مدرستي معكم
خطوة بخطوة
للنجاح والتفوق

مدرستي
الكويتية
حمل التطبيق

اضغط هنا

الدرس 1-4

اِرتباط الجينات (الارتباط والعبور)
Linked Genes (Linkage and Crossing Over)

الأهداف العامة

* يُحدِّد العلاقة بين الجينات والصفات الوراثية والكروموسومات وحمض النووي DNA.
* يتعرَّف مفهوم الارتباط كنمط وراثي.
* يُفسِّر ما ينتج عن العبور من ارتباطات جينية جديدة.



(شكل 93)

تُعتبَر طريقة التربية والتهجين أحد الأساليب العلمية التي يتّبعها العلماء لكشف الظواهر الوراثية وتفسيرها من أجل تحسين الإنتاج. فقام العلماء بتربية وتهجين سلالة نوع من الأسماك القصيرة والنحيلة وصغيرة الفم مع سلالة أخرى من النوع نفسه، إنّما طويلة وممتلئة ومتّسعة الفم. وعلى عكس ما هو متوقّع، جاءت الأسماك إمّا قصيرة ونحيلة وصغيرة الفم، أو طويلة وممتلئة ومتّسِعة الفم. فقرّر العلماء أنّ هذه الصفات تورَث مرتبِطة بعضها ببعض (شكل 93).

1. الارتباط Linkage

كيف يكون للكائنات المئات من الصفات الوراثية، على الرغم من عدم وجود مئات الكروموسومات في خلاياها؟ للإجابة عن هذا السؤال، اِفترض العلماء أنّه لا بدّ من أن يحمل الكروموسوم الواحد العديد من الجينات المختلِفة التي تُظهِر مختلَف الصفات. وتوجَد علاقة بين كلّ من الحمض النووي DNA والجينات والكرموسومات. فالـ DNA يتركّب من لولب مزدوِج من شريطين، يتكوّن كلّ واحد منهما من وحدات تعرف بالنيوكليوتيدات.

والجين عبارة عن تتابع معيّن لمجموعة من هذه النيوكليوتيدات في أحد شريطي الـ DNA. ويلتفّ الـ DNA حول نفسه ويتكدّس في شكل مكثّف للغاية مكوّنًا الكروموسوم (شكل 94).



(شكل 94)
تركيب الكروموسوم
ما العلاقة بين الكروموسومات والـ DNA؟

تحتوي الكروموسومات حمض الـ دي أن أي

تعلّمت أيضًا أنّ الكروموسومات توجَد في أزواج متشابهة في الخ
وبالتالي تتوزّع الجينات الموجودة على الكروموسومات المزدوِجة توزيعًا مستقلًّا على الأمشاج، لذلك تظهر صفات الناتج بالنسب التي فسّرها مندل. لكن ماذا يحدث للجينات إذا كانت موجودة على كروموسوم واحد؟ هل تسلك السلوك نفسه إذا كانت الجينات نفسها موجودة على أكثر من كروموسوم واحد؟

أنت تعرف أنّ العالم ساتون وضع النظرية الكروموسومية في الوراثة، والتي تنصّ على أنّه «يتمّ انتقال الصفات من جيل إلى آخر بواسطة الجينات الموجودة على الكروموسومات». وقد ساعدت هذه النظرية عالمي الوراثة باتسون وبانت في الخروج من مأزق كانا قد وقعا فيه أثناء إجراء إحدى التجارب على نباتات البازلّاء السكرية (شكل 95). يسود في هذه النباتات أليل اللون البنفسجي للأزهار (P) على أليل اللون الأحمر (p)، ويسود أيضًا أليل شكل حبوب اللقاح الطويل (L) على أليل شكلها المستدير (l).

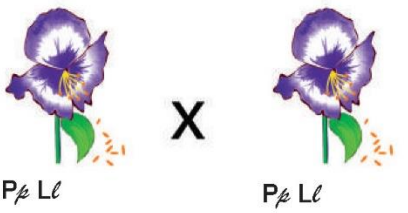
قام العالمان بالتلقيح الخلطي لنباتات جيل الآباء النقية PP LL x pp ll. وجاءت نتائج الجيل الأوّل، كما كان متوقّعًا، هجينة لصفتي اللون البنفسجي للأزهار والشكل الطويل لحبوب اللقاح (Pp Ll).

