وزارة التربية

كويت جديدة
NEWKUWAIT

الأحياء ١١

الصف الحادي عشر

الجزء الأوّل

كتاب الطالب

المرحلة الثانوية

الطبعة الثانية

وزارة التربية

الأحياء

كتاب الطالب

الصفّ الحادي عشر ١١

الجزء الأوّل

المرحلة الثانويّة

اللجنة الإشرافية لدراسة ومواءمة سلسلة كتب العلوم

أ. برّاك مهدي برّاك (رئيسا)

أ. مصطفى محمد مصطفى علي
أ. فتوح عبد الله طاهر الشمالي
أ. سعاد عبد العزيز الرشود
أ. تهاني ذعار المطيري

الطبعة الثانية

١٤٤٠ - ١٤٤١ هـ
٢٠١٩ - ٢٠٢٠ م

حقوق التأليف والطبع والنشر محفوظة لوزارة التربية ـ قطاع البحوث التربوية والمناهج
إدارة تطوير المناهج

الطبعة الأولى ٢٠١٣ - ٢٠١٤ م
الطبعة الثانية ٢٠١٥ - ٢٠١٦ م
٢٠١٨ - ٢٠١٩ م
٢٠١٩ - ٢٠٢٠ م

فريق عمل دراسة ومواءمة كتب الأحياء للصف الحادي عشر الثانوي

أ. ليلى علي حسين الوهيب

أ. دلال سعد مسعود المسعود **أ. محمد علي أكبر عباس**

أ. خلود فهد عبد المحسن الدليمي **أ. منى حسين نوري عطيّة**

دار التَّربَويّون House of Education **ش . م . م . وبيرسون إديوكيشن** ٢٠١٣

الكتاب كاملًا

شاركنا بتقييم مناهجنا

ذات السلاسل - الكويت
أودع بمكتبة الوزارة تحت رقم (٢٢) بتاريخ ٢٠١٥/٣/٣١م

صاحب السمو الشيخ صباح الأحمد الجابر الصباح

أمير دولة الكويت

سمو الشيخ نواف الأحمد الجابر الصباح

ولي عهد دولة الكويت

مقدمـــــة

الحمدلله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيد المرسلين، محمد بن عبدالله وصحبه أجمعين.

عندما شرعت وزارة التربية في عملية تطوير المناهج، استندت في ذلك إلى جملة من الأسس والمرتكزات العلمية والفنية والمهنية، حيث راعت متطلبات الدولة وارتباط ذلك بسوق العمل، وحاجات المتعلمين والتطور المعرفي والعلمي، بالإضافة إلى جملة من التحديات التي تمثلت بالتحدي القيمي والاجتماعي والاقتصادي والتكنولوجي وغيرها، وإن كنا ندرك أن هذه الجوانب لها صلة وثيقة بالنظام التعليمي بشكل عام وليس المناهج بشكل خاص.

ومما يجب التأكيد عليه، أن المنهج عبارة عن كم الخبرات التربوية والتعليمية التي تُقدم للمتعلم، وهذا يرتبط أيضًا بعمليات التخطط والتنفيذ، والتي في محصلتها النهائية تأتي لتحقيق الأهداف التربوية، وعليه أصبحت عملية بناء المناهج الدراسية من أهم مكونات النظام التعليمي، لأنها تأتي في جانبين مهمين لقياس كفاءة النظام التعليمي، فهي من جهة تمثل أحد المدخلات الأساسية ومقياسًا أو معيارًا من معايير كفاءته من جهة أخرى، عدا أن المناهج تدخل في عملية إنماء شخصية المتعلم في جميع جوانبها الجسمية والعقلية والوجدانية والروحية والاجتماعية.

من جانب آخر، فنحن في قطاع البحوث التربوية والمناهج، عندما نبدأ في عملية تطوير المناهج الدراسية، ننطلق من كل الأسس والمرتكزات التي سبق ذكرها، بل إننا نراها محفزات واقعية تدفعنا لبذل قصارى جهدنا والمضي قدمًا في البحث في المستجدات التربوية سواء في شكل المناهج أم في مضامينها، وهذا ما قام به القطاع خلال السنوات الماضية، حيث البحث عن أفضل ما توصلت إليه عملية صناعة المناهج الدراسية، ومن ثم إعدادها وتأليفها وفق معايير عالمية استعدادًا لتطبيقها في البيئة التعليمية.

ولقد كانت مناهج العلوم والرياضيات من أول المناهج التي بدأنا بها عملية التطوير، إيمانًا بأهميتها وانطلاقًا من أنها ذات صفة عالمية، مع الأخذ بالحسبان خصوصية المجتمع الكويتي وبيئته المحلية، وعندما أدركنا أنها تتضمن جوانب عملية التعلم ونعني بذلك المعرفة والقيم والمهارات، قمنا بدراستها وجعلها تتوافق مع نظام التعليم في دولة الكويت، مركزين ليس فقط على الكتاب المقرر ولكن شمل ذلك طرائق وأساليب التدريس والبيئة التعليمية ودور المتعلم، مؤكدين على أهمية التكامل بين الجوانب العلمية والتطبيقية حتى تكون ذات طبيعة وظيفية مرتبطة بحياة المتعلم.

وفي ضوء ما سبق من معطيات وغيرها من الجوانب ذات الصفة التعليمية والتربوية تم اختيار سلسلة مناهج العلوم والرياضيات التي أكملناها بشكل ووقت مناسبين، ولنحقق نقلة نوعية في مناهج تلك المواد، وهذا كله تزامن مع عملية التقويم والقياس للأثر الذي تركته تلك المناهج، ومن ثم عمليات التعديل التي طرأت أثناء وبعد تنفيذها، مع التأكيد على الاستمرار في القياس المستمر والمتابعة الدائمة حتى تكون مناهجنا أكثر تفاعلية.

د. سعود هلال الحربي

الوكيل المساعد لقطاع البحوث التربوية والمناهج

المحتويات

الجزء الأوّل

الوَحدة الأولى: علم النبات

الوَحدة الثانية: علم الوراثة

الجزء الثاني

الوَحدة الثالثة: أجهزة جسم الإنسان

محتويات الجزء الأوّل

الوَحدة الأولى: علم النباتات	**12**
الفصل الأوّل: التغذية والنقل والنموّ في النباتات	**13**
الدرس 1 – 1: تركيب النباتات	14
الدرس 1 – 2: التغذية في النباتات	28
الدرس 1 – 3: النقل في النباتات	41
الدرس 1 – 4: نموّ النباتات	51
الفصل الثاني: التكاثر والاستجابة في النباتات	**60**
الدرس 2 – 1: التكاثر الجنسي في النباتات (1)	61
الدرس 2 – 2: التكاثر الجنسي في النباتات (2)	68
الدرس 2 – 3: التكاثر اللاجنسي في النباتات	75
مراجعة الوَحدة الاولى	**83**

الوَحدة الثانية: علم الوراثة	**92**
الفصل الأوّل: أساسيات علم الوراثة	**93**
الدرس 1 – 1: الأنماط الوراثية	94
الدرس 1 – 2: مبادئ علم الوراثة	101
الدرس 1 – 3: دراسة توارث الصفات في الإنسان	115
الدرس 1 – 4: إرتباط الجينات (الارتباط والعبور)	120
الدرس 1 – 5: الوراثة والجنس	126
مراجعة الوَحدة الثانية	**134**

اِعتاد العلماء والسائحون أن يُمعِنوا النظر في أكبر نبات معمِّر في العالم وهو الشجر الأحمر الساحلي المُسمّى Sequoia Sempervirens، وهذه الأشجار الحمراء الضخمة دائمة الخضرة من أقدم أشجار العالم. ونتيجة دراسة مستفيضة عن هذه الأشجار وفحص قطاعات في جذع إحداها لدراسة حلقات النموّ، وهي السجلّ الحيّ لتاريخ الشجرة، لاحظ العلماء أنّه ينتج عن نموّ هذه الأشجار في فصل الربيع حلقة من الخشب فاتحة اللون. ومع إستمرار النمو في فصل الصيف يظهر شريطًا ضيّقًا من الخشب داكن اللون. لذلك، يمدّنا عدد الحلقات فاتحة اللون بسجلّ دقيق عن حياة تلك الأشجار، التي قد تمتدّ إلى أكثر من 3500 عام. وقد قدّر العلماء، نتيجة دراسة إحدى الأشجار، أنّها بدأت نموّها في حوالى العام 730 بعد الميلاد، وقبل أن تسقط على الأرض في العام 1933، كان قد وصل ارتفاعها إلى 95 مترًا وبلغ وزنها نصف مليون كيلوجرام تقريبًا.

اكتشف بنفسك

ملاحظة نبات زهري

الموادّ والأدوات المطلوبة: نبات كامل مزهر، عدسة يدوية، ورقة سوداء

1. لاحِظ النبات عن قرب وارسمه. ثمّ اكتب ما تعرفه من أسماء أجزاء النبات على الرسم.
2. اِستخدِم العدسة اليدوية لتُلاحِظ أجزاء النبات الأكثر قربًا. سجِّل ملاحظاتك عن مظهر تلك الأجزاء وتركيبها.
3. اِنزع إحدى أزهار النبات وانفضها برفق فوق الورقة السوداء. ما الذي يحدث؟ لاحِظ المادّة باستخدام العدسة اليدوية.

المادّة التي تخرج من الزهرة هي حبوب اللقاح، وهي حبيبات صغيرة تحتوي على الأمشاج الذكرية للتكاثر. جميع النباتات البذرية، بما فيها الشجر الأحمر العملاق الموضَّح في الصورة أعلاه، تُنتِج حبوب اللقاح لتتكاثر جنسيًّا.

فصول الوحدة

الفصل الأوّل

* التغذية والنقل والنموّ في النباتات

الفصل الثاني

* التكاثر والاستجابة في النباتات

أهداف الوحدة

* يُفسِّر سبب حاجة الأشجار الكبيرة إلى أنظمة نقل متخصِّصة لنقل الغاز والماء والطعام.
* يُميِّز بين النباتات المختلِفة انطلاقًا من خصائصها.
* يربط بين تركيب الأنسجة المختلِفة وموقعها وبين وظيفتها.
* يصف عمل أنظمة النقل المختلِفة الموجودة في النباتات.
* يشرح مراحل عملية البناء الضوئي.
* يربط موقع الأنسجة الانشائية في النباتات ووظيفتها بنوع النموّ.

معالم الوحدة

* علم الأحياء في حياتنا اليومية
* العلم والتكنولوجيا والمجتمع
* علم الأحياء والبيئة

الفصل الأوّل

التغذية والنقل والنموّ في النباتات
Nutrition, Transport and Growth in Plants

ألم يخطر ببالك يومًا أن تتساءل، إذ ترى أشعّة الشمس الساقطة على الأوراق الخضراء للنباتات، ما الذي يحدث من عمليات مذهلة أسفل سطح تلك الأوراق الخضراء عندما تمتصّ طاقة ضوء الشمس؟ وفي خلال عملية البناء الضوئي، كيف يتمّ اتّحاد الجزيئات البسيطة من غاز ثاني أكسيد الكربون والماء لتكوين السكّر؟ ما السبب في كون العديد من أوراق النباتات الخضراء عريضة ومفلطحة، ولماذا هي خضراء؟ كيف تتكوّن البروتينات والليبيدات والڤيتامينات من السكّريات الناتجة في أجسام النباتات؟

إذا كانت النباتات تستطيع، من خلال عملية البناء الضوئي استخدام طاقة ضوء الشمس بصورة مباشرة، فإنّ الكثير من الكائنات الأخرى كالحلزون مثلًا، لا يُمكِنها استخدام تلك الطاقة بصورة مباشرة. فهي تحصل على الطاقة اللازمة لها كي تنمو وتتكاثر وتُحافِظ على حياتها بالتغذية على تلك النباتات التي صنعت غذاءها بنفسها. هناك أيضًا كائنات أخرى لا تستطيع التغذية على النباتات، لكنّها تتغذّى على كائنات أخرى تغذّت على النباتات. بعض الكائنات لا يُمكِنها الحصول على الطاقة لكي تعيش إلّا بتحليل أجسام الكائنات الأخرى الميتة. فجميع الكائنات، بما فيها النباتات، يجب أن تُحرِّر الطاقة من السكّريات والمركّبات الأخرى التي تمّ بناؤها عن طريق عملية البناء الضوئي.

دروس الفصل

الدرس الأوّل
* تركيب النباتات

الدرس الثاني
* التغذية في النباتات

الدرس الثالث
* النقل في النباتات

الدرس الرابع
* نموّ النباتات

تركيب النباتات
Structure of Plants

الأهداف العامة

- يُحدِد التراكيب الأساسية في أوراق النباتات وسوقها وجذورها.
- يُقارِن بين الوظائف الأساسية للأوراق، والسوق، والجذور والأزهار.
- يُقارِن بين تراكيب النباتات الزهرية ذات الفلقة الواحدة وذات الفلقتين.

(شكل 1)

تُغطّي النباتات معظم قارّات العالم في تنوّع ضخم لا يتخيّله عقل. وللنباتات العديد من التكيّفات الفريدة التي تزيد من فرص بقائها حيّة. فعلى سبيل المثال، زهرة نبتة الأوركيد الموضّحة في الشكل (1) لها لون ملكة النحل وشكلها ورائحتها، وتعمل هذه التكيّفات على جذب ذكور النحل التي تُلقّح الزهرة. وعلى الرغم من التكيّفات الفريدة لبعض النباتات، إلّا أنّ تراكيب النباتات ووظائفها متشابهة بشكل عامّ.

1. مقدّمة في النباتات Introduction to Plants

تخيَّلْ أنّك في نزهة في مكانك المفضّل. ما الكائنات الحيّة التي قد تراها؟ الكائنات التي ستراها بكثرة في معظم الأماكن هي النباتات، فهي تنمو في أيّ مكان على وجه الأرض، في الشوارع، وعلى الجدران، وفي الساحات وفي الغابات. ما الأماكن الأخرى التي يُمكِن أن ترى فيها النباتات؟ للنباتات أنواع كثيرة، فالبعض منها قد يصل إلى ارتفاعات شاهقة مثل أشجار الخشب الأحمر، والبعض الآخر كالسرخس الطافي قد يكون صغيرًا جدًّا، لا يتجاوز ارتفاعه بعض السنتمترات.

بعض النباتات ذات أزهار ملوَّنة وبعضها الآخر لا يُزهِر. وتتنوّع أعمار النباتات أيضًا، فبعضها كنبات القطيفة (شكل 2) لا يعيش سوى لموسم واحد، وبعضها الآخر كالصنوبر ذي المخاريط الشوكية يعيش لآلاف السنين.

