الوحدة 3

الوراثة

Genetics

قال تعالى:

﴿سُبْحَانَ الَّذِي خَلَقَ الْأَزْوَاجَ كُلَّهَا مِمَّا تُنْبِتُ الْأَرْضُ وَمِنْ أَنْفُسِهِمْ وَمِمَّا لَا يَعْلَمُونَ﴾ (سورة يس، الآية 36).



أتأمَّل الصورة

تُورَّث الصفات الوراثية عن طريق انتقال المادة الوراثية من الآباء إلى الأبناء، وتؤدّي العوامل البيئية دورًا في هذا التوارث. فما أنماط التوارث؟ كيف تُؤثِّر العوامل البيئية في صفات الكائنات الحيَّة؟

الفكرة العامة:

الجينات مسؤولة عن الصفات الوراثية. ونتيجةً لتأثير بعض العوامل؛ فقد يتغيَّر تسلسل بعض النيوكليوتيدات في الجين؛ ما قد يُؤثِّر في الصفات الوراثية.

الدرس الأوَّل: وراثة الصفات المندلية.

الفكرة الرئيسة: فسَّرت نتائج تجارب العالِم غريغور مندل انتقال بعض الصفات الوراثية من الآباء إلى الأبناء.

الدرس الثاني: الوراثة بعد مندل.

الفكرة الرئيسة: تُتوارَث بعض الصفات الوراثية بأنماط تختلف عن تلك التي في الوراثة المندلية.

الدرس الثالث: الطفرات والاختلالات الوراثية.

الفكرة الرئيسة: تُصنَّف الطفرات إلى نوعين، هما: الطفرات الجينية، والطفرات الكروموسومية. وينتج من بعض الطفرات اختلالات وراثية.



محاكاة توارث الأليلات باستخدام قطع النقود

تتحكَّم الجينات في توارث الصفات الوراثية، وللجين الواحد أكثر من شكل، ويُسمّى كل شكل منها أليلًا.

المواد والأدوات: قطعتا نقود.

إرشادات السلامة: إلقاء قطعتي النقود بحذر؛ لكيلا تصيب أحدًا من الطلبة.

ملحوظة: تُنفَّذ التجربة ضمن مجموعات.

♀ / ♂	r	R
R		
r		

خطوات العمل:

1. أفترض أنَّ إحدى قطعتي النقود تُمثِّل الطراز الجيني لصفة لون الأزهار لأحد الأبوين في نبات البازيلاء، وأنَّ القطعة الثانية تُمثِّل الطراز الجيني للآخر؛ إذ تُمثِّل الصورة في كل قطعة نقود مُستخدَمة في هذه التجربة أليل لون الأزهار الأرجواني السائد R، وتُمثِّل الكتابة أليل لون الأزهار الأبيض المُتنحّي r.
2. **أستنتج** الطراز الجيني لكلا الأبوين من مربع بانيت.
3. أُكمِل مربع بانيت، وأتوقَّع الطرز الجينية والشكلية لأفراد الجيل الأوَّل.
4. **أحسُبُ** النسبة المئوية لكل طراز من الطرز الجينية في مربع بانيت، ثم أُدوِّن النتائج في خانة (النسبة المئوية المُتوقَّعة) في الجدول.
5. **أُجرِّب:** أُلقي قطعتي النقود معًا 5 مَرّات، ثم أُدوِّن في كل مَرَّة الطراز الجيني الذي يُمثِّل الطراز الجيني للفرد الناتج من عملية التلقيح.
6. **أُجرِّب:** أُلقي قطعتي النقود معًا 50 مَرَّة، ثم أُدوِّن الطراز الجيني في كل مَرَّة.
7. **أحسُبُ** النسب المئوية للطرز الجينية الناتجة، ثم أُدوِّن النتائج في خانة (النسبة المئوية الناتجة من التجربة) في الجدول.

أشكال الطرز الجينية المُتوقَّعة لأفراد الجيل الأوَّل	RR	Rr	rr
النسبة المئوية المُتوقَّعة.			
عدد مَرّات ظهور الطراز الجيني عند إلقاء قطعتي النقود 5 مَرّات.			
النسبة المئوية الناتجة من التجربة(5 مَرّات).			
عدد مَرّات ظهور الطراز الجيني عند إلقاء قطعتي النقود 50 مَرَّة.			
النسبة المئوية الناتجة من التجربة(50 مَرَّة).			

التحليل والاستنتاج:

1. **أُقارِن** النسب المئوية المُتوقَّعة بالنسب المئوية الناتجة من التجربة.
2. **أتوقَّع** تأثير زيادة عدد مَرّات إلقاء قطعتي النقود في الفرق بين النسب المئوية المُتوقَّعة والنسب المئوية الناتجة من التجربة، وأفسّر إجابتي.
3. **أتواصل:** أُناقِش زملائي في النتائج، ثم أذكر أمثلة من الواقع تدعم نتائج التجربة.
4. **أُصمِّم** تجربة لمحاكاة توارث الأليلات عند تلقيح نباتين، أحدهما غير مُتماثِل الأليلات، والآخر مُتنحٍّ.

وراثة الصفات المندلية
Inheritance of Mendelian Traits

الدرس 1

الفكرة الرئيسة:

فسَّرت نتائج تجارب العالِم غريغور مندل انتقال بعض الصفات الوراثية من الآباء إلى الأبناء.

نتاجات التعلُّم:

- أُوضِّح أنَّ الجينات على الكروموسومات تُحدِّد الطرز الشكلية في الأبناء.
- أُفسِّر دور الانقسام المُنصِّف في التنوُّع الجيني.
- أُفسِّر نصي قانوني مندل في الوراثة.
- أُطبِّق قانوني مندل عند حَلِّ مسائل عن الوراثة.

المفاهيم والمصطلحات:

الترتيب العشوائي للكروموسومات
Random Orientation of Chromosomes

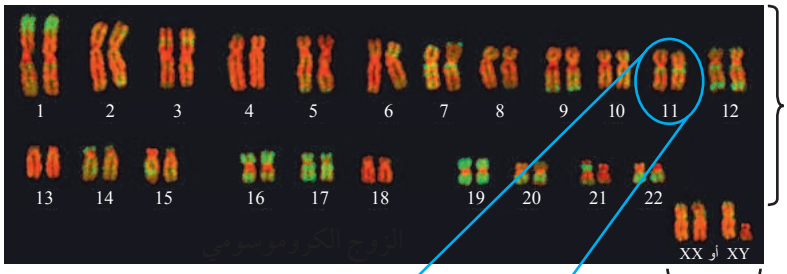
قانون التوزيع الحر
The Law Of Independent Assortment

انتقال المعلومات الوراثية من الآباء إلى الأبناء
Passage of Genetic Information from Parents to Offspring

تُتوارَث الصفات في الكائنات الحيَّة التي تتكاثر جنسيًّا عن طريق الجاميتات التي تنتج من الانقسام المُنصِّف. وتحتوي كل خلية جسمية ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n) في جسم الإنسان على 23 زوجًا من الكروموسومات، نصفها من الأُمِّ، ونصفها الآخر من الأب، في حين تكون الجاميتات أُحادية المجموعة الكروموسومية (1n)، وتحوي 23 كروموسومًا.

لكل كروموسوم في الخلية ثنائية المجموعة الكروموسومية كروموسوم مُماثِل له، وهذا ينطبق على أزواج الكروموسومات، بَدْءًا بالزوج الأوَّل، وانتهاءً بالزوج الثاني والعشرين؛ وهي الكروموسومات الجسمية، وفيها تشغل نفس الجينات المواقع نفسها على الكروموسومين المُتماثِلين.

أمّا الزوج الثالث والعشرون فهو زوج من الكروموسومات الجنسية، يكون مُتماثِلًا عند الأنثى (XX)، وغير مُتماثِل عند الذكر(XY)، أنظر الشكل (1).

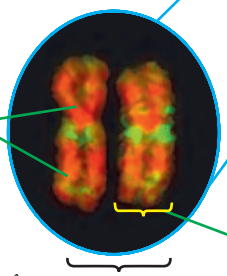


الشكل(1): مُخطَّط كروموسومي للكروموسومات في خلية ثنائية المجموعة في الإنسان.

الكروموسومات الجسمية.

الكروموسومات الجنسية.

رقم (11).



كروماتيدان شقيقان.

كروموسوم واحد.

كروموسومان مُتماثِلان، ، أحدهما من الأُمِّ، والآخر من الأب.

التنوُّع الجيني في الجاميتات Genetic Variation in Gametes

درسْتُ سابقًا عملية الانقسام المُنصِّف، وتعرَّفْتُ أهميتها في تكوين الجاميتات في الكائنات الحيَّة التي تتكاثر جنسيًّا. يؤدّي الانقسام المُنصِّف دورًا في تنوُّع التراكيب الجينيـة في الكائنـات الحيَّـة؛ إذ يُؤثِّر **الترتيب العشـوائي للكروموسـومات Random Orientation of Chromosomes** في توارث الأليـلات المحمولـة على كروموسومات مختلفة، في حين تُؤثِّر عملية العبور في توارث الأليلات المحمولة على الكروموسوم نفسه.

الترتيب العشوائي للكروموسومات Random Orientation of Chromosomes

تترتَّب كروموسومـات الأُمِّ وكروموسومـات الأب ترتيبًا عشوائيًّا أثنـاء الطور الاستـوائـي الأوَّل في الانقسـام المُنصِّف، أنظر الشكل (2) الـذي يُمثِّل مُلخَّصًا لتكوين الجاميتات في خلية تحوي 4 كروموسومات لفرد طرازه الجيني AaBb، في دلالة على صفتين مختلفتين، مُفترِضًا أنَّ كروموسومات أحد الأبوين تُمثِّلها الكروموسومات ذات اللون الأزرق، وأنَّ كروموسومات الآخر تُمثِّلها الكروموسومات ذات اللون الأحمر.

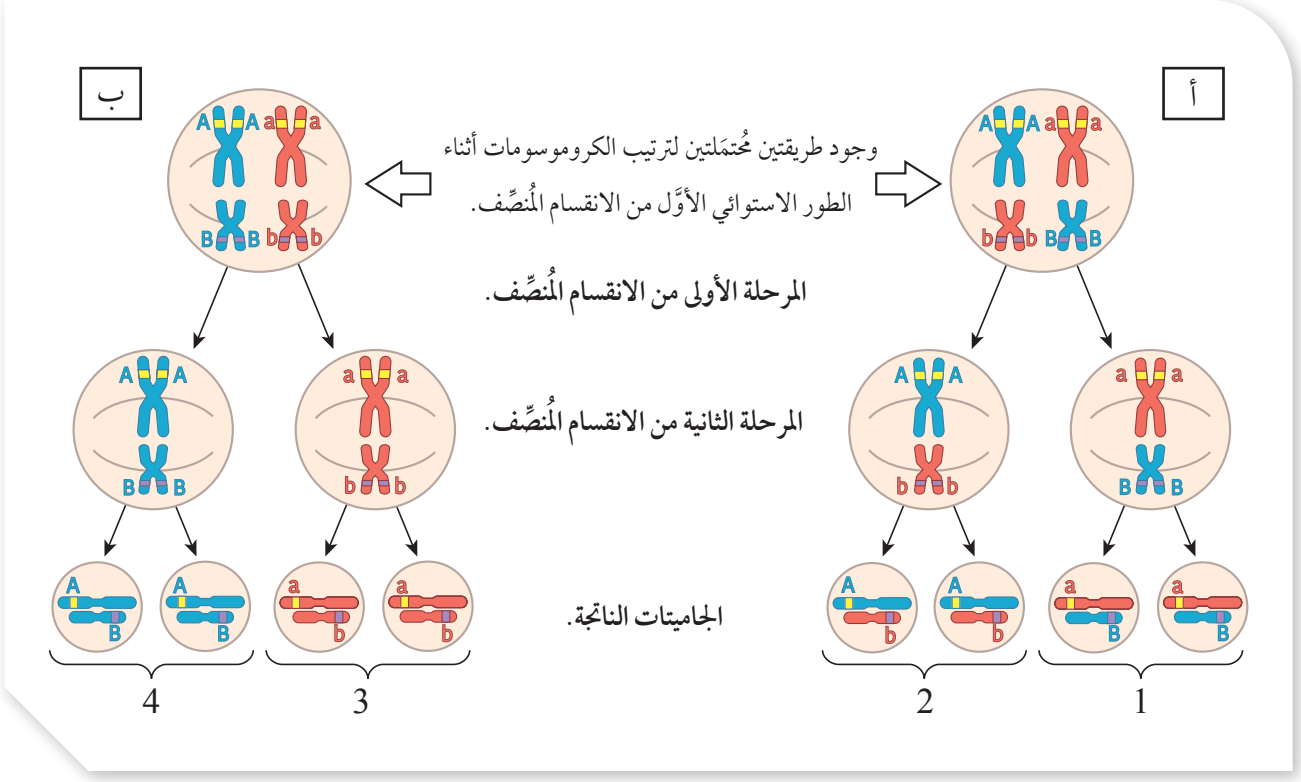
الربط بالتكنولوجيا

تصوير الكروموسومات

تُحفَّز الخلية للانقسام، ثم تضاف مادة كيميائية تعمل على إيقاف حركة الخيوط المغزلية؛ ما يُثبِّت الخلية المُنقسِمة في الطـور الاستوائي. بعد ذلك تُصوَّر الكروموسـومـات في هـذا الطـور باستخدام كاميرا موصولة بمجهر.

✓ **أتحقَّق:** أُوضِّـح المقصود بالـترتيب العشـوائي للكروموسومات.

الشكل (2): الترتيب العـشوائي للكروموسومات أثناء تكوين الجاميتات في خلـية تحوي 4 كروموسومات لفرد طرازه الجيني AaBb.

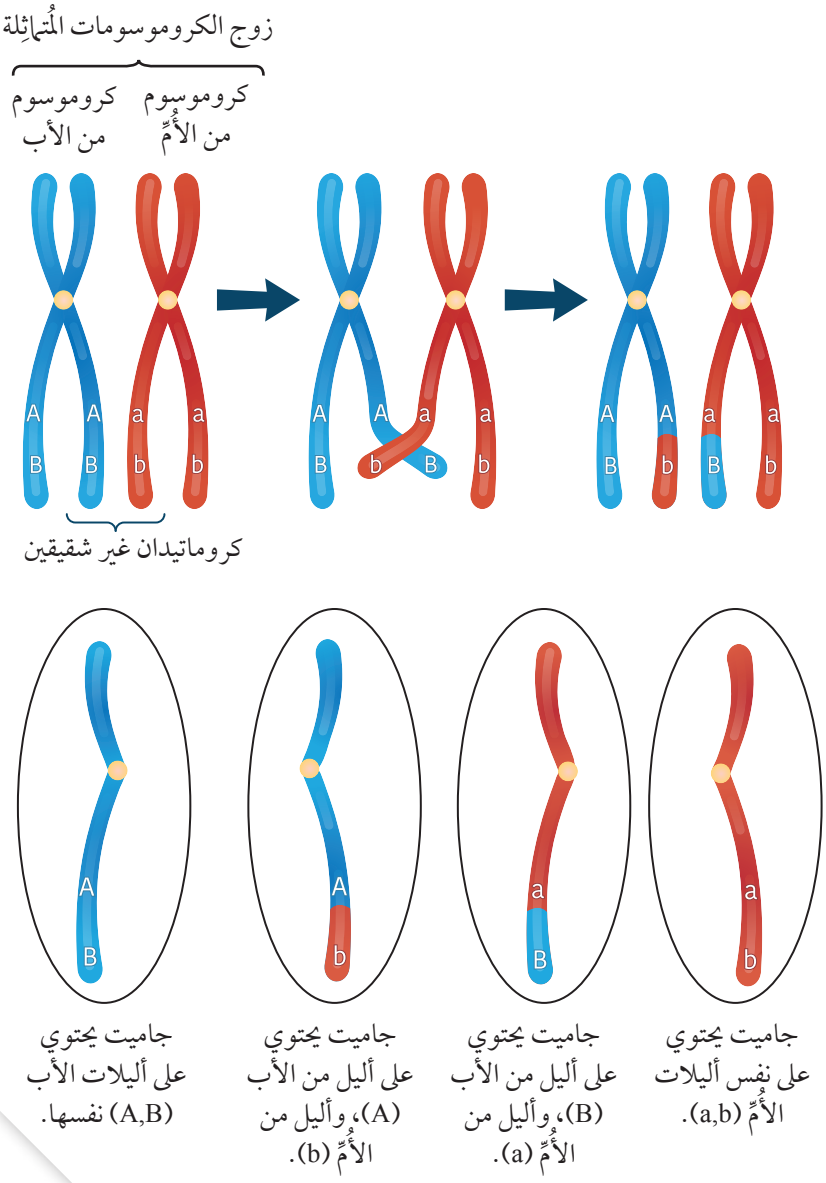


أُلاحِظ أنَّ الكروموسومات - بما تحمله من أليلات- تترتَّب أثناء الانقسام المُنصِّف بطريقتين مُحتمَلتين، هما: الترتيب (أ) الذي يكون فيه الأليلان A وB (هما من أحد الأبوين) في جهتين مختلفتين، والترتيب (ب) الذي يكون فيه الأليلان A وB في الجهة نفسها، فتنتج 4 أنواع من الجاميتات، يحتوي كلٌّ منها على تركيب جيني يختلف عن التركيب الجيني للجاميتات الأُخرى.

عملية العبور Crossing Over

يُقصَد بذلك تبادل أجزاء من المادة الوراثية بين كروماتيدين غير شقيقين في كروموسومين مُتماثِلين أثناء الطور التمهيدي الأوَّل من الانقسام المُنصِّف؛ ما يؤدّي إلى إنتاج تراكيب جينية جديدة في الجاميتات الناتجة من هذا الانقسام، أنظر الشكل(3).

أتحقَّق: أُوضِّح المقصود بالعبور.



الشكل (3): عملية العبور.
أُحدِّد الطرز الجينية للجاميتات الناتجة من حدوث عملية العبور.



الشكل (4): نبات البازيلاء.

وراثة الصفات المندلية Mendelian Traits Inheritance

درس العالِم مندل توارث صفات عديدة في نبات البازيلاء، أنظر الشكل (4)، وتوصَّل في تجاربه إلى نتائج تُعَدُّ أساسًا لدراسة توارث الصفات في الكائنات الحيَّة الأُخرى.

مبدأ السيادة التامة وقانون انعزال الصفات

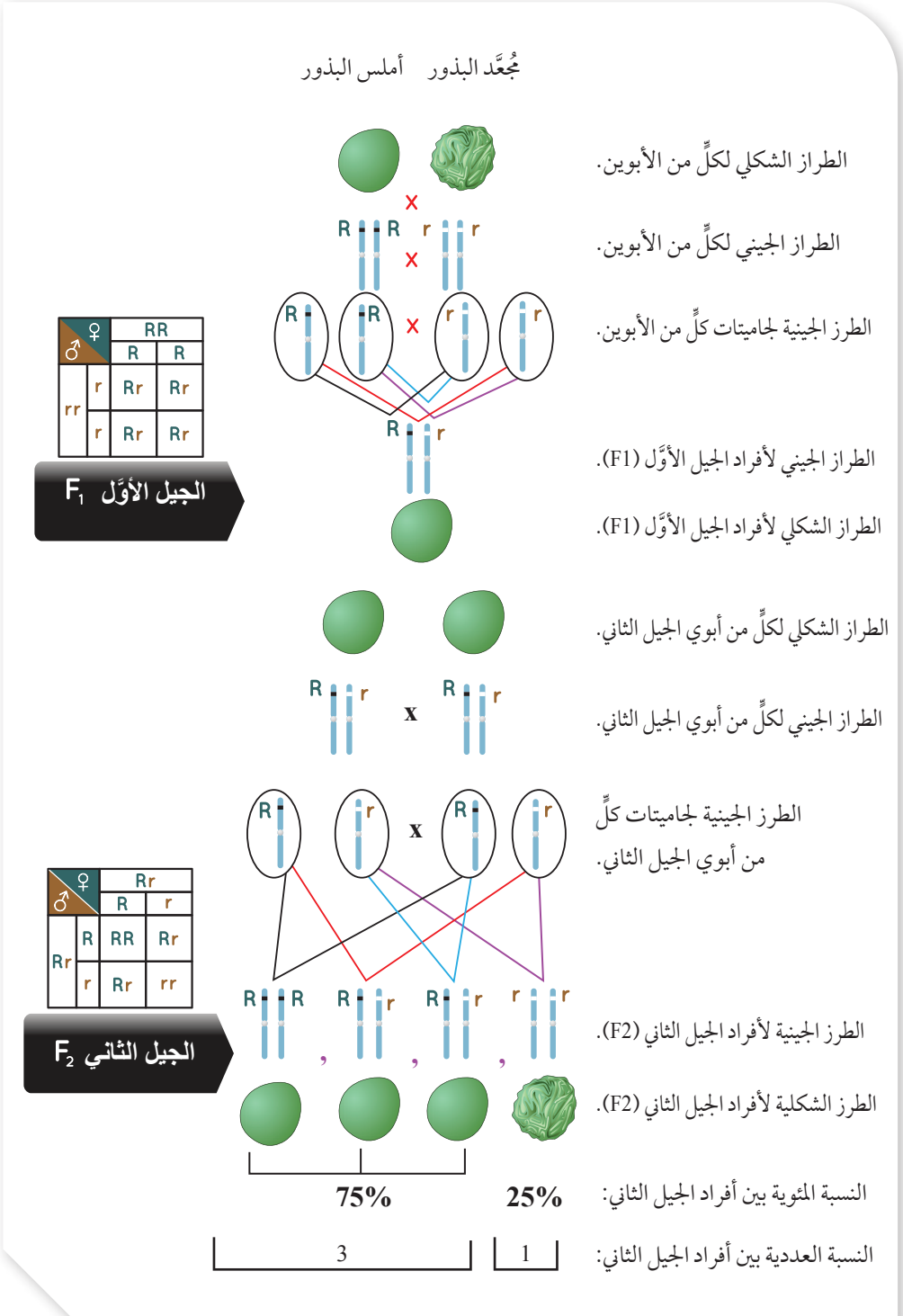
The Principle of Complete Dominance and the Law of Segregation

استقصى مندل وراثة صفات عديدة في نبات البازيلاء، أنظر الشكل (5)، وتتبَّع ظهورها في الجيل الأوَّل والجيل الثاني. ولأنَّ عدد أفراد الجيل الأوَّل الناتج كان كبيرًا؛ فقد تقاربت نسب ظهور الصفات الوراثية الناتجة من عمليات التلقيح مع النسب المُتوقَّعة لظهورها.

الشكل (5): الصفات الوراثية التي درسها مندل في نبات البازيلاء. أُحدِّد الصفة السائدة لكلٍّ من موقع الزهرة، وشكل البذرة.

	شكل البذرة	لون البذرة	شكل القرن	لون القرن	لون الزهرة	موقع الزهرة	طول الساق
الصفة السائدة	أملس	أصفر	مُمتلِئ	أخضر	أرجواني	محوري	طويل
الصفة المُتنحِّية	مُجعَّد	أخضر	مُجعَّد	أصفر	أبيض	طرفي	قصير

عمل مندل في إحدى تجاربه على تلقيح نباتي بازيلاء، أحدهما أملس البذور، والآخر مُجعَّد البذور، ثم زرع البذور الناتجة، فظهر كل فرد من أفراد الجيل الأوَّل (F1) أملس البذور، واختفت صفة البذور المُجعَّدة في الجيل الأوَّل. وبعد التلقيح بين أفراد الجيل الأوَّل ظهرت صفة البذور المُجعَّدة بين أفراد الجيل الثاني (F2) بنسبة 25%، أنظر الشكل (6).



الشكل (6): وراثة صفة شكل البذور في نبات البازيلاء.
أحسُبُ النسبة المئوية لظهور صفة البذور المُجعَّدة بين أفراد كلٍّ من الجيل الأوَّل، والجيل الثاني.

استنتج مندل وجود عوامل تتحكَّم في توارث الصفات، أُطلِق عليها فيما بعد اسم الجينات، ويوجد لكل جين شكلان، يُسمّى كلٌّ منهما أليلًا. فمثلًا: يوجد لجين صفة لون الأزهار في نبات البازيلاء أليلان، أحدهما سائد، ويُرمَز إليه بحرف كبير (R)، ويُمثِّل صفة اللون الأرجواني، والآخر مُتنحٍّ، ويُرمَز إليه بحرف صغير(r)، ويُمثِّل اللون الأبيض.وإذا اجتمع هذان الأليلان (السائد، والمُتنحّي)، فإنَّ تأثير الأليل السائد يظهر، خلافًا لتأثير الأليل المُتنحّي؛ فإنَّه لا يظهر، في ما يُعرَف بمبدأ السيادة التامة Principle of Complete Dominance. قد يكون الطراز الجيني للفرد الذي تظهر عليه الصفة السائدة مُتماثِل الأليلات (RR)، أو غير مُتماثِل الأليلات (Rr). أمّا الطراز الجيني للفرد الذي تظهر عليه الصفة المُتنحِّية فيكون دائمًا مُتماثِل الأليلات (rr)، لكنَّ ذلك لا يعني أنَّ الطراز الجيني لفرد مُتماثِل الأليلات لصفة وراثية مُعيَّنة يُحتِّم أنْ يكون مُتماثِل الأليلات للصفات الوراثية الأُخرى، أنظر الشكل (7). يختلف الأليل السائد والأليل المُتنحّي للصفة الوراثية الواحدة في تسلسل النيوكليوتيدات فيهما، أنظر الشكل (8)؛ ما يُؤثِّر في بناء البروتينات.

استنتج مندل من نتائج تجاربه قانون انعزال الصفات **Law of Segregation** الذي ينصُّ على أنَّ أليلي الصفة الواحدة ينفصلان أثناء تكوين الجاميتات.

