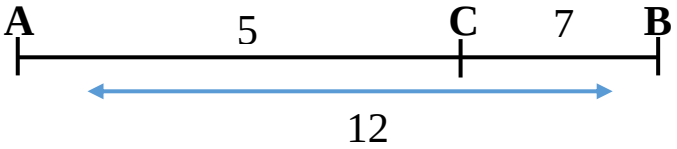
Dr. Ahmed Shelab

2- لنفرض ان الجين B بالوسط

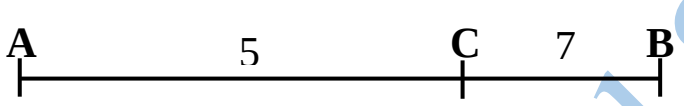
بما ان المسافة بين B و C هي 5 في السؤال ومجموع A و C هو 19 لذا فأن B في الوسط خطأ.



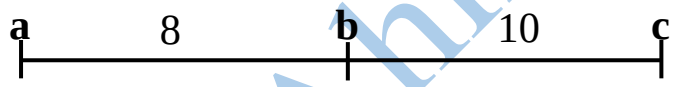

3- لنفرض ان الجين C بالوسط

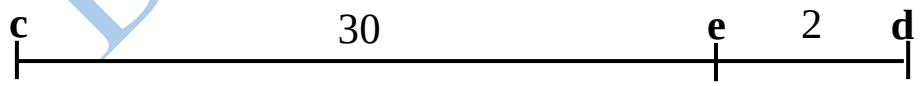



بما ان المسافة المحسوبة هي 12 cm وهي صحيحة لان المسافة بين A و B في السؤال 12 ومجموع C-A 5 + B-C 7 = 12، فأن الجين C بالوسط والخريطة النهائية هي




**مثال 2:** لديك ثلاث اجزاء من خريطة وراثية معينة متمثلة بوحدات وراثية cm بين خمسة جينات واقعة على كروموسوم لكائن حي ارسم الخريطة الوراثية من خلال توزيع هذه الجينات على طول الكروموسوم وحسب المسافات الوراثية بين الجينات.

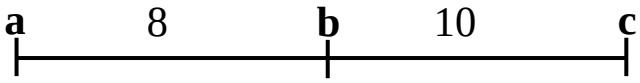





**الحل:** نوجد الجينين الطرفيين باطول مسافة من خلال توحيد الجينين الطرفيين وايجاد المسافة بين الجينات الباقية

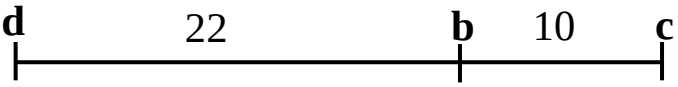
Dr. Ahmed Shehab

مجموع المسافة بين a و c = 18



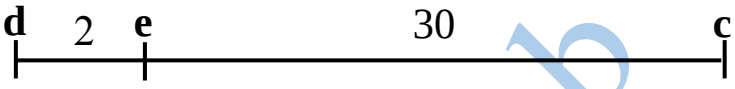

مجموع المسافة بين d و c =22 db+10

32 = cb

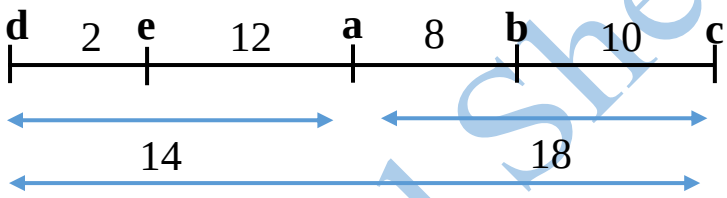



مجموع المسافة بين e و c 30 +2 ed

32 =




اذن الجينات الطرفية هي d و c




المسافة بين a و d = 32 – (2+8+10) = 12، الجين الوسطي هو a والمسافة بين a و d = 14 والمسافة بين a و c = 18، 18+14 = 32

ولحساب تكرار الاتحادات الجديدة وتردد التعابر والمسافة بين الجينات على الكروموسومات بطريقة التضريب الاختباري لافراد الجيل الاول توضح بالمثال التالي: ضربت ذكور بجناح اثري وجسم اسود نقية مع اناث ذات جسم رمادي وجناح طويل من حشرة ذبابة الفاكهة وبعد الحصول على الجيل الأول ضربت ذكور اواناث من الجيل الأول مع ذكور او اناث من الحشرة ذات جسم اسود وجناح اثري وكانت نتائج التضريب الاختباري 415 حشرة ذكور واناث ذات جسم رمادي و جناح طويل ابوية و 405 ذات جسم اسود وجناح اثري ابوية اما الاتحادات الجديدة فكانت 92 حشرة ذات جناح اثري رمادية الجسم و 88 حشرة ذات جناح طويل وسوداء الجسم علماً بان الصفة تقع على الكروموسومات الجسمية وغير مرتبطة بالجنس،

1- ما هي النسبة المئوية للتعابر؟

2- احسب المسافة بين الجينات التعابرية.