(شكل 2)
نبات القطيفة

وعلى الرغم من هذا التنوّع الهائل للنباتات، إلّا أنّ هناك الكثير من التشابهات بينها. فلجميع النباتات تقريبًا أجزاء خضراء، والكثير منها خشبي، ومعظمها له أزهار. وعلى عكس الحيوانات، تعيش جميع النباتات تقريبًا مزروعة في مكان واحد في التربة.

وتعزى الاختلافات بين معظم النباتات إلى التنوّع في بعض التراكيب الأساسية: الأوراق، والسوق، والجذور، والأزهار والبذور (شكل 3). تُمكِّن هذه التراكيب النباتات من أن تعيش وتتكاثر في البيئات المختلِفة.

(شكل 3)
من المحتمَل أنّك تعرف أسماء الأجزاء فوق الأرضية للنباتات. ما وظائف تلك الأجزاء؟

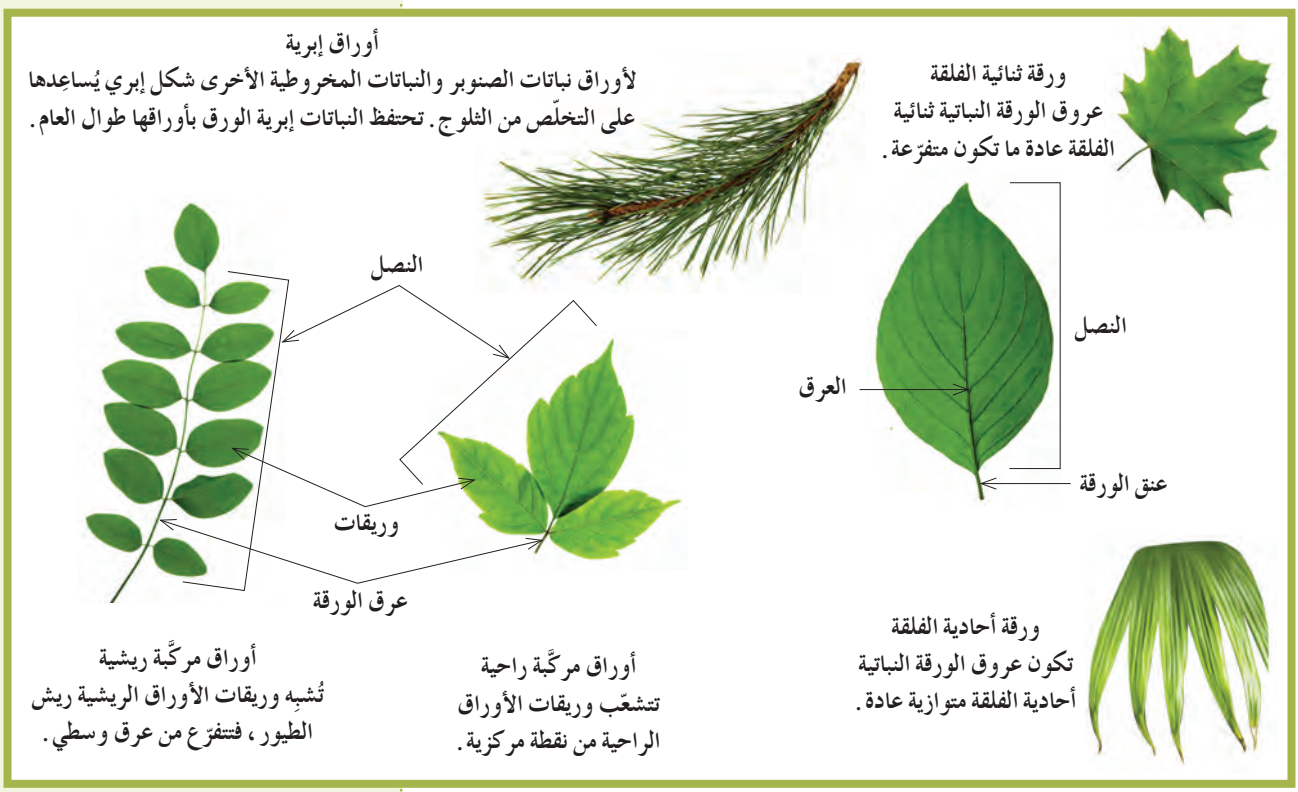
2. الأوراق النباتية Leaves

الأوراق هي أكثر التراكيب وضوحًا في النباتات، وهي الأعضاء التي تتمّ فيها أكثر العمليات ضرورة لحياة النباتات والمعروفة بالبناء الضوئي، والتي تستخدم فيها النباتات ضوء الشمس والماء وثاني أكسيد الكربون لتكوين السكّريات. (تقوم الأجزاء الخضراء الأخرى من النباتات أيضًا بعملية البناء الضوئي، ولكنّ الأوراق هي المواقع الأساسية لهذه العملية).

1.2 أنواع الأوراق النباتية وأشكالها Kinds and Shapes of Leaves

تشترك جميع أوراق النباتات، كالأجزاء الأخرى، في بعض الصفات العامّة. **فالجزء الأكبر من الأوراق النباتية مفلطَح وعريض ويُسمّى النصل Blade، وهو يحتوي على الخلايا التي تقوم بعملية البناء الضوئي.** وقد يكون النصل كبيرًا ومفلطَحًا كأوراق نبات الجمّيز، أو إبريًّا كأوراق نبات الصنوبر. قارِن بين أنصال الأوراق الموضَّحة في الشكل (4).

(شكل 4)
الصفات المميّزة للأوراق النباتية



تحتوي أنصال الأوراق النباتية على ثقوب صغيرة تُسمّى **الثغور Stomata**، تسمح بخروج بخار الماء إلى الهواء، وبتبادل غاز ثاني أكسيد الكربون والأكسجين مع الهواء.

تحتوي الأنصال أيضًا على **تراكيب أنبوبية الشكل تُسمّى العروق Veins، ينتقل خلالها الماء والعناصر المعدنية والسكّريات إلى جميع أنحاء النصل.** كما ترى في الشكل (4)، يُمكِن أن تترتّب العروق في أنماط متنوِّعة. كيف تصف هذه الأنماط؟ يُمكِنك استخدام أنماط العروق لتُحدِّد ما إذا كانت النباتات الزهرية من ذوات الفلقة الواحدة أم من ذوات الفلقتين.

تدخل العروق إلى معظم الأوراق من خلال **عنق الورقة Petiole، وهو التركيب الصغير الذي يصل بين نصل الورقة وساق النبتة.** بالإضافة إلى ما يقوم به العنق من تدعيم للنصل، إنّه ينقل أيضًا السوائل بين الأوراق والسوق.

تُصنَّف الأوراق النباتية إلى بسيطة ومركَّبة. فالأوراق البسيطة تتكوّن من نصل واحد، أمّا المركَّبة فلها نصلان أو أكثر من الأنصال صغيرة الحجم التي تُسمّى وريقات، وترتبط جميعها بعنق واحد.

وتُصنَّف الأوراق المركَّبة إمّا إلى ريشية أو راحية. فالأوراق الريشية تُشبِه ريش الطيور، ولها عروق متفرِّعة من العرق المركزي الرئيسي الذي يُسمّى العرق الأوسط. ومن الأمثلة على النباتات ذات الأوراق المركَّبة الريشية نباتات نخيل جوز الهند، وأشجار الدردار والجوز، وشجيرة الورد. وتُشبِه الأوراق المركَّبة الراحية راحة اليد وأصابعها، وهي ذات وريقات عديدة تشعّ جميعها من نقطة مركزية، ومن أمثلتها أوراق نباتات الفراولة والترمس وأشجار الكستناء.

يظهر الشكل (5) أنواع مختلِفة من أوراق الأشجار.

فقرة إثرائية

علم الأحياء في حياتنا اليومية

تتساقط الأوراق في الخريف

يختار الناس من المشاتل الزراعية نباتات يضعونها في منازلهم أو يزرعونها في حدائقهم. ما الصفات الوراثية المهمّة في تحديد أنواع النباتات التي تريد شراءها؟

(شكل 5)
أنواع مختلِفة من أوراق الأشجار.

(أ) شجرة الصنوبر
تحتوي الأوراق الضيقة لهذه الشجرة على بشرة شمعية وكما تحتوي أيضًا على ثغور غارقة تحت سطح الأوراق. يخفض هذا التركيب خسارة الماء من الأوراق.

(جـ) نبتة الصبّار
أوراق هذه النبتة غير قادرة على إتمام عملية البناء الضوئي. وتحتمي من آكلات الأعشاب بواسطة أشواكها.

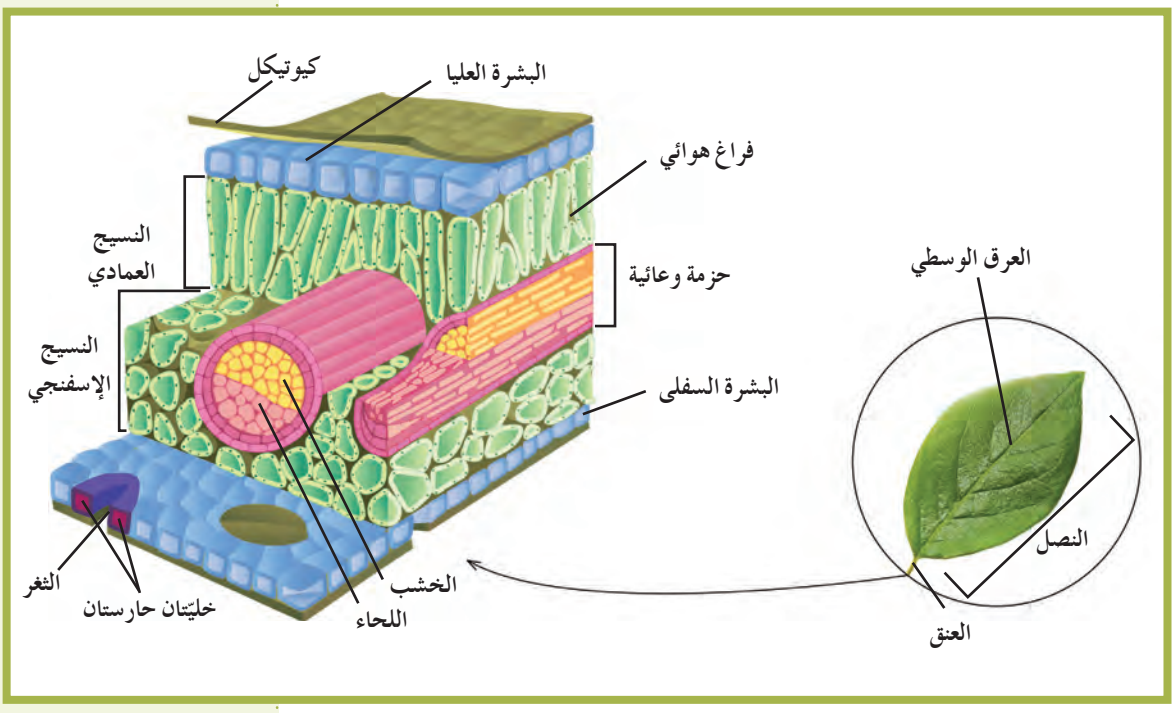
(د) نبتة الصبّار
تتكيّف أوراق هذه النبتة للعيش في الظروف الحارّة والجافّة، فأوراقها السميكة تسمح لها بحفظ الماء داخلها.

(ب) نبتة الجرّة
أوراق هذه النبتة متحورة لجذب الحشرات وهضمها فهي مصدر للنيتروجين.

2.2 تركيب الورقة النباتية The Leaf Structure

تُعتبَر أوراق النباتات من أهمّ مصانع الغذاء في العالم لأنّ السكّر والزيوت والبروتينات التي تُصنَع في داخلها هي مصدر الغذاء لجميع الكائنات الحيّة على وجه الأرض. إذًا يجب أن يكون للنباتات تراكيب مميّزة تُمكِّنها من الحصول على العناصر الضرورية لعملية البناء الضوئي، وتُمكِّنها من توزيع نواتج البناء الضوئي خلال أقسام النبتة كافّة. يُمكِن اعتبار الورقة نظامًا متخصِّصًا لعمليّة البناء الضوئي، وتتضمّن أنظمة فرعية تحتوي على أنسجة مسؤولة عن تبادل الغازات، وأخرى عن نقل الماء والأملاح المعدنية إلى الخلايا حيث تحدث عملية البناء الضوئي.

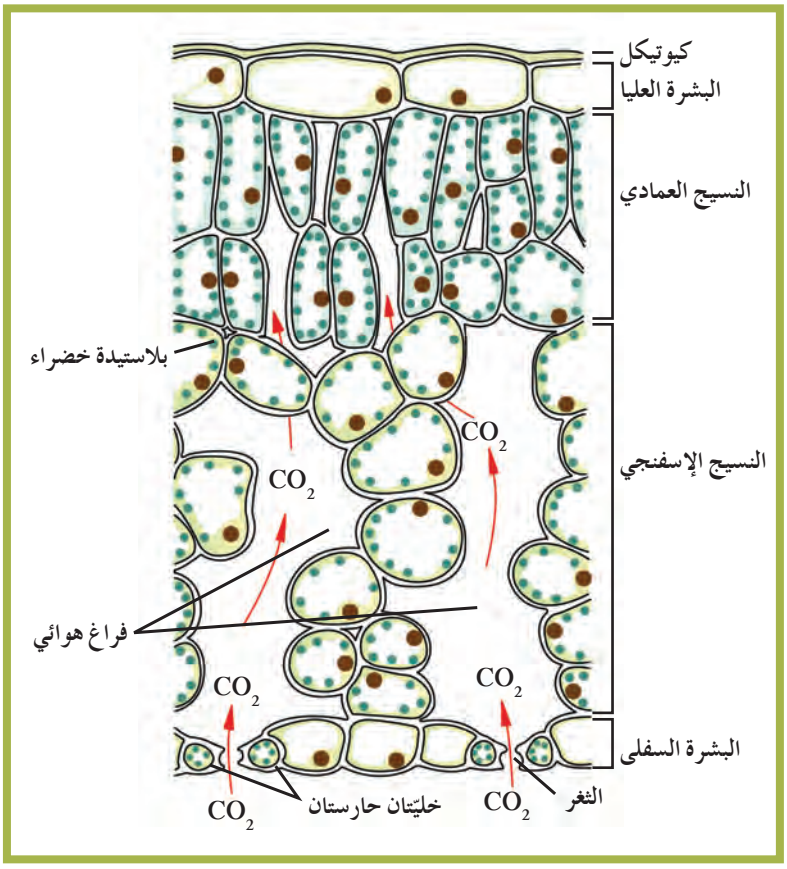
تركيب الورقة هو الأمثل لامتصاص الضوء وتنفيذ عملية البناء الضوئي. مثل الجذور والسوق، يُغلِّف الورقة النباتية غلاف خارجي يتألّف من خلايا البشرة، وخلايا داخلية تتكوّن من أنسجة أساسية وأنسجة وعائية. يُوضِّح الشكل (6) كيف يكون سطح الورقة العلوي مغلَّفًا بطبقة من الأنسجة الجلدية العلوية (نسيج البشرة العليا) Upper Epidermis وسطح الورقة السفلي مغلَّفًا بطبقة من الأنسجة الجلدية السفلى (نسيج البشرة السفلى) Lower Epidermis. **في معظم النباتات، تُغلِّف السطح العلوي طبقة من الشمع تُسمّى كيوتيكل Cuticle تُؤدّي مع طبقة البشرة دورًا في منع تسرّب الماء إلى خارج الورقة.**



(شكل 6)
قطاع ثلاثي الأبعاد من ورقة شجرة تُظهِر الأنسجة التي تُكوِّنها. قارِن وباين بين تراكيب الخلايا المختلِفة في الورقة.