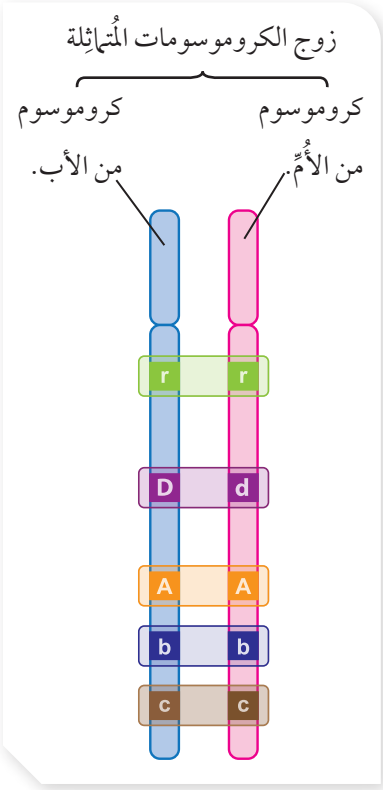
الاحتمالات والوراثة Probabilities and Genetics

تُماثِل نتائج تجارب مندل قواعد الاحتمالات التي تنطبق على إلقاء قطع النقود، وتتمثَّل أهمها في ما يأتي:

لا يتأثَّر احتمال حدوث الحدث باحتمال حدوثه في مَرّات أُخرى. فمثلًا: عند إلقاء قطعة نقد، فإنَّ احتمال ظهور الصورة هو ½، واحتمال ظهور الكتابة هو ½. غير أنَّ ظهور الصورة عند إلقاء قطعة النقد أوَّل مَرَّة لا يعني بالضرورة ظهور الكتابة عند إلقاء قطعة النقد نفسها مَرَّة ثانية؛ فقد يتكرَّر ظهور الصورة؛ ذلك أنَّ إلقاء قطعة النقد في كل مَرَّة مستقل عن إلقائها في مَرّات لاحقة، كما هو الحال عند الولادة؛ فاحتمال أنْ يكون المولود ذكرًا هو ½، واحتمال أنْ يكون أنثى هو ½. وإذا كان المولود الأوَّل ذكرًا فليس بالضرورة أنْ يكون المولود الثاني أنثى؛ إذ إنَّ احتمال أنْ يكون المولود الثاني ذكرًا هو ½، واحتمال أنْ يكون أنثى هو ½.

تتراوح قيمة الاحتمال بين 0 و1. فمثلًا: عند إيجاد جاميتات فرد طرازه الجيني tt، فإنَّ احتمال ظهور الجاميت الذي يحوي الأليل t هو 1، واحتمال ظهور الجاميت الذي يحوي الأليل T هو 0، خلافًا لجاميتات فرد طرازه الجيني Tt؛ إذ إنَّ احتمال ظهور الجاميت الذي يحوي الأليل T هو ½ ، واحتمال ظهور الجاميت الذي يحوي الأليل t هو ½ .

الشكل (7): كروموسومان مُتماثِلان. أُدوِّن الطرز الجينية مُتماثِلة الأليلات، وغير مُتماثِلة الأليلات.



أتحقَّق: أُوضِّح المقصود بكلٍّ من السيادة التامَّة، وقانون انعزال الصفات.

الشكل (8): تسلسل النيوكليوتيدات لأليل سائد لصفة مُعيَّنة (أ)، وتسلسلها لأليل مُتنحٍّ للصفة نفسها (ب).

أُقارِن بين تسلسل النيوكليوتيدات في الأليلين الآتيين:

(أ) TAATGCTACGTACGGA

(ب) TAATGCTAGCTACGGA

أفكّر: تزوَّج رجل بفتاة، وكان كلاهما يحمل صفة القدرة على ثني اللسان غير مُتماثِل الأليلات (Dd). أجد احتمال إنجاب أنثى لا تحمل صفة القدرة على ثني اللسان لهذه العائلة.

يساعد علم الاحتمالات على التنبُّؤ باحتمال ظهور طراز جيني مُعيَّن لدى الأفراد الناتجين. فعند تلقيح نباتي بازيلاء، كلٌّ منهما طويل الساق، وغير مُتماثِل الأليلات، والطراز الجيني لكليهما هو Tt، فإنَّ احتمال إنتاج جاميت يحوي الأليل T هو ½، واحتمال إنتاج جاميت يحوي الأليل t هو ½ في كلا النباتين.

لإيجاد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني tt، أحسُبُ ناتج احتمال t من النبات الأوَّل × احتمال إنتاج الأليل t في النبات الثاني.

$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$.

✓ **أتحقَّق:** أجد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني (TT) لأبوين طرازهما الجيني (Tt).

عند إيجاد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني Tt، فإنَّني أضع نَصْب عينيَّ أنَّ هذا الفرد قد ينتج من اندماج الجاميت الذي يحوي الأليل T من الأب والجاميت الذي يحوي الأليل t من الأُمِّ، أو العكس، أنظر مربع بانيت المجاور.

♀ / ♂	½ T	½ t
½ T	¼ TT	¼ Tt
½ t	¼ Tt	¼ tt

لتحديد احتمال حدوث حدثين مستقلين معًا، فإنَّني أحسُبُ ناتج احتمال حدوث الحدث الأوَّل ضرب احتمال حدوث الحدث الثاني.

مثال 1

أجرت باحثة تجارب عديدة لدراسة توارث صفة لون الريش بين أفراد نوع مُعيَّن من الحَمام، وكان الطراز الشكلي للون ريش أفراد الحَمام غير مُوشَّح أو مُوشَّحًا. وقد خلُصت الباحثة إلى النتائج المُبيَّنة في الجدول (1) والجدول (2):

- أستنتج الصفة السائدة، والصفة المُتنحِّية.
- أكتب الطرز الجينية لأفراد الجيل الأوَّل، باستخدام الرمز (a) والرمز (A).

الجدول (1): تزاوجات عديدة لتتبُّع وراثة لون الريش في نوع من الحَمام.

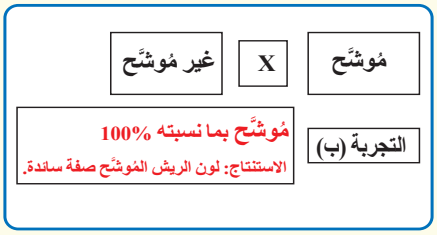
رمز التجربة	الآباء	الطرز الشكلية لأفراد الجيل الأوَّل (F_1)	
		مُوشَّح	غير مُوشَّح
أ	مُوشَّح x مُوشَّح	36	0
ب	مُوشَّح x غير مُوشَّح	38	0
ج	غير مُوشَّح x غير مُوشَّح	0	35

الجدول (2): تزاوجات عديدة لتتبُّع وراثة لون الريش بين أفراد الجيل الثاني في نوع من الحَمام.

رقم التجربة	التزاوج بين أفراد الجيل الأوَّل (F_1) الناتجين من التجارب: أ، ب، ج	الطرز الشكلية لأفراد الجيل الثاني (F_2)	
		مُوشَّح	غير مُوشَّح
1	المُوشَّح أ x غير المُوشَّح ج	34	0
2	المُوشَّح ب x غير المُوشَّح ج	17	14
3	المُوشَّح ب x المُوشَّح ب	28	9
4	المُوشَّح أ x المُوشَّح ب	39	0

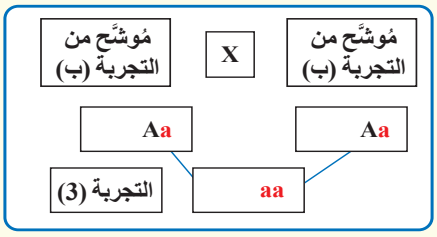
المعطيات: الطرز الشكلية لكلٍّ من الأبوين، صفات أفراد الجيل الأوَّل وأعدادهم، صفات أفراد الجيل الثاني وأعدادهم.

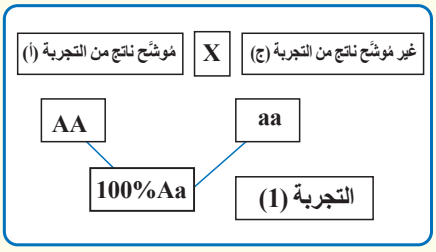
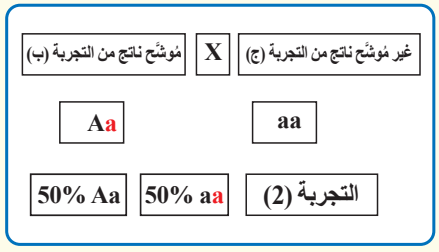
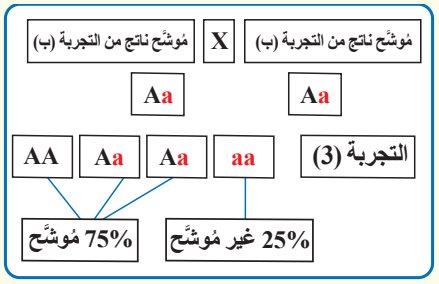
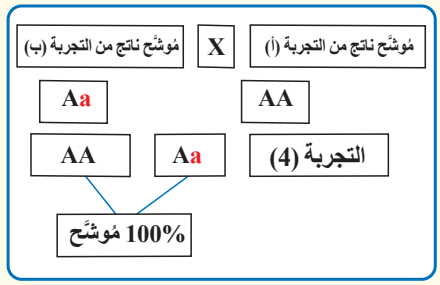
المطلوب: الصفة السائدة، الصفة المُتنحِّية، الطرز الجينية لأفراد الجيل الأوَّل (F1).



الحل:

أُحلِّل البيانات وأُفسِّرها: أستنتج أنَّ لون الريش المُوشَّح صفة سائدة؛ لأنَّ صفة لون الريش في جميع أفراد الجيل الأوَّل الناتجين من التجربة (ب) هي المُوشَّح. وممّا يدعم استنتاجي أنَّ صفة لون الريش غير المُوشَّح ظهرت بنسبة 25% بين أفراد الجيل الثاني في التجربة (3).



الاستنتاج	السبب	مُخطَّط
لون الريش المُوشَّح بين أفراد الجيل الأوَّل في التجربة (أ) مُتماثِل الأليلات (AA).	عند تزاوج الحَمام مُوشَّح الريش الناتج من التجربة (أ) مع حَمام ناتج من التجربة (ج)، ولون ريشه غير مُوشَّح (مُتنحٍّ)، كان جميع أفراد الجيل الناتج مُوشَّحي الريش (سائد). فلو كان أفراد الجيل الناتج من التجربة (أ) غير مُتماثِلي الأليلات (Aa)، لظهر بعض أفراد الجيل الثاني الناتج مُتنحّيين.	
لون الريش المُوشَّح بين أفراد الجيل الأوَّل الناتج من التجربة (ب) غير مُتماثِل الأليلات (Aa).	عند تزاوج أفراد الجيل الأوَّل الناتج من التجربة (ب) مع حَمام ناتج من التجربة (ج)، ولون ريشه غير مُوشَّح (مُتنحٍّ)، كان لون الريش غير مُوشَّح (مُتنحٍّ) لنصف أفراد الجيل الثاني الناتج.	
الطراز الجيني للون الريش المُوشَّح الناتج من التجربة (ب) غير مُتماثِل الأليلات (Aa).	عند تزاوج الحَمام مُوشَّح الريش الناتج من التجربة (ب) مع حَمام ناتج من التجربة (ب)، ومُوشَّح الريش، كانت نسبة أفراد الجيل الثاني الناتج من الحَمام مُوشَّح الريش 75%، و25% من الحَمام غير مُوشَّح الريش (مُتنحٍّ).	
الطراز الجيني للون الريش المُوشَّح الناتج من التجربة (أ) مُتماثِل الأليلات (AA).	عند تزاوج الحَمام مُوشَّح الريش الناتج من التجربة (أ) مع حَمام ناتج من التجربة (ب)، ومُوشَّح الريش، وغير مُتماثِل الأليلات، كان جميع أفراد الجيل الثاني الناتج من الحَمام مُوشَّحي الريش.	

الربط بالزراعة

الوراثة وتحسين الإنتاج الزراعي

وظَّف المزارعون مبادئ الوراثة في تحسين الإنتاج منذ أمد بعيد لزيادة جودة المحاصيل وكمِّياتها، ومقاومة مُسبِّبات الأمراض؛ إذ اختاروا سلالات من النباتات تمتاز بصفات مرغوبة؛ لتكثيرها خضريًّا. وكذلك اختاروا سلالات من الحيوانات تمتاز بصفات مرغوبة، وعملوا على تلقيحها خلطيًّا، ثم تلقيح أفراد النسل الناتج؛ لإنتاج أفراد يمتازون بأكثر من صفة مرغوبة، مثل الأبقار التي تُنتِج كمِّيات وافرة من الحليب واللحوم. ولكنْ، يتعيَّن على المزارعين في هذه الحالة الانتباه إلى الصفات الأُخرى؛ فقد تظهر صفات غير مرغوبة ومُتنحِّية.

قانون التوزيع الحر Law Of Independent Assortment

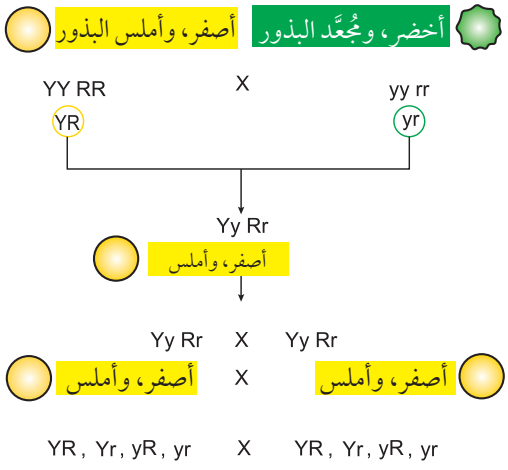
أجرى مندل تجربة درس فيها وراثة صفتين وراثيتين معًا في نبات البازيلاء، هما: لون البذور، وشكلها. في الجزء الأوَّل من التجربة، عمل مندل على تلقيح نباتي بازيلاء، أحدهما أصفر، وأملس البذور، ومُتماثِل الأليلات لهاتين الصفتين، وطرازه الجيني YYRR، والآخر أخضر، ومُجعَّد البذور، وطرازه الجيني yyrr. بعد أنْ زرع مندل البذور الناتجة، لاحظ أنَّ جميع بذور النباتات في الجيل الأوَّل صفراء، وملساء، وطرازها الجيني YyRr.

في الجزء الثاني من التجربة، عمل مندل على تلقيح أفراد الجيل الأوَّل معًا، ثم زرع البذور الناتجة، ثم دَوَّن أعداد النباتات الناتجة وصفات كلٍّ منها، فكانت النسب بين النباتات الناتجة في التجربة مُقارِبة للنسب المُتوقَّعة المُبيَّنة في مربع بانيت، أنظر الشكل (9).

ظهرت صفات أفراد الجيل الثاني في مربع بانيت وَفق النسب العددية الآتية:

9 نباتات صفراء، وملساء البذور: 3 نباتات صفراء، ومُجعَّدة البذور.

3 نباتات خضراء، وملساء البذور: 1 نبات أخضر، ومُجعَّد البذور.



الشكل (9): وراثة صفتي لون البذور وشكلها معًا في نبات البازيلاء، وسيادة أليل لون البذور الصفراء Y على أليل لون البذور الخضراء y، وسيادة أليل البذور الملساء R على أليل البذور المُجعَّدة r.

الطراز الشكلي لكلٍّ من الأبوين.

الطراز الجيني لكلٍّ من الأبوين.

الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من الأبوين.

الطراز الجيني لأفراد الجيل الأوَّل (F1).

الطراز الشكلي لأفراد الجيل الأوَّل (F1).

الطراز الجيني لكلٍّ من أبوي الجيل الثاني.

الطراز الشكلي لكلٍّ من أبوي الجيل الثاني.

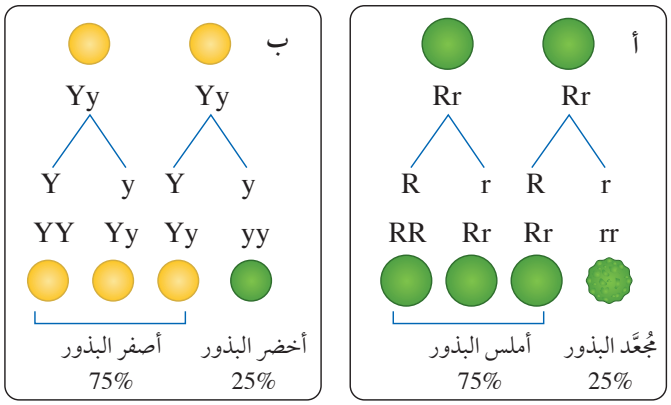
الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من أبوي الجيل الثاني.

تنظيم الطرز الجينية لأفراد الجيل الناتج من عمليات الإخصاب المُحتمَلة في مربع بانيت:

♀ \ ♂	1/4 YR	1/4 Yr	1/4 yR	1/4 yr
1/4 YR	YY RR	YY Rr	Yy RR	Yy Rr
1/4 Yr	YY Rr	YY rr	Yy Rr	Yy rr
1/4 yR	Yy RR	Yy Rr	yy RR	yy Rr
1/4 yr	Yy Rr	Yy rr	yy Rr	yy rr

احتمالات ظهور الصفات:

- 9/16: أصفر، وأملس.
- 3/16: أصفر، ومُجعَّد.
- 3/16: أخضر، وأملس.
- 1/16: أخضر، ومُجعَّد.



الشكل (10): النسب المُتوقَّعة عند دراسة كل صفة من الصفتين بصورة مستقلة عن الأُخرى:
(أ): شكل البذور.
(ب): لون البذور.

عند دراسة كل صفة على حِدَة من مربع بانيت في الشكل (9)، يتبيَّن أنَّ النسبة العددية بين البذور الصفراء والبذور الخضراء هي: 3 أصفر البذور: 1 أخضر البذور. وبذلك يكون احتمال ظهور لون البذرة الصفراء هو ¾، واحتمال ظهور لون البذرة الخضراء هو ¼، وعدد البذور الملساء بين أفراد الجيل الثاني هو 12 بذرة، وعدد البذور المُجعَّدة هو 4 بذور، وأنَّ النسبة العددية بين البذور الملساء والبذور المُجعَّدة هي: 3 ملساء البذور: 1 مُجعَّدة البذور. ومن ثَمَّ، فإنَّ احتمال ظهور البذور الملساء هو ¾، واحتمال ظهور البذور المُجعَّدة هو ¼؛ ما يعني أنَّ النسب المُتوقَّعة للصفة الواحدة لم تتأثَّر عند دراستها مع صفة أُخرى، أنظر الشكل (10).

توصَّل مندل من تجاربه إلى **قانون التوزيع الحر** **Law of Independent Assortment** الذي ينصُّ على انفصال أليلي الصفة الواحدة أحدهما عن الآخر بصورة مستقلة عن انفصال أليلات الصفات الأُخرى أثناء تكوين الجاميتات.

✓ **أتحقَّق:** أُدوِّن نصَّ قانون التوزيع الحر.

أفكِّر: عمل باحث على تلقيح نباتي بازيلاء لتتبُّع وراثة صفتي طول الساق، ولون القرون. كان أليل طول الساق هو T، وأليل قصر الساق هو t، وأليل القرون الخضراء هو G، وأليل القرون الصفراء هو g. وقد استخدم الباحث مربع بانيت الآتي لتمثيل النتائج:

♀ / ♂	TG		tG	
tG			1	
		Ttgg		ttgg

أ. **أستنتج** الطرز الجينية لكلٍّ من الأبوين.
ب. **أجد** احتمال ظهور أفراد لهم نفس الطراز الشكلي للفرد (1).

مثال 2

عمل باحث على تلقيح نباتي بازيلاء، وكان الطراز الجيني لأحد هذين النباتين هو RrTt، والطراز الجيني للآخر هو RrTT. أجد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني هو RrTt.

المعطيات: الطرز الجينية لكلٍّ من الأبوين.

المطلوب: إيجاد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني هو RrTt.

الحل:

أجد الجاميتات واحتمالاتها لكلٍّ من النباتين:

النبات الأوَّل: ¼ RT ، ¼ Rt ، ¼ rT ، ¼ rt.

النبات الثاني: ½ RT، ½ rT.

أستنتج أنَّ الطراز الجيني RrTt سينتج كما يأتي:

Rt من النبات الأوَّل × rT من النبات الثاني + rt من النبات الأوَّل × RT من النبات الثاني.

أُنظِّم المعلومات التي تعرَّفْتُها عن قانون انعزال الصفات، وقانون التوزيع الحر، ثم أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا عنهما، مُدعَّمًا بالصور من شبكة الإنترنت، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

أجد ناتج الضرب والإضافة على النحو الآتي:

$(½ \times ¼) + (½ \times ¼)$

$2/8 = 1/8 + 1/8$

للتحقُّق من صحَّة النتائج، فإنَّني أجدها باستخدام مربع بانيت:

	¼ RT	¼ Rt	¼ rT	¼ rt
½ RT	1/8 RRTT	1/8 RRTt	1/8 RrTT	1/8 RrTt
½ rT	1/8 RrTT	1/8 RrTt	1/8 rrTT	1/8 rrTt

مثال 3

في تجربة لباحثة شملت دراسة توارث صفتين في نبات البازيلاء، أجرت الباحثة تلقيحًا لنبات بازيلاء محوري الأزهار، وأصفر البذور، مع نبات آخر مجهول الطراز الشكلي، فكانت الطرز الشكلية واحتمالاتها للأفراد الناتجين كما يأتي:

¼ : نباتات محورية الأزهار، وصفراء البذور.

¼ : نباتات محورية الأزهار، وخضراء البذور.

¼ : نباتات طرفية الأزهار، وصفراء البذور.

¼ : نباتات طرفية الأزهار، وخضراء البذور.

- ما الطرز الجينية لكلٍّ من الأبوين للصفتين معًا؟
- ما الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من الأبوين؟

الأليل	الصفة
Y	لون البذور الصفراء
y	لون البذور الخضراء
A	موقع الأزهار المحورية
a	موقع الأزهار الطرفية

المعطيات: الطرز الشكلية لأحد الأبوين، الطرز الشكلية واحتمالاتها في الجيل الناتج من التجربة.

المطلوب: الطرز الجينية لكلٍّ من الأبوين، الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من الأبوين.

الحل:

أجد احتمالات ظهور كل صفة على حِدَة. بعد ذلك أستنتج الطرز الجينية لكلٍّ من الأبوين للصفتين معًا، ثم أُطبِّق قانون التوزيع الحر لاستنتاج الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من الأبوين.

محوري الأزهار: طرفي الأزهار أصفر البذور: أخضر البذور

¼ + ¼ : ¼ + ¼ ¼ + ¼ : ¼ + ¼

(1) : (1) (1) : (1) النسب الوراثية

الطرز الجينية للأبوين لكل صفة على حِدَة:

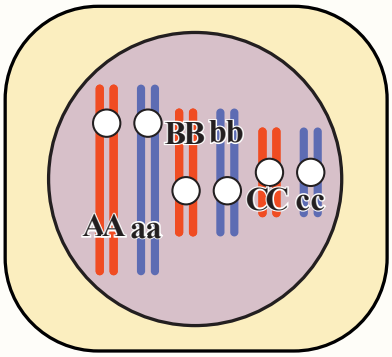
Yy × yy Aa × aa

	أحد النباتين	النبات المجهول
الطرز الشكلية لكلٍّ من الأبوين للصفتين معًا:	محوري الأزهار، وأصفر البذور	طرفي الأزهار، وأخضر البذور
الطرز الجينية لكلٍّ من الأبوين للصفتين معًا:	AaYy	aayy
الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من الأبوين:	AY ، Ay ، aY ، ay	ay

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أُوضِّح المقصود بكلٍّ من قانون انعزال الصفات، وقانون التوزيع الحر.

2. **أستنتج** عدد أنواع الجاميتات التي تحوي تراكيب جينية، يختلف بعضها عن بعض، وتنتج من انقسام مُنصِّف للخلية التي يُمثِّلها الشكل المجاور.



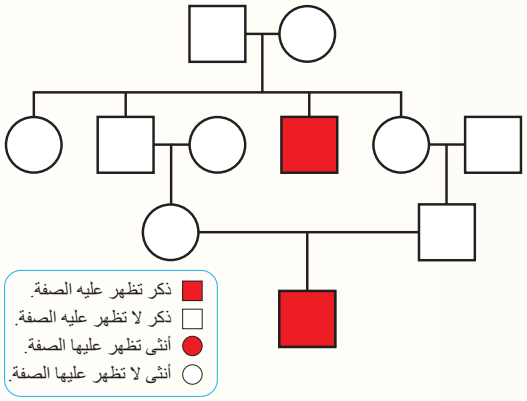
3. يسود أليل لون العينين الأسود B على أليل لون العينين الأحمر b في نوع من الفئران. ما الطرز الجينية والشكلية للأفراد الناتجين من تزاوج فأر أسود العينين وغير مُتماثِل الأليلات مع فأرة حمراء العينين؟

4. في نوع من النباتات، قد يكون لكل بتلة بقعة سوداء عند قاعدتها، أو قد تخلو البتلات من البقع السوداء. أُجرِيت ثلاث تجارب مُنفصِلة، حدث في أولاها تلقيح بين نباتين، كلاهما ذو بقعة سوداء عند قاعدة البتلات، وكانت بتلات جميع النباتات الناتجة ذات بقعة سوداء. أمّا في التجربة الثانية فحدث تلقيح بين نباتين، أحدهما بتلاته ذات بقعة سوداء، والآخر بتلاته عديمة البقعة، وكانت بتلات جميع النباتات الناتجة ذات بقعة سوداء. وأمّا في التجربة الثالثة فحدث تلقيح بين نباتين، أحدهما بتلاته ذات بقعة سوداء، والآخر بتلاته عديمة البقعة، فكانت بتلات نصف النباتات الناتجة ذات بقعة سوداء، وبتلات نصفها الآخر عديمة البقعة. **أُفسِّر** هذه النتائج باستخدام الرمز (a) والرمز (A).

5. **أستنتج** الطرز الجينية والطرز الشكلية للأفراد الناتجين من تلقيح نبات بازيلاء طرفي الأزهار، وأخضر القرون، وغير مُتماثِل الأليلات لصفة لون القرون، مع نبات بازيلاء محوري الأزهار، وأخضر القرون، ومُتماثِل الأليلات للصفتين، بافتراض أنَّ أليل الموقع المحوري للزهرة هو (A)، وأليل الموقع الطرفي هو (a)، وأليل القرون الخضراء هو (G)، وأليل القرون الصفراء هو (g).

6. يسود في أحد أنواع الحيوانات أليل لون الفراء الرمادي على أليل لون الفراء الأبيض، ويسود أليل الذيل الطويل فيه على أليل الذيل القصير. إذا تزاوج ذكر سائد، ومُتماثِل الأليلات للصفتين، وأنثى مُتنحِّية للصفتين، **فأتوقَّع** الطرز الجينية والطرز الشكلية الناتجة من تزاوج ذكر من أفراد الجيل الأوَّل مع أنثى مُتنحِّية الأليلات للصفتين باستخدام الرمزين (G،g) لصفة لون الفراء، والرمزين (T،t) لصفة طول الذيل.

7. يُعَدُّ سجل النسب أداة مفيدة لتتبُّع الصفات الوراثية المختلفة على مَرِّ الأجيال. يُمثِّل الشكل المجاور سجل النسب لتتبُّع صفة وراثية في الإنسان. هل الصفة المُظلَّلة سائدة أم مُتنحِّية؟ أُبرِّر إجابتي.