Dr. Ahmed Shehab

| | جسم رمادي جناح طويل | | | جسم اسود جناح اثري | |
|---|---|---|---|---|---|
| P1 | $vg^+$ | $b^+$ | × | vg | b |
| | $vg^+$ | $b^+$ | | vg | b |
| G1 | $vg^+$ | $b^+$ | | vg | b |

F1

| | |
|---|---|
| $vg^+$ | $b^+$ |
| vg | b |

جسم رمادي جناح طويل

| | جسم رمادي جناح طويل | | | جسم اسود جناح اثري | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P2 | $vg^+$ | $b^+$ | × | vg | b | تضريب اختباري |
| | vg | b | | vg | b | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $vg^+$ | $b^+$ | 415 | |
| vg | b | | |
| $vg^+$ | $b^+$ | 92 | |
| vg | b | | 180 |
| $vg^+$ | $b^+$ | 88 | |
| vg | b | | |
| $vg^+$ | $b^+$ | 405 | |
| vg | b | | |

820

Dr. Ahmed Shehab

تردد العبور يحسب من نسبة الاتحادات الجديدة = $\frac{180}{1000}$ = 0.18

أي أن النسبة المئوية للعبور = 18% ومنها ان المسافة الوراثية هي 18 × 2 = 36 سنتي موركان cm وتسمى أيضا وحدة خريطة Map unit

## التعارض والتوافق: Interference and Coincidence

التعارض: Interference: ويعني أن حصول عبور وراثي في منطقة ما يمنع عبور وراثي في منطقة اخرى مجاورة مثلا العبور بين B وA يمنع حدوث عبور في منطقة D وC واسباب التعارض هي:

1- كروماتيدي هذا النوع من التعارض يؤدي إلى نقص الكروماتيدات التي فيها عبور وراثي بسبب عدم حصول او منع حصول انكسار والتحام الكروماتيدات.

2- تعارض الكايزما: وهو حصول عبور وراثي في منطقة يمنع حصول عبور وراثي اخر في منطقة اخرى بسبب عدم قدرة الكرماتيدة على الاتحام مرة اخرى.

3- تعارض بسبب شدة الحلزنة: ان هذا التعارض يحصل نتيجة شدة الحلزنة الموجودة في ال DNA.

التوافق: Coincidence: ونعني به حصول عبور وراثي في منطقة ما يسمح بحصول عبور وراثي اخر في المنطقة المجاورة. وفي الحسابات الوراثية دائما يكون:

التعارض + التوافق = واحد

## العوامل المؤثرة في العبور الوراثي:

1- الجنس: وهو يؤثر على نسبة العبور، فمثلا في ذكور الدورسوفلا تكون العبورات قليلة وكذلك في الأجناس المتبانية الأمشاج تكون النسبة أقل مما هو في الأجناس المتماثلة الأمشاج.

2. عمر الام: حيث يقل العبور بتقدم عمر الام.

3- الحرارة: زيادة درجة الحرارة تاثر على نسبة العبور، والحرارة الاعلى او اقل من 22 م تزيد من نسبة العبور.

4- تأثيرات الغذاء والمواد الكيمياوية والاشعاع: مثلا التركيز العالي للكالسيوم يقلل من نسبة العبور بين الجينات على الكروموسوم X، بينما يزداد العبور عند التعرض اللاشعاع 5- تأثير النمط الوراثي: تختلف نسبة العبور بين جينين معينين بأختلاف النمط الوراثي للسلالات المختلفة.

6- تأثير السنترومير حيث يقل العبور قرب مناطق السنتروميرات.

Dr. Ahmed Shehab

**المصادر:**


- **علي**، حميد جلوب;. (1988). اسس تربية ووراثة المحاصيل الحقلية. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة بغداد. مديرية دارالكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل.
- Internet


Dr. Ahmed Shehab