تتّصل الأنسجة الوعائية للورقة مباشرة بالأنسجة الوعائية للساق جاعلة الأوراق جزءًا لا يتجزّأ من نظام النقل في النباتات . في ورقة الشجرة ، يجتمع كلّ من الخشب واللحاء في حزم وعائية تبدأ في الساق وتدخل الورقة عبر عنقها . حين تصل الحزم الوعائية إلى نصل الورقة ، يحيط بها عدد من الخلايا البرنشيمية والسكلرنشمية .

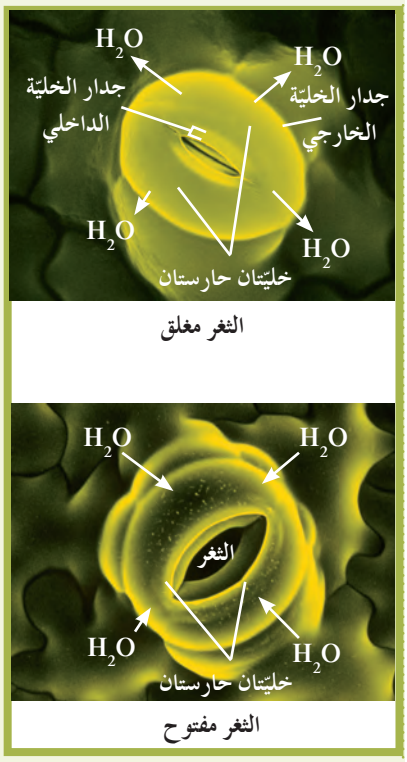
يتألّف الجزء الأكبر من الورقة النباتية من أنسجة أساسية (برنشمية) متخصّصة تُعرَف بالنسيج الوسطي Mesophyll . في معظم النباتات ، تحدث عملية البناء الضوئي في هذا النسيج . **توجَد أسفل النسيج العلوي الجلدي طبقة من الخلايا مستطيلة الشكل المتراصّة بعضها على بعض ، وتُسمّى النسيج الوسطي العمادي Palisade Mesophyll .** هذه الخلايا المتراصّة والغنيّة بالبلاستيدات الخضراء تمتصّ الضوء الذي يقع على الورقة . **توجَد تحت هذا النسيج طبقة من الخلايا غير منتظِمة الشكل والمتباعِدة بعضها عن بعض ، وتُسمّى النسيج الوسطي الإسفنجي Spongy Mesophyll .** تمتلىء الفراغات بين خلايا هذه الطبقة بالهواء Air Spaces (شكل 7) . ويتّصل الهواء في هذه الفراغات بالهواء الخارجي عبر **ثغور Stomata** موجودة في البشرة ، حيث يحدث تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الورقة والهواء المحيط بها ، وتفقد الماء خارج الورقة من خلالها .



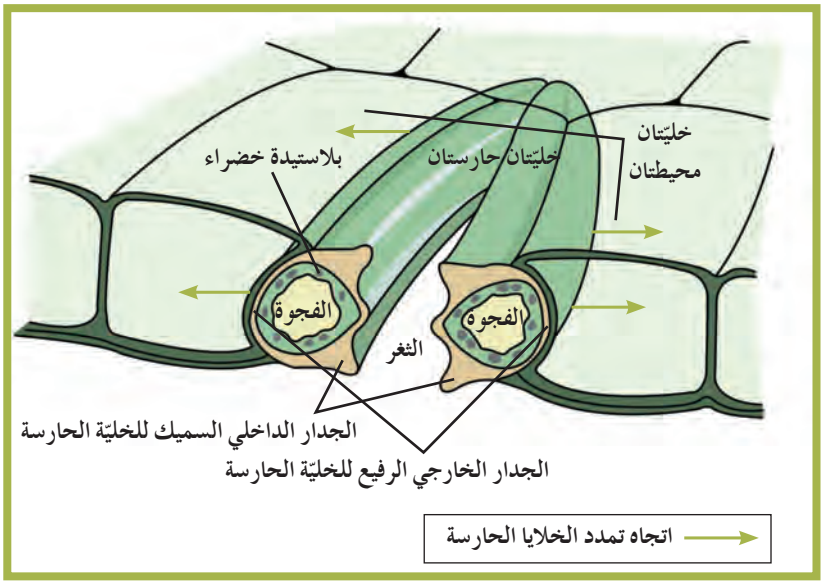
(شكل 7)
مقطع طولي لورقة نباتية

آلية فتح وغلق الثغر Mechanism of Stomatal Opening and Closing

يتألّف كلّ ثغر من خليّتين حارستين Guard Cells تتوسّطهما فتحة ثغرية Stomatal Opening، كما يُوضِّح (شكل 8). الخليّة الحارسة في البشرة (النسيج الجلدي) هي خليّة متخصِّصة تحتوي على البلاستيدات الخضراء، وتُؤدّي دورًا في ضبط فتح الثغور وإغلاقها، كاستجابة لتغيّر ضغط الماء داخلها تأثّرًا بالعوامل البيئية الخارجية. عندما تمتلئ الخلايا الحارسة بالماء، يزداد ضغط الماء داخلها مؤدّيًا إلى ازدياد ضغط الامتلاء الناتج عن الضغط الأسموزي لغشاء الخليّة على جدار الخليّة، وهذا الازدياد في الضغط يُؤدّي إلى انتفاخ الخلايا الحارسة.



(شكل 8)
عندما يدخل الماء الخليّتين الحارستين الموجودتين بورقة النبات، فإنّهما تنتفخان وتفتحان الثغر. وعندما تفقد الخليّتان الحارستان الماء، فإنّهما تُصبِحان رخوتين وتُغلِقان الثغر. ما الدور الذي يقوم به الثغر؟



(شكل 9)
مقطع طولي يبيِّن تركيب الثغر والخليّتان الحارستان

كيف يُساعِد شكل الخلايا الحارسة على فتح الثغور؟ أُنظر إلى زوج الخلايا الحارسة المحيطة بفتحة الثغر في (شكل 9)، ولاحِظ سماكة جدار الخليّة الداخلية القريب من هذه الفتحة الذي يكون أكثر سمكًا، بالمقارنة مع سماكة الجدار الخارجي في الجانب المقابِل الذي يكون أقل سمكًا. عندما يدخل الماء إلى الخليّتين الحارستين، فإنّهما تنتفخان ويزداد ضغط الإمتلاء، فيتمّ دفع جدرهما الرقيقة الخارجية البعيدة عن الفتحة لتتّخذ شكلًا مقوّسًا. ويُسبِّب هذ الفعل شدّ الجدر السميكة الداخلية للخليتين الحارستين بعيدًا الواحدة عن الأخرى، فينفتح الثغر ويُصبِح أكثر اتّساعًا. عندما يكون الماء نادرًا في النبات، يخرج من الخليّتين الحارستين مسبِّبًا انخفاضًا في ضغط الامتلاء على جدار الخليّة. فتنكمش الخليّتان وينخفض شدّ الجدر السميكة لهما، فتقتربان الواحدة من الأخرى، وتُصبِح فتحة الثغر أضيق أو تُغلَق قليلًا (لا تُغلَق الثغور كلّيًّا). ما هي العوامل التي تتحكّم بفتح الثغور وانغلاقها؟

يتأثّر فتح الثغور وانغلاقها بالعوامل البيئية الخارجية، كوجود الضوء وحرارة الطقس وقوّة الرياح ونسبة الرطوبة. كيف يُؤثِّر كلّ من هذه العوامل البيئية في الثغور؟

للمحافظة على الاتّزان الداخلي للنبتة وحمايتها من الجفاف، تُبقي النباتات الثغور مفتوحة بشكل كافٍ لتأمين حاجاتها للبناء الضوئي، ولكن ليس كثيرًا حتّى لا تخسر الكثير من الماء وتُصاب بالجفاف. فهي تُقفِل الثغور في حالة ارتفاع درجة حرارة الطقس كثيرًا أو شدّة الضوء أو ازدياد سرعة الرياح أو خلال الطقس الجافّ، عندما تزداد نسبة تبخّر الماء من النبتة وذلك للحفاظ على حياتها. تنفتح الثغور بوجود الضوء وتُقفِل بغيابه، أي في الليل. كيف تصف حالة الثغور في يوم مضيء حارّ وجافّ؟

3. السوق النباتية Stems

لا تعمل الأوراق بمفردها في النباتات لكنّها مثبّتة بتراكيب تُسمّى السوق Stems.

وللسوق وظيفتان رئيستان هما: حمل الأوراق والأزهار، ونقل الماء والموادّ الغذائية إلى جميع أجزاء النبتة. وتتمّ عملية النقل في السوق عن طريق بعض الخلايا الأنبوبية التي تشكل نسيج الخشب الذي ينقل الماء والأملاح المعدنية إلى أعلى، من الجذر إلى عروق الأوراق والأزهار، وخلايا أنبوبية أخرى تشكل نسيج اللحاء الذي ينقل السكّريات من الأوراق إلى جميع أجزاء النبتة. وتُؤدّي السوق في بعض النباتات وظيفة إضافية أخرى، فتعمل كأماكن لتخزين الغذاء الزائد عن حاجة النباتات. فعلى سبيل المثال، لنبات البطاطا ساق تحت أرضية تُخزِّن كمّيات كبيرة من النشا.

1.3 أنواع السوق وأشكالها

Kinds of Stems and their Forms

وبينما يُحدِّد ترتيب الأوراق على السوق الشكل العامّ للنباتات، يعتمد حجم النباتات على حجم السوق. وبناء على شكل الساق وحجمها ونوعها، تُصنَّف النباتات إلى أربع فئات: نباتات عشبية Herbaceous Plants وشجيرات Shrubs ونباتات متسلِّقة (أو معترِشة) Vines وأشجار Trees. يُوضِّح الشكل (10) أمثلة على كلّ نوع من هذه النباتات.

تتنوّع السوق النباتية في قوّتها أو متانتها، فالسوق العشبية غير خشبية وتتكوّن من أنسجة ليّنة نسبيًّا مغطّاة بطبقة واقية رقيقة. تشتمل السوق الخشبية والقوية للأشجار والشجيرات على جذع وفروع وغصينات. ويُمكِنك أن تتعرّف أشجارًا وشجيرات عديدة من خلال سوقها، حتّى أثناء مواسم تساقط الأوراق. أمّا النباتات المتسلِّقة أو المعترِشة فلها سوق أسطوانية خشبية، وعادة ما تدعمها الأشجار أو دعامات أخرى.

تتّصل الأوراق بالسوق في مواضع تُسمّى العقد Nodes، وتُعرَف قطع الساق الواقعة بين كلّ عقدتين متجاورتين بالعقلات Internodes (شكل 11).

(شكل 10 – أ)
نبتة عشبية

(شكل 10 – ب)
نبتة متسلِّقة أو معترِشة

(شكل 10 – جـ)
أشجار

(شكل 10)
تنوع السوق النباتية

يبدأ النموّ في معظم السوق في تراكيب تُسمّى البراعم Buds ، وهي قد تنمو إلى أوراق أو فروع أو أزهار . وتظهر البراعم عادة في أنماط منتظِمة بين الورقة والعقدة . فعلى سبيل المثال ، تظهر البراعم على الجانبين المتقابلين في ساق النعناع ، أمّا في ساق نبات دوّار الشمس فتنمو في نمط تبادلي على طول الساق . ويُعتبَر نمط نموّ البرعم تكيّفًا يُتيح لأوراق النبات أكبر قدر من التعرّض للضوء (شكل 11) .

(شكل 11)
تتّصل الأوراق بالساق على مستوى العقد . يُنتِج الساق الأوراق والأغصان التي تكبر في البراعم . يحمل هذا الساق الأوراق عاليًا بنمط تبادلي لتتعرّض لأشعّة الشمس التي تحتاجها لعملية البناء الضوئي .

يظهر الشكل (12) أنواعًا مختلفة من السوق التي تكيفت لتخزين الطعام والسبات .

(شكل 12)
للكثير من النباتات سوق محوّرة تُخزِّن الطعام . الدرنات ، الرايزومات ، البصلات والكورمات قد تبقى كامنة خلال الأوقات الباردة أو الجافّة إلى حين عودة الظروف الملائمة للنموّ .

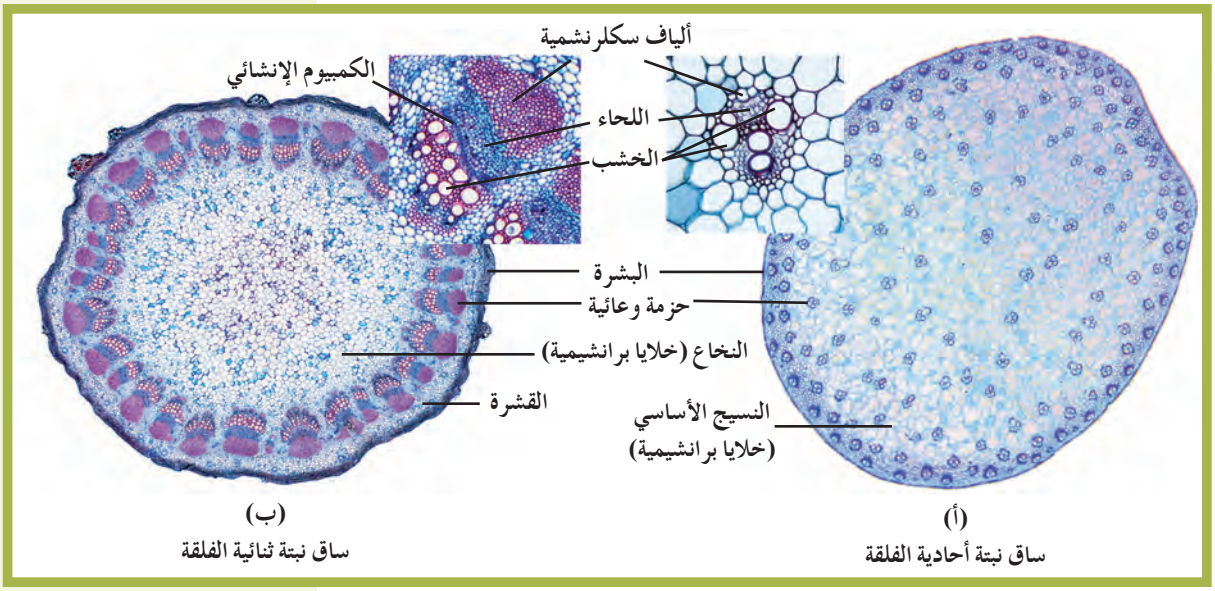
2.3 تركيب السوق The Stem Structure

يتألّف ساق النبتة ، مثل باقي أقسامها ، من ثلاثة أنواع من الأنسجة: البشرة ، الأنسجة الأساسية والأنسجة الوعائية . تُغلِّف الساق طبقة من أنسجة البشرة ذات جدر خلايا سميكة ، ويُغلِّفها من الخارج غلاف شمعي للحماية .