جيل الآباء



الجيل الأوّل

1. في جيل الآباء، تمّ إجراء التلقيح الخلطي لنباتات نقية ذات أزهار بنفسجية وحبوب لقاح طويلة (PP LL) مع نباتات نقية ذات أزهار حمراء وحبوب لقاح مستديرة (*pp ll*).



الجيل الثاني

2. جاءت جميع نباتات الجيل الأوّل ذات أزهار بنفسجية وحبوب لقاح طويلة كمّا تمّ التوقّع به طبقًا لقوانين مندل. أيّ من هذه الصفات سائد؟

3. عندما تلاقحت نباتات الجيل الأوّل ذاتيًّا، لم تُنتِج النسبة 9 : 3 : 3 : 1. بين نباتات الجيل الثاني، ونتج عدد أكبر من المتوقَّع كان له التركيب الظاهري نفسه لجيل الآباء (وبنسبة 75% بنفسجي طويل، 25% أحمر مستدير)

التراكيب الظاهرية	الأعداد التي حصل عليها	الأعداد المتوقَّعة بحسب قانون التوزيع المستقلّ
بنفسجي، طويل	284	216
بنفسجي، مستدير	21	71
أحمر، طويل	21	71
أحمر، مستدير	55	24

4. إفترض باتسون وبانت أنّ صفتي لون الأزهار وشكل حبوب اللقاح مرتبطتان على الكروموسوم نفسه. لاحِظ أنّ التركيبين الظاهريين «بنفسجي مستدير» و«أحمر طويل» لا يظهران في مربّع بانت.

مربّع بانت للجينات المرتبِطة

	PL %50	*p l* %50
PL %50	بنفسجي، طويل PP LL %25	بنفسجي، طويل P L %25
p l %50	بنفسجي، طويل P L %25	أحمر، مستدير *pp ll* %25

ترك العالمان نباتات الجيل الأوّل تتلاقح ذاتيًّا مع توقّع أن يحدث توزيع لصفتي لون الأزهار وشكل حبوب اللقاح بشكل مستقلّ كلّ عن الآخر، بحسب قانون مندل للتوزيع المستقلّ الذي ينصّ على وجود أربعة تراكيب ظاهرية ممكنة كنتيجة للتهجين الثنائي بنسبة 9 : 3 : 3 : 1. لكنّ النتائج التي حصلا عليها جاءت مختلِفة عن النسبة المتوقَّعة. فالتركيبان الظاهريان لجيل الآباء (الأزهار البنفسجية مع حبوب اللقاح الطويلة، والأزهار الحمراء مع حبوب اللقاح المستديرة) ظهرا أكثر من المتوقَّع. بتعبير آخر، كانت معظم نباتات الجيل الثاني بعضها يُشبِه تمامًا أحد الأبوين وبعضها يُشبِه الأب الآخر، وقد ظهرت في القليل منها ارتباطات جديدة للصفات. هل تعني هذه النتائج أنّ قانون مندل غير صحيح؟

(شكل 95)
تجربة باتسون وبانت
درس العالمان وراثة صفتين في نبات البازلّاء: لون الأزهار وشكل حبوب اللقاح. ما الفرض الذي افترضاه؟

افترض العالمان أن الصفتين قد تتبعان قوانين مندل

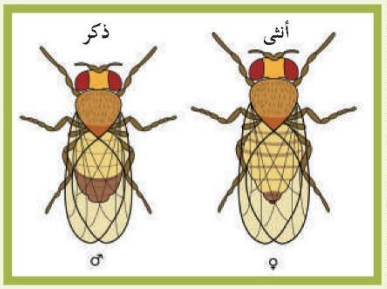
واشتبه العالمان في أنّ هناك اتّصال أو ارتباط بين جينات الصفتين، وأنّهما قد بقيا معًا أثناء الانقسام الميوزي. ولكنّهما لم يكن لديهما فكرة عن سبب هذا الارتباط بين الصفات.