8. **لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أُحدِّدها:**

1. عدد أشكال الأليلات لصفة مندلية سائدة نقية هو:

أ . صفر. ب. 1 جـ. 2 د. 3

2. أُجري تلقيح بين نباتَي بازيلاء، وظهرت الأفراد بالصفات الشكلية والأعداد الآتية: 42 أرجواني الأزهار أملس البذور، 20 بيضاء الأزهار مُجعَّدة البذور، 19 نبات أرجواني الأزهار مُجعَّد البذور، وباستخدام الرمز (a) لصفة البذور المُجعَّدة، والرمز (A) لصفة البذور الملساء، والرمز (R) لصفة الأزهار الأرجوانية، والرمز (r) لصفة الأزهار البيضاء ، فإن الطراز الجيني للنباتين الأبوين (للصفتين معًا) هو:

أ . aaRr/AaRr ب. AaRR/AaRr جـ. AaRr/AaRr د. Aarr/AaRr

3. الطراز الجيني الصحيح لأحد الجاميتات التي ينتجها نبات طرازه الجيني AaBB هو:

أ . Aa ب. BB جـ. AB د. Ab

4. إحدى الخصائص الآتية لنبات البازيلاء ساعدت العالم مندل على استنتاج قانون انعزال الصفات:

أ . وجود ثلاثة أشكال للصفة الوراثية الواحدة. ب. وجود شكلين مختلفين للصفة الوراثية الواحدة.

جـ. وجود شكل واحد للصفة الوراثية الواحدة. د . وجود أربعة أشكال للصفة الوراثية الواحدة.

5. الطراز الجيني الذي تؤدي فيه عملية العبور إلى إنتاج طرز جينية جديدة:

أ . GGWW ب. GgWw جـ. GGWw د. ggww

الوراثة بعد مندل
Inheritance after Mendel

الدرس 2

الفكرة الرئيسة:
تُتوارَث بعض الصفات الوراثية بأنماط تختلف عن تلك التي في الوراثة المندلية.

نتاجات التعلُّم:
- أُوضِّح بعض أنماط التوارث لصفات غير مندلية.
- أحُلُّ مسائل تطبيقية على بعض أنماط توارث الصفات غير المندلية.
- أُقارِن بين نتائج توارث صفات، جيناتها مُرتبِطة بأُخرى غير مُرتبِطة.
- أتوصَّل إلى طريقة رسم الخريطة الجينية.
- أُبيِّن أثر البيئة في ظهور الصفات الوراثية.

المفاهيم والمصطلحات:
الأليلات المُتعدِّدة Multiple Alleles
الوراثة مُتعدِّدة الجينات Polygenic Inheritance
الصفات المُرتبِطة بالجنس Sex-Linked Traits
الصفة المتأثرة بالجنس Sex-influenced Traits
الجينات المُرتبِطة Linked Genes
خريطة الجينات Genes Map
درجة الحرارة المحورية Pivotal Temperature (T_p)
الوراثة فوق الجينية Epigenetics

✓ **أتحقَّق:** أُوضِّح ماذا ينتج إذا لقّحت نباتًا زهري الأزهار مع نبات أبيض الأزهار.

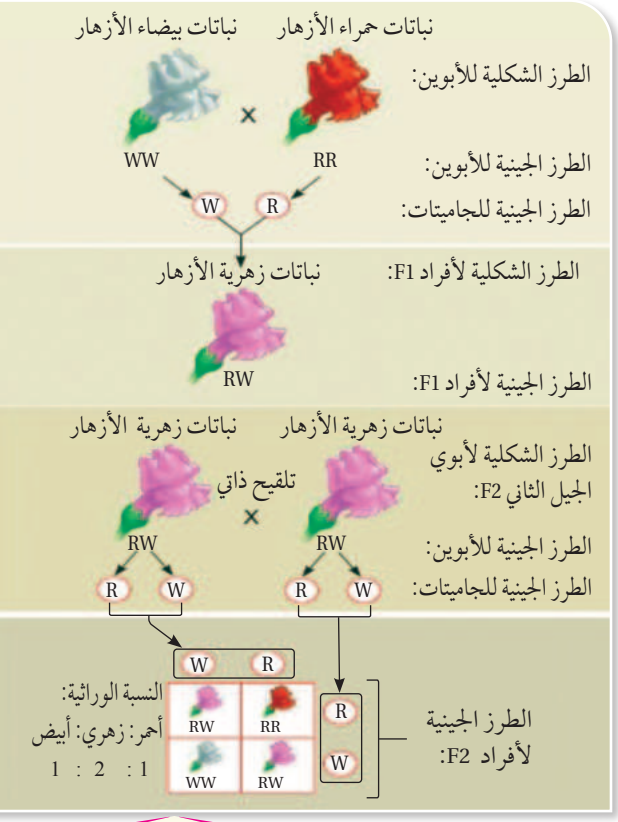
وراثة الصفات غير المندلية Non-Mendelian Traits Inheritance

تختلف نسب الصفات الوراثية الناتجة من بعض عمليات التزاوج عن تلك التي توصَّل إليها مندل، ومن أسباب ذلك: عدد الجينات المسؤولة عن الصفة، وتأثير الأليلات بعضها في بعض، ونوع الكروموسومات التي تحمل جينات صفة مُعيَّنة.

السيادة غير التامة Incomplete Dominance

تعلمت سابقًا أن السيادة غير التامة من أنماط الوراثة التي يظهر فيه أثرُ أليلَي الصفةِ في الطرازِ الجينيِّ غيرِ متماثلِ الأليلاتِ على الطرازِ الشكليِّ، فيظهرُ بصفةٍ وسطيةٍ. وهذا يعني أنه في حالة السيادة غير التامة ستظهر صفات جديدة تختلف عن صفات الأبوين؛ نتيجة عدم سيادة أليل على آخر بين الأليلين المُكوِّنين للصفة الوراثية. وتظهر السيادة غير التامة في العديد من الكائنات الحية، ففي النباتات مثلًا تظهر هذه السيادة في لون أزهار نبات فم السمكة ***Antirrhinum majus***، وتظهر السيادة غير التامة في العديد من الحيوانات كما في لون الريش للدجاج الأندلسي.

عند تلقيح نبات فم السمكة أحمر الأزهار متماثل الأليلات (RR) مع نبات آخر أبيض الازهار متماثل الأليلات أيضًا (WW)، نتجت أفراد الجيل الأول (F1) جميعها باللون الزهري (RW)، وعند تلقيح أفراد F1 ذاتيًّا نتجت أفراد الجيل الثاني (F2) التي تحمل الطرز الشكلية الآتية: نباتات حمراء الأزهار، ونباتات زهرية الأزهار، ونباتات بيضاء الأزهار، وبنسبة (1:2:1) على الترتيب، أنظر الشكل (11).



الشكل (11): توارث صفة لون الأزهار في نبات فم السمكة.

	C^R	C^W
C^R	$C^R C^R$ 	$C^R C^W$ 
C^W	$C^R C^W$ 	$C^W C^W$ 

السيادة المُشتَرَكة Codominance

نمط من الوراثة يُعبَّر فيه عن الأليلين معًا في حال كان الطراز الجيني غير مُتماثِل الأليلات؛ إذ يظهر تأثير كلٍّ منهما في الطراز الشكلي على نحوٍ مستقل عن الآخر.

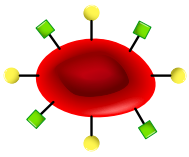
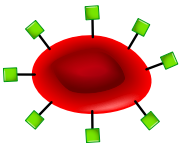
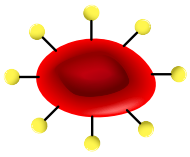
من الأمثلة على هذا النمط: وراثة لون الأزهار في نبات الكاميليا؛ إذ يظهر تأثير أليل لون الأزهار الأبيض (C^W) وأليل لون الأزهار الأحمر (C^R) عند اجتماعهما معًا، فتكون الزهرة الواحدة بيضاء، ومُوشَّحة باللون الأحمر. وعند تلقيح نباتي كاميليا، كلاهما أزهاره بيضاء، ومُوشَّحة باللون الأحمر، فإنَّ الصفات والنسب لأفراد الجيل الناتج تكون على النحو الآتي:

1 نباتات حمراء الأزهار: 2 نباتات الزهرة فيها بيضاء، ومُوشَّحة بالأحمر: 1 نباتات بيضاء الأزهار، أنظر مربع بانيت أعلاه.

من الأمثلة أيضًا على هذا النمط: وراثة فصيلة الدم تبعًا لنظام MN. يتحكَّم في هذه الصفة أليلان يُحمَلان على الزوج الكروموسومي رقم 4، وهما: الأليل (L^M)، والأليل (L^N)، ويكون الأليل (L^M) مسؤولًا عن إنتاج بروتين سُكَّري يُسمّى مُولِّد الضد M، في حين يكون الأليل (L^N) مسؤولًا عن إنتاج بروتين سُكَّري يُسمّى مُولِّد الضد N. تُحدَّد فصيلة الدم وَفق هذا النظام اعتمادًا على نوع مُولِّد الضد الموجود على سطح خلايا الدم الحمراء؛ فإذا كان مُولِّد الضد هو M فقط، فإنَّ فصيلة الدم هي M، وإذا كان مُولِّد الضد هو N فقط، فإنَّ فصيلة الدم هي N، وإذا وُجِد الاثنان معًا، فإنَّ فصيلة الدم هي MN.

لتتبُّع توارث صفة فصيلة الدم في عائلةٍ، فصيلة الدم لكلا الزوجين فيها هي MN وَفقًا لنظام MN، أنظر مربع بانيت المجاور. سأدرس لاحقًا مثالًا آخرَ على وراثة السيادة المُشتَرَكة، هو فصيلة الدم AB.

L^N	L^M	♀ / ♂
$L^M L^N$ ¼ فصيلة الدم MN	$L^M L^M$ ¼ فصيلة الدم M	L^M
$L^N L^N$ ¼ فصيلة الدم N	$L^M L^N$ ¼ فصيلة الدم MN	L^N

فصيلة الدم (الطراز الشكلي)	AB	B	A	O
خلايا الدم الحمراء				
الطراز الجيني	I^AI^B	I^BI^B أو I^Bi	I^AI^A أو I^Ai	ii

الشكل (12): الطرز الجينية لفصائل الدم بحسب نظام ABO.

أُدوِّن فصيلة الدم التي يكون طرازها الجيني مُتماثِل الألِيلات دائمًا.

الألِيلات المُتعدِّدة Multiple Alleles

درسْتُ سابقًا أنَّ فصائل الدم تتحدَّد وَفــق أكثر أنظمة تحديد فصائل الدم استخدامًا في المجال الطبي، وهو نظام ABO، بناءً على وجود أحد مُولِّدي الضد A أو B، أو وجود كليهما، أو عدم وجودهما.

وَفقًا لنظـام ABO، تُعَـدُّ وراثـة فصائل الدم مثـالًا على نمط وراثـة **الألِيلات المُتعـدِّدة Multiple Alleles**. والألِيـلات المُتعـدِّدة هـي وجـود أكثـر مـن أليلين للجـين الواحد.

يُرمَز إلى الألِيـلات المســؤولة عن وراثة فصــائل الدم وَفق هــذا النظام كما يأتي: I^B ،I^A ،i. ويكون الأليل I^A مسؤولًا عن إنتاج مُولِّد الضد A، ويكون الأليل I^B مسؤولًا عن إنتاج مُولِّد الضد B. أمّا الأليل i فغير مسؤول عن إنتاج أيٍّ منهما. تحتوي خلية الفرد الجسمية على أليلين فقط من هذه الألِيلات، أحدهما من الأُمِّ، والآخر من الأب.

لتعرُّف الطرز الجينية والطرز الشكلية لفصائل الدم وَفق نظام ABO، أنظر الشكل (12).

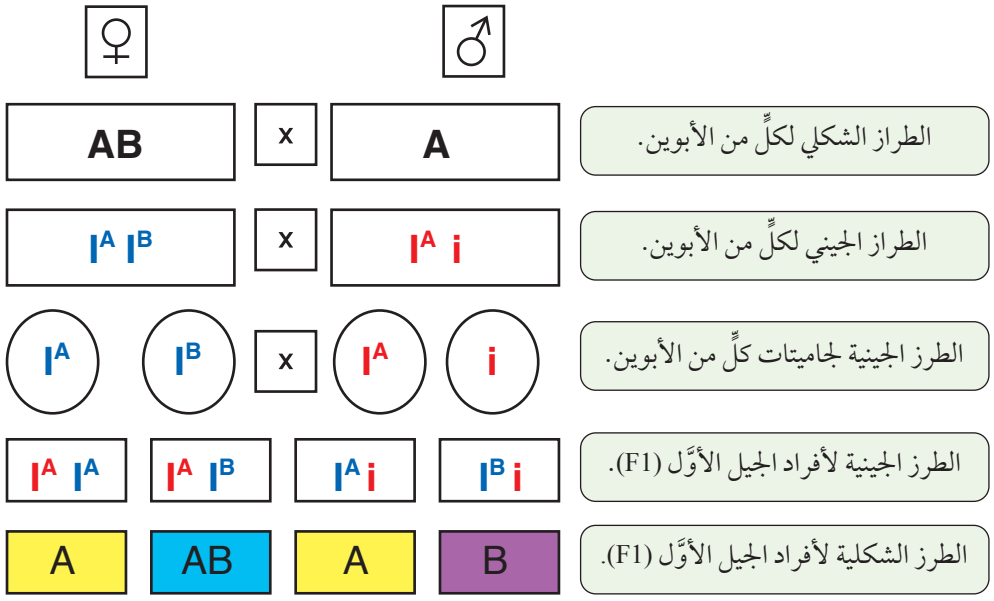
أتحقَّق: أُوضِّح المقصود بالجين مُتعدِّد الألِيلات.

الربط بعلم الدم

Hematology

توجد أنظمة عِدَّة لتحديد فصائل الدم، مثل: نظام لويس، ونظام MN. والنظامان الشائعان من هذه الأنظمة هما: نظام ABO، والعامل الريزيسي Rh. وكلا النظامين مُهِمٌّ في عمليات نقل الدم.

في بعض الأنظمة، ومنها نظام ABO، توجد مُولِّدات الضد التي تُحدِّد فصيلة الدم على سطوح خلايا الدم الحمراء.



الشكل (13): وراثة صفة فصائل الدم لإحدى العائلات بحسب نظام ABO.

لتتبُّع وراثة صفة فصائل الدم لإحدى العائلات، أنظر الشكل (13).

أُلاحِظ أنَّ عدد الأليلات لصفة فصيلة الدم في كل جاميت هو أليل واحد، وأنَّ الأليل I يسود على الأليل i سيادة تامة، في حين أنَّ السيادة بين الأليل I^A والأليل I^B هي سيادة مُشتَرَكة.

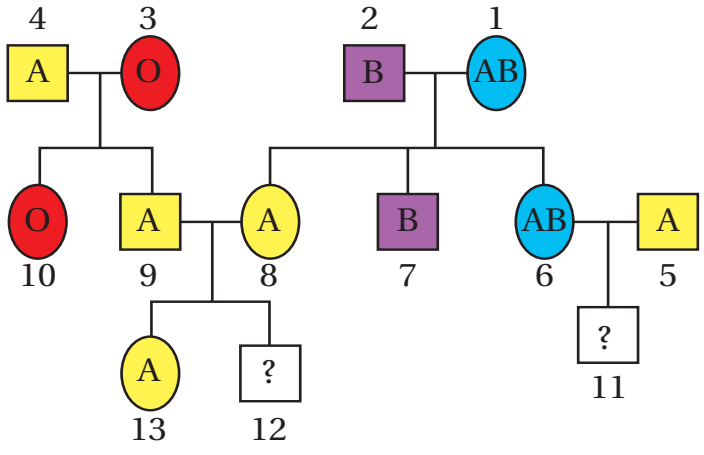
أُلاحِظ من الشكل أعلاه أنَّ نسب فصائل الدم لأفراد الجيل الأوَّل هي:

A : 50%

B : 25%

AB : 25%

يُمكِن أيضًا التعبير عن وراثة فصائل الدم وَفق نظام ABO باستخدام سجل النسب، أنظر الشكل (14).



الشكل (14): سجل النسب لتوارث صفة فصائل الدم.

أستنتج الطراز الجيني للفرد الذي يحمل الرقم (2)، والطراز الجيني للفرد الذي يحمل الرقم (4).

أُفسِّر سبب ظهور فصيلة الدم O لدى الفرد الذي يحمل الرقم (10).

أتوقَّع الطرز الشكلية المُحتمَلة للفرد الذي يحمل الرقم (11)، والطرز الشكلية المُحتمَلة للفرد الذي يحمل الرقم (12).

مثال 4

تزوَّج شاب فصيلة دمه A بفتاة فصيلة دمها B، فأنجبا طفلين، فصيلة دم أحدهما B، وفصيلة دم الآخر A. أستنتج الطرز الجينية للشاب والفتاة.

المعطيات: فصيلة دم الشاب A، فصيلة دم الفتاة B، فصيلة دم أحد الطفلين A، فصيلة دم الطفل الآخر B.

المطلوب: استنتاج الطرز الجينية للشاب والفتاة.

الحل:

- فصيلة دم الشاب هي A، والطراز الجيني لفصيلة الدم A هو I^AI^A، أو I^Ai. ولأنَّ فصيلة دم أحد طفليه هي B؛ فأستنتج أنَّ الطراز الجيني للشاب هو غير مُتماثِل الأليلات (I^Ai).
- فصيلة دم الفتاة هي B، والطراز الجيني لفصيلة الدم B هو I^BI^B، أو I^Bi. ولأنَّ فصيلة دم أحد طفليها هي A؛ فأستنتج أنَّ الطراز الجيني للفتاة هو غير مُتماثِل الأليلات (I^Bi).

الوراثة مُتعدِّدة الجينات Polygenic Inheritance

الوراثة مُتعدِّدة الجينات **Polygenic Inheritance** نمط من الوراثة غير المندلية، وفيه يتحكَّم أكثر من جينين في الصفة الوراثية، وتكون الطرز الشكلية لهذه الصفة مُتدرِّجة بين الأفراد؛ بسبب تراكم تأثير الجينات التي تتحكَّم فيها، ومن أمثلة هذا النمط: وراثة لون الجلد في الإنسان ولون بذور نبات القمح، أنظر الشكل (15).

الشكل (15): تدرُّج لون الجلد في جسم الإنسان.



الربط بالدين

الإسلام والجينات المُتعدِّدة

يتعيَّن على الإنسان التفكُّر في الآيات الدالَّة على قدرة الله تعالى، مثل اختلاف الأفراد بعضهم عن بعض في لون الجلد، وهي صفة وراثية مُتعدِّدة الجينات.

قال تعالى: ﴿وَمِنْ ءَايَٰتِهِۦ خَلْقُ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضِ وَٱخْتِلَٰفُ أَلْسِنَتِكُمْ وَأَلْوَٰنِكُمْ ۚ إِنَّ فِى ذَٰلِكَ لَءَايَٰتٍ لِّلْعَٰلِمِينَ﴾ (سورة الروم، الآية 22).

لتوضيح توارث صفة لون الجلد، أفترض أنَّ ثلاثة جينات هي التي تتحكَّم في هذه الصفة، بالرغم من أنَّ عدد الجينات لهذه الصفة هو أكثر من ذلك، وأنَّ الرموز: A,B,C تُمثِّل أليلات اللون الغامق، وأنَّ الرموز: a,b,c تُمثِّل أليلات اللون الفاتح. وبحسب هذا الافتراض، فإنَّ الطراز الجيني للون الجلد الغامق جدًّا هو AABBCC، والطراز الجيني للون الجلد الفاتح جدًّا هو aabbcc. أمّا اللون المُتوسِّط للجلد فطرازه الجيني هو AaBbCc، و AABbcc، والطرز الجينية الأُخرى التي تساويها في عدد الأليلات السائدة؛ لأنَّ تأثير الأليلات السائدة متساوٍ، وبصورة مُتراكِمة؛ إذ ينتج الطراز الشكلي للون الجلد من تراكم تأثير الأليلات السائدة؛ فكلَّما كان عدد الأليلات السائدة أكثر كانت درجة اللون أغمق.

لتتبُّع وراثة صفة لون الجلد، وتعرُّف الطرز الجينية المُتوقَّعة، وتدرُّج الطرز الشكلية الناتجة من تزاوج فردين، كلاهما مُتوسِّط لون البشرة (AaBbCc)، أنظر الشكل (16) الذي تُمثِّل فيه الدائرة البيضاء أليلًا مُتنحِّيًا، وتُمثِّل فيه الدائرة السوداء أليلًا سائدًا، وألاحظ التدرُّجات السبعة للون البشرة في الأفراد الناتجين.

أتحقَّق:

- أكتب طرازًا جينيًّا تأثيره نفس تأثير الطراز الجيني AaBBCc.
- ما الطراز الجيني لأغمق لون للبشرة قد يظهر على جلد أبناء عائلةٍ، يكون فيها للأب والأُمِّ الطراز الجيني AAbbCc نفسه؟

♀ \ ♂	AaBbCc							
	ABC	aBC	AbC	ABc	abC	Abc	aBc	abc
AaBbCc	AABBCC	AaBBCC	AABbCC	AABBCc	AaBbCC	AABbCc	AaBBCc	AaBbCc
	AaBBCC	aaBBCC	AaBbCC	AaBBCc	aaBbCC	AaBbCc	aaBBCc	aaBbCc
	AABbCC	AaBbCC	AAbbCC	AABbCc	AabbCC	AAbbCc	AaBbCc	AabbCc
	AABBCc	AaBBCc	AABbCc	AABBcc	AaBbCC	AABbcc	AaBBcc	AaBbcc
	AaBbCC	aaBbCC	AabbCC	AaBbCc	aabbCC	AabbCc	aaBbCc	aabbCc
	AABbCc	AaBbCc	AAbbCc	AABbcc	AabbCc	AAbbcc	AaBbcc	Aabbcc
	AaBBCc	aaBBCc	AaBbCc	AaBBcc	aaBbCc	AaBbcc	aaBBcc	aaBbcc
	AaBbCc	aaBbCc	AabbCc	AaBbcc	aabbCc	Aabbcc	aaBbcc	aabbcc

الطراز الشكلي واحتماله.	1/64	6/64	15/64	20/64	15/64	6/64	1/64
عدد الأليلات السائدة.	0	1	2	3	4	5	6

الشكل (16): توارث صفة لون الجلد إذا كان كلا الأبوين غير مُتماثِل الأليلات للجينات الثلاثة المسؤولة عنها في جسم الإنسان.
أستنتج احتمال إنجاب فرد طرازه الجيني AABBCC.

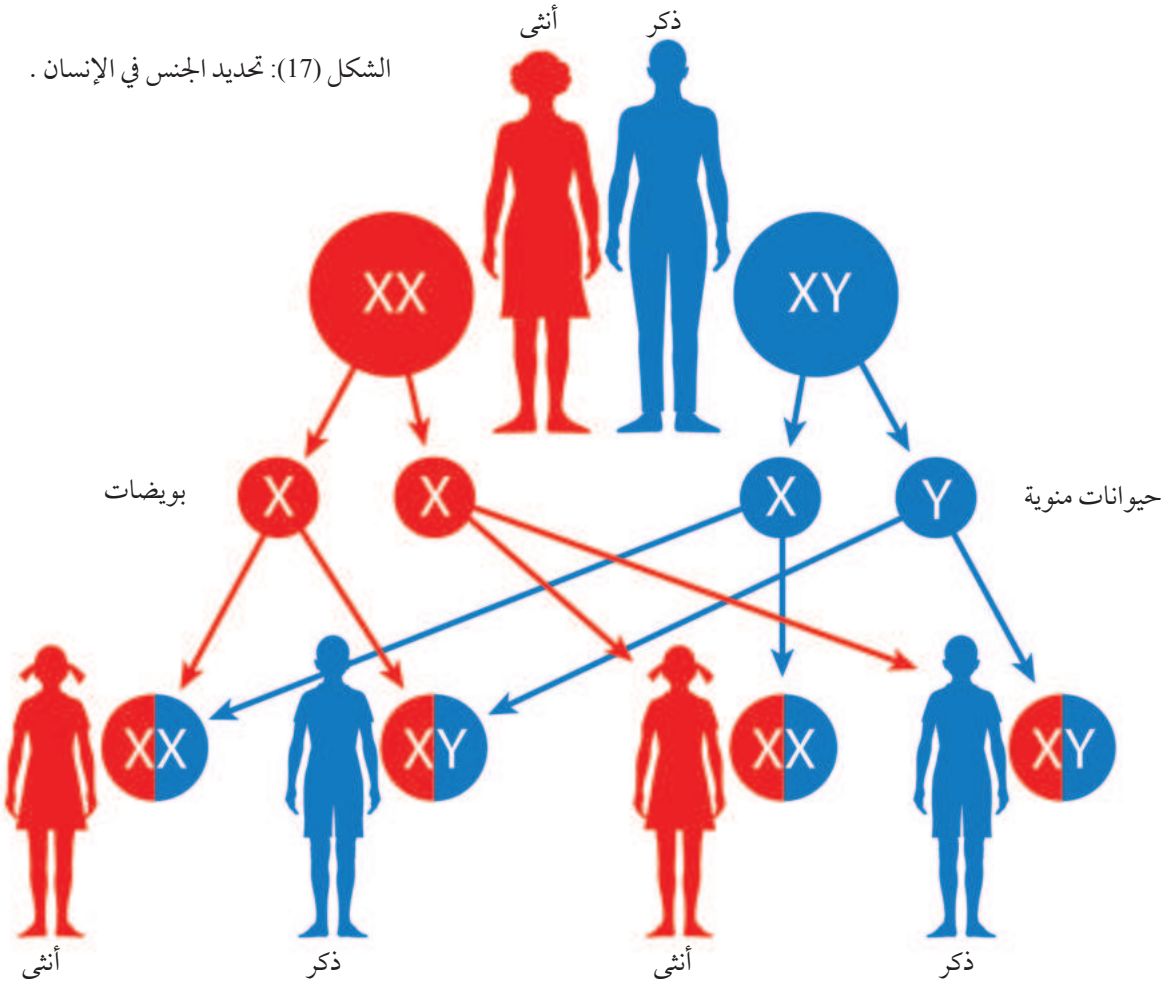
تحديد الجنس Sex Determination

يتحـــدَّد الجـنس في الإنســان وَفق نظام X,Y؛ نظرًا إلى وجـــود نوعـــين مـن الكروموسومات الجنسية في الإنســـان: الكروموسوم X، والكروموسـوم Y. فإذا وَرِثَ الفرد الكروموسومين الجنسيين X وX، كان جنس المولود أنثى، طرازها الكروموسومي الجنسي هو XX، وإذا وَرِثَ الفرد الكروموسوم الجنسي X من أُمِّه، والكروموسوم الجنسي Y من أبيه، كان جنس المولود ذكرًا، طرازه الكروموسومي الجنسي هو XY، أنظر الشكل (17)، وهـذا يختلف عـن تحديـد الجنس في كائنـات حيَّة أُخرى غير الإنسان. ففي الطيور مثلًا، يكون الطراز الكروموسومي الجنسي مُتماثِلًا عند الذكر، وغير مُتماثِل عند الأنثى.