تحتوي سوق النباتات الزهرية أو مغطّاة البذور على نسيج وعائي يتضمّن أوعية خشبية وقصيبات ، أمّا النباتات المخروطية فتحتوي على قصيبات فحسب . لماذا يفوق عدد النباتات الزهرية عدد تلك المخروطية ، ما يجعلها تسود في الكثير من المناطق؟

على الرغم من وجود الأنسجة الوعائية في جميع أقسام النبتة ، إلّا أنّ ترتيبها يختلف من قسم إلى آخر . ففي الجذور ، يُكوِّن النسيج الوعائي أسطوانة مركزية ، بحيث يكون اللحاء مستقِلًّا عن الخشب لكنّهما يتوزّعان بنمط تبادلي . أمّا في السوق ، فيترتّب الخشب واللحاء في حزم وعائية Vascular Bundles حيث يكون اللحاء لجهة الخارج والخشب لجهة مركز الساق .

توجَد بين هذين النسيجين طبقة من الأنسجة الإنشائية تُسمّى الكمبيوم الإنشائي . يختلف ترتيب الحزم الوعائية في النباتات الزهرية أحادية الفلقة عنه في النباتات الزهرية ثنائية الفلقة كما في الشكل (13) .



(شكل 13)
يختلف توزيع الحزم الوعائية في سوق النباتات أحادية الفلقة والنباتات ثنائية الفلقة . هل توجَد حزم وعائية مبعثَرة في الساق؟

في النباتات أحادية الفلقة ، تتواجد الحزم الوعائية بشكل مبعثَر بين خلايا الأنسجة الأساسية . وتضمّ الأنسجة الأساسية خلايا ذات شكل واحد معظمها من الخلايا البرنشمية . أمّا في النباتات ثنائية الفلقة ، فتتوزّع الحزم الوعائية بشكل دائري منظَّم لتُشكِّل حلقة حول مجموعة من الخلايا البرنشمية الموجودة في مركز الساق ، والتي تُسمّى النخاع Pith . تُحيط بحلقة الحزم الوعائية طبقات من الخلايا البرنشمية تمتدّ إلى البشرة وتُسمّى القشرة cortex .

4. الجذور Roots

الجذر هو ذلك الجزء من النبتة الذي ينمو تحت سطح التربة ، ويُؤدّي وظيفتين أساسيتين هما: امتصاص الماء والعناصر المعدنية من التربة ، وتثبيت النبات بقوّة في التربة (شكل 14) . كما أنّ بعض أنواع الجذور تُخزِّن الغذاء الفائض عن حاجة النباتات .

(شكل 14)
على الرغم من أثر الرياح السائدة التي جعلت فروع هذه الشجرة تنمو منحرفة إلى الجوانب ، فالجذور العميقة لهذه الشجرة تُثبّتها بإحكام في مكانها .

1.4 أنواع الجذور وأشكالها Kinds of Roots and their Forms

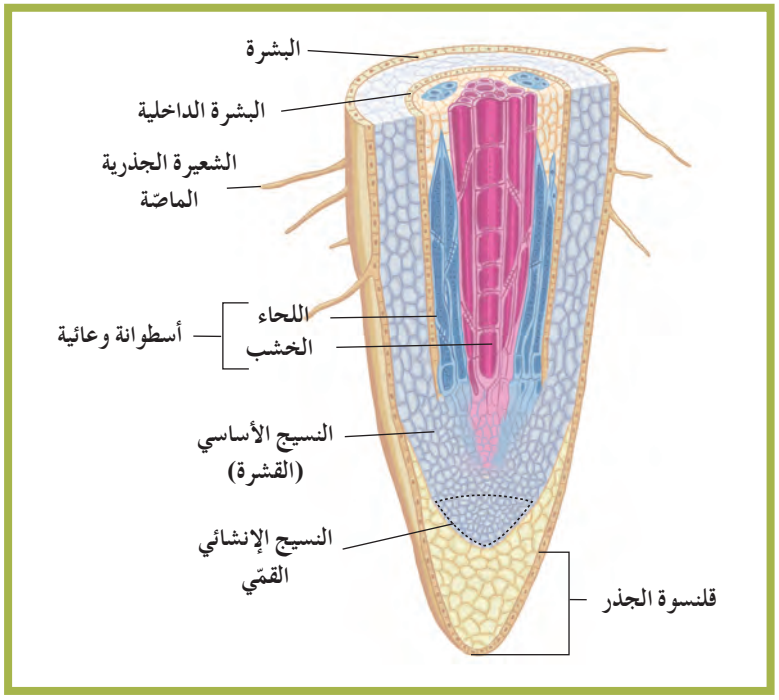
يوجَد نوعان شائعان من الجذور كما ترى في الشكل (15) . أحدهما هو **الجذر الوتدي Taproot الموجود في النباتات ثنائية الفلقة ، وهو جذر مركزي كبير الحجم يحمل الكثير من الجذور الجانبية التي تتفرّع منه .** ويُمكِن أن تنمو الجذور الوتدية عميقًا تحت الأرض لتمتصّ المياه الجوفية . فإذا حاولت أن تنزع أحد النباتات مثل الفول أو الملوخية من التربة ، ستعرف أنّ الجذر الوتدي يُثبِّت النبات بقوّة في التربة .

ويُمكِنك أن ترى مثالًا لقوّة الجذر الوتدي في الشكل (14).
تقوم بعض النباتات مثل الجزر والبنجر بتخزين كمّيات كبيرة من الغذاء في جذورها الوتدية لكي تستخدمها لإنتاج الأزهار والثمار. إلّا أنّه عادة ما يحصد المزارعون هذه الجذور قبل أن يحدث الإزهار.

النوع الآخر من الجذور هو **الجذر الليفي Fibrous Root الذي يبدو في شكل كتلة من التراكيب الخيطية الرفيعة والقصيرة**. وغالبًا ما تنمو الجذور الليفية في السنتيمترات القليلة العلوية من التربة فقط حيث تمتصّ الماء والعناصر المعدنية من الطبقة السطحية للتربة. ولكن على مساحة كبيرة، ولكون العديد من هذه الجذور يلتفّ حول حبيبات التربة ويحيط بها بإحكام، تُصبِح هذه الجذور ذات فائدة كبيرة في منع تآكل الطبقات السطحية للتربة. وتُعتَبر الحشائش مثالًا نموذجيًّا للنباتات ذات الجذور الليفية.

2.4 تركيب الجذور Root Structure

تحتوي الجذور على ثلاثة أنواع من الأنسجة: البشرة (النسيج الجلدي)، الأنسجة الأساسية والأنسجة الوعائية. تحيط بالجذر طبقة خارجية من نسيج البشرة وأسطوانة مركزية من الأنسجة الوعائية Vascular Cylinder. تمتدّ بين البشرة والأسطوانة المركزية الوعائية مساحة واسعة تتضمّن خلايا أساسية.



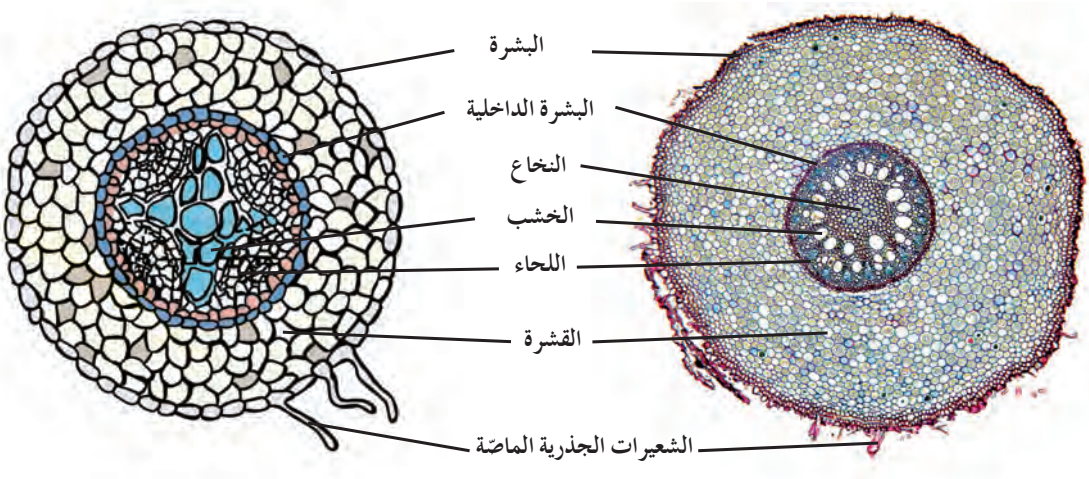
(شكل 16)
يتألّف الجذر من أسطوانة وعائية يُحيط بها النسيج الأساسي والبشرة. هذا المقطع الطولي لجذر نبتة ثنائية الفلقة يُظهِر خلايا الخشب المركزي الذي يتوزّع في نمط شعاعي.

(شكل 15 – أ)
جذر ليفي

(شكل 15 – ب)
جذر وتدي

(شكل 15)
قارن بين هذين النوعين من الجذور وصِفْ شكلَيهما. أيّ نوع منهما ينمو إلى عمق أكبر في التربة؟

يُؤدّي الجذر دورًا أساسيًّا في امتصاص الماء والأملاح المعدنية ونقلها .
يُظهِر الشكل (16) مجموعة من الخلايا الوعائية مرتّبة في نمط شعاعي .
ينمو الجذر في الطول ويُنتِج النسيج الإنشائي القمّي Apical Meristem خلايا جديدة بالقرب من قمّة الجذر . تُغطّي هذه الخلايا الجديدة الهشّة قلنسوة الجذر Root Cap التي تحمي الجذر .
تُؤدّي بشرة الجذر دورًا مزدوجًا من ناحية حماية الأنسجة الداخلية ومن ناحية امتصاص الماء . تحدث معظم عملية الامتصاص عند أطراف الجذر في منطقة التمايز Zone of Differentiation حيث تمايزت خلايا البشرة إلى شعيرات جذرية ماصّة Absorbing Root Hairs .
هذه الشعيرات عبارة عن تراكيب أنبوبية دقيقة الحجم تنمو من الأغشية الخلوية لبعض خلايا البشرة في الجذر . وتُؤدّي هذه الشعيرات دورًا في زيادة مساحة السطح الماصّ للماء بدرجة كبيرة . تمتدّ مباشرة إلى الداخل من البشرة ، طبقة إسفنجية من النسيج الأساسي تُسمّى القشرة Cortex لتصل إلى حلقة من الخلايا تُسمّى طبقة البشرة الداخلية (الأندوديرمس) Endodermis . تُحيط هذه البشرة الداخلية بالأسطوانة المركزية الوعائية .
ويتوزّع كلّ من اللحاء والخشب في هذه الأسطوانة بشكل تبادلي .
يختلف ترتيب كلّ من نسيجي الخشب واللحاء في النباتات أحادية الفلقة وفي النباتات ثنائية الفلقة . ففي الأولى ، يكوّن النسيج الوعائي حلقة تحيط بمساحة مركزية من الأنسجة الأساسية البرنشمية التي تُسمّى النخاع . أمّا في الثانية ، فيكون النسيج الوعائي قلبًا مصمتًا في مركز الجذر له أذرع هي عبارة عن الخشب ، ويتوزّع اللحاء بين هذه الأذرع (الشكل 17) .



(أ) مقطع عرضي من جذر نبتة أحادية الفلقة (ب) مقطع عرضي من جذر نبتة ثنائية الفلقة

(شكل 17)
اختلاف جذر النباتات

فقرة إثرائية

علم الأحياء في حياتنا اليومية

ما العشب الضارّ؟

يعتقد أناس كثيرون أنّهم يعرفون العشب الضارّ . هل تعرف ما هي النباتات التي تعتقد أنّها أعشاب ضارّة؟ الحقيقة أنّ العشب الضارّ هو أيّ نبات ينمو على الإطلاق حيث لا يُرغَب في وجوده .

5. الأزهار والبذور والثمار Flowers, Seeds and Fruits

على الرغم من أنّ الكثير من النباتات لا تُزهِر، إلّا أنّ الناس عادة ما يصفون النباتات النموذجية بوجود الأزهار. **والزهرة Flower هي عضو التكاثر الجنسي في النبات الزهري، ووظيفتها الأساسية هي إنتاج الأمشاج الذكرية (الخلايا الذكرية في حبوب اللقاح) والأمشاج المؤنّثة (البيض)، وتُشكِّل أيضًا التركيب الذي تتمّ فيه عملية الإخصاب.**

وعلى عكس معظم الحيوانات، تعيش النباتات عادة حياتها بالكامل في مكان واحد من دون أن تتنقّل، ما يُسبِّب صعوبة في تكاثرها جنسيًّا. لذلك بعض تكوينات الأزهار قابلة للتكيّف، ما يُمكِّنها من أن تتكاثر جنسيًّا على الرغم من بقائها في مكان واحد.

ويُعتبَر إنتاج النباتات لحبوب اللقاح مثالًا لأحد تلك التكيّفات. فيبدأ التكاثر الجنسي في النباتات الزهرية عندما تنتقل حبوب اللقاح، وهي التراكيب الحاملة للأمشاج (جاميتات) الذكرية، إلى الأجزاء التي تحتوي على البيض في الزهرة. وتُسمّى **عملية انتقال حبوب اللقاح من الأجزاء المذكّرة إلى الأجزاء المؤنّثة في الزهرة بالتلقيح Pollination**. ويُمكِن أن تنتقل حبوب اللقاح بواسطة الرياح أو الماء أو الحشرات أو بعض الكائنات الأخرى. وتُنتِج النباتات كمّيات كبيرة من حبوب اللقاح لضمان حدوث عملية التلقيح (شكل 18).