وفي العام 1910، أجرى عالم الوراثة الأمريكي مورجان تجربة مشابِهة لتجربة باتسون وبانت استخدم فيها حشرة ذبابة الفاكهة (الدروسوفيلا) بدلًا من نباتات البازلّاء السكّرية. وقد اتّخذ مورجان من الدروسوفيلا مثالًا على دراسة توارث الصفات، وذلك لسهولة شروط تربيتها وسرعة تكاثرها، فهي تستطيع وضع 100 ذبابة خلال 15 يومًا. كما أنّه يسهل التمييز بين الذكر والأنثى من خلال شكل الجسم (شكل 96). وليس لتلك الذبابة سوى 4 أزواج من الكروموسومات الكبيرة التي يُمكِن رؤيتها بسهولة في المجهر العادي كما هو موضّح في الشكل (97). وتوصّل مورجان إلى أنّ صفتي لون الجسم وشكل الأجنحة لا تتوزّع مستقلّة بعضها عن بعض، وافترض لتفسير هذه النتائج أنّ «جينات هاتين الصفتين تقع على الكروموسوم نفسه». وأصبح افتراضه أحد فروض النظرية الكروموسومية في الوراثة، **إن وراثة الصفات مرتبِطة بعضها ببعض وتقع على الكروموسوم نفسه تسمّى الارتباط Linkage. وتُعرَف حاليًّا الجينات الموجودة على الكروموسوم نفسه بالجينات المرتبِطة Linked Genes.**

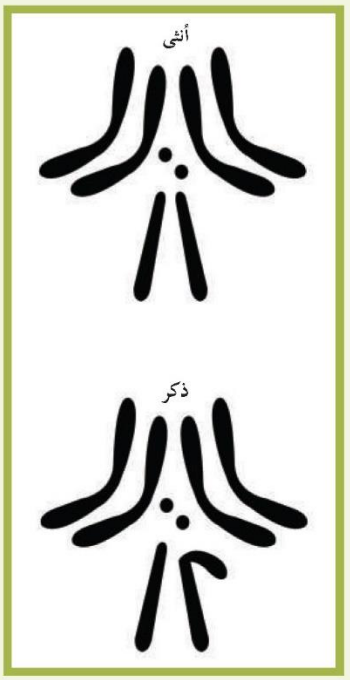
كان مندل محظوظًا لأنّ الصفات التي درسها في نبات البازلّاء كانت تتوزّع توزيعًا مستقلًّا، حيث كان جين كلّ صفة محمولًا على كروموسوم مستقلّ. ولو صادفه ارتباط بين تلك الجينات لاختلفت النسب التي حصل عليها ولتعذّر عليه تفسيرها. وأوضحت تجارب باتسون وبانت ومورجان أنّ الصفات يُمكِن أن تورَث مع بعضها كمجموعة واحدة نتيجة وجود الجينات المرتبِطة.

وبالتالي أصبحت النظرية الكروموسومية في الوراثة تفترض ما يلي: «تحمل الكروموسومات العديد من الجينات. وكلّما كانت الجينات الخاصّة بصفتين مختلفتين قريبة بعضها من بعض، فإنها تنتقل مع بعضها إلى المشيج نفسه. ونتيجة ذلك، تميل الجينات المرتبِطة إلى أن تورث مع بعضها كصفة واحدة» وهذا ما يُسمّى بالارتباط التامّ Absolute Linkage.

لكن هل يُمكِن تفسير نتائج تجربة باتسون وبانت باستخدام مفهوم الارتباط التامّ؟ إذا كانت جينات لون الأزهار وشكل حبوب اللقاح مرتبِطة، فإنّ الجيل الأوّل يجب أن يُنتِج نوعين فقط من الأمشاج (PL و ℘ℓ) بدلًا من أربعة بحسب قانون التوزيع المستقلّ لمندل (℘ℓ , ℘L , Pℓ , PL)، وبالتالي تكون لنباتات الجيل الثاني التركيب الظاهري نفسه لجيل الآباء فقط.