لبعـــض الجينـــات دور في تحـــديد جـــنس الجنين في الإنســان، مثـل جين Sex Determining Region Y Gene (SRY) الذي يُحمَل على الكروموسوم الجنسي Y؛ إذ إنَّه يُؤثِّر في تمايز الخصية أثناء تطوُّر الجنين.

أتحقَّـــق: أُدوِّن الطـــراز الكروموسـومي الجنـسي لذكر الإنسان.

الشكل (17): تحديد الجنس في الإنسان .



الصفات المُرتبِطة بالجنس Sex Linked Traits

أفكِّر: أتوقَّع: أيُّ الجنسين في الطيور تحتوي خلاياه الجسمية على عدد أكثر من الجينات؟ أُبرِّر إجابتي.

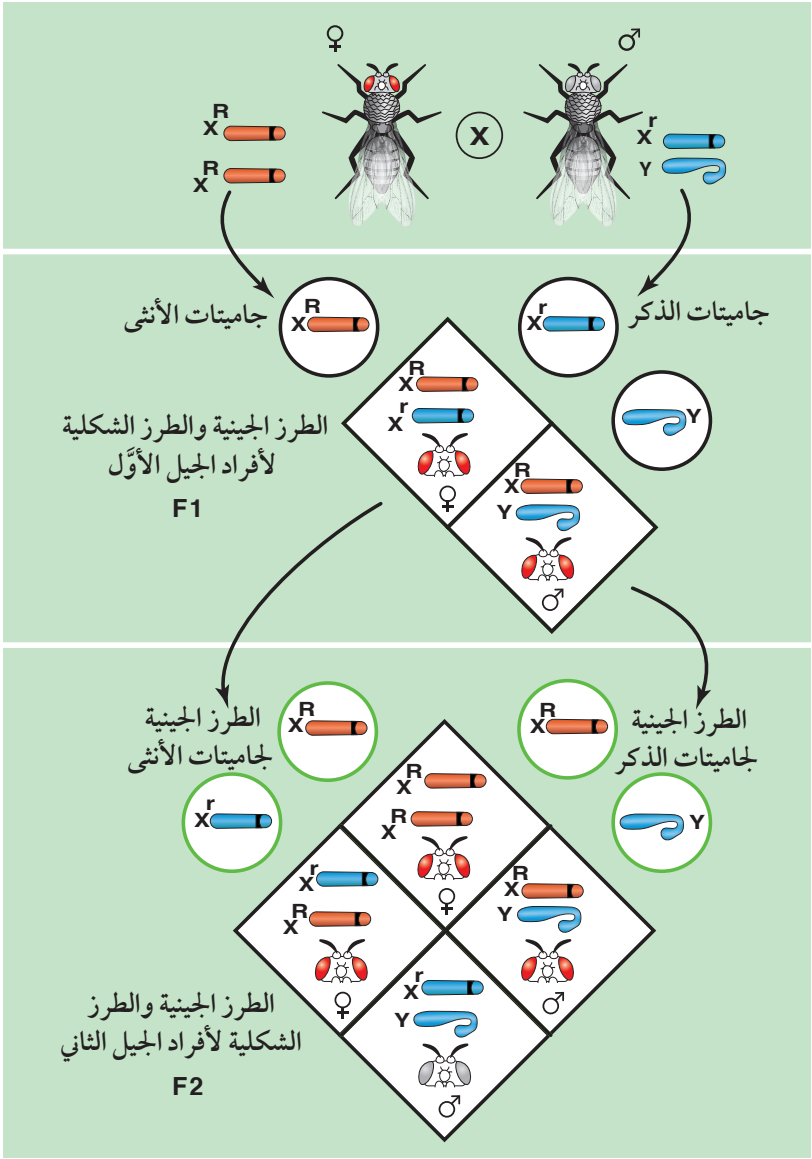
الصفات المُرتبِطة بالجنس Sex Linked Traits صفات تُحمَل جيناتها على الكروموسومات الجنسية. فمثلًا: الجينات المحمولة على الكروموسوم الجنسي X هي جينات مُرتبِطة بالكروموسوم الجنسي X-linked genes (X)، والجينات المحمولة على الكروموسوم الجنسي Y هي جينات مُرتبِطة بالكروموسوم الجنسي Y-linked genes (Y).

يُذكَر أنَّ عدد الجينات المحمولة على الكروموسوم الجنسي X يزيد على عدد الجينات المحمولة على الكروموسوم الجنسي Y في الإنسان.



الشكل (18): العيون الحمراء والعيون البيضاء في ذبابة الفاكهة.

درس العالِم توماس مورغان توارث صفة لون العينين في حشرة ذبابة الفاكهة ***Drosophila melanogaster***، أنظر الشكل (18). وقد زاوج مورغان بين ذكر ذبابة فاكهة أبيض العينين وأنثى حمراء العينين، فكان كل فرد ناتج أحمر العينين. استنتج مورغان من ذلك أنَّ صفة اللون الأبيض للعينين مُتنحِّية، ثم عمل على تلقيح ذكر وأنثى من أفراد الجيل الأوَّل، فظهرت صفة اللون الأبيض للعينين بنسبة 25%، وصفة اللون الأحمر للعينين بنسبة 75%، لكنَّه لاحظ أنَّ أعين جميع الإناث حمراء، وأنَّ أعين نصف الذكور بيضاء، وأنَّ أعين نصفهم الآخر حمراء، فاستنتج أنَّ صفة لون العينين في ذبابة الفاكهة مُرتبِطة بالجنس، وأنَّها تُحمَل على الكروموسوم الجنسي X، وأنَّه لا يوجد أليل لهذه الصفة على الكروموسوم Y، أنظر الشكل (19).



الشكل (19): توارث صفة لون العينين في حشرة ذبابة الفاكهة.

من الأمثلة على الصفات المُتنحِّية المُرتبِطة بالكروموسوم الجنسي X عند الإنسان: الإصابة بمرض الضمور الشديد للعضلات (دوشين) Duchenne Muscular Dystrophy الناتج من غياب بروتين يُسمّى ديستروفين Dystrophin، والإصابة بمرض نزف الدم Haemophilia الذي يستمر فيه نزيف الجروح لدى الشخص المصاب مدَّة أطول من المُعدَّل الطبيعي؛ نتيجةً لحدوث خللٍ في عملية تخثُّر الدم، والإصابة بمرض عمى الألوان Color Blindness (عدم التمييز بين اللون الأحمر واللون الأخضر).

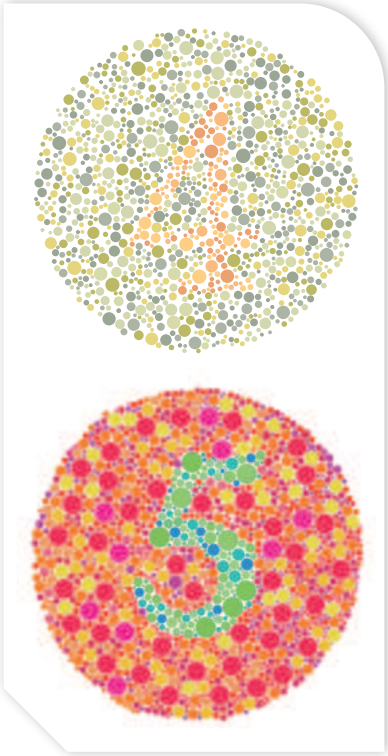
يوجد فحص خاص للكشف عن الإصابة بمرض عمى الألوان، أنظر الشكل (20) الذي يُمثِّل بعض الشرائح المُستخدَمة في اختبار الكشف عن مرض عمى الألوان.

يُورِّث الأب الجينات المُرتبِطة بالجنس والمحمولة على الكروموسوم الجنسي X بناته من دون أبنائه؛ إذ يُورِّث أبناءه الذكور الكروموسوم الجنسي Y، في حين تُورِّث الأُمُّ الجينات المُرتبِطة بالجنس الإناث والذكور من أبنائها؛ لأنَّها تُورِّثهم جميعًا الكروموسوم الجنسي X. وفي حال كانت الصفة المُرتبِطة بالكروموسوم الجنسي X مُتنحِّية، فإنَّ أليلًا واحدًا لدى الذكر يكفي لظهور الصفة، في حين يَلزم توافر أليلين مُتنحِّيين عند الأنثى لظهورها، وهذا يُفسِّر سبب ظهور الإصابة في الذكور أكثر منها في الإناث.

من الأمثلة الأُخرى على الأمراض التي تُحمَل أليلاتها على الكروموسومات الجنسية: مرض نزف الدم؛ إذ يسود أليل عدم الإصابة بمرض نزف الدم H على أليل الإصابة h. ولتعرُّف الطرز الجينية والطرز الشكلية لهذه الصفة، أنظر الجدول (3).

الجدول (3): الطرز الجينية والطرز الشكلية لصفة الإصابة بنزف الدم (مرض مُتنحٍّ مرتبطٌ بالجنس).

الطراز الجيني	X^hX^h	X^HX^h	X^HX^H	X^hY	X^HY
الطراز الشكلي	أنثى مصابة.	أنثى غير مصابة، لكنَّها تحمل أليل المرض (لا تظهر عليها الأعراض).	أنثى غير مصابة، وهي مُتماثِلة الأليلات.	ذكر مصاب.	ذكر غير مصاب.



الشكل (20): شريحتان تُستخدَمان في اختبار الكشف عن مرض عمى الألوان، علمًا بأنَّ الإنسان غير المصاب بعمى الألوان يُميِّز الأرقام الظاهرة في الشريحتين.

أُفكِّر: أُفسِّر: يخضع الشخص لفحص عمى الألوان عند تقدُّمه بطلب للحصول على رخصة قيادة السيّارة.

أتحقَّق: ما المقصود بالصفة المُرتبِطة بالجنس؟

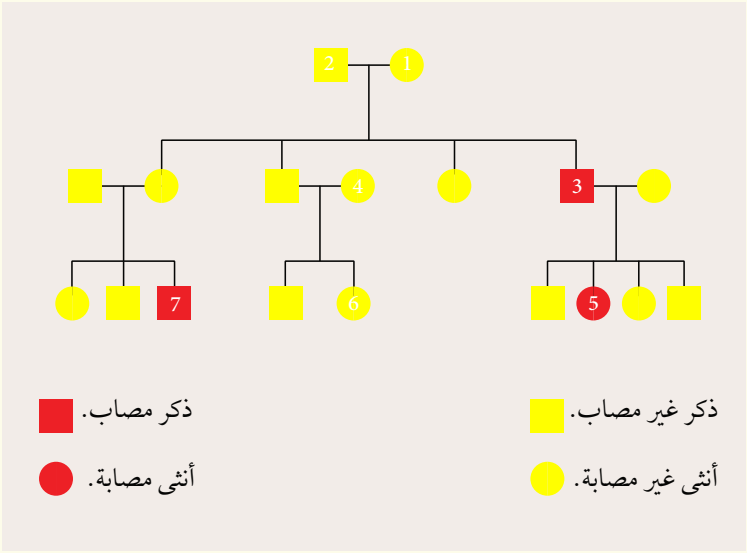
مثال 5

يسود أليل عدم الإصابة بمرض نزف الدم H على أليل الإصابة به h. أعتمد الشكل المجاور الذي يُمثِّل سجل النسب، وأُجيب عن الأسئلة الآتية:

أ - **أستنتج** الطرز الجينية للأفراد الذين يحملون الأرقام: (1)، و(2)، و(3).

ب- **أستنتج** الطراز الجيني للأنثى التي تحمل الرقم (6)، بافتراض أنَّ الطراز الجيني للأنثى التي تحمل الرقم (4) هو X^HX^h.

جـ- **أُفسِّر** سبب إصابة الأنثى التي تحمل الرقم (5) والذكر الذي يحمل الرقم (7) بمرض نزف الدم.



المعطيات: صفة الإصابة بمرض نزف الدم مُرتبِطة بالجنس، سجل النسب.

الحل:

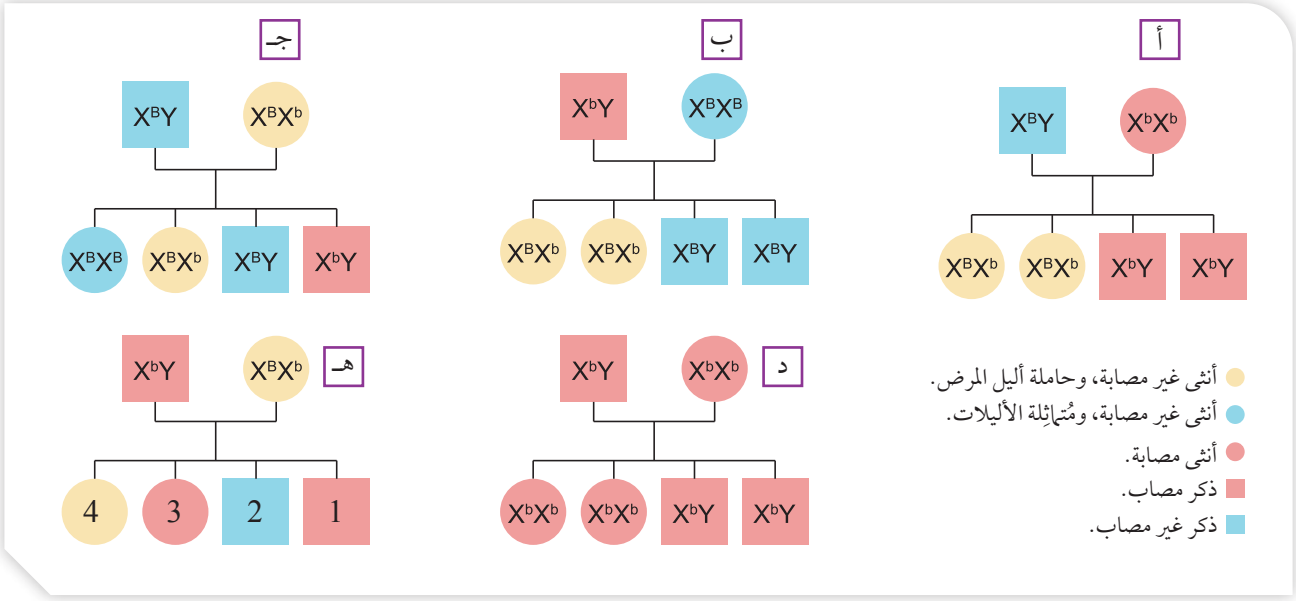
أ . الأنثى التي تحمل الرقم (1) غير مصابة، وطرازها الجيني قد يكون X^HX^H، أو X^HX^h، والذكر الذي يحمل الرقم (3) ابن الأنثى التي تحمل الرقم (1)، وهو مصاب، وطرازه الجيني X^hY، وقد وَرِثَ الكروموسوم Y من أبيه، والكروموسوم X^h من أُمِّه. إذن، أستنتج أنَّ الطراز الجيني للأنثى التي تحمل الرقم (1) هو X^HX^h، وأنَّ الطراز الجيني للذكر الذي يحمل الرقم (2) هو X^HY؛ لأنَّه غير مصاب، في حين أنَّ الطراز الجيني للذكر الذي يحمل الرقم (3) هو X^hY؛ لأنَّه مصاب.

ب . الأنثى التي تحمل الرقم (6) غير مصابة، وطرازها الجيني قد يكون X^HX^H، أو X^HX^h، وهي وَرِثَت الكروموسوم X^H من أبيها؛ لأنَّه غير مصاب، ولأنَّ طرازه الجيني هو X^HY، وقد تَرِثُ من أُمِّها التي تحمل الرقم (4) الكروموسوم X^H، أو الكروموسوم X^h. إذن، أستنتج وجود احتمالين للطراز الجيني للأنثى التي تحمل الرقم (6)، هما: X^HX^H، أو X^HX^h.

جـ . الأنثى التي تحمل الرقم (5) مصابة؛ لأنَّها وَرِثَت الكروموسوم X^h من أبيها الذي طرازه الجيني هو X^hY، ووَرِثَت من أُمِّها الكروموسوم X^h؛ ما يعني أنَّ أُمَّها غير مصابة، وأنَّها تحمل أليل المرض.

أمّا الذكر الذي يحمل الرقم (7) فمصاب، وطرازه الجيني هو X^hY، وقد وَرِثَ الكروموسوم Y من أبيه، ووَرِثَ الكروموسوم X^h من أُمِّه؛ ما يعني أنَّ أُمَّه غير مصابة، وأنَّها تحمل أليل المرض الذي وَرِثَته من أُمِّها التي تحمل الرقم (1).

لتتبُّع توارث صفة عمى الألوان في عائلات مختلفة، أنظر سجل النسب في الشكل (21).



الشكل (21): توارث صفة عمى الألوان في خمس عائلات.
أُفسِّر سبب إصابة الأبناء الذكور من العائلة (أ) بالمرض.
أتوقَّع الطرز الجينية للأفراد الذين يحملون الأرقام (4-1) من العائلة (هـ).

الصفات المتأثرة بالجنس Sex-Influenced Traits

تسمى الصفة التي تُحمل أليلاتها على كروموسوم جسمي ما، ويتأثَّر تعبيرها بالهرمونات الجنسية **بالصفة المتأثرة بالجنس (Sex-Influenced Trait)**. تُعَدُّ صفة الصلع المبكر (baldness) لدى الإنسان من الصفات المتأثرة بالجنس، حيث يتحكم فيها أليل يُحمَل على الكروموسومات الجسمية، ولكن مستوى الهرمونات الجنسية الذكرية يؤدي إلى اختلاف في ترجمة بعض الطرز الجينية بين الذكور والإناث، أنظر الجدول (4).

يكون نمو الشعر طبيعيًّا عند كلّ من الذكر والأنثى في حال وجود طراز جيني متماثل الأليلات (HH) أما إذا كان الطراز الجيني (ZZ) فيبدأ تساقط الشعر عند كل منهما، ويصبح الذكر أصلع بعد سن البلوغ. وأما الطراز الجيني (HZ) فتختلف ترجمته إلى طراز شكلي باختلاف جنس الفرد، حيث تظهر صفة الصلع عند الذكر فقط، ولا تكون الأنثى صلعاء بسبب اختلاف مستوى الهرمونات الجنسية الذكرية لكل منهما، وهو ما يؤثر في ترجمة الطرز الجينية، ونظرًا إلى هذا الاختلاف؛ فإنه يكفي وجود أليل صفة صلع واحد (Z) لظهور هذه الصفة عند الذكر، في حين يُشترط وجود أليلين (ZZ) لهذه الصفة حتى تظهر عند الأنثى.

الجدول (4) وراثة صفة الصلع عند الإنسان.

الطراز الجيني	الطراز الشكلي عند الذكور	الطراز الشكلي عند الإناث
ZZ	أصلع	صلعاء
HZ	أصلع	غير صلعاء
HH	غير أصلع	غير صلعاء

✓ **أتحقَّق:** أقارن بين ترجمة الطراز الجيني (HZ) إلى طراز شكلي عند كل من الذكور والإناث في الإنسان.

ومن الجدير بالذكر، أن هناك العديد من الصفات المتأثرة بالجنس في الحيوانات، مثل: صفة وجود شعر الذقن، وصفة وجود القرون في بعض أنواع الأغنام.

مثال 6

تزوج شاب أصلع غير متماثل الأليلات بفتاة شعرها طبيعي غير متماثلة الأليلات:

أ . أستنتج الطرز الجينية للشاب والفتاة.

ب. أستنتج الطرز الجينية، والشكلية المُتوقَّعة للأبناء.

المعطيات: صفة الصلع الوراثي متأثرة بالجنس، الشاب أصلع غير متماثل الأليلات (HZ) والفتاة طبيعية الشعر غير متماثلة الأليلات (HZ).

المطلوب: استنتاج الطرز الجينية لكل من الشاب والفتاة، واستنتاج الطرز الجينية والشكلية المُتوقَّعة للأبناء.

الحل:

	♂		♀	
الطراز الجيني للأبوين	HZ	X	HZ	
الطرز الجينية للجاميتات	H , Z	X	H , Z	
الطرز الجينية للأبناء	ZZ ,	HZ ,	HZ ,	HH
الطرز الشكلية للأبناء	أنثى صلعاء وذكر أصلع	أنثى بشعر وذكر أصلع		أنثى بشعر وذكر بشعر

الجينات المُرتبِطة Linked Genes

يحمل الكروموسوم الواحد جينات كثيرة؛ لأنَّ عدد الكروموسومات في الخلية الواحدة أقل من عدد الجينات فيها. وتُتوارَث الجينات القريبة من بعضها، والمحمولة على الكروموسوم نفسه، بوصفها وحدة واحدة، في ما يُعرَف **بالجينات المُرتبِطة Linked Genes**، ومن أمثلتها: جينات صفتي لون الجسم وحجم الأجنحة في حشرة ذبابة الفاكهة.

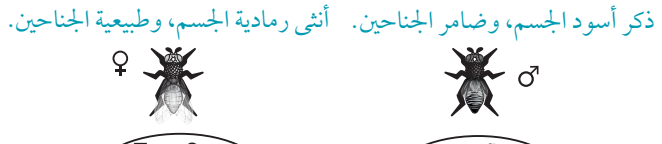
درس العالِم توماس مورغان توارث صفتي لون الجسم وحجم الأجنحة في حشرة ذبابة الفاكهة، وتوصَّل إلى أنَّ أليل لون الجسم الرمادي G يسود على أليل لون الجسم الأسود g، وأنَّ أليل الأجنحة الطبيعية T يسود على أليل الأجنحة الضامرة t. أجرى مورغان تجربةً، زاوج فيها بين ذكور ذبابة فاكهة، أجسامهم سوداء، وأجنحتهم ضامرة، وطرازهم الجيني هو ttgg، وإناث ذبابة فاكهة، أجسامها رمادية، وأجنحتها طبيعية، وهي مُتماثِلة الأليلات للصفتين، وطرازها الجيني هو TTGG. وقد لاحظ مورغان أنَّ جميع أفراد الجيل الأوَّل الناتج من عملية التزاوج يمتازون بأجسام رمادية، وأجنحة طبيعية، وأنَّهم غير مُتماثِلي الأليلات للصفتين، وطرازهم الجيني هو TtGg. بعد ذلك زاوج بين إناثٍ من أفراد الجيل الأوَّل وذكورٍ أجسامهم سوداء، وأجنحتهم ضامرة.

✓ **أتحقَّق:** ما المقصود بالجينات المُرتبِطة؟

لتعرُّف الطرز الجينية والطرز الشكلية الناتجة من هذا التزاوج، أنظر الشكل (22).
أُلاحِظ أنَّ نسب الطرز الشكلية لصفتي لون الجسم وحجم الأجنحة الناتجة تختلف عن تلك المُتوقَّعة في حال توارث هاتين الصفتين بحسب قانون التوزيع الحر.

الشكل (22): نتائج تجربة مورغان الخاصة بدراسة توارث صفتي حجم الجناح ولون الجسم في حشرة ذبابة الفاكهة.
أُحدِّد جاميتات أبوي الجيل الثاني الناتجة من عملية العبور.

الطراز الشكلي لكلٍّ من الأبوين.



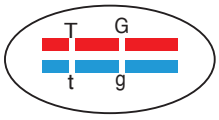
الطراز الجيني لكلٍّ من الأبوين.



الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من الأبوين.



الطراز الجيني لأفراد الجيل الأوَّل (F1):



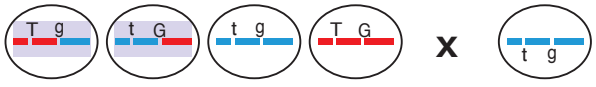
الطراز الشكلي لأفراد الجيل الأوَّل (F1):
رمادية الجسم، وطبيعية الجناحين.

الطراز الشكلي لكلٍّ من أبوي الجيل الثاني:
ذكر أسود الجسم، وضامر الجناحين.
أنثى رمادية الجسم، وطبيعية الجناحين.

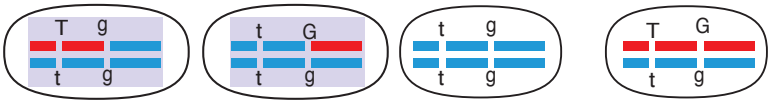
الطراز الجيني لكلٍّ من أبوي الجيل الثاني:



الطرز الجينية لجاميتات كلٍّ من أبوي الجيل الثاني:



الطرز الجينية لأفراد الجيل الثاني (F2):



الطرز الشكلية لأفراد الجيل الثاني (F2):

رمادية الجسم، وطبيعية الجناحين.	سوداء الجسم، وضامرة الجناحين.	رمادية الجسم، وضامرة الجناحين.	سوداء الجسم، وطبيعية الجناحين.

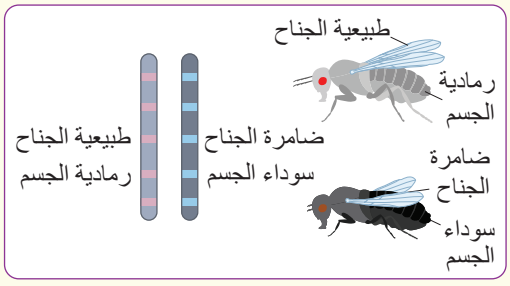
أعداد الأفراد الناتجين من التجربة:

965	944	206	185

النسبة المئوية المُتوقَّعة بين أفراد الجيل الثاني:	رمادية الجسم، وطبيعية الجناحين (تُشبِه أبويها).	سوداء الجسم، وضامرة الجناحين (تُشبِه أبويها).	رمادية الجسم، وضامرة الجناحين (لا تُشبِه أبويها).	أنثى سوداء الجسم، وطبيعية الجناحين (لا تُشبِه أبويها).
بحسب قانون التوزيع الحر:	25%	25%	25%	25%
عند توارث الصفتين معًا، بافتراض عدم انفصال الأليلات المُرتبِطة (عدم حدوث عبور):	50%	50%	0%	0%
عند توارث الصفتين معًا، بافتراض حدوث العبور:	41.96%	41.04%	8.96%	8.04%

استنتج مورغان من تجارب عِدَّة أنَّ صفتي لون الجسم وحجم الأجنحة مُرتبِطتان، وأنَّهما تُورَّثان معًا بوصفهما وحدة واحدة؛ لأنَّ معظم الأفراد الناتجين يُشبِهون آباءهم في هاتين الصفتين. استنتج مورغان أيضًا أنَّ نسبة الأفراد الذين لا يُشبِهون آباءهم قليلة في هذه التجربة؛ نظرًا إلى وجود آليَّةٍ تكسر هذا الارتباط، وتُسمّى عملية العبور، ولو كانت صفتا لون الجسم وحجم الأجنحة تُورَّثان بحسب قانون التوزيع الحر لكانت نسبة الأفراد الذين يُشبِهون آباءهم 50% من الأفراد الناتجين.