(شكل 18)
الأزهار والثمار

أمّا عملية **الإخصاب Fertilization**، **فهي اتّحاد الخلايا المذكّرة مع الخليّة البيضية، وهي تحدث بعد حدوث عملية التلقيح.** ونتيجة هذه العملية هي تكوّن الزيجوت (أو اللاقحة) التي تنمو إلى جنين النبتة الذي تنمو حوله الأنسجة لتُغذّيه، وينمو الاثنان معًا ليُكوّنا البذرة. لذلك فإنّ **البذرة Seed عبارة عن تركيب تكاثري يتكوّن من جنين النبتة وغذائها المدّخَر.** وبحدوث عملية الإنبات تتكوّن النباتات الجديدة.

للنباتات العديد من الطرق لنثر بذورها، وتُسبِّب هذه الطرق انتشار النباتات الجديدة، الناتجة عن التكاثر الجنسي، إلى مناطق أكثر اتّساعًا من جيل إلى الجيل الذي يليه. وبتزايد انتشار النباتات إلى مناطق أكثر اتّساعًا، تتزايد فرص حفظ الأنواع النباتية وبقائها على قيد الحياة وبالتالي عدم انقراضها.

في النباتات الزهرية، تتكوّن البذور داخل تركيب يُسمّى **الثمرة Fruit**، **حيث تُحيط الثمار بالبذور وتحميها، وتُساعِد في انتشارها لمواطن جديدة.** وتوجَد تنوّعات كثيرة من هذه الثمار، منها الخوخ والطماطم والجوز والعنب وغيرها. ويُمكِنك أن تتعرّف التراكيب المختلِفة التي تدخل في تكوين ثمرة البرتقال في الشكل (18). ما الثمار والبذور الأخرى التي تتناولها كجزء من طعامك؟

فقرة إثرائية

العلم والمجتمع والتكنولوجيا

مزارعون لبعض الوقت

هل تتوقّع أنّ العمل في مزرعة في يوم إجازتك الأسبوعية يُمكِن أن يكون مبهجًا ومربحًا في الوقت نفسه؟ ففي العام 1992، قام أحد معلّمي العلوم في إحدى المدارس الثانوية بدعوة طلّابه، بعد التنسيق مع معلّم التربية الزراعية، إلى ربح دخل إضافي عن طريق زراعة بعض النباتات مثل الجزر والفول السوداني وغيرها، وبيع منتَجاتها في المدرسة. وفي نهاية العام الأوّل، حقّق الطلّاب المشاركون في المشروع دخلًا مربِحًا. وبعد تقسيم الربح بين أفراد المجموعة الخمسة، تساءلوا: كيف يزيدون أرباحهم؟ فقرّر الطلّاب توسيع خطّ الإنتاج بتصنيع منتَجاتهم.

وبعد عرض الأمر على إدارة المدرسة، خُصِّصت لهم قطعة أرض غير مُستغَلّة من حديقة المدرسة، وأمدَّتهم بالدعم المالي اللازم. وحمل المنتَج الأوّل للطلّاب اسم «من الحقل إليك!»، وهو عبارة عن مخفوق الفول السوداني الذي لاقى رواجًا كبيرًا عند عرضه للبيع في المدرسة. واتّفقت إدارة المدرسة مع إحدى هيئات التجارة المحلية أن تتولّى تسويق هذا المنتَج مع هامش من الربح. وبحلول العام 1995، استطاع الطلّاب التبرّع بمبالغ مالية لصندوق المنح التعليمية لمساعدة زملائهم.

وتُعَدّ تجربة هؤلاء الطلّاب جزءًا من الاتّجاه العالمي نحو زراعة المحاصيل في مساحات صغيرة بعيدًا عن المجتمعات الزراعية. وقام أناس كثيرون بزراعة المحاصيل على جوانب الطريق وفي الشرفات وفي التجمّعات المدنية وفي أيّ مكان تصلح فيه زراعة النباتات. هذا وقد تضمّن أحد التقارير الحديثة للأمم المتّحدة أنّ واحدًا من كلّ ثلاثة أشخاص مقيمين في المدن على مستوى العالم يزرع بعض أنواع الموادّ الغذائية.

وبتنوّع الدافع لزراعة المحاصيل، يزرع بعض الناس لتغذية عائلاتهم، والبعض يبيعون محاصيلهم للربح، والبعض الآخر يشترك بجزء أو بكلّ ما يُنتِجه مع بنوك الغذاء والمحتاجين. هل لديك حديقة؟ ماذا تفعل بمحاصيلك؟

مراجعة الدرس 1-1

1. صِفْ التراكيب الأساسية للأوراق النباتية والسوق والجذور .
2. قارِن بين الوظائف الأساسية للأوراق النباتية والسوق والجذور والأزهار .
3. أعدّ جدولًا لمقارنة تراكيب النباتات الزّهريّة أحادية الفلقة وثنائية الفلقة .
4. **سؤال للتفكير الناقد:** افترِض أنّ نباتًا غابت عنه السوق . ما نوع الصعوبات التي يُواجِهها لمنافسة النباتات الأخرى؟
5. **أضِف إلى معلوماتك:** في أيّ من تراكيب الورقة النباتية تحدث عملية البناء الضوئي؟ صِفْ باختصار هذه التراكيب .

التغذية في النباتات
Nutrition in Plants

الأهداف العامة

- يُحدِّد الموادّ والتراكيب المُستخدَمة في عملية البناء الضوئي.
- يُقارِن بين خطوات عملية البناء الضوئي التي تستلزم وجود الضوء والخطوات التي لا تستلزم ضوءًا.
- يصف تركيب الورقة النباتية، ويُحدِّد أين تحدث عملية البناء الضوئي.
- يُفسِّر دور كلّ من ضوء الشمس والماء وثاني أكسيد الكربون والكلوروفيل في عملية البناء الضوئي.

(شكل 19)

تُبيِّن الأحداث التاريخية أنّ المجاعات تُمثِّل خطرًا داهمًا على حياة الإنسان والحيوان معًا، لأنّ تلك الكائنات تُصبِح غير قادرة على توفير متطلّباتها من الطاقة لكي تبقى على قيد الحياة، على عكس بعض الكائنات الأخرى التي تستطيع توفير متطلّباتها كالكائنات ذاتية التغذية (شكل 19). فمنذ حوالى 3 مليارات سنة، تطوّرت لدى بعض الكائنات القدرة على استخدام مصدر الطاقة اللامتناهي وهو الشمس. كيف تستخدم هذه الكائنات ضوء الشمس لتصنع منه الغذاء لنفسها ولغيرها من الكائنات؟

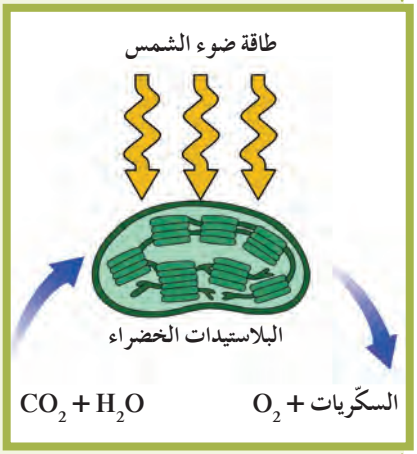
1. الطاقة المستمَدّة من ضوء الشمس
Energy from Sunlight

لا توجَد حياة على الأرض من دون الطاقة المستمَدّة من ضوء الشمس. فالكائنات الحيّة بحاجة للطاقة لكي تنمو وتتكاثر وتستمرّ في حياتها. وهي تحصل على الطاقة اللازمة لها من الطاقة الكيميائية المختزَنة في الغذاء والتي مصدرها عملية البناء الضوئي التي تقوم بها الكائنات ذاتية التغذية.

فالبناء الضوئي Photosynthesis هو العملية التي تستخدم فيها الكائنات ذاتية التغذية (التي تحتوي على الكلوروفيل) طاقة ضوء الشمس لبناء الكربوهيدرات (السكّريات) من الموادّ غير العضوية البسيطة، مثل ثاني أكسيد الكربون والماء.

وغاز الأكسجين في الهواء ما هو إلّا نتاج عملية البناء الضوئي الذي تراكم على مرّ العصور الماضية. فعملية البناء الضوئي تُعتَبر القاعدة الأساسية للحياة حيث يتمّ بواسطتها إنتاج الغذاء وتحرير الأكسجين اللازم لتنفّس جميع الكائنات الحيّة (شكل 20). فلولاها لما استمرّت الحياة على سطح كوكب الأرض.

تحدث عملية البناء الضوئي في النباتات الخضراء والطحالب وحيدة الخليّة وبعض الأنواع من الطلائعيات كالبكتيريا الزرقاء Cyanobacteria، والتي تُعتبَر جميعها كائنات ذاتية التغذية. تحدث عملية البناء الضوئي في النباتات الخضراء في **البلاستيدات الخضراء فهي عضيّات خلوية توجد بكمّيات كبيرة في خلايا الأوراق النباتية** (شكل 20).



(شكل 20)
البناء الضوئي عبارة عن سلسلة من التفاعلات التي تستخدم الطاقة من الشمس لتحويل الماء وثاني أكسيد الكربون إلى السكّريات والأكسجين. تحدث عملية البناء الضوئي داخل العضيّات المعروفة بالبلاستيدات الخضراء.

فقرة إثرائية

علم الأحياء والبيئة

بكتيريا ذاتية التغذية عن طريق البناء الكيميائي

بعض أنواع البكتيريا تحصل على غذائها عن طريق استخدام الطاقة الكيميائية الناتجة عن أكسدة مركّبات غير عضوية مثل كبريتيد الهيدروجين (H_2S) وتحليلها، وذلك لاختزال ثاني أكسيد الكربون وتثبيته في مركّبات كربوهيدراتية. لكن هنا تقوم البكتيريا بإنتاج نواتج غير الأكسجين. فمثلًا، خلال عملية البناء الكيميائي لكبريتيد الهيدروجين، يُنتَج الكبريت (S) بدلًا من الأكسجين (O_2).

البناء الضوئي

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{الشمس}]{\text{طاقة ضوء}} \text{سكّريات} + O_2$$

البناء الكيميائي

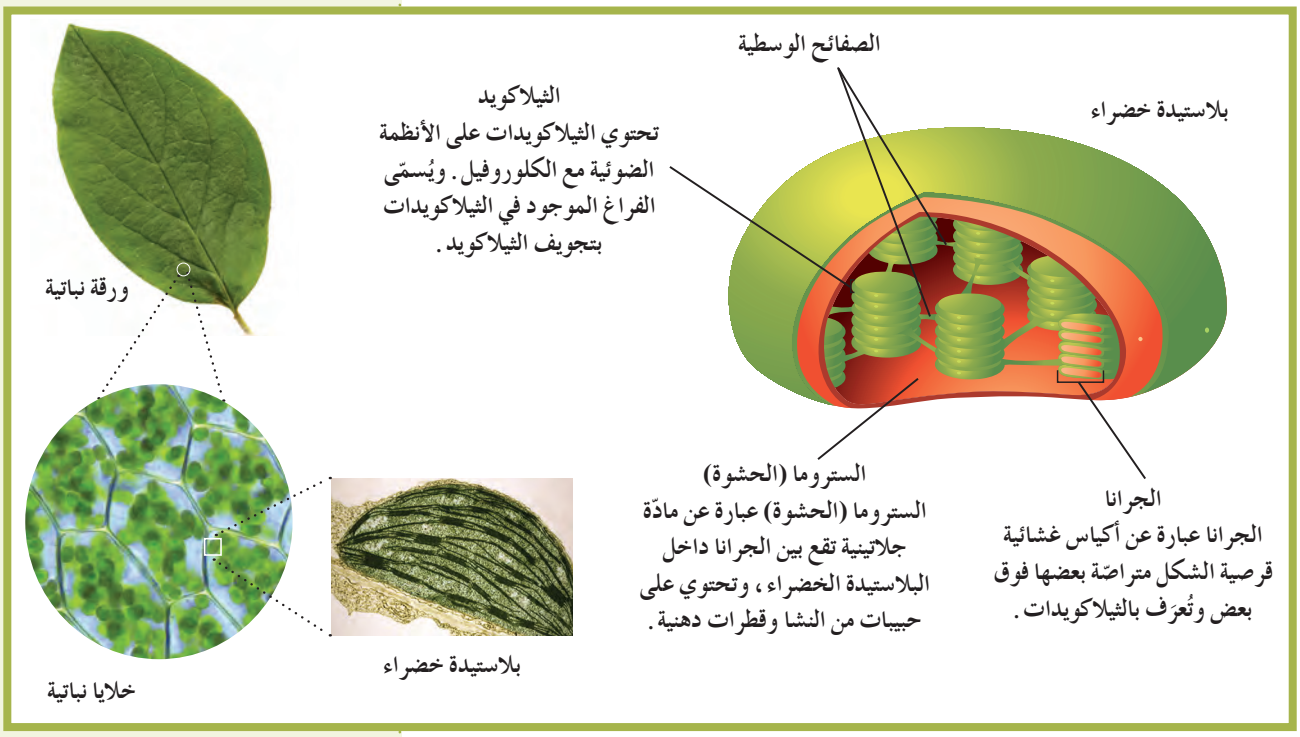
$$CO_2 + O_2 + H_2S \longrightarrow \text{سكّريات} + S + H_2O$$

تمّ اكتشاف هذا النوع من البكتيريا في العام 1977 في قاع المحيطات، بالقرب من فوّهات البراكين التي تخرج منها كمّيات كبيرة من غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S). هناك تعيش أنواع من بكتيريا الكبريت، وتقوم بتحويل هذا الغاز إلى طاقة لصنع منتَجات عضوية تتغذّى عليها ديدان كبيرة الحجم وغريبة الشكل، بالإضافة إلى أنواع أخرى من الحيوانات.