(شكل 96)
ذكر وأنثى ذبابة الدروسوفيلا
كيف تميّز بينهما؟



(شكل 97)
الكروموسومات الثمانية في خلايا ذبابة الدروسوفيلا

لكن لاحظ العالمان أنّ بعضًا من نباتات الجيل الثاني له تراكيب ظاهرية لم تكن موجودة لدى الآباء: أزهار بنفسجية ذات حبوب لقاح مستديرة وأزهار حمراء ذات حبوب لقاح طويلة (شكل 95). وبسبب وجود الارتباط بين الجينات، لا يُمكِن تفسير مثل هذه الارتباطات بين الصفات وفقًا لقانون التوزيع المستقلّ. وقد افترض العالم مورجان ضرورة وجود سبب آخر للتراكيب الظاهرية الجديدة وهو ما يُسمّى بالإرتباط الجزئي Partial Linkage ويتبعه عملية العبور.

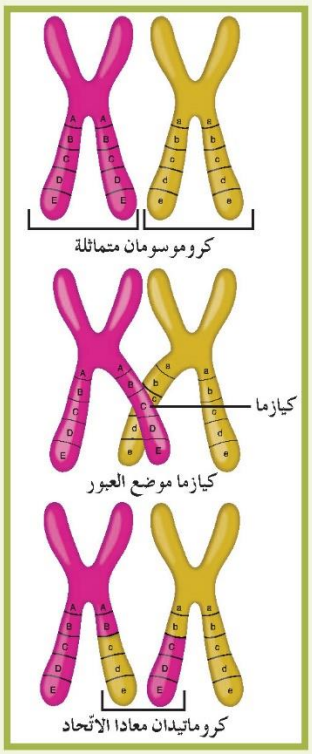
2. العبور Crossing over

اِستنتج مورجان من تجربته على ذباب الفاكهة أنّ جينات صفتي لون الجسم وشكل الجناح تُورَث مرتبِطة ولا تتوزّع مستقلّة، وذلك لحصوله على بعض الحشرات ذات ارتباط في هاتين الصفتين ومختلِفة عن التراكيب الظاهرية للآباء. ولم يستطع تفسير هذه الارتباطات بواسطة قانون التوزيع المستقلّ لمندل.

وقد افترض مورجان لتفسير ذلك أنّ هذا الارتباط الجديد للصفات كان نتيجة التغيّر في موضع الأليلات، وأنّ هذا التغيّر يحدث أثناء الانقسام الميوزي، كما في الشكل (98).

وقد سبق أن تعلّمْتَ انتظام الكروموسومات المتماثلة في أزواج أثناء الطور التمهيدي الأوّل من الانقسام الميوزي. يظهر كلّ زوج منها مكوّنًا من أربع كروماتيدات في ما يُعرف «بالرباعي»، ويعقب ذلك عملية تُعرف **بالعبور Crossing Over حيث يحدث ارتباط الأليلات الموجودة على الكروماتيدات الداخلية المتجاورة للرباعي، يعقبه كسر هذه الكروماتيدات وانفصالها بعد تبادل المادّة الوراثية (الأليلات) بينها في مواقع محددة تسمى بمواقع الكيازما (مواقع العبور).**

ففي تجربة باتسون وبانت، حدث العبور أثناء الانقسام الميوزي في نباتات الجيل الأوّل، وبالتالي حدث ارتباط جديد لأليلات لون الأزهار وشكل حبوب اللقاح، فنتجت أمشاج Pℓ وLℓ بالإضافة إلى أمشاج PL وℓp. لذلك، ظهرت نباتات تحمل صفات لم تكن موجودة لدى الآباء، وهي أزهار بنفسجية ذات حبوب لقاح مستديرة وأزهار حمراء ذات حبوب لقاح طويلة.



(شكل 98)
تتبادل القطع المتجاورة من الكروماتيدات الداخلية للرباعي بعضها مع بعض، أي تحدث عملية عبور.

فقرة إثرائية

علم الأحياء في حياتنا اليومية

الإنسان أصله إنسان!