مثال 7



يكون حجم الجناح في حشرة ذبابة الفاكهة طبيعيًّا أو ضامرًا، ويكون لون الجسم رماديًّا أو أسودَ. زاوج باحث بين إناثٍ من هذه الحشرة، أجنحتها طبيعية، ولون أجسامها رمادي، وهي غير مُتماثِلة الأليلات للصفتين، وذكورٍ منها، أجنحتهم ضامرة، ولون أجسامهم أسود، فنتج أفراد صفاتهم وأعدادهم كما يأتي:

415 فردًا أجنحتهم طبيعية، ولون أجسامهم رمادي.

415 فردًا أجنحتهم ضامرة، ولون أجسامهم أسود.

82 فردًا أجنحتهم ضامرة، ولون أجسامهم رمادي.

88 فردًا أجنحتهم طبيعية، ولون أجسامهم أسود.

إذا افترضْتُ أنَّ أليل شكل الأجنحة الطبيعية هو T، وأنَّ أليل شكل الأجنحة الضامرة هو t، وأنَّ أليل لون الأجسام الرمادية هو G، وأنَّ أليل لون الأجسام السوداء هو g، فأُجيب عن السؤالين الآتيين:

أ . أذكر دليلًا من النتائج يُؤكِّد أنَّ قانون التوزيع الحر لا ينطبق على وراثة صفتي لون الأجسام وحجم الأجنحة.

ب . أجد نسبة الأفراد الناتجين من ذوي التراكيب الجينية الجديدة.

المعطيات: الطرز الشكلية للآباء، الطرز الشكلية لأفراد الجيل الأوَّل، أعداد الأفراد الذين تظهر عليهم الطرز الشكلية.

المطلوب: دليل يُثبِت أنَّ الصفتين مُرتبِطتان، نسبة الأفراد الناتجين من ذوي التراكيب الجينية الجديدة.

الربط بالرياضيات

استفاد العلماء من معرفتهم بالرياضيات في تفسير نتائج تجاربهم، وإيجاد نسبة التراكيب الجينية الجديدة الناتجة من عملية العبور بين الجينات المُرتبِطة وَفق المعادلة الآتية:

عدد الأفراد الذين لا يُشبِهون آباءهم (التراكيب الجديدة)/ العدد الكلي للأفراد الناتجين× 100%

بتطبيق هذه المعادلة على النتائج التي توصَّل إليها العالِم مورغان، فإنَّ:

391/ 2300 × 100% = 17%

إذن، نسبة التراكيب الجينية الجديدة هي 17%.

ونسبة ارتباط الصفتين معًا هي:

100% – نسبة ظهور التراكيب الجديدة =

100% - 17% = 83%

أجد نسبة الأفراد ذوي الأجسام الرمادية، والأجنحة الضامرة.

الحل:

أ . استنادًا إلى قانون التوزيع الحر، فإنَّ النسب المُتوقَّعة لا تنطبق على هذه النتائج، وهي:

1:1:1:1 إذا كان أحد الأبوين غير مُتماثِل الأليلات للصفتين، وكان الآخر مُتنحِّيًا؛ إذ لم تتحقَّق هذه النسب.

ب. عدد الأفراد من ذوي التراكيب الجينية الجديدة =

82 + 88 = 170 فردًا.

عدد الأفراد الكلي= 415 + 415 + 82 + 88 = 1000 فرد.

نسبة الأفراد من ذوي التراكيب الجديدة = عدد الأفراد من ذوي التراكيب الجديدة/عدد الأفراد الكلي × 100%

(170/1000) × 100% = 17%

أُفكِّر: أتوقَّع تأثير حدوث عبور بين الكروماتيدين الشقيقين في التراكيب الجينية للجاميتات.

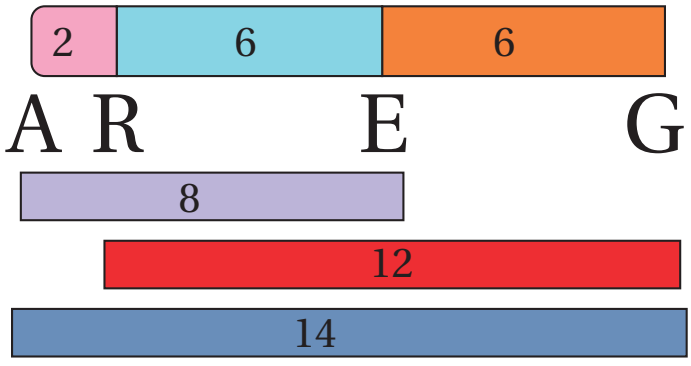
خريطة الجينات Genes Map

يوجد تناسب طردي بين نسبة الأفراد الناتجين من ذوي التراكيب الجينية الجديدة ونسبة حدوث العبور. يُمكِن لعملية العبور أنْ تحدث في أيِّ نقطة بين الجينين المحمولين على الكروموسوم نفسه؛ فكلَّما زادت المسافة بين الجينين زاد احتمال حدوث عملية العبور بينهما.

وقد استفاد العلماء من نسبة ظهور التراكيب الجينية الجديدة في رسم خريطة تُبيِّن الجينات المحمولة على الكروموسوم، ومواقعها، وترتيبها، والمسافة بينها، وتُسمّى **خريطة الجينات Genes Map**، أنظر الشكل (23).

يُطلَق على وحدة قياس المسافة بين الجينات على الكروموسوم اسم وحدة الخريطة، وتُكافِئ كل وحدة خريطة واحدة ما نسبته 1% من ظهور تراكيب جينية جديدة. فمثلًا: إذا ظهرت تراكيب جينية جديدة عند دراسة صفتين مُرتبِطتين بنسبة 12%، فهذا يعني أنَّ المسافة بين جيني الصفتين هي 12 وحدة خريطة.

أتحقَّق: أُوضِّح المقصود بخريطة الجينات.



الشكل (23): ترتيب الجينات (A, R,E,G) على أحد الكروموسومات، والمسافة بينها.

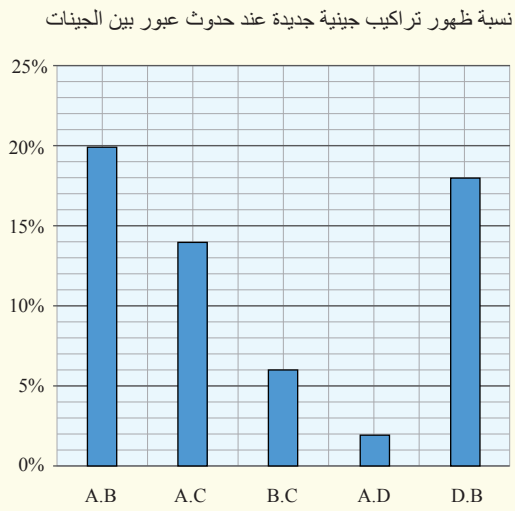
أُحدِّد المسافة بين كل جينين من الجينات الآتية:

(A–E)، (A–R)، (R–G)، (A-G)، (R–E).

مثال 8

توصَّلت إحدى الباحثات -بعد إجرائها تجارب عِدَّة- إلى أنَّ الجينات: A ، B ، C ، D هي جينات مُرتبِطة، ومحمولة على الكروموسوم نفسه. وكذلك توصَّلت إلى نسبة ظهور تراكيب جينية جديدة عند حدوث عبور بين الجينات. وقد مثَّلت الباحثة هذه النتائج بالرسم البياني المجاور.

أُحلِّل البيانات، ثم أُبيِّن ترتيب الجينات على الكروموسوم، والمسافة بينها.



المعطيات: رسم بياني يُبيِّن نسبة ظهور تراكيب جينية جديدة عند حدوث عبور بين الجينات.

المطلوب: ترتيب الجينات على الكروموسوم، المسافة بين الجينات.

الحل:

أستنتج أنَّ المسافة بين الجين A والجين B هي 20 وحدة، وأنَّ المسافة بين الجين A والجين C هي 14 وحدة، وأنَّ المسافة بين الجين C والجين B هي 6 وحدات، وأنَّ المسافة بين الجين D والجين A هي وحدتان، وأنَّ المسافة بين الجين B والجين D هي 18 وحدة؛ لأنَّ كل 1% من نسبة العبور تُكافِئ وحدة مسافة واحدة على الكروموسوم.

أرسم خطًّا يُمثِّل الكروموسوم، وأثبّت موقع الجين B، ثم موقع الجين C على بُعْد 6 وحدات.

أفترض أنَّ الجين A موجود على يسار الجين C. للتأكُّد أنَّ الموقع الذي اخترْتُه للجين A صحيح، أجمع المسافة بين الجينين: A وC، والجينين: C وB، لاستخراج المسافة بين الجينين: A وB على الكروموسوم:

14 + 6 = 20 وحدة.

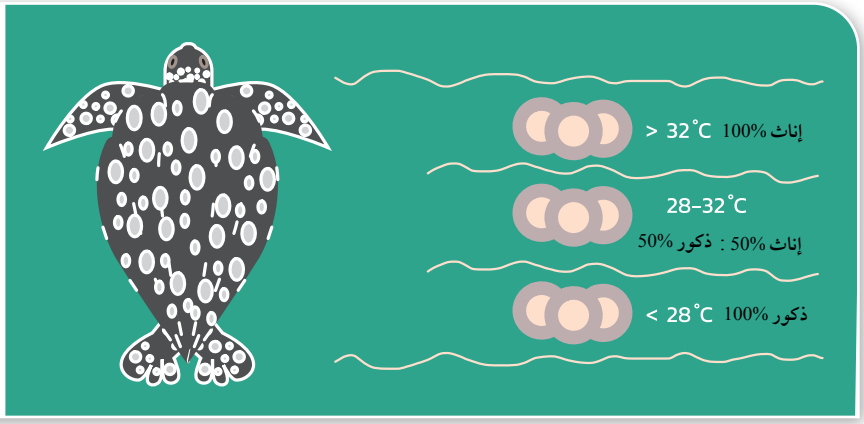
ولمّا كانت المسافة الناتجة من جمع المسافات على الترتيب المُقترَح تساوي المسافة من معطيات السؤال، فإنَّ الفرضية لموقع الجين A صحيحة.

أفترض أنَّ موقع الجين D هو بين الجينين: A وC. وبذلك تكون المسافة بين الجينين: D وC هي 12 وحدة.
للتأكُّد أنَّ الموقع الذي اخترْتُه صحيح، أجمع المسافة بين الجينين: D وC، والجينين: C وB:

6+12= 18 وحدة.

ولمّا كانت المسافة الناتجة من جمع المسافات على الترتيب المُقترَح تساوي المسافة من معطيات السؤال، فإنَّ الفرضية لموقع الجين D صحيحة.

A	D		C	B
2		12		6



الشكل (24): جنس نوع من الزواحف، تفقس بيوضه المُخصَّبة في درجات حرارة حضانة مُتباينة.

أُحدِّد الجنس الذي ينتج من فقس البيوض المُخصَّبة في درجة حضانة أقل من 28 ˚C.

أستنتج: ما درجة الحرارة المحورية في هذا الشكل؟

أثر البيئة في تحديد جنس بعض الزواحف

Environmental Influence on Sex Determination of some Reptiles

تتأثَّر بعض الصفات الوراثية بالعوامل البيئية، مثل: الحرارة، والتغذية، والتعرُّض لأشعة الشمس مدَّة طويلة. فمثلًا: تتحكَّم درجة الحرارة في تحديد الجنس في بعض الزواحف، مثل: بعض التماسيح، ومعظم السلاحف، وبعض أنواع السحالي؛ فيتحدَّد الجنس تبعًا لدرجة حرارة حضانة البيوض المُخصَّبة في مراحل مُعيَّنة من التكوين الجنيني، ويُطلَق على هذه الدرجة اسم **درجة الحرارة المحورية Pivotal Temperature (T_P)**، وهي درجة حرارة مُعيَّنة يحدث عندها تحول فسيولوجي في الكائن الحي، مثل درجة الحرارة الثابتة اللازمة لإنتاج الذكور والإناث في بعض أنواع الزواحف. ويُعرَف هذا النظام بتحديد الجنس المُعتمِد على درجة الحرارة Temperature – dependent Sex Determination (TSD). فعند وضع البيوض، فإنَّها لا تتعرَّض لدرجة الحرارة نفسها بحسب موقعها، أنظر الشكل (24)؛ فيتأثَّر نشاط الإنزيمات الضرورية لتصنيع الهرمونات الأنثوية والذكرية التي تؤدّي دورًا في تمايز كلٍّ من المبيض والخصية، مثل إنزيم أروماتيز.

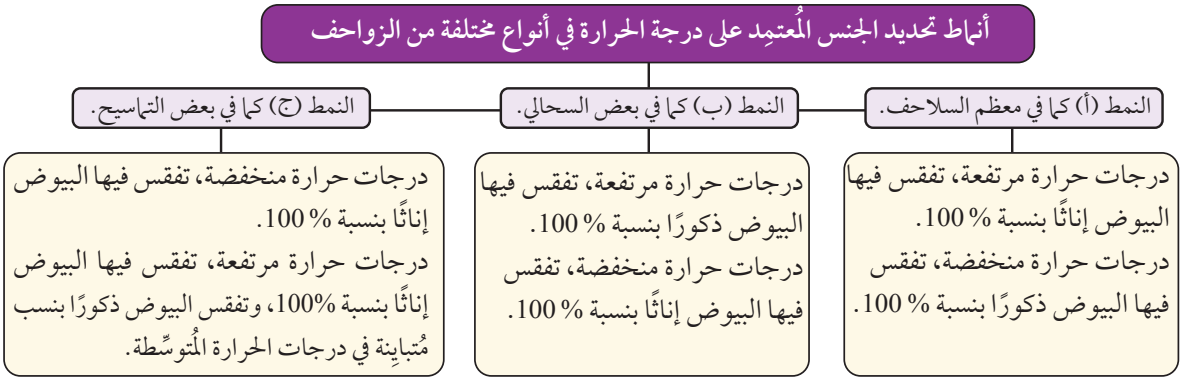
توجد ثلاثة أنماط لتحديد الجنس المُعتمِد على درجة الحرارة في الزواحف، أنظر الشكل (25). وفي هذه الأنماط تُحدِّد درجة الحرارة المحورية الجنس لأنواع مختلفة من الزواحف بنسب متساوية.

✓ **أتحقَّق**: أُوضِّح المقصود بتحديد الجنس المُعتمِد على درجة الحرارة.

✓ **أتحقَّق**: أُوضِّح دور إنزيم أروماتيز في تحديد جنس الزواحف.

الشكل (25): الأنماط الثلاثة لتحديد الجنس المُعتمِد على درجة الحرارة.

أستنتج النمط الذي يكون فيه لدرجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة التأثير نفسه.



الربط بالتكنولوجيا

فك قفل الهاتف المحمول ببصمة الإصبع

قال تعالى:

﴿ بَلَىٰ قَٰدِرِينَ عَلَىٰٓ أَن نُّسَوِّيَ بَنَانَهُۥ ﴾

(سورة القيامة، الآية 4).

عند محاولة فك قفل الهاتف المحمول ببصمة إصبع غير تلك التي استُخدِم في تحديدها، فإنَّ الهاتف سيظلُّ مُقفَلًا؛ إذ تختلف بصمات الأصابع في اليد الواحدة للشخص نفسه، بالرغم من وجود الجينات نفسها في الأصابع جميعها. وبالمثل، تختلف بصمات الأصابع بين التوائم المُتطابِقة التي تنتج من بويضة مُخصَّبة واحدة، بالرغم من احتوائها على المادة الوراثية نفسها. وتفسير ذلك أنَّ الأَجِنَّة في الرحم تتعرَّض لعوامل بيئية مختلفة (مثل: موقع الجنين في الرحم، وكثافة السائل الرهلي)؛ فتختلف الأصابع في ملامستها الغشاء الرهلي أثناء تشكُّل بصماتها في المراحل المُبكِّرة من الحمل، ثم تظلُّ بعد ذلك ثابتة ومُمَيَّزة طوال الحياة.

الوراثة فوق الجينية Epigenetics

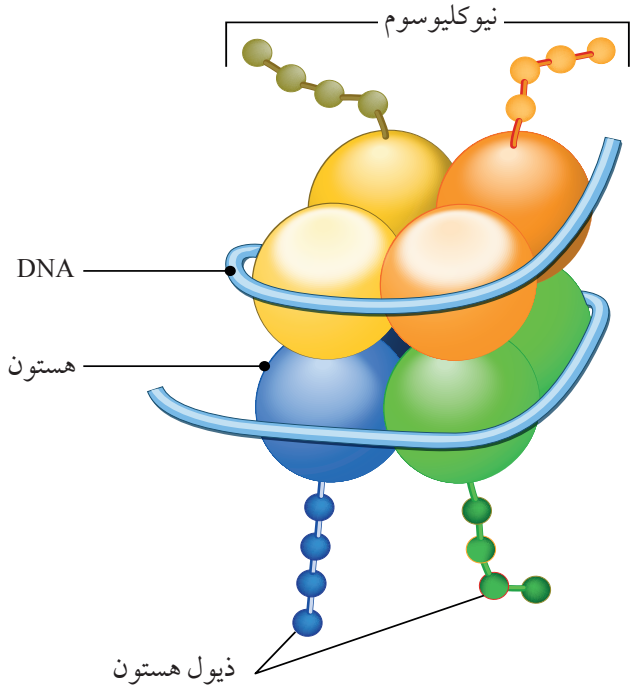
الوراثة فوق الجينية Epigenetics دراسة تبحث في التعديلات على التعبير الجيني أو الطرز الشكلية في الكائن الحيِّ، التي تحدث من دون تغيير تسلسل النيوكليوتيدات في الجين.

يُمكِن تغيير التعبير الجيني في الجين بتنشيطه، فيكون جينًا نشطًا، أو بإيقافه عن العمل، فيكون جينًا صامتًا.

تُفسِّر الوراثة فوق الجينية تصنيع البروتينات التي تُمَيِّز خلية مُعيَّنة دون غيرها من الخلايا. فمثلًا: الخلايا العصبية تصنع بروتينات تختلف عن تلك التي تصنعها خلايا أُخرى في الجسم، بالرغم من أنَّ جميع الخلايا الجسمية في الإنسان لها التسلسل نفسه من النيوكليوتيدات في جزيء DNA.

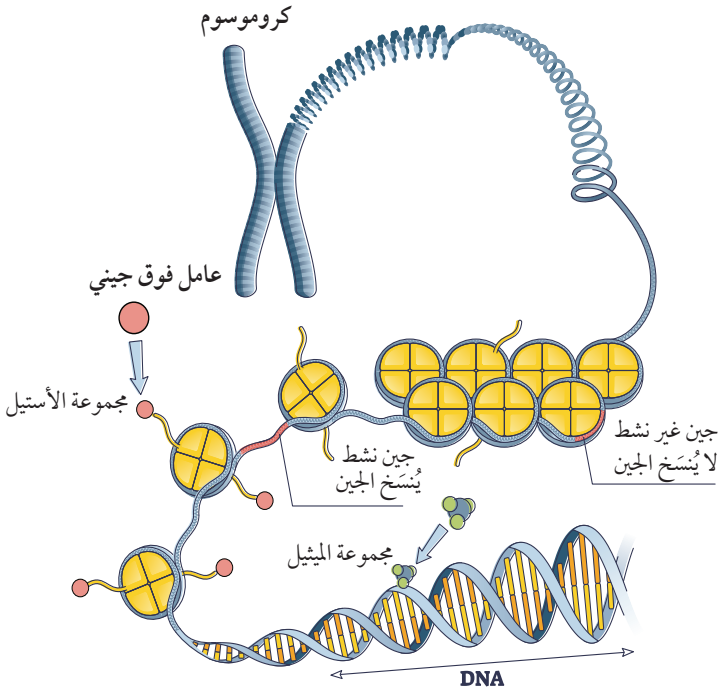
من الأمثلة على آليّات الوراثة فوق الجينية التي تُؤثِّر في التعبير الجيني:

1- إضافة مجموعة الأستيل إلى بروتين الهستون؛ إذ يلتفُّ جزيء DNA مشدودًا حول بروتين الهستون، ويُطلَق على التركيب الناتج من ذلك اسم النيوكليوسوم، أنظر الشكل (26). تعمل إضافة مجموعة الأستيل إلى ذيول بروتين الهستون على ارتخاء التفاف جزيء DNA حول هذا البروتين، فيصبح الجين نشطًا، ويُمكِن نسخه، أنظر الشكل (27).



الشكل (26): تركيب النيوكليوسوم.

أُوضِّح تركيب النيوكليوسوم.



الشكل (27): عوامل فوق جينية.
أُحدِّد على الشكلِ العاملَ فوق الجيني الذي يمنع نسخ الجين.

2- إضافة مجموعة الميثيل إلى جزيء DNA، فيصبح الجين غير نشط، ولا يُمكِن نسخه (صامت)، أنظر الشكل (27).

أجرى العلماء تجربة على نوع من الفئران، وذلك بإحضار مجموعتين من الأُمَّهات الحوامل اللاتي يحملْنَ أَجِنَّة مُتماثِلة في طرزها الجينية، وتخصيص نظام غذائي مختلف لكلٍّ من الأُمَّهات في المجموعتين؛ إذ احتوى النظام الغذائي للأُمَّهات في المجموعة الأولى على حمض الفوليك الذي يُعَدُّ مصدرًا لمجموعة الميثيل، خلافًا للنظام الغذائي للأُمَّهات في المجموعة الثانية الذي خلا من وجود حمض الفوليك، فكانت الفئران الناتجة من المجموعة الأولى ذات فراء بُنّيّ، وغير سمينة (طبيعية)، في حين كانت الفئران الناتجة من المجموعة الثانية ذات فراء أصفر، وسمينة، ومصابة بأمراض أُخرى. وقد فسَّر العلماء ذلك بأنَّ مجموعة الميثيل التي يحويها النظام الغذائي لفئران المجموعة الأولى تُمثِّل عاملًا من عوامل الوراثة فوق الجينية.

تُفسِّر الوراثة فوق الجينية الاختلاف في الصفات بين التوائم المُتطابِقة؛ فقد يعاني أحد التوأمين أمراضًا مُعيَّنةً لا يعانيها الآخر، وقد يصبح أحدهما رياضيًّا والآخر رسّامًا، وقد يختلفان في السمات الشخصية، كأنْ يكون أحدهما خجولًا عكس الآخر. صحيحٌ أنَّهما يحملان ترتيب النيوكليوتيدات نفسه في جزيء DNA، لكنَّهما قد يختلفان في النظام الغذائي، والأنشطة البدنية والاجتماعية، والرعاية الطبية. ومن ثَمَّ، يوجد ارتباط لعوامل فوق جينية عند أحدهما تختلف عن تلك المُرتبِطة عند الآخر في أيِّ مرحلة من مراحل حياتهما؛ ما يُغيِّر التعبير الجيني لكلٍّ منهما. وقد أظهرت بعض الدراسات أنَّه كلَّما تقدَّم الإنسان في السِّنِّ ظهرت فروق أكثر في عوامل الوراثة فوق الجينية بين التوائم المُتطابِقة.

الربط بالصحة

الوراثة فوق الجينية والسرطان

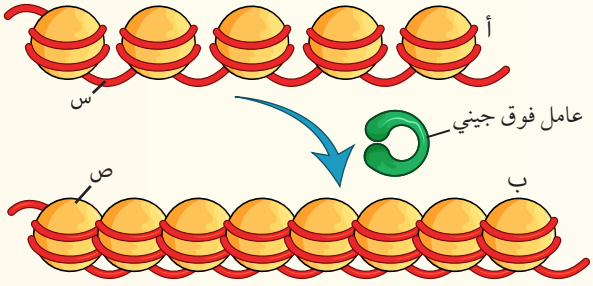
أحدثت الوراثة فوق الجينية سَبْقًا علميًّا في ما يختصُّ بتفسير أسباب الإصابة بالسرطان؛ فقد تُؤثِّر عوامل الوراثة فوق الجينية في الجينات المُثبِّطة للأورام، فتصبح غير نشطة (صامتة)؛ ما يؤدّي إلى انتشار الأورام.

وكذلك وجد العلماء أنَّ عوامل الوراثة فوق الجينية في الخلايا السرطانية تُظهِر نمطًا مختلفًا عنه في الخلايا الطبيعية؛ ما يدلُّ على أنَّ هذا التغيُّر في النمط هو سبب الإصابة بالسرطان.

ولهذا، فإنَّ الوراثة فوق الجينية تُمثِّل ركيزة أساسية للتفكير في علاج يُفعِّل الجينات التي أوقفت نشاطها العوامل فوق الجينية.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة: أُفسِّر**: النسب الناتجة من توارث بعض الصفات الوراثية تختلف عن تلك التي توصَّل إليها مندل.
2. أُوضِّح المقصود بالسيادة المُشتَرَكة.
3. تزوَّج شاب فصيلة دمه AB، وغير مصاب بمرض عمى الألوان بفتاة فصيلة دمها A، وغير مصابة بالمرض نفسه، وكانت فصيلة دم والدها O، وكان مصابًا بهذا المرض. **أتوقَّع** الطرز الجينية والطرز الشكلية لأبناء الشاب والفتاة.
4. يُمثِّل الشكل المجاور تأثير الوراثة فوق الجينية في التعبير الجيني. أدرس الشكل، ثم أُجيب عن السؤالين الآتيين:



أ. **أُحدِّد** التركيب الذي يُمثِّله الرمز (س) والرمز (ص).

ب. **أستنتج**: في أيِّ الخطوتين يكون الجين صامتًا: (أ) أم (ب)؟ أبرّر إجابتي.

5. **لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أُحدِّدها:**

1. إذا تزوّج شاب طرازه الجيني للون البشرة ddGGTt من فتاة طرازها الجيني للون البشرة DdggTt فإن الطراز الجيني للابن الأفتح لونًا للبشرة من هذا التزاوج هو:

أ . ddGgtt ب. Ddggtt جـ. ddggTt د. ddggtt

2. إحدى العبارات الآتية تنطبق على الصفات المرتبطة بالجنس:

أ . يحتاج ذكر ذبابة الفاكهة إلى أليلين مُتنحِّيين لظهور صفة العيون البيضاء.

ب. تحتاج الدجاجة لأليلين مُتنحِّيين لظهور الصفة المرتبطة بالجنس.

جـ. يحتاج ذكر الانسان لأليل مُتنَحٍّ واحد للإصابة بنزف الدم.

د . يحتاج ذكر الإنسان لأليلين مُتنحّيين للإصابة بعمى الألوان.