2. البلاستيدات الخضراء Chloroplasts

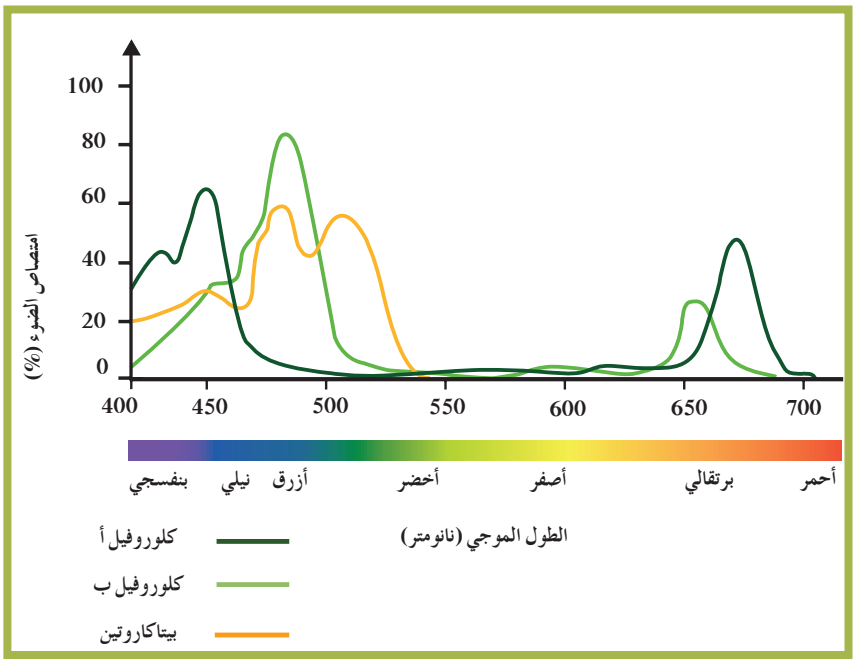
توجَد في الخلايا النباتية عضيّات تتخصَّص في القيام بعملية البناء الضوئي وتُعرَف بالبلاستيدات الخضراء. يُوضِّح الشكل (21) كيف **تتركّب البلاستيدات الخضراء من غشاء مزدوج يُحيط بمادّة جيلاتينية عديمة اللون تُعرف بالستروما (الحشوة) Stroma.** تحتوي الستروما على تراكيب تُعرف **بالجرانا Grana، وهي عبارة عن تراكيب قرصية الشكل متراصّة بعضها فوق بعض** (كلّ مجموعة هي جرانم Granum).

ويُعرَف القرص الواحد منها باسم الثيلاكويد Thylakoid التي يصل عددها إلى 15 قرصًا أو أكثر في الجرانا الواحدة. والقرص المعروف بالثيلاكويد مجوَّف من الداخل، ويحتوي تجويفه على صبغة الكلوروفيل وجميع الأصباغ الأخرى اللازمة لعملية البناء الضوئي. وتمتدّ حافّات الثيلاكويد خارج حدود الجرانا لتُشكِّل الصفائح الوسطية Middle Lamellae، لتلتقي بحافّات ثيلاكويد أخرى في جرانا مجاورة (شكل 21). بذلك، تزداد مساحة سطح الأقراص المُعرَّضة للضوء.



(شكل 21)
تراكيب البناء الضوئي

تحتوي البلاستيدة الخضراء على عدّة أصباغ أساسية في عملية البناء الضوئي. أهمّها صبغ الكلوروفيل. **يُعتبَر الكلوروفيل Chlorophyll الصبغة الأساسية لعملية البناء الضوئي في جميع النباتات.** هناك نوعان من صبغ الكلوروفيل: كلوروفيل «أ» Chlorophyll a وكلوروفيل «ب» Chlorophyll b اللذان يمتصّان الأطوال الموجية البنفسجية والزرقاء والحمراء من الطيف المرئي لضوء الشمس (شكل 22) التي تمدّ عملية البناء الضوئي بالطاقة اللازمة لها. ولا تمتصّ أصباغ الكلوروفيل الضوء الأخضر بل تعكسه، لذلك تبدو معظم النباتات خضراء اللون.



(شكل 22)
يُوضّح هذا الشكل الأطوال الموجية للضوء التي تُمتَصّ بواسطة الكلوروفيل ونوعين من الأصباغ المساعدة. ما اللون الذي لم يُمتَصّ؟

3. آلية البناء الضوئي
Mechanism of Photosynthesis

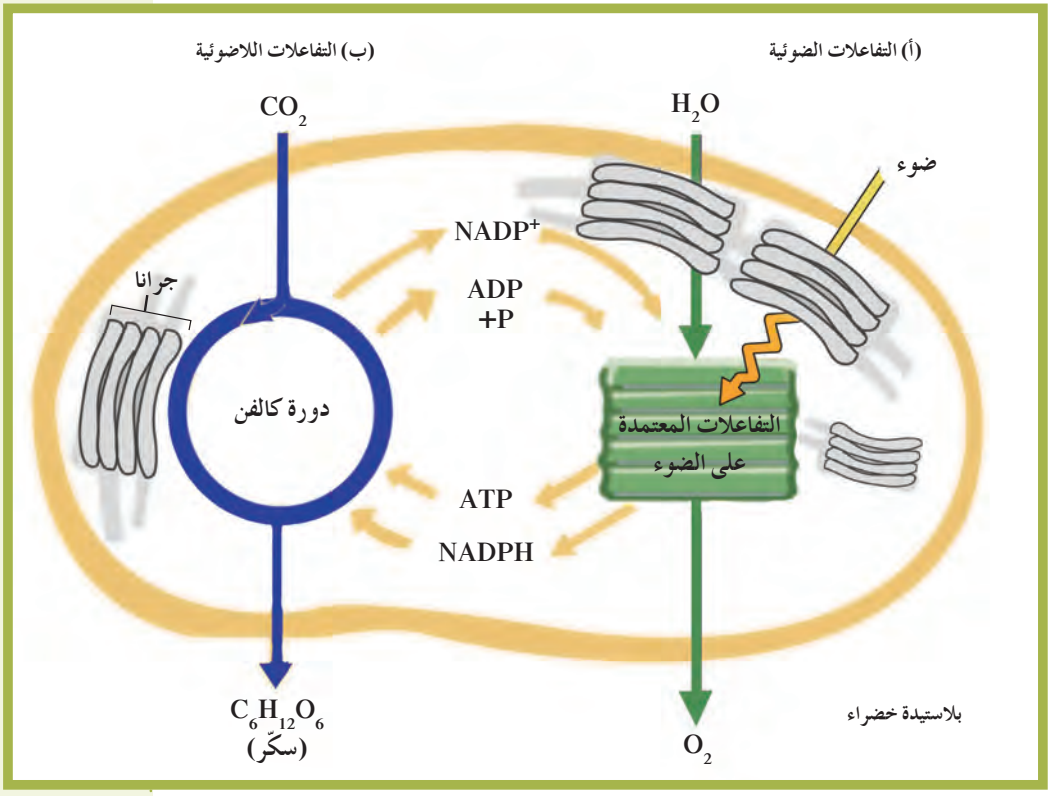
تستخدم النباتات ذاتية التغذية الطاقة الضوئية للشمس أثناء عملية البناء الضوئي لصنع جزيئات من الموادّ الكربوهيدراتية من الماء وثاني أكسيد الكربون، ويُنتَج غاز الأكسجين كمنتَج ثانوي لهذه العملية. ويُمكِن تلخيص عملية البناء الضوئي في المعادلة الكيميائية التالية:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

في هذه المعادلة، يُنتَج سكّر الجلوكوز سداسي الكربون $C_6H_{12}O_6$. ويُمكِن للطاقة المختزَنة في الروابط التساهمية للجلوكوز والكربوهيدرات الأخرى أن تُستخدَم لاحقًا لإنتاج جزيئات من مركّب الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) الذي يُعتَبر عُملة الطاقة للخليّة الحيّة.

لا تتمّ عملية البناء الضوئي كلّها دفعة واحدة، بل تحدث على مرحلتين كما هو موضَّح في الشكل (23). وتُعرَف المرحلة الأولى بالتفاعلات المعتمِدة على الضوء (التفاعلات الضوئية) والثانية بالتفاعلات غير المعتمِدة على الضوء (التفاعلات اللاضوئية) أو دورة كالڤن. وتحدث كلّ مرحلة منهما في موقع مختلِف داخل البلاستيدة الخضراء. تبدأ التفاعلات الضوئية بامتصاص الكلوروفيل للضوء في الجرانا، وخلالها تنشطر جزيئات الماء إلى أيونات هيدروجين (H^+)، وإلكترونات وغاز الأكسجين (O_2). ويتكوّن خلال هذه المرحلة مركّبان كيميائيان هما: ATP وNADPH.

تلي المرحلة الأولى التفاعلات غير المعتمِدة على الضوء (دورة كالڤن) التي يُستخدَم فيها مركّبا ATP وNADPH الناتجان عن التفاعلات المعتمِدة على الضوء. وخلال تفاعلات هذه المرحلة، يتمّ اختزال غاز CO_2 بواسطة الهيدروجين ليتكوّن السكّر.



(شكل 23)

تتمّ عملية البناء الضوئي في مرحلتين: التفاعلات المعتمِدة على الضوء ودورة كالڤن. في أيّ مرحلة ينطلق غاز الأكسجين؟ وفي أيّ مرحلة تُنتَج السكّريات؟

1.3 التفاعلات المعتمِدة على الضوء (التفاعلات الضوئية)
Light–Dependent Reactions

التفاعلات المعتمدة على الضوء Light–Dependent Reactions هي المرحلة الأولى من عملية البناء الضوئي، وكما يدلّ اسمها، هي تعتمد في حدوثها على ضوء الشمس. وتحدث هذه التفاعلات في مناطق متنوِّعة من غشاء الثيلاكويد تُعرَف بالنظام الضوئي Photosystem I (1) والنظام الضوئي Photosystem II (2)، وهما وحدات جامعة للضوء في البلاستيدات الخضراء.

تبدأ عملية البناء الضوئي عندما يُمتَصّ الضوء بواسطة الكلوروفيل والأصباغ الأخرى في النظام الضوئي (2) الذي يستخدم بعضًا من طاقة هذا الضوء لشطر جزيئات الماء، بواسطة بعض الإنزيمات، إلى أيونات هيدروجين (H^+) وغاز أكسجين (O_2) وإلكترونات عالية الطاقة (e^-). ينتشر معظم غاز الأكسجين الناتج إلى خارج الأوراق النباتية ليُصبِح جزءًا من الهواء الذي نتنفّسه.

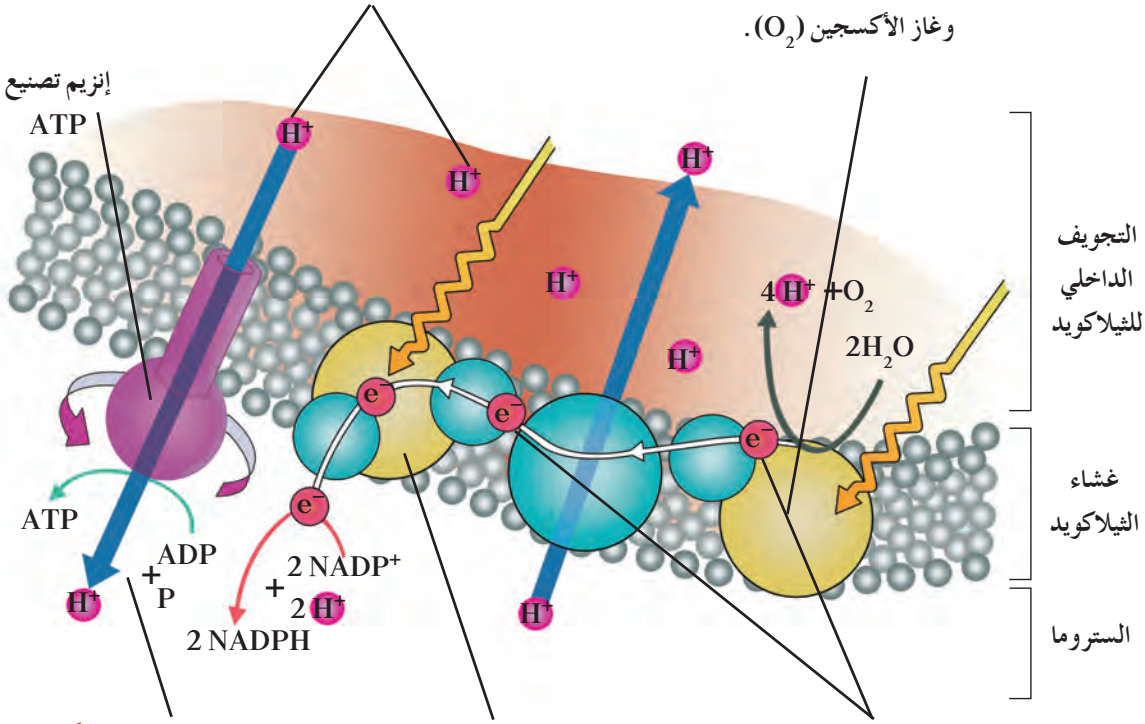
وبتتبّع مسار الإلكترونات في الشكل (24)، نجد أنّ إلكترونات الكلوروفيل في النظام الضوئي (2) تكتسب بعضًا من طاقة ضوء الشمس وتُصبِح إلكترونات عالية الطاقة تتحرَّك من النظام الضوئي (2) إلى النظام الضوئي (1)، عبر مجموعة من المركَّبات الوسطية الموجودة في غشاء الثيلاكويد، والتي تُعرَف بسلسلة نقل الإلكترونات Electrons Transport Chain. تُزوِّد هذه الإلكترونات سلسة نقل للإلكترونيات بالطاقة اللازمة للنقل النشط لأيونات الهيدروجين من الستروما إلى داخل تجويف الثيلاكويد. ما الدور الذي يُؤدّيه تدرّج تركيز أيونات الهيدروجين (H^+) الناتج في عملية إنتاج مركَّب ATP؟

(أ) النظام الضوئي (2)

يُمتَصّ الضوء بواسطة الكلوروفيل أو الأصباغ الأخرى في النظام الضوئي (2)، ثمّ تنتقل الطاقة إلى الإلكترونات التي تمرّ بسلسلة نقل الإلكترونات. تقوم إنزيمات هذا النظام الضوئي بشطر جزيئات الماء إلى إلكترونات عالية الطاقة، وأيونات هيدروجين (H^+) وغاز الأكسجين (O_2).

(د) تحرّك أيونات الهيدروجين

يمتلئ السطح الداخلي لغشاء الثيلاكويد بأيونات الهيدروجين موجبة الشحنة. يجعل هذا الفعل السطح الخارجي لغشاء الثيلاكويد مشحونًا بشحنة سالبة وسطحه الداخلي مشحونًا بشحنة موجَبة.



(ب) سلسلة نقل الإلكترون

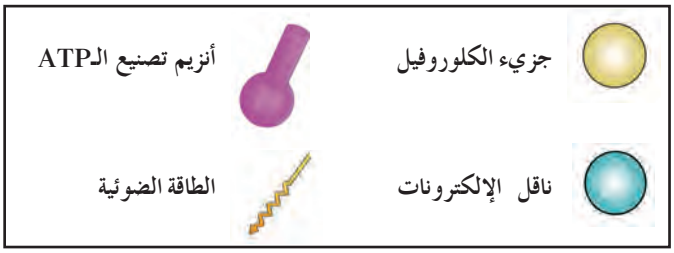
تنتقل الإلكترونات عالية الطاقة من النظام الضوئي (2) خلال سلسلة نقل الإلكترونات إلى النظام الضوئي (1). تستخدم الجزيئات في سلسلة نقل الإلكترونات الطاقة من الإلكترونات لكي تنقل أيونات الهيدروجين (H^+) من الستروما إلى داخل الثيلاكويد.