اِنكشفت الخصائص البشرية بالإنتهاء من مشروع الجينوم البشري (خريطة جينات الإنسان وخصائصها). وثبت أنّ ما جعلنا بشرًا ومن أصل بشري هو اختلاف قدره 1% بين جينوم البشر وجينوم الشمبانزي (أرقى سلالات القرود).

مراجعة الدرس 1-4

1. ما العلاقة بين الحمض النووي DNA والجينات والكروموسومات؟
2. **سؤال للتفكير الناقد:** كيف دعمت تجربة باتسون وبانت، على نباتات البازلّاء السكّرية، النظرية الكروموسومية في الوراثة؟
3. **أضِف إلى معلوماتك:** أعِد صياغة قانون التوزيع المستقلّ مضمِّنًا إيّاه معلوماتك عن الجينات المرتبِطة.
4. لنفترِض وجود هجين من الجيل الأوّل (F_1)، تركيبه الجيني AaBb، ولنأخُذ بالاعتبار أنّ الجينات تقع على كروموسومات جسمية. قُمْ بتمثيل التركيب الجيني والأمشاج على الكروموسومات المتماثِلة، وحدِّد النسب المئوية للأمشاج من كلّ من الحالات التالية:

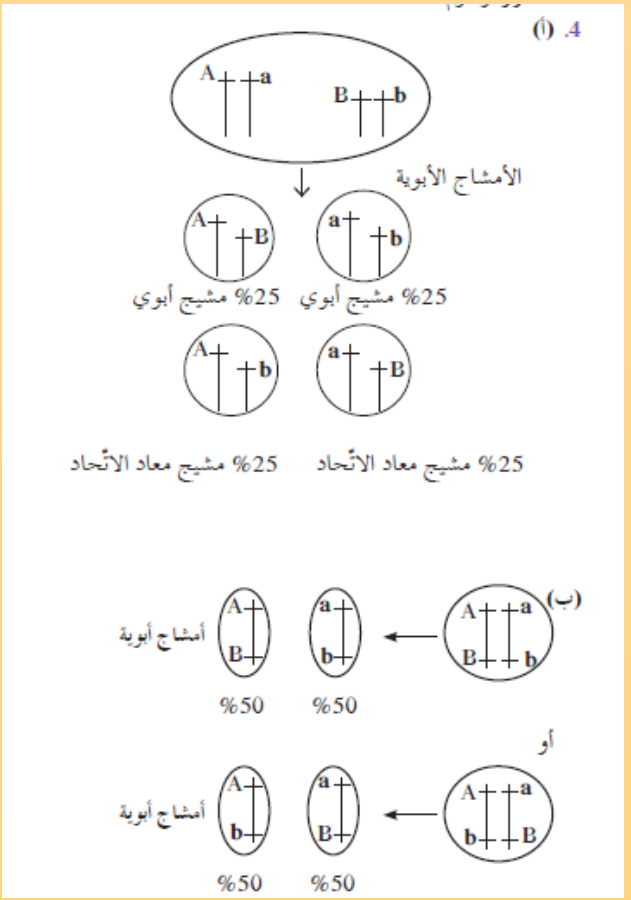
(أ) الجينات غير مرتبِطة.

(ب) الجينات مرتبِطة ارتباطًا تامًّا.

ج1: تتركب الجينات من حمض الـ دي أن أي وهي موجودة في مواضع محددة على الكروموسومات

ج2: وضّح العالمان أن مواضع الجينات قد تتغيّر بطريقة ما على الكروموسوم نفسه

ج3: تتوزع جينات الصفات مستقلة طالما لم تكن واقعة على الكروموسوم نفسه



حل الصفحة 125:

5. **(أ)** بما أن جينات هذين الخللين محمولة على الكروموسوم X وبما أن الذكور تمتلك كروموسوم جنسي X واحد فذلك يسهل في عملية تحديد التراكيب الجينية للذكور من خلال تراكيبهم الظاهرية.