3. وراثة فصيلة الدم تبعًا لنظام MN يُعَدُّ مثالًا على:

أ . السيادة التامة. ب. السيادة المشتركة. جـ. الأليلات المتعددة. د . الصفات متعددة الجينات.

4. إذا وُضِعت مجموعة من بيوض السلاحف وبيوض السحالي في بيئة درجة حرارتها (42 °C) فإنه من المُتوقَّع أن تفقس بيوض السلاحف والسحالي إلى:

أ . ذكور سحالي + إناث سلاحف. ب. ذكور و إناث سحالي + ذكور سلاحف.

جـ. إناث سحالي + ذكور سلاحف. د. جميع البيوض تفقس إلى إناث.

5. تزوج شاب غير مصاب بمرض ضمور العضلات (دوشين) بفتاة غير مصابة أبوها مصاب بالمرض، إذا علمت أن أليل الإصابة بالمرض (d)، فإن احتمال إنجاب ذكر مصاب بالمرض من بين الذكور:

أ . 1/2 ب. 1/4 جـ. 1/8 د. 1/16

الطفرات والاختلالات الوراثية
Mutations and Genetic Disorders

الدرس 3

الفكرة الرئيسة:

تُصنَّف الطفرات إلى نوعين، هما: الطفرات الجينية، والطفرات الكروموسومية. وينتج من بعض الطفرات اختلالات وراثية.

نتاجات التعلُّم:

- أُوضِّح مفهوم الطفرات.
- أستنتج مُسبِّبات للطفرات وتأثيراتها في الكائن الحيِّ.
- أُميِّز بين الطفرات الجينية والطفرات الكروموسومية.
- أَصِف أمراضًا تنتج من زوج من الجينات المُتنحِّية، وأمراضًا أُخرى تنتج من جين سائد.
- أُميِّز بين مُسبِّبات بعض الاختلالات الوراثية لدى الإنسان وأعراضها.
- أَصِف طرائق للكشف عن الاختلالات الوراثية لدى الإنسان.

المفاهيم والمصطلحات:

الطفرة الجينية	Genetic Mutation
طفرة الاستبدال	Substitution Mutation
طفرة الإزاحة	Frameshift Mutation
الطفرة الكروموسومية	Chromosomal Mutation
تعدُّد المجموعة الكروموسومية	Polyploidy
الحذف	Deletion
التكرار	Duplication
القلب	Inversion
تبديل الموقع	Translocation

الطفرات Mutations

تُعرَّف الطفرة بأنَّها تغيُّر في المادة الوراثية. وهي تحدث أثناء تضاعف DNA، أو أثناء الانقسام، وتزيد فرصة حدوثها عند تعرُّض الكائن الحيِّ لعوامل كيميائية ضارَّة، مثل: سموم بعض الفطريات، والتبغ، أو تعرُّضه لعوامل فيزيائية، مثل: الأشعة السينية X، والأشعة فوق البنفسجية UV. تُورَّث الطفرة في حال حدثت في الجاميتات، أو في الخلايا التي تُنتِجها، ويوجد نوعان رئيسان للطفرات، هما: الطفرات الجينية، والطفرات الكروموسومية، أنظر الشكل (28).

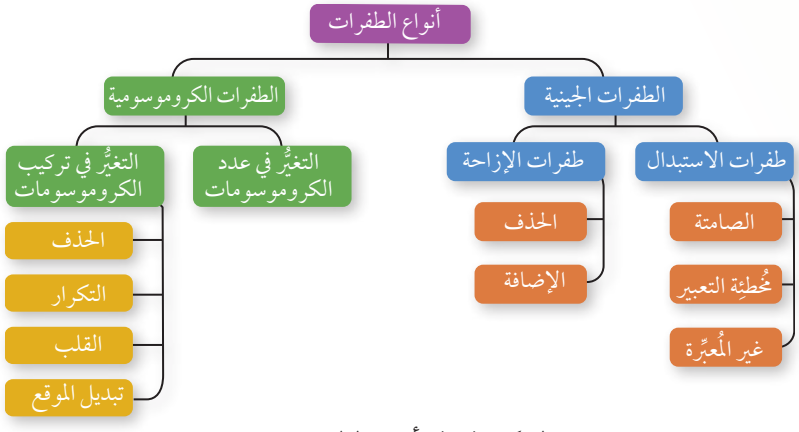
الطفرات الجينية Genetic Mutations

يُطلَق على التغيُّر في تسلسل النيوكليوتيدات في جين مُعيَّن في جزيء DNA اسم **الطفرة الجينية Genetic Mutation**. وهي نوعان:

طفرة الاستبدال Substitution Mutation: استبدال زوج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA، والاستعاضة عنه بزوج آخر؛ ما يؤدّي إلى تغيُّر تسلسل النيوكليوتيدات في كودون واحد فقط من جزيء DNA.

طفرة الإزاحة Frameshift Mutation: حذف زوج أو أكثر من النيوكليوتيدات في جزيء DNA، أو إضافة زوج أو أكثر منها في جزيء DNA بأعداد ليست من مضاعفات الثلاثة؛ ما يؤدّي إلى تغيُّر تسلسل النيوكليوتيدات في كودون أو أكثر في جزيء DNA.

أُفكِّر: حدثت طفرة في خلايا الأمعاء تسبَّبت في إصابة شخص ما بمرض. أُفسِّر سبب عدم إصابة ابن هذا الشخص بالمرض نفسه.



الشكل (28): أنواع الطفرات.

نشاط

محاكاة الطفرة الجينية

يختلف تأثير الطفرة في سلسلة عديد الببتيد الناتجة تبعًا لاختلاف نوع الطفرة.

المواد والأدوات: ورقة، قلم.

ملحوظة: أفترض أنَّ كل حرف في النشاط يُمثِّل نيوكليوتيدًا في إحدى سلسلتي جزيء DNA، وأنَّ كل ثلاثة أحرف مُتتابِعة تُمثِّل كودونًا، وتُترجَم إلى حمض أميني تُمثِّله الكلمة، في حين تُمثِّل الجملة سلسلة عديد الببتيد الناتجة من الترجمة.

خطوات العمل:

1. أكتب على الورقة الحروف الآتية بالترتيب: ر، س، م، و، ل، د، ش، ج ، ر، و، ر، د.
2. أُوزِّع الحروف على 4 مجموعات، ثم أُرقِّم المجموعات (1-4)، مع مراعاة وضع 3 أحرف بالترتيب في كل مجموعة لتمثيل الكودون.
3. أُكوِّن جملة باستخدام مجموعات الحروف الناتجة بالترتيب، بحيث تُمثِّل المجموعة الأولى من الأحرف الكلمة الأولى في الجملة، وتُمثِّل المجموعة الثانية من الأحرف الكلمة الثانية في الجملة، وهكذا، ثم أُدوِّن الجملة الناتجة في الورقة.
4. أضع حرف (ع) بدل حرف (ل) في المجموعة الثانية، ثم أُدوِّن الجملة الناتجة في الورقة.
5. أحذف حرف (س) من مجموعة الأحرف التي تحمل الرقم (1)، ثم أُعيد كتابة الأحرف منفصلة بعد الحذف، ثم أُنشِئ مجموعات جديدة ثلاثية الأحرف.
6. أُكوِّن جملة وَفق ترتيب المجموعات الجديد، ثم **أُقارِن** بين معنى الجملة الأصلية ومعنى الجملة الناتجة بعد التغيير.
7. أُضيف حرف (ب) بعد حرف (س) إلى مجموعة الأحرف التي تحمل الرقم (1)، ثم أُعيد كتابة الأحرف منفصلة بعد الإضافة، ثم أُنشِئ مجموعات جديدة ثلاثية الأحرف.
8. أُكوِّن جملة وَفق ترتيب المجموعات الجديد، ثم **أُقارِن** بين معنى الجملة الأصلية ومعنى الجملة الناتجة بعد التغيير.
9. **أُفسِّر** سبب وضوح معنى الجملة الناتجة بعد وضع حرف (ع) بدل حرف (ل).
10. **أُقارِن** الجمل التي كوَّنْتُها بالجمل التي كوَّنها زملائي/ زميلاتي.

التحليل والاستنتاج:

1. **أُصنِّف** الطفرات التي تضمَّنها النشاط إلى ما يأتي: طفرة استبدال زوج من النيوكليوتيدات، طفرة إزاحة بحذف زوج من النيوكليوتيدات، طفرة إزاحة بإضافة زوج من النيوكليوتيدات.
2. **أُقارِن** بين تأثير طفرة استبدال زوج بزوج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA وطفرة إضافة زوج من النيوكليوتيدات إلى جزيء DNA في سلسلة عديد الببتيد الناتجة.
3. حدثت طفرة حذف زوج النيوكليوتيدات الذي يحمل الرقم (85) في جزء من جزيء DNA يتكوَّن من (105) أزواج من النيوكليوتيدات. **أحسُبُ** عدد الكودونات التي لم يطرأ عليها تغيير بسبب الطفرة.

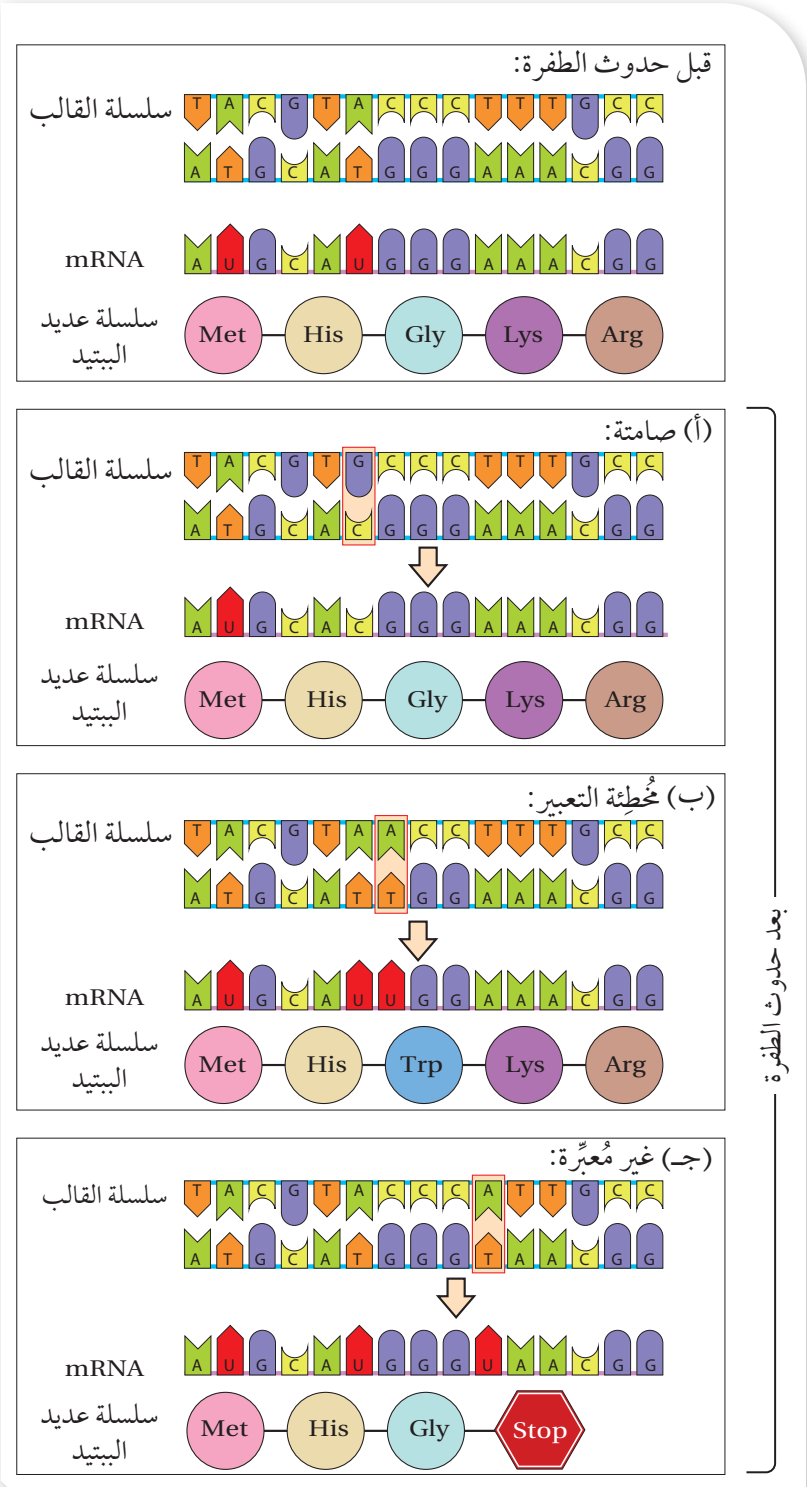
تأثير الطفرات الجينية في سلسلة عديد الببتيد

Effect of Genetic Mutations on Polypeptide Chain

طفرة الاستبدال Substitution Mutation

تُصنَّف طفرة الاستبدال بحسب تأثيرها في سلسلة عديد الببتيد الناتجة إلى ثلاثة أنواع، أنظر الشكل (29)، هي:

الشكل (29): طفرة الاستبدال.



الطفرة الصامتة Silent Mutation

ينتج من استبدال زوج بزوج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA تغيُّر كودون في جزيء mRNA، يُترجَم إلى الحمض الأميني نفسه. ولأنَّ الحمض الأميني قد يُشفَّر بأكثر من كودون؛ فإنَّ هذه الطفرة لا تُؤثِّر في تسلسل الحموض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد الناتجة، أنظر الشكل (29/ أ).

الطفرة مُخطِئة التعبير Missense Mutation

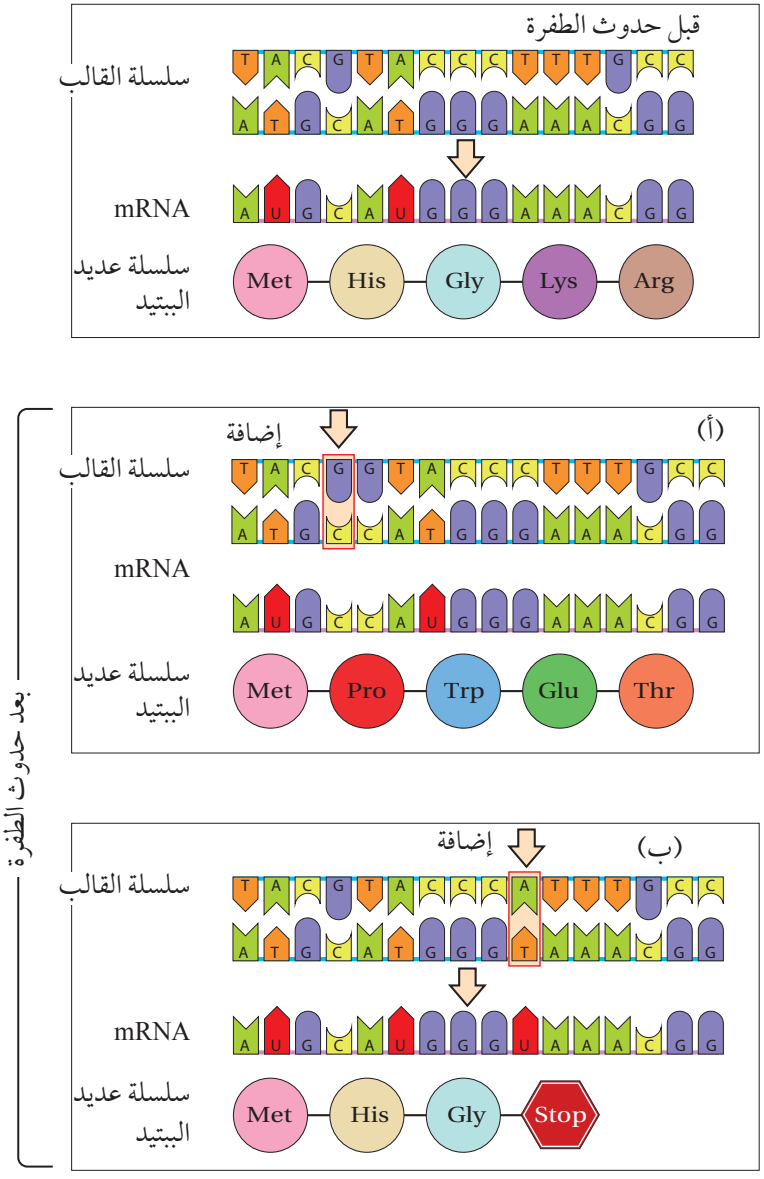
ينتج من استبدال زوج بزوج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA تغيُّر كودون في جزيء mRNA، يُترجَم إلى حمض أميني جديد؛ ما يؤدي إلى تغيُّر حمض أميني واحد في تسلسل الحموض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد الناتجة، أنظر الشكل (29/ ب).

الطفرة غير المُعبِّرة Nonsense Mutation

ينتج من استبدال زوج بزوج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA تغيُّر الكودون في جزيء mRNA إلى كودون وقف الترجمة؛ فتنتج سلسلة عديد ببتيد غير مُكتمِلة، أنظر الشكل (29/ جـ).

طفرة الإزاحة Frameshift Mutation

يتغيَّر تسلسل جميع الكودونات التي تلي مكان حدوث طفرة الإزاحة؛ ما يؤدّي إلى إنتاج سلسلة عديد ببتيد تحوي تسلسلًا من الحموض الأمينية يختلف في السلسلة الأصلية التي يراد بناؤها، أنظر الشكل (30/ أ)، وقد ينتج كودون وقف الترجمة؛ فتنتج سلسلة عديد ببتيد غير مُكتمِلة، أنظر الشكل (30/ ب).



الشكل (30): طفرة الإزاحة.

أُقارِن بين سلسلة عديد الببتيد الناتجة بعد حدوث الطفرة وسلسلة عديد الببتيد التي يراد بناؤها.

الطفرات الكروموسومية
Chromosomal Mutations

يُطلَق على التغيُّر في عدد الكروموسومات، أو تركيبها في الخلية، اسم **الطفرة الكروموسومية** Chromosomal Mutation.

التغيُّر في عدد الكروموسومات
Changes in Chromosome Number

درسْتُ سابقًا أنَّ الجاميتات أُحادية المجموعة الكروموسومية (1n) تنتج من انقسام مُنصِّف لخلية ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n)، وأنَّ الخلايا الناتجة من الانقسام المتساوي لخلية ثنائية المجموعة الكروموسومية تكون ثنائية المجموعة الكروموسومية، ولكنْ قد تحدث طفرات تؤدّي إلى اختلاف عدد الكروموسومات عن مضاعفات المجموعة الكروموسومية الواحدة Aneuploidy أو تعدُّد المجموعة الكروموسومية Polyploidy.

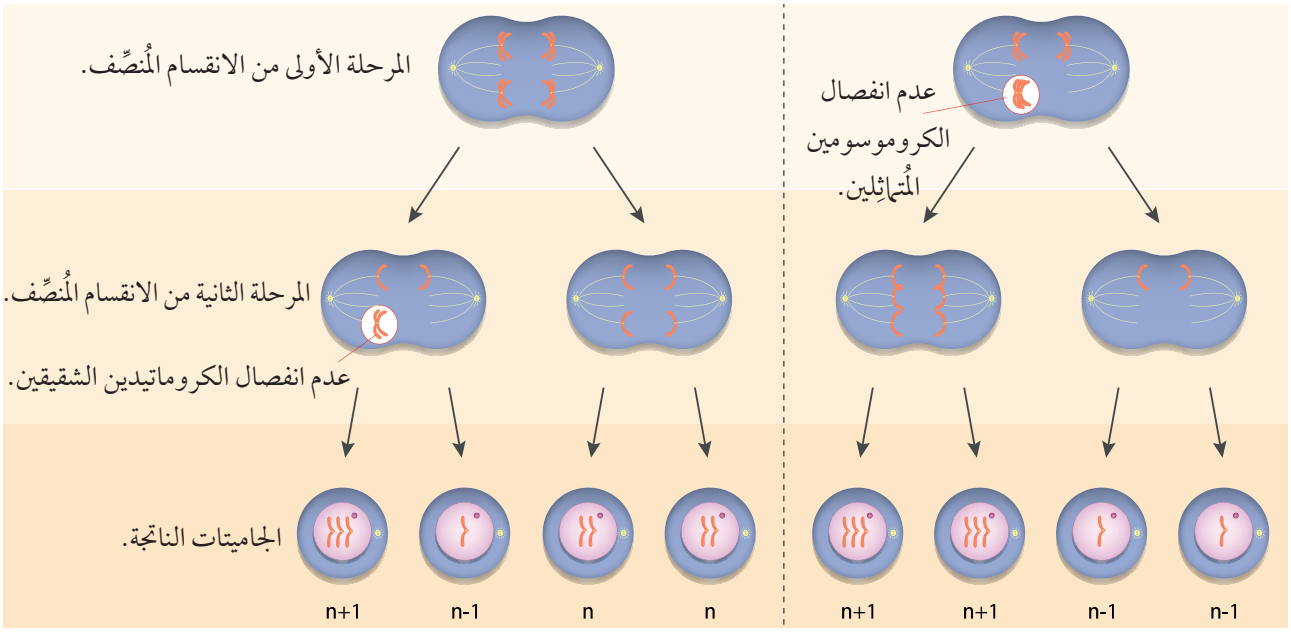
أُفكِّر: أيُّهما يُحتمَل أنْ يكون أكثر تأثيرًا: حذف كودون أم حذف زوج من النيوكليوتيدات؟ أُبرِّر إجابتي.

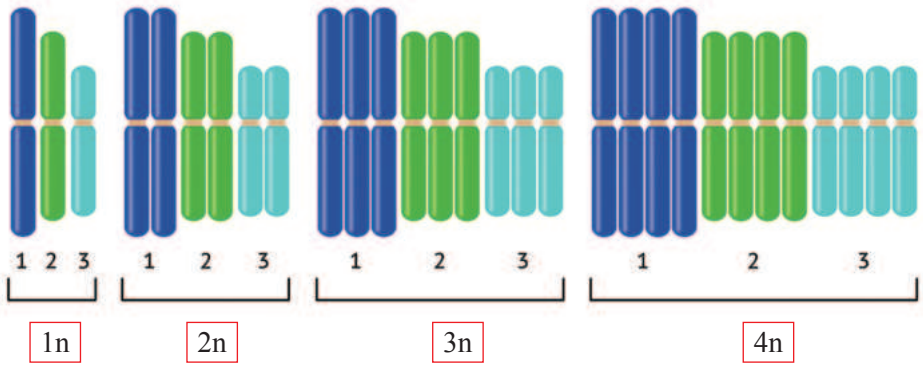
اختلاف عدد الكروموسومات عن مضاعفات المجموعة الكروموسومية الواحدة

Aneuploidy

يختلف عدد الكروموسومات في الخلية الجسمية عن مضاعفات المجموعة الكروموسومية الواحدة، كأنْ يكون عدد الكروموسومات في خلية جسمية للإنسان 47 كروموسومًا عوضًا عن 46 كروموسومًا؛ إذ يحدث أحيانًا عدم انفصال أحد أزواج الكروموسومات المُتماثِلة أثناء المرحلة الأولى من الانقسام المُنصِّف، ويؤدّي عدم حدوث انفصال للكروموسومين المُتماثِلين في المرحلة الأولى من الانقسام المُنصِّف إلى إنتاج جاميتات لا تحتوي جميعها على العدد الطبيعي من الكروموسومات؛ إذ يكون عدد الكروموسومات في الجاميتات أكثر من العدد الطبيعي (n+1)، أو أقل منه (n-1). ونتيجةً لعدم الانفصال؛ فإنَّ بعض الجاميتات الناتجة تحوي نسختين من الكروموسوم نفسه، في حين يفتقر بعضها الآخر إلى وجود هذا الكروموسوم. وقد يحدث عدم انفصال لكروماتيدين شقيقين في أحد الكروموسومات ضمن إحدى الخلايا الناتجة من المرحلة الأولى أثناء المرحلة الثانية من الانقسام المُنصِّف؛ ما يؤدّي إلى إنتاج جاميتاتٍ تحوي العدد الطبيعي من الكروموسومات (n)، وجاميتاتٍ عدد الكروموسومات فيها أكثر من العدد الطبيعي للكروموسومات (n+1)، وجاميتاتٍ أُخرى عدد الكروموسومات فيها أقلُّ من العدد الطبيعي للكروموسومات (n-1)، أنظر الشكل (31).

الشكل (31): عدم انفصال كروموسومين مُتماثِلين في المرحلة الأولى من الانقسام المُنصِّف، وعدم انفصال كروماتيدين شقيقين في المرحلة الثانية من الانقسام المُنصِّف.





الشكل (32): مجموعات كروموسومية.

إذا خُصِّب الجاميت غير الطبيعي الناتج في الشكل (31) مع آخر طبيعي نتجت بويضة مُخصَّبة تحوي عددًا أكثرَ من العدد الطبيعي للكروموسومات (2n+1)، أو عددًا أقلَّ من عددها الطبيعي (2n-1)، علمًا بأنَّ العدد الطبيعي يساوي (2n).

تعدُّد المجموعة الكروموسومية Polyploidy

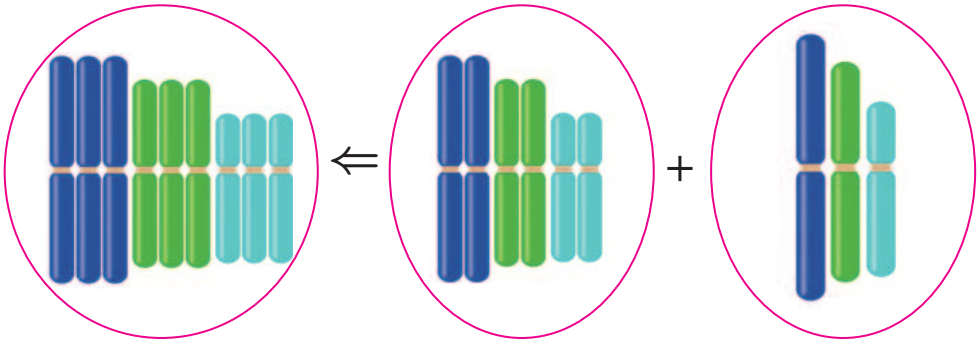
تحتوي بعض الكائنات الحيَّة على أكثر من مجموعتين من الكروموسومات في خلاياها الجسمية، في ما يُعرَف **بتعدُّد المجموعة الكروموسومية Polyploidy**، كأنْ تكون الخلايا ثلاثية المجموعة الكروموسومية (3n)، أو رباعية المجموعة الكروموسومية (4n)، أنظر الشكل (32).

تنتج الخلية ثلاثية المجموعة الكروموسومية (3n) عند إخصاب جاميت ثنائي المجموعة الكروموسومية (2n) ناتج من عدم انفصال أزواج الكروموسومات المُتماثِلة جميعها مع جاميت آخر طبيعي أُحادي المجموعة الكروموسومية (1n)؛ فتنتج بويضة مُخصَّبة ثلاثية المجموعة الكروموسومية، أنظر الشكل (33).