(جـ) النظام الضوئي (1)

كما في النظام الضوئي (2)، تنقل الأصباغ طاقة الضوء إلى الإلكترونات المحرَّرة في النظام الضوئي (2) ثمّ تلتقط هذه الإلكترونات عالية الطاقة بواسطة $NADP^+$ ليتكوّن NADPH، وهو مركَّب يُستخدَم خلال عملية صنع سكّر الجلوكوز.

(هـ) تكوين مركَّب ATP

عند مرور أيونات الهيدروجين خلال بروتين الغشاء المعروف بإنزيم تصنيع ATP، يربط جزيئات ADP مع مجموعات فوسفات (باستخدام الطاقة المنطلِقة من تدفّق أيونات الهيدروجين) فتتكوّن جزيئات ATP.



(شكل 24)

تستخدم التفاعلات الضوئية طاقة ضوء الشمس لتُنتِج ATP وNADPH وغاز الأكسجين. تحدث هذه التفاعلات في أغشية الثيلاكويد في البلاستيدة الخضراء.

2.3 التفاعلات غير المعتمدة على الضوء (دورة كالڤن) (التفاعلات اللاضوئية)

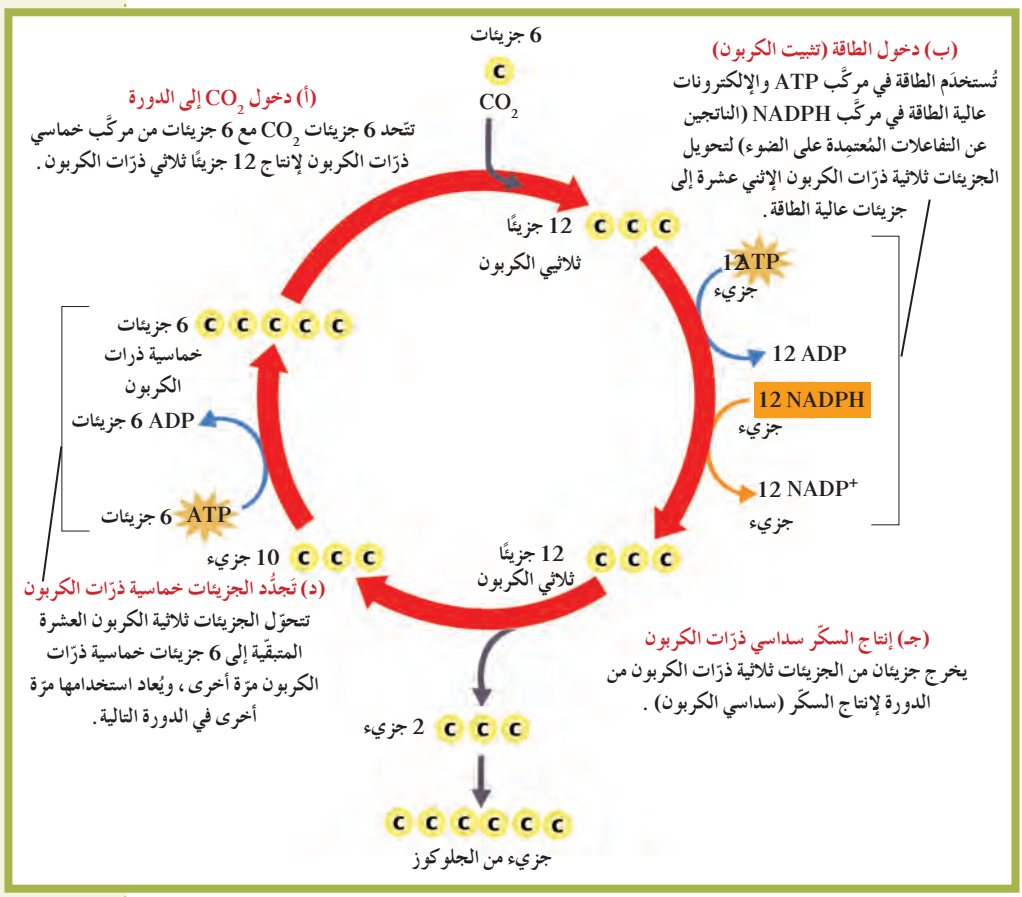
Light–Independent Reactions (Calvin Cycle)

التفاعلات غير المعتمدة على الضوء (دورة كالڤن)

Light–Independent Reactions (Calvin Cycle)

هي المرحلة الثانية من عملية البناء الضوئي وتحدث في ستروما (حشوة) البلاستيدات الخضراء خارج الجرانا . تعتمد هذه التفاعلات على نواتج مجموعة التفاعلات المعتمِدة على الضوء (NADPH وATP) وعلى توفّر غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 (شكل 25) . وعلى عكس التفاعلات المعتمِدة على الضوء، لا تعتمد هذه التفاعلات على وجود الضوء كي تحدث، وهذا هو سبب إعطائها هذا الاسم . وسُمِّيت دورة كالفن نسبة للعالم ميلڤن كالڤن الذي اكتشفها .

ويُمكِنك تتبّع هذه السلسلة من التفاعلات غير المعتمِدة على الضوء أو دورة كالڤن في الشكل (25)، حيث يُستخدم مركَّب NADPH كمصدر للهيدروجين اللازم لتثبيت غاز CO_2 في صورة مادّة كربوهيدراتية . ويتمّ ذلك باستخدام الطاقة المُختزَنة في جزيئات ATP، حيث يتكوّن جزيء واحد من سكّر الجلوكوز مقابل 6 جزيئات من غاز CO_2 التي تدخل إلى هذه التفاعلات .



(شكل 25)

تستخدم دورة كالڤن كلًّا من ATP وNADPH لإنتاج السكّريات عالية الطاقة . وتحدث هذه الدورة في ستروما (حشوة) البلاستيدات الخضراء ولا يتطلّب حدوثها وجود الضوء .

4. مصير السكّريات الناتجة عن البناء الضوئي

The Fate of Sugars Resulting from Photosynthesis

ما الذي يحدث لجميع جزيئات السكّر المتكوِّنة أثناء عملية البناء الضوئي؟ تحتاج الكائنات ذاتية التغذية، والكائنات غير ذاتية التغذية إلى الطاقة للقيام بوظائفها الحيوية مثل النموّ والتكاثر. فالكائنات ذاتية التغذية وغير ذاتية التغذية تُحوِّل طاقة الجلوكوز إلى طاقة تختزن في ATP، وتستخدم هذه الطاقة لأداء جميع الوظائف الحيوية.

وبإنتاج جزيئات السكّر، تكون الكائنات ذاتية التغذية أوّل من يستهلكها. فالكبيرة منها مثل النباتات بحاجة إلى توفير الطاقة لجميع خلاياها، لذلك فإنّ للنباتات الكبيرة أجهزة لنقل السوائل التي تنقل السكّريات على شكل سكّروز وجزيئات عالية الطاقة من الأوراق إلى الخلايا الأخرى في النباتات.

تستخدم النباتات بعضًا من الجلوكوز للنموّ. فعلى سبيل المثال، تُكوِّن النباتات جزيئات تركيبية مثل السيليلوز عن طريق ربط العديد من جزيئات الجلوكوز في سلاسل طويلة.

ويُعَدّ السيلّيلوز أكثر الموادّ وفرة تُنتِجها النباتات الحيّة، وهو يُكسِب التراكيب النباتية القوّة والصلابة. والقليل من الكائنات الحيّة فقط يُمكِنها استخدام السيلّيلوز كمصدر للطاقة. والبكتيريا التي تعيش في القنوات الهضمية للأبقار تُعتبَر مثالًا للكائنات التي تستطيع استخدام هذه المادّة.

تختزن معظم النباتات الجلوكوز عالي الطاقة في صورة نشويات لا تُستخدَم مباشرةً لإنتاج الطاقة أو التراكيب المختلِفة. ومثل السيلّيلوز، تتكوّن النشويّات من سلاسل من جزيئات الجلوكوز، ولكنّها ترتبط بعضها ببعض بطريقة مختلِفة عن ارتباطها في جزيئات السيلّيلوز. توجَد النشويات في الأغذية النباتية مثل الذرة والبطاطا والقمح.

الكائنات غير ذاتية التغذية تستهلك النباتات والكائنات ذاتية التغذية الأخرى لكي تحصل على النشويات. ثمّ تهضم النشويات إلى جلوكوز، وتستخدم الطاقة المختزَنة فيه من أجل احتياجاتها من الطاقة ولتكوين التراكيب المختلِفة في أجسامها. وأيّ جزيئات جلوكوز عالية الطاقة لا تُستخدَم يُمكِن أن تُختزَن مرّة ثانية كجليكوجين بواسطة الكائنات غير ذاتية التغذية.

5. العوامل المؤثِّرة في عملية البناء الضوئي

Factors Affecting Photosynthesis

تستلزم عملية البناء الضوئي عدّة عوامل أساسية: الطاقة من الشمس، الماء، ثاني أكسيد الكربون ووجود الكلوروفيل.

فقرة إثرائية

علم الأحياء في حياتنا اليومية

أصل الغذاء الصحّي

تُعَدّ الكربوهيدرات معقّدة التركيب الموجودة في الحبوب مصدر طاقة مهمًّا للإنسان. فالأرزّ والخبز والمعكرونة تُعتبَر أمثلة على الأغذية الغنية بالكربوهيدرات معقّدة التركيب.

1.5 الضوء Light

تحدث عملية البناء الضوئي في مرحلتين. فتبدأ بمرحلة امتصاص الضوء التي تحدث فقط عندما تتعرّض النبتة لضوء الشمس أو الضوء الصناعي. ويعمل الكلوروفيل والأصباغ الأخرى «كقرون استشعار ضوئية» تمتصّ طاقة الضوء وتُحوّلها إلى طاقة كيميائية، وينتج غاز O_2 خلال هذه المرحلة. أمّا المرحلة الثانية التي تُسمّى دورة كالڤن فلا تستلزم وجود الضوء لكي تتمّ. فهي تستخدم الطاقة المُختزَنة وبعض الموادّ المتكوِّنة خلال التفاعلات المعتمِدة على الضوء لتحويل CO_2 إلى سكّر بسيط مثل الجلوكوز.

بالإضافة إلى القيام بعملية البناء الضوئي، فإنّ النباتات تتنفّس. والتنفّس الخلوي عبارة عن تكسير الجزيئات مثل الجلوكوز إلى جزيئات أبسط مثل CO_2 والماء، بالإضافة إلى انطلاق الطاقة التي تستخدمها النباتات لكي تنمو وتتكاثر وتُنتِج المركّبات الضرورية. وتُعتَبر نواتج التنفّس الخلوي في النباتات هي نفسها النواتج عند الحيوانات، وهي ثاني أكسيد الكربون والماء.

تقوم النباتات بعملية البناء الضوئي والتنفّس الخلوي في الوقت نفسه. فهي تصنع الجلوكوز عن طريق عملية البناء الضوئي، وتستخدمه في الوقت نفسه، خلال التنفّس الخلوي للحصول على الطاقة. تعتمد الكمّية الصافية من السكّر المتكوِّنة بواسطة النباتات على عدّة عوامل تتضمّن معدّل التنفّس الخلوي في النباتات وكمّية الضوء المتاحة.

نقطة التعويض Compensation Point عبارة عن كمّية الطاقة الضوئية المقتنَصة أثناء عملية البناء الضوئي اللازمة لبقاء النباتات على قيد الحياة، أيّ أنّها كمّية الطاقة الضوئية التي تحتاج إليها النباتات لتوازن متطلّباتها من الطاقة. فإذا كانت كمّية السكّر التي تُنتِجها عمليّة البناء الضوئي متوازنة تمامًا مع كمّية السكّر التي تستخدمها النباتات لكي تبقى حيّة، فلن تَكون هناك طاقة مُكتسَبة أو مفقودة. أمّا إذا كان السكّر الذي تُنتِجه النباتات أكثر من الذي تستخدمه، فتكون قد اكتسبت طاقة. ويُمكِن للنباتات أن تُخزِّن الطاقة الزائدة عن حاجتها أو تستخدمها للنموّ. أمّا إذا استخدمت النباتات كمّية من السكّر أكثر من تلك التي تُنتِجها، فتكون قد فقدت طاقة. ماذا يمكن أن يحدث إذا استقبلت النباتات كمّية من ضوء الشمس أقلّ من نقطة التعويض الخاصّة بها لفترة زمنية طويلة؟

تختلف كمّية ضوء الشمس التي تحتاج إليها نباتات معيّنة لتصل إلى نقطة التعويض. فبعضها مثل قصب السكّر والحشائش المدارية الأخرى يحتاج كمّيات كبيرة من ضوء الشمس لينمو بصورة أفضل (شكل 26 – ب). أمّا نباتات أخرى مثل اللبلاب والعنب، فتحتاج إلى كمّية معتدلة فقط من ضوء الشمس، كما يُمكِنها أن تنمو في الظلّ. وتُلقَّب بعض نباتات الحدائق بنباتات الظلّ.

(شكل 26 – أ)

(شكل 26 – ب)

(شكل 26)
قصب السكّر عشب مداري يحتاج إلى الكثير من ضوء الشمس. ما وجه الشبه بين الاحتياجات الضوئية للنباتات التي تنمو تحت الأشجار الشاهقة (أ) والاحتياجات الضوئية لقصب السكّر (ب)؟

ينمو العديد من نباتات الظلّ في الغابات أسفل الأشجار الكبيرة، جنبًا إلى جنب مع الأشجار الصغيرة (شكل 26 – أ). وتنمو نباتات الظلّ والأشجار الصغيرة ببطء نسبيًّا عندما يكون الضوء نادرًا. من ناحية أخرى، عندما تسقط الأشجار المسنّة أو يتمّ قطعها، يصل الضوء الوافر لأرضية الغابة، فتنمو نباتات الظلّ الصغيرة بسرعة أكبر لتصل إلى أقصى طولها وسمكها. وقد تبدأ الأشجار الصغيرة أيضًا بالنموّ لتصل إلى حجمها الكامل المحتَمل.