التراكيب الجينية للذكور

1؛ X_D^hY ؛ 3؛ X_D^HY ؛ 6؛ X_d^HY ؛ 11؛ X_D^HY ؛ 14؛ X_d^hY

التركيب الجيني للوالدة 2

يرث الابن 6 من والدته (الفرد رقم 2) X_d^H بما أنه مصاب بعمى الألوان وغير مصاب بالهيموفيليا، لذلك فالوالدة 2 لديها X_d^H. وورث أيضًا الابن 3 من والدته 2 X_D^H بما أنه طبيعي لكلا الخللين. إذا فالوالدة لديها أيضًا X_D^H. وبالتالي فالتركيب الجيني للوالدة 2 هو $X_D^HX_d^H$.

التركيب الجيني للمرأة 10

والدة المرأة 10 هي المرأة 2 وتركيبها الجيني هو $X_D^HX_d^H$

والد المرأة 10 هو الرجل 1 وتركيبه الجيني X_D^hY

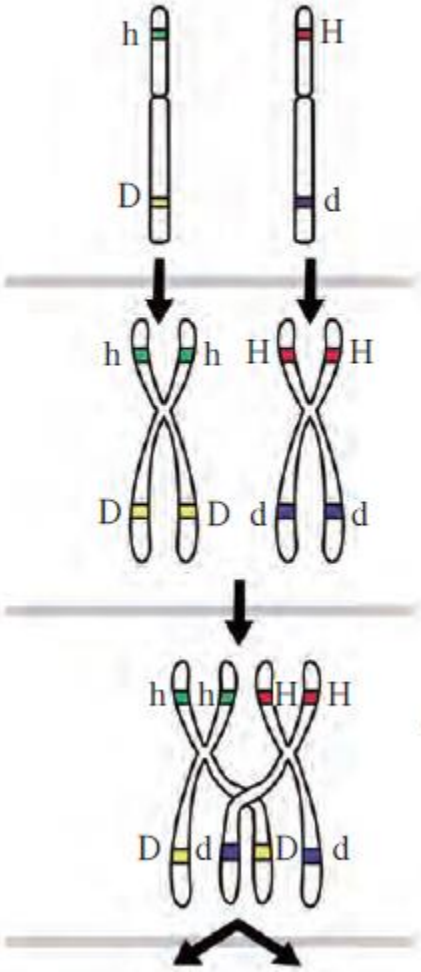
لذلك فالمرأة 10 عندها تركيبين جينيين ممكنين:

$X_D^HX_D^h$ أو $X_d^HX_D^h$

بما أن ابنها 14 هو مريض بالهيموفيليا وعنده عمى الألوان لذا يجب أن يكون لدى والدته 10 الأليلين h و d. إذًا تركيبها الجيني الحقيقي هو: $X_D^hX_d^H$

(ب) لا يمكن تفسير انتقال الخللين الوراثيين للولد 14 إلا من خلال عملية العبور التي تحدث عند والدته 10 أثناء الانقسام الميوزي الأوّل.

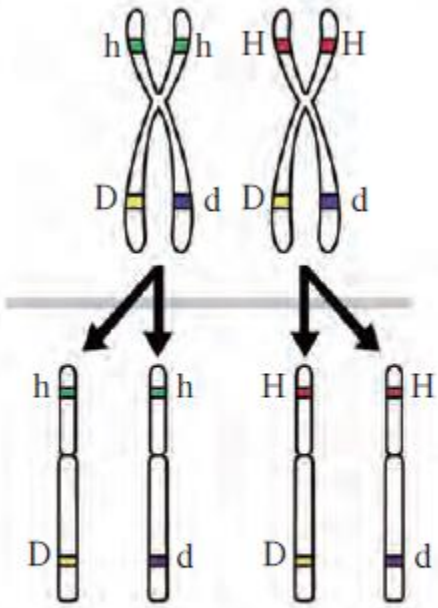
توضيح العملية كروموسوميًا



التركيب الجيني للمرأة 10

تضاعف الكروموسومات أثناء الطور البيني الذي يسبق الانقسام الميوزي الأوّل

العبور أثناء الطور التمهيدي الأوّل



انتهاء الانقسام الميوزي الأوّل

انتهاء الانقسام الميوزي الثاني

المشيج X_d^h هو المسؤول عن الهيموفيليا وعمى الألوان عند الصبي 14 . $[X_d^hY]$