أتحقَّق:

- أُوضِّح نتيجة عدم انفصال كروموسومين مُتماثِلين أثناء المرحلة الأولى من الانقسام المُنصِّف.
- **أُقيِّم:** في أيِّ المرحلتين يُعَدُّ حدوث عدم الانفصال أكثر خطورة؟ أُبرِّر إجابتي.

أُفكِّر: أتوقَّع عدد الكروموسومات في كل جاميت من الجاميتات الناتجة بافتراض عدم انفصال زوجين من الكروموسومات المُتماثِلة أثناء الانقسام المُنصِّف.



الكروموسومات في جاميت طبيعي (1n).

الكروموسومات في جاميت ناتج من عدم انفصال أزواج الكروموسومات المُتماثِلة جميعها (2n).

الكروموسومات في بويضة مُخصَّبة (3n).

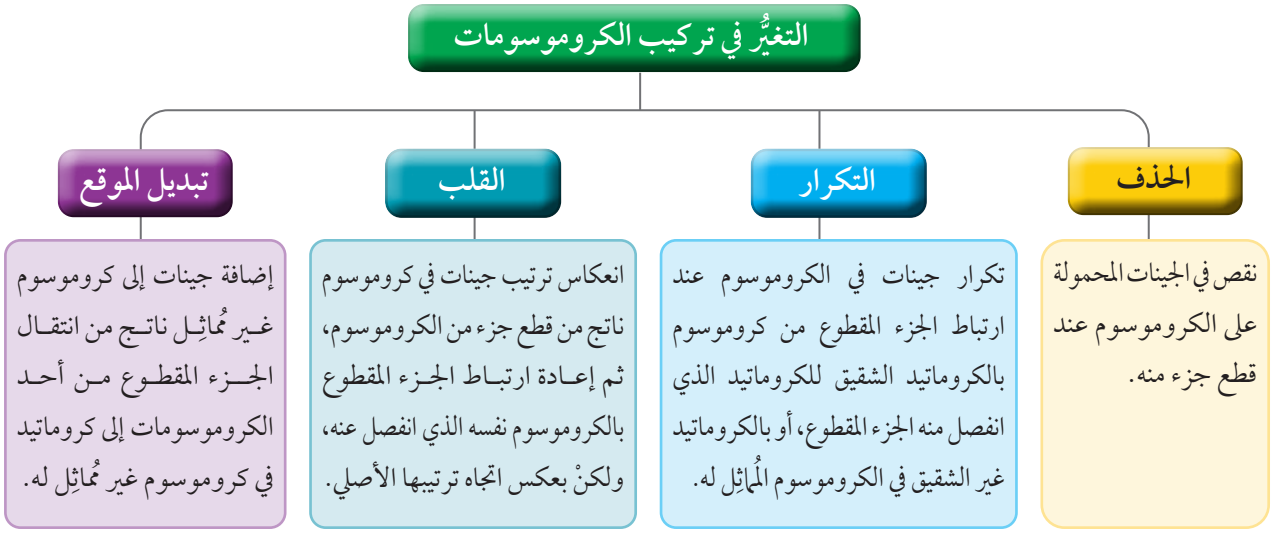
الشكل (33): إنتاج بويضة مُخصَّبة ثلاثية المجموعة الكروموسومية (3n).



الشكل (34): نبات الكركديه الصيني *Hibiscus rosa* مُتعدِّد المجموعة الكروموسومية.

تظهر حالة تعدُّد المجموعة الكروموسومية في النباتات أكثر منها في الحيوانات، وقد تظهر بسبب عدم انقسام السيتوبلازم في البويضة المُخصَّبة بعد تضاعف كروموسوماتها؛ فتنتج خلية رباعية المجموعة الكروموسومية (4n)، ثم تدخل هذه الخلية في انقسامات متساوية متتالية؛ فينتج جنين خلاياه مُتعدِّدة المجموعة الكروموسومية، أنظر الشكل (34) الذي يُبيِّن نبات الكركديه الصيني *Hibiscus rosa* مُتعدِّد المجموعة الكروموسومية.

✓ **أتحقَّق:** أُفسِّر سبب وجود بويضة مُخصَّبة ثلاثية المجموعة الكروموسومية.



الشكل (35):طفرات تُغيِّر في تركيب الكروموسوم.

التغيُّر في تركيب الكروموسومات Changes in Chromosome Structure

يحدث أثناء الانقسام المُنصِّف أحيانًا قطع جزء من أحد الكروموسومات؛ ما يُسبِّب حدوث طفرات تُغيِّر في تركيب الكروموسوم إمّا **بالحذف Deletion**، وإمّا **بالتكرار Duplication**، وإمّا **بالقلب Inversion**، وإمّا **بتبديل الموقع Translocation**، أنظر الشكل (35).

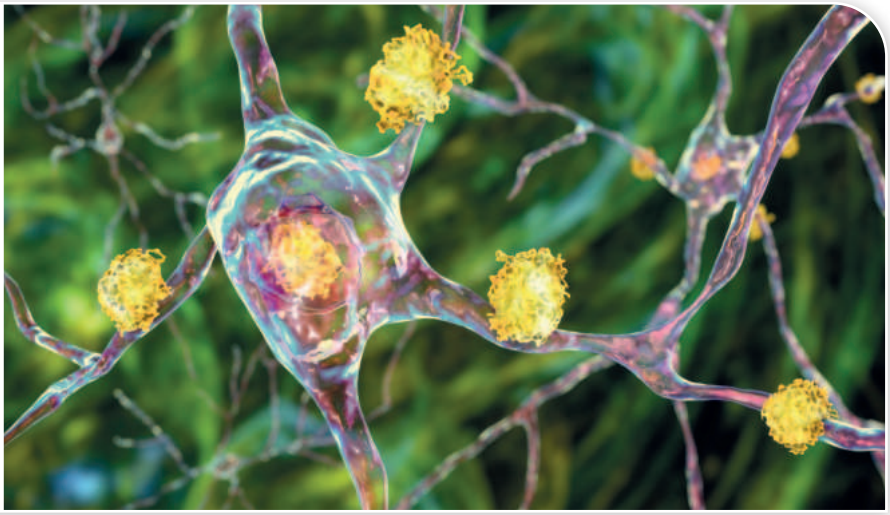
أُفكِّر: أُفسِّر: قد تكون طفرة الحذف مميتة لدى الذكر عند حدوثها في الكروموسوم X.

✓ **أتحقَّق:** ما أنواع الطفرات التي تؤدّي إلى تغيُّر في تركيب الكروموسوم؟

لتعرُّف التغيُّر في تركيب الكروموسوم بعد حدوث الطفرة، أنظر الشكل (36).



الشكل (36): طفرات تُغيِّر في تركيب الكروموسوم.



الشكل (37): بروتين هنتنغتون في الخلايا العصبية.

اختلالات ناتجة من الطفرات Disorders Caused by Mutations

اختلالات ناتجة من الطفرات الجينية

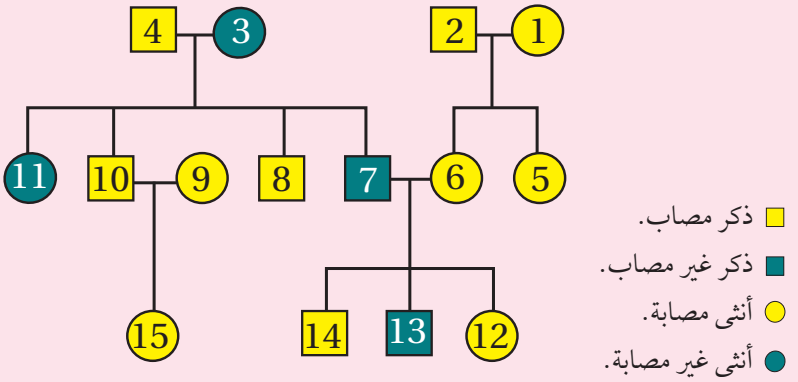
Disorders Caused by Genetic Mutations

مرض هنتنغتون Huntington's Disease

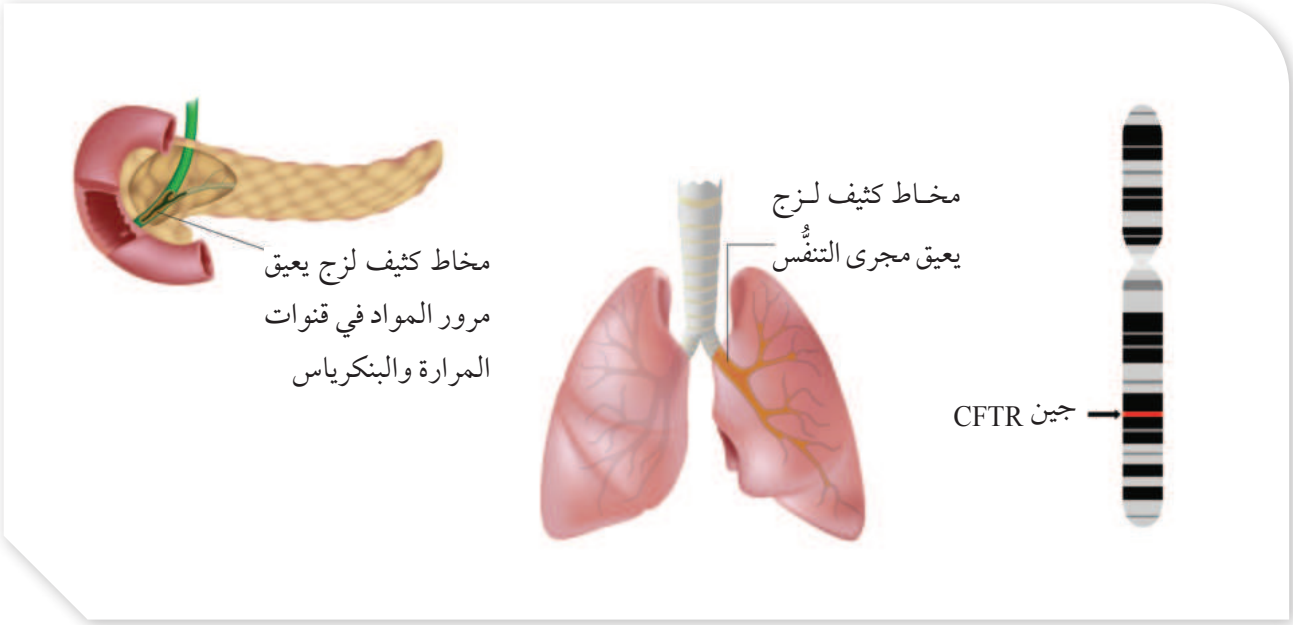
مرض ينتج من طفرة في الجين ***HTT*** تؤدّي إلى زيادة إنتاج بروتين يُسمّى بروتين هنتنغتون الذي يتراكم في الخلايا العصبية، أنظر الشكل (37)، ويُؤثِّر في وظائفها، وتتمثَّل بعض أعراضه في اضطرابات في الحركة، وضعف في الذاكرة.

لا تظهر الأعراض على الشخص في أوقات مُبكِّرة من حياته، وإنَّما تبدأ بالظهور في سِنِّ الثلاثينيات أو الأربعينيات، ويُحمَل الأليل السائد المُسبِّب للمرض على الزوج الكروموسومي رقم (4)، وبذلك يكون الطراز الجيني للفرد المصاب مُتماثِل الأليلات (HH)، أو غير مُتماثِل الأليلات (Hh)، في حين يكون الطراز الجيني للفرد غير المصاب مُتماثِل الأليلات (hh)، أنظر الشكل (38).

أُفكِّر: أُفسِّر: يُمكِن لشاب لا تظهر عليه أعراض مرض هنتنغتون إنجاب ذكور مصابين بهذا المرض.



الشكل (38): سجل نسبٍ لتوارث مرض هنتنغتون.
أكتب الطرز الجينية لجميع الأفراد الوارد ذكرهم في سجل النسب.



الشكل (39): موقع جين CFTR على الكروموسوم رقم (7) وبعض أعراض مرض التليُّف الكيسي.

- **أيُّ** أجزاء الجسم يتأثَّر بحدوث طفرة في الجين CFTR؟
- **ما** أعراض التليُّف الكيسي في كلٍّ من هذه الأجزاء؟

التليُّف الكيسي Cystic Fibrosis

ينتج هذا المرض من طفرة في الجين المحمول على الزوج الكروموسومي رقم (7)، يسمى ***CFTR*** (Cystic Fibrosis Transmembrane conductance Regulator) وهو مسؤول عن تنظيم انتقال الأيونات (مثل أيونات الكلورايد) في الأغشية البلازمية للخلايا الطلائية المُنتِجة للمخاط، والعَرَق، والدموع، والإنزيمات الهاضمة. يساعد نقل أيونات الكلورايد على ضبط حركة الماء في الأنسجة، ويؤدي حدوث طفرة في هذا الجين إلى خلل في القنوات الناقلة لأيونات الكلورايد؛ ما يُسبِّب الإصابة بمرض التليُّف الكيسي، الذي ينتج عنه تراكم المخاط الكثيف في بعض أجزاء جسم الفرد المصاب بالمرض، مثل: الرئتين، والبنكرياس، والقناة الهضمية. وهذا التراكم يؤدّي إلى ظهور أعراض عِدَّة، منها: التهابات في الرئة، وسوء امتصاص المواد من الأمعاء الدقيقة إلى الدم، أنظر الشكل (39).

ويكون الفرد المصاب بمرض التليُّف الكيسي مُتماثِل الأليلات، وطرازه الجيني هو (cc)، في حين يكون الفرد غير المصاب مُتماثِل الأليلات (CC)، أو غير مُتماثِل الأليلات (Cc).

✓ **أتحقَّق:** أذكر مثالًا على اختلال وراثي ينتج من أليل سائد، ومثالًا آخرَ على اختلال وراثي ينتج من اجتماع أليلين مُتنحِّيين.

اختلالات ناتجة من تغيُّر عدد الكروموسومات

Disorders Caused by a Change in the Number of Chromosomes

متلازمة داون Down Syndrome

يكون للذكر أو الأنثى من ذوي متلازمة داون ملامح وجه مُميَّزة مثل الوجه المُسطَّح، وقد يعاني مشكلات في القلب والجهاز الهضمي.

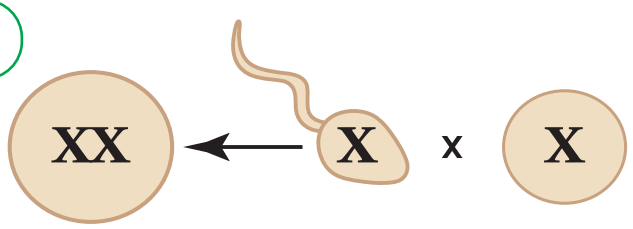
تحتوي كل خلية من الخلايا الجسمية لَمَنْ يعاني متلازمة داون على 47 كروموسومًا، ويحدث ذلك بسبب عدم انفصال زوج الكروموسومات الجسمية الذي يحمل الرقم (21) عند الأنثى أو الذكر؛ فينتج جاميت يحوي كروموسومًا جسميًّا إضافيًّا، ويكون عدد الكروموسومات فيه (n+1). وعند إخصابه مع جاميت طبيعي، عدد الكروموسومات فيه n، تنتج بويضة مُخصَّبة تحوي كروموسومًا جسميًّا إضافيًّا، ويكون عدد الكروموسومات فيها (2n+1)، أنظر الشكل (40/ أ ، ب).

أُنظِّم المعلومات التي تعلَّمْتُها عن متلازمة داون، ثم أُعِدُّ فلمًا عنها باستخدام برمجية Movie Maker، مُدعَّمًا بالصور، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

أتحقَّق: أُوضِّح الأعراض التي تظهر على شخص يعاني متلازمة داون.

أ

الحالة (1):

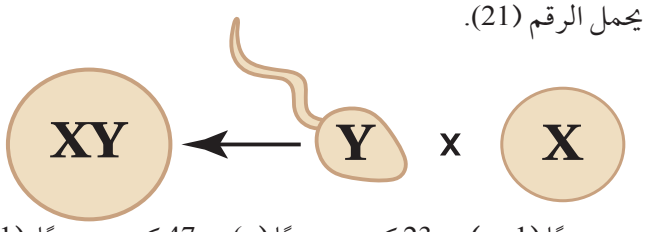


24 كروموسومًا (n+1) إضافة الكروموسوم الذي يحمل الرقم (21).

23 كروموسومًا (n)

47 كروموسومًا (2n+1) أنثى تعاني متلازمة داون.

الحالة (2):



24 كروموسومًا (n+1) إضافة الكروموسوم الذي يحمل الرقم (21).

23 كروموسومًا (n).

47 كروموسومًا (2n+1) ذكر يعاني متلازمة داون.

ب

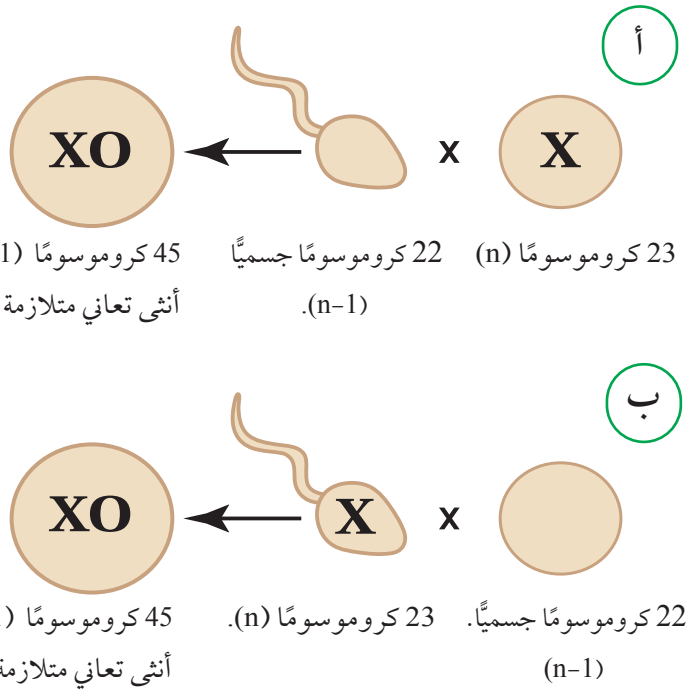


الشكل (40):

أ . حالتا إخصاب نتج من كلٍّ منهما ذكر وأنثى يعانيان متلازمة داون.

ب. أنثى تعاني متلازمة داون.

أستنتج: أيُّ الجاميتات نتج من عدم انفصال الكروموسومين الجسميين في الحالة (1) والحالة (2)؟



الشكل (41): حالتا إخصاب نتج من كلٍّ منهما أنثى تعاني متلازمة تيرنر.

أستنتج: أيُّ الجاميتات نتج من عدم انفصال الكروموسومين الجنسيين في الحالة (أ) والحالة (ب)؟

متلازمة تيرنر Turner Syndrome

تحدث هذه المتلازمة بسبب عدم انفصال زوج الكروموسومات الجنسية عند الذكر أو الأنثى؛ فينتج جاميت يحوي (n-1). وعند إخصابه مع جاميت طبيعي (n)، تنتج بويضة مُخصَّبة (2n-1)، طرازها الكروموسومي الجنسي هو XO. تكون الأنثى المصابة بهذه المتلازمة قصيرة القامة، وعقيمة في أغلب الأحيان، وتعاني اضطرابات في القلب والأوعية الدموية، وضعفًا في السمع. أمّا عدد الكروموسومات في كل خلية من خلاياها الجسمية فيبلغ 45 كروموسومًا، أنظر الشكل (41).

الربط بالمجتمع

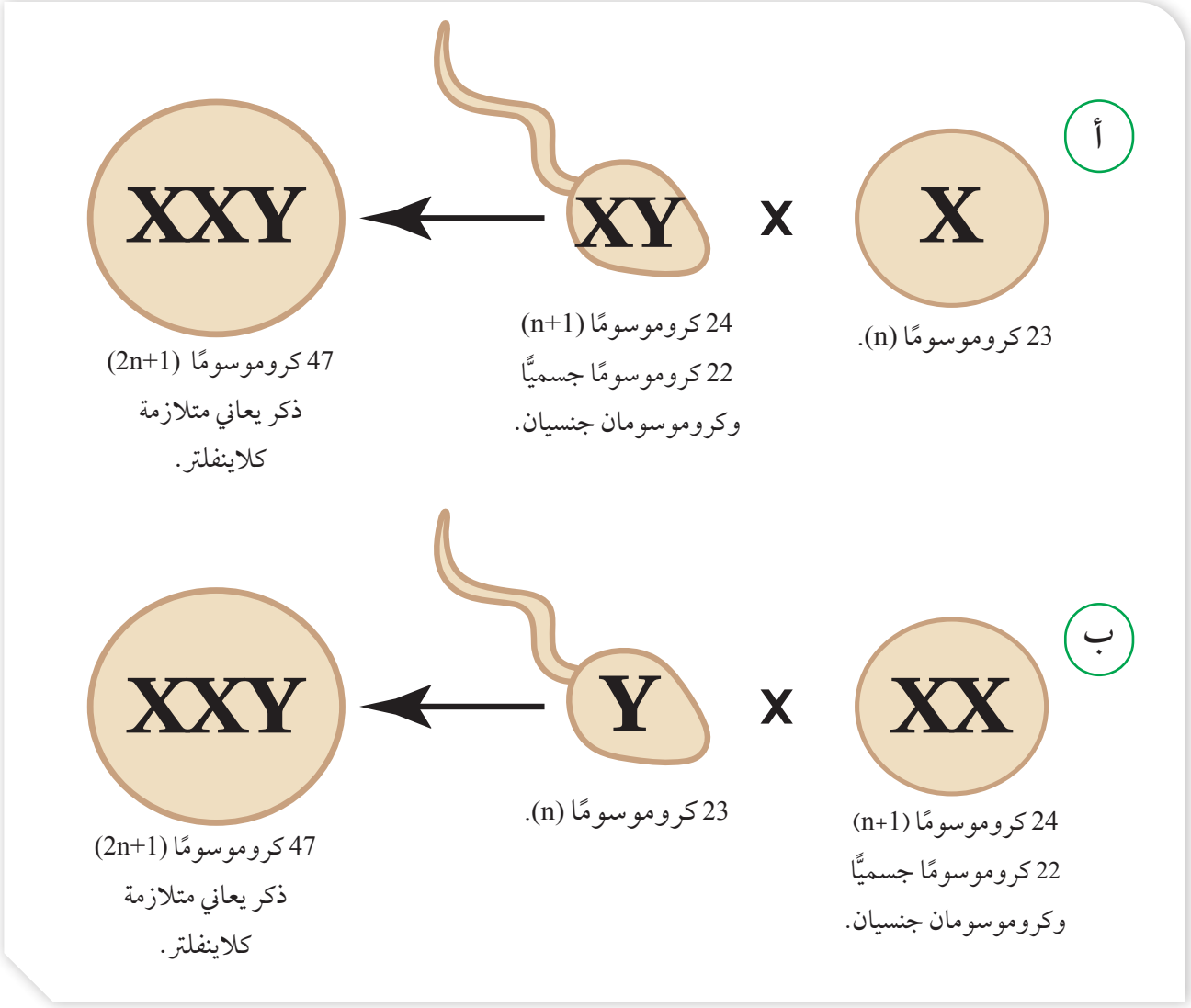
أُحاوِل أنْ أكون فاعلًا

يتباين الأفراد الذين يعانون متلازمة داون في قدراتهم العقلية، ويُحفِّز الدعم المعنوي لهم من العائلة والمجتمع والمُتخصِّصين في تدريب هذه الفئة على مشاركتهم في أنشطة عديدة، وإكسابهم مهارات مُتنوِّعة تُعِدُّهم لدخول سوق العمل؛ كلٌّ بحسب قدراته وإمكاناته؛ إذ يُسهِم التدريب في صقل شخصياتهم، ومنحهم فرصة الاندماج في المجتمع، وتوفير دخل مادي لهم؛ ما يساعدهم على تحقيق الذات، والاعتماد على النفس.

الربط بالصحة

فحص ما قبل الزواج

اهتمَّت وزارة الصحة الأردنية ببرامج الوقاية من الأمراض الوراثية، مثل البرنامج الإلزامي لفحص ما قبل الزواج؛ للكشف عن مرض الثلاسيميا (فقر دم حوض البحر الأبيض المُتوسِّط)؛ وهو فقر دم وراثي ناتج من طفرة جينية تؤدّي إلى تكسُّر خلايا الدم الحمراء. وقد أصبح هذا الفحص إلزاميًّا لكل المُقبِلين على الزواج، بَدْءًا بعام 2004م؛ ما أسهم في خفض أعداد المواليد المصابين بهذا المرض.



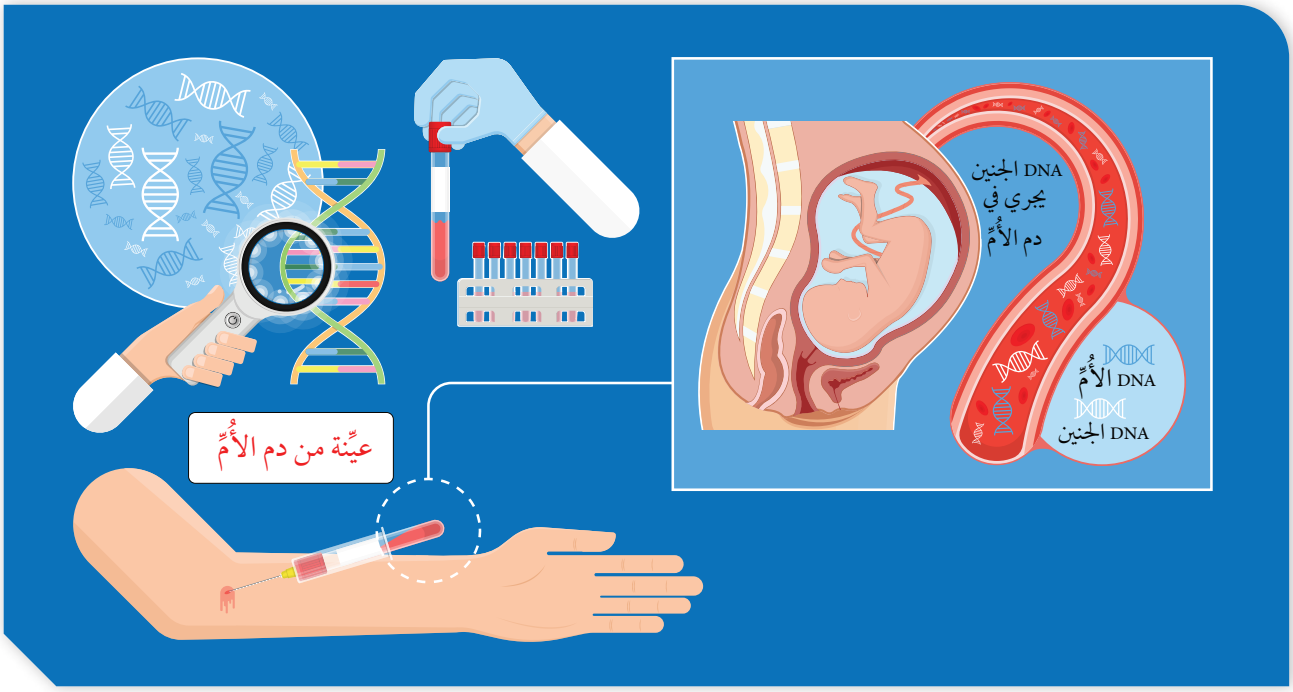
الشكل (42): حالتا إخصاب نتج من كلٍّ منهما ذكر يعاني متلازمة كلاينفلتر.

أستنتج: أيُّ الحالتين تدلُّ على عدم انفصال الكروموسومين الجنسيين أثناء تكوين الجاميتات الذكرية؟ أُبرِّر إجابتي.

أفكِّر: إذا أُصيب أحد الأفراد بمتلازمة كلاينفلتر ومتلازمة داون، **فأتوقَّع** طرازه الكروموسومي الجنسي، وعدد كروموسوماته الجسمية.

متلازمة كلاينفلتر Klinefelter Syndrome

تحدث هذه المتلازمة بسبب عدم انفصال زوج الكروموسومات الجنسية عند الذكر أو الأنثى؛ فينتج جاميت يحوي (n+1). وعند إخصابه مع جاميت طبيعي (n)، تنتج بويضة مُخصَّبة (2n+1)، أنظر الشكل (42)، ويبلغ عدد الكروموسومات في كل خلية من خلاياه الجسمية 47 كروموسومًا. من أعراض هذه المتلازمة: صعوبات في التعلُّم، وصغر في حجم الخصيتين.



الشكل (43): أخذ عيِّنة من دم الأُمِّ لفحص DNA للجنين.

أفكِّر: من الاختلالات الوراثية في عدد الكروموسومات الجنسية، وجود أنثى ثلاثية الكروموسوم الجنسي (X)، وطرازها الكروموسومي الجنسي هو (XXX)، وعدد الكروموسومات الكلي في خلاياها 47 كروموسومًا.

أتوقَّع: أيُّ حالتي الإخصاب الآتيتين قد ينتج منهما ولادة أنثى ثلاثية الكروموسوم الجنسي: (حيوان منوي يحوي 22 كروموسومًا جسميًّا + كروموسوم جنسي Y) وبويضة (22 كروموسومًا جسميًّا + كروموسومين جنسيين (XX))، أم (حيوان منوي يحوي 22 كروموسومًا جسميًّا + كروموسوم جنسي X) وبويضة (22 كروموسومًا جسميًّا + كروموسومين جنسيين (XX))؟

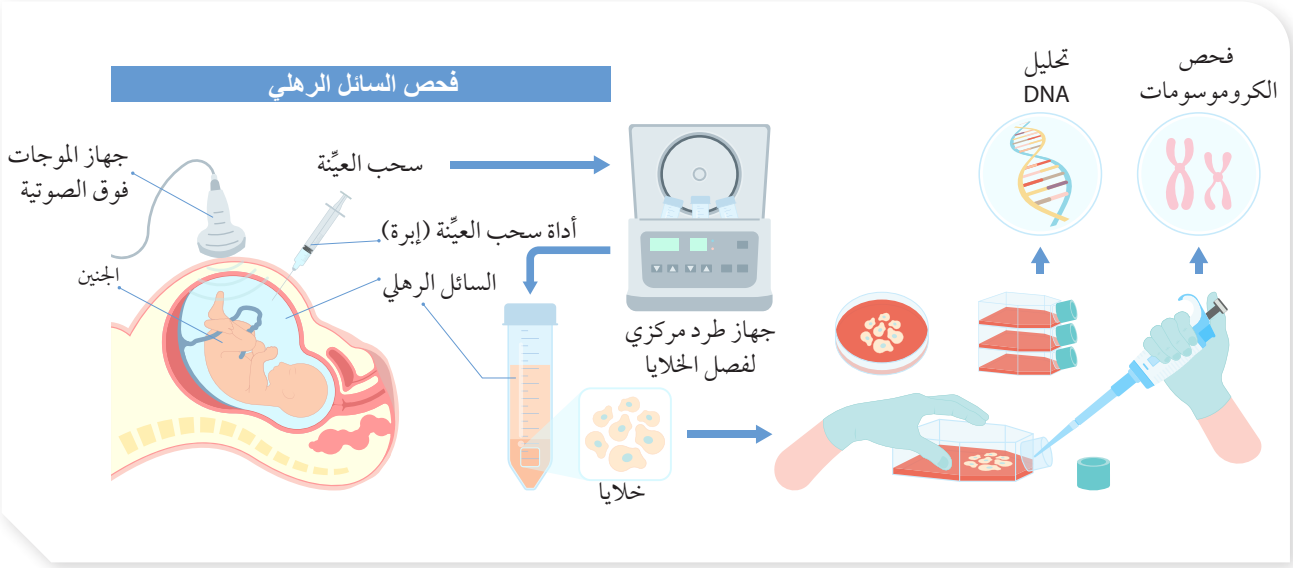
الكشف عن الاختلالات الوراثية لدى الإنسان
Detection of Genetic Disorders in Human

يُمكِن تشخيص الاختلال في عدد الكروموسومات بأخذ خلايا من الشخص تحتوي على نواة، ثم عمل مُخطَّط كروموسومي يُبيِّن عدد الكروموسومات. بعد ذلك تُقارَن الكروموسومات بمُخطَّط كروموسومي طبيعي؛ لتعرُّف الخلل في عدد الكروموسومات (إنْ وُجِد). يُمكِن أيضًا الكشف عن وجود أليل يُسبِّب اختلالًا وراثيًّا للشخص إذا كان تسلسل النيوكليوتيدات في هذا الأليل معروفًا.

تشخيص الاختلالات الوراثية لدى الجنين
Detection of Genetic Disorders in Fetus

يُمكِن الكشف عن الاختلالات الوراثية لدى الجنين بطرائق عِدَّة، منها: أخذ عيِّنة دم من الأُمِّ الحامل بعد الأسبوع العاشر من الحمل؛ إذ يحتوي دمها على قطع صغيرة من DNA للجنين، يُمكِن استخدامها في الكشف عن بعض الاختلالات لدى الجنين، أنظر الشكل (43).

تتشكَّل حول الجنين طبقات من الأغشية لحمايته وتغذيته؛ إذ ينشأ الغشاء الرهلي Amnion حول الجنين مباشرة، وهو يحتوي على سائلٍ يسمى السائل الرهلي (الأمنيوسي) Amniotic Fluid الذي يحمي الجنين من الصدمات، وينشأ خارجه غشاء الكوريون.



الشكل (44): فحـــص الاختـــلالات الوراثية بأخذ عيِّنة من السائل الرهلي.

تخرج من غشاء الكوريون بروزات إصبعية تُسمى الخملات الكوريونية، وهي تمتد إلى بطانة الرحم لتغذية الجنين منها؛ حيث يمكن أيضًا تشخيص الاختلالات الوراثية لدى الجنين بأخذ عيِّنة من خملات الكوريون، أو من السائل الرهلي؛ إذ إنَّ الكروموسومات الموجودة في خملات الكوريون هي نفسها الموجودة في خلايا الجنين، فضلًا عن احتواء السائل الرهلي على خـلايا خاصة بالجنين، وهرمـونات، ومـواد أُخـرى ذات عـلاقة بنُمُوِّه وفي كلتا الحـالتين، تُؤخَذ عيِّنة عن طريق إبرة، ويُستخدَم جهاز الموجات فوق الصوتية في تحديد المكان المناسب لأخذ العيِّنة.

بعد ذلك تُفصَل خلايا الجنين عن السائل الرهلي باستخدام جهاز الطرد المركزي، ثم تُزرَع للحصول على كمِّية كافية منها. أمّا عيِّنة خملات الكوريون فتحتوي غالبًا على كمِّية كافية من الخلايا.

تُفحَص خلايا العيِّنتين لتعرُّف عدد الكروموسومات، وتحليل DNA، لتحديد إنْ كان الجنين مصابًا باختلال وراثي (مثل: متلازمة داون، والتليُّف الكيسي) أم لا، أنظر الشكل (44) الذي يُبيِّن خطوات تشخيص الاختلالات الوراثية بأخذ عيِّنة من السائل الرهلي.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة: أُصنِّف** الطفرات الآتية إلى جينية وكروموسومية: الاستبدال، تبديل الموقع، إضافة زوج من النيوكليوتيدات، التكرار، القلب.

2. **أُميِّز** طفرة التكرار من طفرة تبديل الموقع.

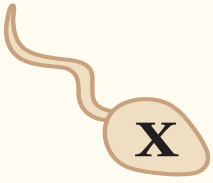
3. **أُقارِن** بين كلٍّ ممّا يأتي:

أ . متلازمة كلاينفلتر ومتلازمة تيرنر من حيث: جنس الفرد، وعدد الكروموسومات الجسمية والجنسية في الخلية الجسمية.

ب. طفرة الاستبدال وطفرة الإزاحة من حيث التأثير.

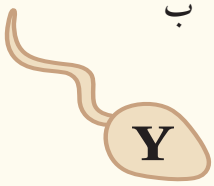
4. أُوظِّف البيانات الوارد ذكرها في الشكل (أ) والشكل (ب) في الإجابة عن الأسئلة الآتية:

أ



24 كروموسومًا (n+1) إضافة الكروموسوم الذي يحمل الرقم (21).

ب



24 كروموسومًا (n+1) إضافة الكروموسوم الذي يحمل الرقم (21).

أ . **أحسُبُ** عدد الكروموسومات في البويضة المُخصَّبة الناتجة من إخصاب الحيوان المنوي لبويضة طبيعية في الحالة (أ) والحالة (ب).

ب. **أُحدِّد** الجنس في كل بويضة مُخصَّبة ناتجة في كلتا الحالتين.

جـ. **أستنتج** اسم المتلازمة في كلتا الحالتين.

5. **أُفسِّر**: يُعَدُّ مرض هنتنغتون ومرض التليُّف الكيسي من الأمراض غير المُرتبِطة بالجنس.

6. أُحدِّد نوع كلٍّ من الطفرة رقم (1)، والطفرة رقم (2) في الشكل الآتي.

	قبل حدوث الطفرة	الطفرة (1)	الطفرة (2)
DNA	TTC	ATC	TCC
mRNA	AAG	UAG	AGG
	Lys	STOP	Arg

7. **لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أُحدِّدها:**

1 . عدد الكروموسومات في حيوان منوي لذكر مصاب بالتّليُّف الكيسي:

أ . 45 ب. 46 جـ. 23 د. 24

2. الطفرة الكروموسومية التي تحدث عندما ينفصل جزء من الكروموسوم ويتصل بكروموسوم مماثل له تدعى:

أ . حذف. ب . تكرار. جـ . قلب. د . تبديل الموقع.

3. كم نوعًا من الجاميتات ينتج عند عدم انفصال الكروماتيدات الشقيقة لأحد الكروموسومات ضمن إحدى الخلايا في أثناء المرحلة الثانية من الانقسام المُنصِّف؟

أ . 1 ب . 2 جـ . 3 د . 4

4. تنتج الخلية ثلاثية المجموعة الكروموسومية (3n) من إخصاب جاميت طبيعي مع جاميت آخر يحوي:

أ . n+2 ب. n+1 جـ. 2n د. n-1

5. النبات الذي يُعَدُّ مثالًا على عدم انقسام السيتوبلازم في البويضة المُخصَّبة بعد تضاعف الكروموسومات:

أ . البابايا. ب. الصفصاف. جـ. السُلم. د. الكركديه الصيني.

6. نوع الطفرة في تركيب الكروموسوم في الشكل المجاور هي:



أ . حذف. ب. تكرار. جـ. تبديل موقع. د. قلب.

الخرائط الدماغية Brain Maps

تُستخدَم تكنولوجيا خرائط الدماغ ثلاثية الأبعاد في تشخيص الحالات المَرَضية المُزمِنة (مثل مرض باركنسون)، وتخطيط العمليات الجراحية (مثل عمليات أورام المخ)، وتحديد الموقع الدقيق لوظائف الدماغ الفردية (مثل: الكلام، والذاكرة، والحركة). وهي تُستخدَم أيضًا قبل الإجراء الخاص بالعمليات الجراحية وأثناء ذلك؛ لتمييز أنسجة الدماغ السليمة من تلك المريضة.



السؤال الأوَّل:

لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أُحدِّدها:

1. أجرى باحث تلقيحًا لنباتات بازيلاء بيضاء الأزهار وأُخرى أرجوانية الأزهار، وغير مُتماثِلة الأليلات. إذا كان عدد النباتات الناتجة هو 1200 نبات، فإنَّ عدد النباتات بيضاء الأزهار هو:

أ- 1200 نبات. ب- 600 نبات.

جـ- 300 نبات. د- 900 نبات.

2. يسود أليل لون العيون الأسود B على أليل لون العيون الأحمر b. إحدى الآتية تُمثِّل الطرز الشكلية للون العينين ونسبها في الأفراد الناتجين من تزاوج فأر أسود العينين وغير مُتماثِل الأليلات وفأرة حمراء العينين:

أ- 75% أسود: 25% أحمر.

ب- 50% Bb: 50% bb.

جـ- 50% Bb: 25% BB: 25% bb.

د- 50% أسود : 50% أحمر.

3. أجرت باحثة تلقيحًا لنباتي بندورة، لون الساق في أحدهما أرجواني، وفي الآخر أخضر، فكانت جميع النباتات الناتجة أرجوانية الساق. إحدى الآتية تُفسِّر نتائج التلقيح:

أ- الطراز الجيني للنبات أخضر الساق هو Gg، والطراز الجيني للنبات أرجواني الساق هو gg.

ب- الطراز الجيني للنبات أخضر الساق هو GG، والطراز الجيني للنبات أرجواني الساق هو gg.

جـ- الطراز الجيني للنبات أخضر الساق هو gg، والطراز الجيني للنبات أرجواني الساق هو GG.

د- الطراز الجيني للنبات أخضر الساق هو gg، والطراز الجيني للنبات أرجواني الساق هو Gg.

4. الطراز الجيني الذي ينتج منه عدد أنواع أكثر من الجاميتات هو:

أ- Tt. ب- AATT.

جـ- ggaatt. د- AAGGTT.

5. تزوَّج شاب مصاب بعمى الألوان بفتاة غير مصابة بهذا المرض. لم تكن والدة الشاب مصابة بالمرض، وكان والده مصابًا به. أمّا والد الفتاة ووالدتها فلم يكونا مصابين بالمرض. أنجب الزوجان طفلًا ذكرًا مصابًا بالمرض، وكان مصدر الأليل المسؤول عن ظهور إصابته بالمرض هو:

أ- جدَّه لأُمِّه. ب- جدَّه لأبيه.

جـ- جدَّته لأُمِّه. د- جدَّته لأبيه.

6. تُعَدُّ وراثة لون الأزهار في نبات الكاميليا مثالًا على:

أ- السيادة التامَّة.

ب- السيادة المُشترَكة.

جـ- الصفات المُرتبِطة بالجنس.

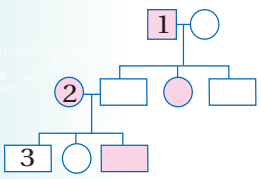
د- الصفات مُتعدِّدة الجينات.

7. تزوَّج شاب فصيلة دمه B بفتاة فصيلة دمها A، فأنجبا ذكرًا فصيلة دمه AB، وأنثى فصيلة دمها O. إحدى الآتية تُمثِّل الطرز الجينية للشاب والفتاة:

أ- I^AI^A، I^Bi. ب- I^AI^A، I^BI^B.

جـ- I^Ai، I^Bi. د- I^Ai،I^BI^B.

8. تتبَّع باحث وراثة صفة مُعيَّنة في عائلةٍ، وصمَّم لذلك سجل النسب الآتي الذي يُمثِّل فيه المربع ذكرًا، وتُمثِّل فيه الدائرة أنثى، ويدلُّ فيه الشكل المُظلَّل على ظهور الصفة. الطرز الجينية للأفراد الذين يحملون الأرقام: (1 ,2 ,3) على الترتيب هي:



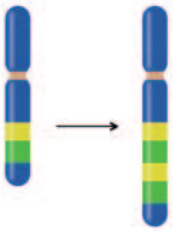
أ- X^aY ، X^AX^a، X^AY.

ب- X^aY ، X^aX^a، X^AY.

جـ- X^AY ، X^AX^A، X^aY.

د- X^aY ، X^AX^a، X^aY.

9. نوع الطفرة الكروموسومية في الشكل المجاور هو:



أ- حذف. ب- قلب.
جـ- إضافة. د- تكرار.

10. الطفرة التي ينتج منها تغيُّر كودون في جزيء mRNA، يُترجَم إلى الحمض الأميني الأصلي هي:
أ . كروموسومية حذف. ب. جينية صامتة. جـ. كروموسومية قلب. د. جينية غير مُعبِّرة.

11. الاختلال الناتج من خلل في عدد الكروموسومات الجنسية هو:
أ . التليُّف الكيسي. ب. متلازمة داون. جـ. مرض هنتنغتون. د. متلازمة تيرنر.

12. يمكن الكشف عن الاختلالات الوراثية لدى الجنين من خلال أخذ عينة دم من الأم الحامل بعد الأسبوع :
أ . الرابع. ب. الثامن. جـ . العاشر. د . التاسع.

13. في نوع من الطيور لون الجسم وطول الذيل صفتان مرتبطتان على نفس الكروموسوم، وعند إجراء تزاوج بين طير أسود اللون طويل الذيل مع آخر أبيض اللون قصير الذيل، كان الأفراد الناتجون يحملون الصفات الشكلية والنسب الآتية:
45.5% طيور سوداء اللون طويلة الذيل، 45.5% طيور بيضاء اللون قصيرة الذيل، 4.5% طيور سوداء اللون قصيرة الذيل، 4.5% طيور بيضاء طويلة الذيل. إذا علمت أن أليل اللون الأسود B سائد على الأبيض b، وأليل طول الذيل T سائد على أليل قصر الذيل t، فتكون نسبة الأفراد الذين لا يشبهون الآباء:
أ . 45.5% ب. 91% جـ. 4.5% د. 9%

14. خلية تحوي 6 أزواج من الكروموسومات، إذا حدث فيها طفرة عدم انفصال زوج واحد من الكروموسومات في المرحلة الأولى من الانقسام المُنصِّف، فإن الجاميتات الناتجة:
أ . جاميتات تحمل 7 كروموسومات وجاميتات تحمل 5 كروموسومات.
ب. جاميتات تحمل 4 كروموسومات وجاميتات تحمل 2 كروموسومات.
جـ. جاميتات تحمل 7 كروموسومات وجاميتات تحمل 5 كروموسومات وجاميتات تحمل 6 كروموسومات.
د . جاميتات تحمل 4 كروموسومات وجاميتات تحمل 2 كروموسومات وجاميتات تحمل 3 كروموسومات.

15. إذا كانت نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة (18%) وعدد الأفراد الكلي (900) فرد ، فإن عدد الأفراد الذين يشبهون آبائهم:
أ . 162 ب. 738 جـ. 150 د. 700

16. إذا تزوج رجل فصيلة دمه (AB) من فتاة فصيلة دم أمها (B) ووالدها فصيلة دمه (O)، فإن نسبة إنجابها أبناء فصيلة دمهم (B) هي:
أ . 50% ب. 100% جـ. 75% د. 25%

17. ظهور الأبناء بنسبة 1 : 3 بدلًا من النسبة 9:3:3:1 علمًا أن الطراز الجيني للأبوين TtRr × TtRr يدل على:
أ . انعزال الصفات. ب. التوزيع الحر. جـ. المرتبطة بالجنس. د. الجينات المرتبطة.

18. كروموسوم في العناكب يحمل 4 جينات، إذا كانت نسبة التراكيب الجينية الجديدة الناتجة عن العبور هي: (A-T) = 3% وبين (C-T) = 7% ونسبة الارتباط بين (R-A) = 92% ونسبة الارتباط بين (C-A) = 90% والمسافة بين (C-R) = 2 وحدة خريطة، فإن الترتيب الصحيح لهذه الجينات هو:

أ . ARTC　　ب. ATRC　　جـ. RCTA　　د. CTAR

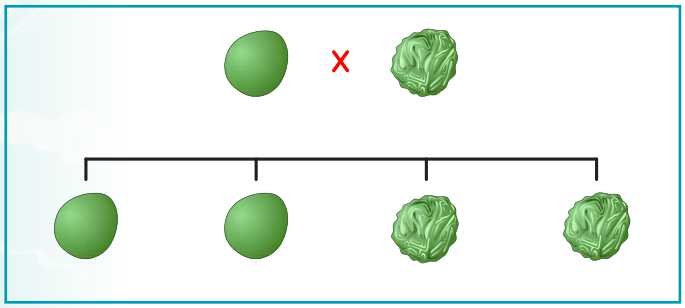
19. إذ أُجرِيَ تلقيح بين نباتي كاميليا أحدهما أزهاره حمراء مُوشَّحة بالأبيض والآخر أبيض الأزهار، فإن احتمال إنتاج نباتات بيضاء الأزهار هو:

أ . ¼　　ب. ½　　جـ. ¾　　د. 1

20. إذا كان الطراز الجيني لأحد الأبوين هو AaBB ونتج فرد طرازه الجيني (aaBB بنسبة (50%))، فإن الطراز الجيني للأب الآخر هو:

أ . aaBb　　ب. aaBB　　جـ. AaBb　　د. AAbb

السؤال الثاني:



أعتمد الشكل المجاور الذي يُمثِّل البذور الناتجة عند تلقيح نباتي بازيلاء، أحدهما أملس البذور، والآخر مُجعَّد البذور، **وأستنتج** الطراز الجيني لكلٍّ من الأبوين باستخدام الرموز المناسبة.

السؤال الثالث:

أُوضِّح الفرق بين تأثير الطفرة وتأثير الوراثة فوق الجينية في تسلسل النيوكليوتيدات في جزيء DNA.

السؤال الرابع:

ينتج مرض وراثي من جين يرتبط بالجنس، ويُرمَز إليه بالرمز (A). تزوَّج شاب غير مصاب بهذا المرض بفتاة مصابة به، وكان والدها مصابًا به أيضًا، وأُمُّها غير مصابة به، وجدَّتها لأبيها مصابة به أيضًا. **أستنتج** الطرز الجينية لكلٍّ من الشاب، والفتاة، ووالدة الفتاة، ووالد الفتاة.

السؤال الخامس:

تزوَّج رجل مصاب بعمى الألوان بامرأة غير مصابة بهذا المرض، فأنجبا أنثى غير مصابة به. بعد ذلك تزوَّج شاب غير مصاب بهذا المرض بالابنة، فأنجبا ثلاثة أبناء: ذكر مصاب بالمرض، وآخر غير مصاب به، وأنثى مصابة به وبمتلازمة تيرنر:

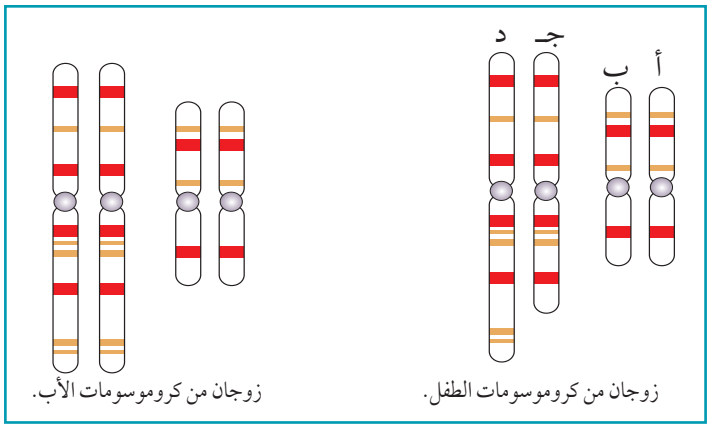
أ- **أُصمِّم** سجل نسب يُبيِّن توارث صفة عمى الألوان في هذه العائلة.

ب- **أُفسِّر** سبب إصابة الأنثى المصابة بمتلازمة تيرنر بمرض عمى الألوان.

السؤال السادس:

يُمثِّل الشكل المجـــاور زوجين من الكروموسومات لأب طبيعي، وطفله ذي القدرات العقلية المحدودة الذي يعاني ضعفًا في التحكُّم في العضلات.

أتوقَّع نوع الطفرة التي حدثت للأُمِّ أثناء تكوين الجاميت الذي نتج من إخصابه هذا الطفل.



السؤال السابع:

يُبيِّن الجدول المجاور المسافات بين 5 جينات محمولة على كروموسوم بوحدة خريطة. أتوصَّل إلى ترتيب الجينات على هذا الكروموسوم.

	A	B	C	D	E
A	-	29	13	21	6
B	29	-	16	8	35
C	13	16	-	8	19
D	21	8	8	-	27
E	6	35	19	27	-

السؤال الثامن:

لُقِّح نباتان، أحدهما بنفسجي الأزهار، وغير لامع الأوراق، والآخر أبيض الأزهار، ولامع الأوراق. كان أليل لون الأزهار البنفسجية وأليل الأوراق غير اللامعة محمولين على الكروموسوم نفسه، وكان جميع أفراد الجيل الأوَّل الناتج من ذوي الأزهار البنفسجية والأوراق غير اللامعة. بعد ذلك لُقِّح أفراد الجيل الأوَّل مع نباتات بيضاء الأزهار، ولامعة الأوراق، فكان أفراد الجيل الثاني كما في الجدول الآتي:

الطرز الشكلية	بنفسجية الأزهار، وغير لامعة الأوراق	بيضاء الأزهار، ولامعة الأوراق	بنفسجية الأزهار، ولامعة الأوراق	بيضاء الأزهار، وغير لامعة الأوراق
عدد الأفراد الناتجين	50	46	12	10

أ . **أُحلِّل البيانات:** أيُّ الصفات سائدة؟ أيُّها مُتنحِّية؟

ب. **أحسُبُ** المسافة بين جيني الصفتين.

جـ. **أُفسِّر** سبب ظهور هذه النتائج.

السؤال التاسع:

أُحلِّل الشكل المجاور الذي يُمثِّل سجل النسب لوراثة مرض لدى الإنسان، ثم أذكر دليلًا من الشكل يُؤكِّد أنَّ أليل الإصابة:

أ . مُتنحٍّ.

ب. محمول على كروموسوم جسمي.