2.5 الماء Water

الماء هو المركَّب الأساسي لعملية البناء الضوئي. فتحتاجه النباتات لتُكمِل المرحلة الأولى من البناء الضوئي، وهي التفاعلات المعتمِدة على الضوء. في العام 1630، أجرى العالم البلجيكي ڤان هلمونت تجربة ساعدت العلماء على فهم دور الماء في عملية البناء الضوئي. ويُوضِّح الشكل (27) كيف زرع ڤان هلمونت شجرة صفصاف وزنها 2 كيلوجرام في منتصف برميل يحتوي على 90 كيلوجرامًا من التربة. قام ڤان هلمونت برَيّ الشجرة لمدّة خمس سنوات بماء المطر، ثم وزن الشجرة ووزن التربة بعد أن جفّت. فوجد أنّ وزن الشجرة زاد 75 كيلوجرامًا، في حين لم ينقص وزن التربة سوى 55 جرامًا فقط (تذكّر أنّ الألف جرام تُكوِّن كيلوجرامًا واحدًا). لذلك يُعَدّ النقص في وزن التربة ضئيلًا للغاية. اِستنتج ڤان هلمونت أنّ نموّ الشجرة يرجع غالبًا إلى الماء الذي كان قد أُضيف إلى التربة. ولكنّه لم يكن على درجة كبيرة من الصواب، فقد أهمل الأخذ في اعتباره أنّ مادّة في الهواء هي ثاني أكسيد الكربون قد تكون أثّرت أيضًا على وزن النبتة. ومن ناحية ثانية، لم يُوضِّح هلمونت أنّ التربة قد أسهمت بدرجة كبيرة بالمادّة الجديدة المتكوِّنة في النبتة النامية. تُوضِّح تجربة هلمونت الطريق للوصول أحيانًا إلى المعرفة العلمية. فعندما يستشكف الباحثون حدثًا غير معروف، قد يكتشفون تفسيرًا لإحدى الخطوات وليس جميعها. وفي هذه الأيام، يعرف العلماء أنّ حوالى 90 % من الماء الذي تمتصّه النباتات يُفقَد بالتبخّر، ولا يُستخدَم في عملية البناء الضوئي. وبالتالي، فمعظم الماء الذي امتصّه النبات لا يُضاف إلى كتلة النبتة.

وعلى وجه العموم، يُؤثِّر مدى توافر الماء في عملية البناء الضوئي بطريقتين: الأولى تستلزم وجود الماء كمادّة خام للتفاعلات الضوئية، والثانية لا بُدّ فيها من توافر الماء بدرجة كافية لحفظ الخليّتين الحارستين مملوءتين لكي تبقى ثغور الورقة مفتوحة. فعندما تنغلق الثغور، لا يُمكِن لثاني أكسيد الكربون دخول الأوراق، وسرعان ما تخلو النبتة من مركَّب أساسي آخر لعملية البناء الضوئي، وهو ثاني أكسيد الكربون.

(شكل 27)
تجربة ڤان هلمونت

(أ) السنة الأولى: زرع ڤان هلمونت شجرة صفصاف وزنها 2 كجم (كيلوجرام) في 90 كجم تقريبًا من التربة.

(ب) السنة الخامسة: بعد مرور خمس سنوات، زاد وزن الشجرة 75 كجم ونقص وزن التربة 55 جم.

فقرة إثرائية

العلم والمجتمع والتكنولوجيا

تزايد غاز ثاني أكسيد الكربون

يستخدم الباحثون أنابيب لضخّ المزيد من CO_2 إلى منطقة ما في إحدى الغابات حيث يُمكِنهم دراسة تأثيرات CO_2 على النظام البيئي. ويبلغ تركيز CO_2 في هذه الرقعة من الأرض 550 جزءًا في المليون، وهو المستوى الذي سيتمّ الوصول إليه في الغلاف الجوّي للأرض في هذا القرن.

توجَد حاليًّا كمّيات هائلة من غاز CO_2 في الهواء لم تكن موجودة بهذه الكمّية في أواخر القرن التاسع عشر. ففي العام 1870، كان تركيز CO_2 في الهواء حوالى 270 جزءًا في المليون، أمّا الآن فقد بلغ تركيزه حوالى 360 جزءًا في المليون. وقد نتجت هذه الكمّيات الإضافية من CO_2 عن حرق الأخشاب والوقود الأحفوري. فنحن نستخدم طاقة هذا الوقود في جميع الأنشطة تقريبًا في أيّامنا الحاضرة.

يحبس غاز CO_2 الحرارة في الغلاف الجوّي بالطريقة نفسها التي تقوم بها الأسطح والجوانب الزجاجية للصوبات الزجاجية تقريبًا، لذلك يُسمّى فعل الاحتباس الحراري لغاز CO_2 في الغلاف الجوّي بظاهرة تأثير الصوبات الزجاجية أو ظاهرة الاحتباس الحراري. ويُعَدّ تأثير الصوبات الزجاجية تأثيرًا طبيعيًّا، فمن دونه سيبلغ متوسّط درجة حرارة سطح الأرض $18^{\circ}C-$. ولكن إذا ازداد مستوى CO_2 في الغلاف الجوّي، سيشتدّ الاحتباس الحراري.

وقد تُؤدّي ظاهرة تأثير الصوبات الزجاجية الشديدة إلى ظاهرة التدفئة العالمية. والتدفئة العالمية عبارة عن زيادة درجة حرارة الأرض نتيجة للتراكم المتزايد والسريع لغاز CO_2 وغازات الاحتباس الحراري الأخرى. في اعتقادك، ماذا يُحتمَل أن ينتج عن التدفئة العالمية؟ على الرغم من أنّ جميع العلماء لا يتّفقون على أنّ المشكلة خطيرة، إلّا أنّ الكثير منهم معنيّ بهذا الأمر. ويتساءل بعض الباحثين ما إذا كان يجب علينا أن نُحاوِل استعادة التوازن بين الأكسجين وCO_2 في الغلاف الجوّي. فكيف ذلك؟

للمزيد من الفهم الكامل لتأثير ظاهرة الاحتباس الحراري أو الصوبات الزجاجية، يقوم بعض العلماء باستكشاف قدرة النباتات على امتصاص كمّيات CO_2 أكبر من الكمّيات الموجودة في الهواء. فإذا استطاعت امتصاص كمّيات CO_2 أكبر من الكمّيات الشائعة وبقيت سليمة، قد تكون قادرة على تقليل كمّية CO_2 في الغلاف الجوّي.

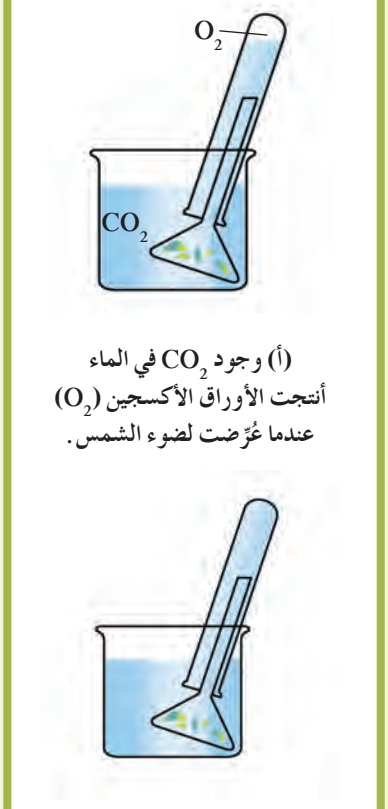
واكتشف الباحثون أنّ بعض النباتات، ومنها محاصيل معيّنة، نمت بدرجة أكبر وأنتجت أوراقًا وثمارًا أكثر عندما عُرِّضت لمستويات من CO_2 أعلى من المستويات الموجودة الآن في الهواء. ويعتقد بعض الباحثين أنّ التعرّض لمستويات عالية من CO_2 سيتسبّب في أن تُنتِج المحاصيل الرئيسية مثل القمح والأرزّ حبوبًا أكثر.

وقد اختبر العلماء أيضًا منطقة مليئة بالأشجار والشجيرات، وذلك بتعريض المنطقة لكمّيات إضافية من CO_2. وعلى الرغم من أنّهم توقّعوا أنّ الأشجار والشجيرات ستنمو بدرجة أكبر، إلّا أنّهم لم يُحدِّدوا حتّى الآن ما هي الآثار الجانبية التي ستطرأ على عناصر النظام البيئي. وعلى المدى البعيد، ليس من المؤكَّد ما إذا كانت الأنظمة البيئية الطبيعية ستستفيد من المستويات العالية من CO_2 في الهواء أم لا.

3.5 ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide (CO_2)

إنّه العامل الثالث المؤثِّر في عملية البناء الضوئي، ويُستَخدَم لصنع السكّريات البسيطة أثناء دورة كالڤن.

وعلى الرغم من قيام العديد من العلماء بدراسة دور غاز CO_2 في عملية البناء الضوئي، إلّا أن العالم الفرنسي جان سنبيير أجرى تجربة قاطعة في العام 1782. ويُوضِّح الشكل (28) كيف وُضِعت أوراق نباتية في محلول بيكربونات (ماء يحتوي CO_2)، وعندما عُرِّضت الأوراق لضوء الشمس أنتجت ما أسماه سنبيير «الهواء النقي». ونحن نعرف الآن أنّ سنبيير كان قد لاحظ الأكسجين O_2، ومن جهة أخرى، عندما وضع الأوراق في ماء خالٍ من CO_2 وعرّض تلك الأوراق لضوء الشمس، لم تُنتِج الأكسجين. ومن هذه التجربة وتجارب أخرى أجراها، اِستنتج سنبيير أنّ الأوراق تستخدم CO_2 في عمليّة البناء الضوئي التي تتطلّب أيضًا وجود الماء وضوء الشمس لكي تُنتِج غاز O_2.



(أ) وجود CO_2 في الماء
أنتجت الأوراق الأكسجين (O_2) عندما عُرِّضت لضوء الشمس.

(ب) غياب CO_2 في الماء
لم تُنتِج الأوراق الأكسجين (O_2) عندما عُرِّضت لضوء الشمس.

(شكل 28)
تجربة جان سنبيير تُبيِّن أهمّية غاز (CO_2) في عملية البناء الضوئي.

مراجعة الدرس 1-2

1. لخِّص الخطوات الرئيسية لعملية البناء الضوئي.
2. فسِّر دور كلّ من الضوء والماء وCO_2 في عملية البناء الضوئي.
3. **سؤال للتفكير الناقد:** صمِّم تجربة لقياس معدَّل عملية البناء الضوئي مع الأخذ في الاعتبار الموادّ المتفاعِلة ونواتج عملية البناء الضوئي.
4. **أضِف إلى معلوماتك:** ينتقل CO_2 والماء أثناء عملية البناء الضوئي بالانتشار والأسموزية. في ظلّ أيّ ظروف تحدث كلّ عملية منهما؟

النقل في النباتات
Transport in Plants

الأهداف العامة

* يشرح دور كلّ من الجذور والأوراق في نقل الماء في النباتات.
* يفسّر آليّات نقل الماء والسكّريات في النباتات.

(شكل 29)

حين تلمس نباتًا من نوع ما برفق، قد تتدلّى أوراقه وتُصبِح ضعيفة خلال ثوانٍ قليلة. فنبات الميموزا الحساسّ الموضَّح في الشكل (29)، يستجيب للّمس بتقليد مظهر النبات الذابل. ربّما تجعل هذه الاستجابة النباتات أقلّ عرضة لأن تكون وجبة لأحد الحيوانات آكلة الأعشاب.

1. النقل في الجذور Transport in Roots

هل تركْتَ مرّة بعضًا من نبات الكرفس بعيدًا عن الماء حتّى ذبل؟ حين يحدث ذلك في المرّة القادمة، جرّب وضع الكرفس في وعاء فيه ماء لساعات قليلة، ولاحِظ كيف يستعيد صلابته. فقد يكون ذبل لأنّه فقد الماء الذي تبخّر في الهواء، فيُقال إنّ خلايا نبات الكرفس فقدت ضغط امتلائها. **وضغط الامتلاء Turgor Pressure هو الذي يعطي دعامة للخليّة الناتجة عن الضغط الأسموزي لغشاء الخليّة على جدارها.**

ويعتمد ضغط الامتلاء على الماء. فعندما تكون الفجوات العصارية المركزية في الخلايا النباتية ممتلئة بالماء، تضغط على الجدر الخلوية بالطريقة نفسها التي يحفظ بها الهواء البالون منتفِخًا. وعندما تكون الفجوات المركزية غير ممتلئة، تنكمش الخلايا النباتية مثل بالون خالٍ من الهواء.

كيف يحصل النبات على الماء الضروري ليحتفظ بضغط الامتلاء؟ تقوم الجذور بتثبيت النباتات في التربة وبامتصاص الماء والمعادن الذائبة بالماء. وتتطلّب عملية الامتصاص هذه طاقة لكي تحدث، فلا يدخل الماء مباشرة من التربة إلى الجذور بل تتمّ بالأسموزية.

فقرة إثرائية

علم الأحياء في حياتنا اليومية

النباتات الغارقة

يُمكِن أن يكون الريّ الزائد مؤذيًا للنباتات تمامًا مثل عدم ريّها بماء كافٍ. فعندما تتشبّع التربة بالماء، قد لا يصل الأكسجين إلى الجذور. وإذا لم يكن متاحًا لخلايا الجذور المقدار الكافي من الأكسجين للتنفّس الخلوي، لن تستطيع أن تُنتِج الطاقة اللازمة لأداء الأنشطة الخلوية.

ويتطلّب حدوث عملية الأسموزية، انتقال الماء من محيط ذي تركيز مائي عالٍ Hypotonic Medium أو ذي جهد مائي عالٍ High Water Potential إلى محيط ذي تركيز مائي منخفِض Hypertonic Medium أو ذي جهد مائي منخفِض Low Water Potential. تؤدّي تركيبة التربة دورًا في عملية الامتصاص. التربة هي عبارة عن خليط من الرمل، الطين أو الطمي، الأملاح المعدنية (شوارد الأملاح)، الهواء وأنسجة الكائنات الحيّة المتحلِّلة. تحتوي التربة في مستويات مختلِفة على كمّيات مختلِفة من هذه المكوِّنات. تحتاج النباتات إلى الأملاح المعدنية لكي تنمو بشكل سليم (شكل 30).

في معظم الأحيان، يكون تركيز شوارد المعادن في التربة (جهد مائي منخفِض) أكبر من تركيز شوارد المعادن داخل خلايا الجذور (جهد مائي عالٍ). تُؤدّي هذه الحالة إلى انتقال الماء من الجذور إلى التربة بحسب قانون الأسموزية، وهذا يُشكِّل خطرًا كبيرًا على حياة النباتات. لذلك تكيّفت الجذور مع هذا الواقع بعمليات تُوفِّر الشروط اللازمة لانتقال الماء من التربة إلى داخل الجذور، وصولًا إلى الأنسجة الوعائية. لكن **في حال وجود كمّيات كبيرة من المعادن في التربة** (زيادة كمّية السماد المضافة إلى التربة)، **سيخرج الماء من الجذور إلى التربة، وهذا ما يُسمّى بحرق الجذور Root Burn الذي يؤدّي إلى موت النباتات**. أُنظر الشكل (31) لتتعرّف كيف تبقى نباتات المنجروف الأحمر حيّة على الرغم من كون جذورها مغروسة في المياه المالحة.

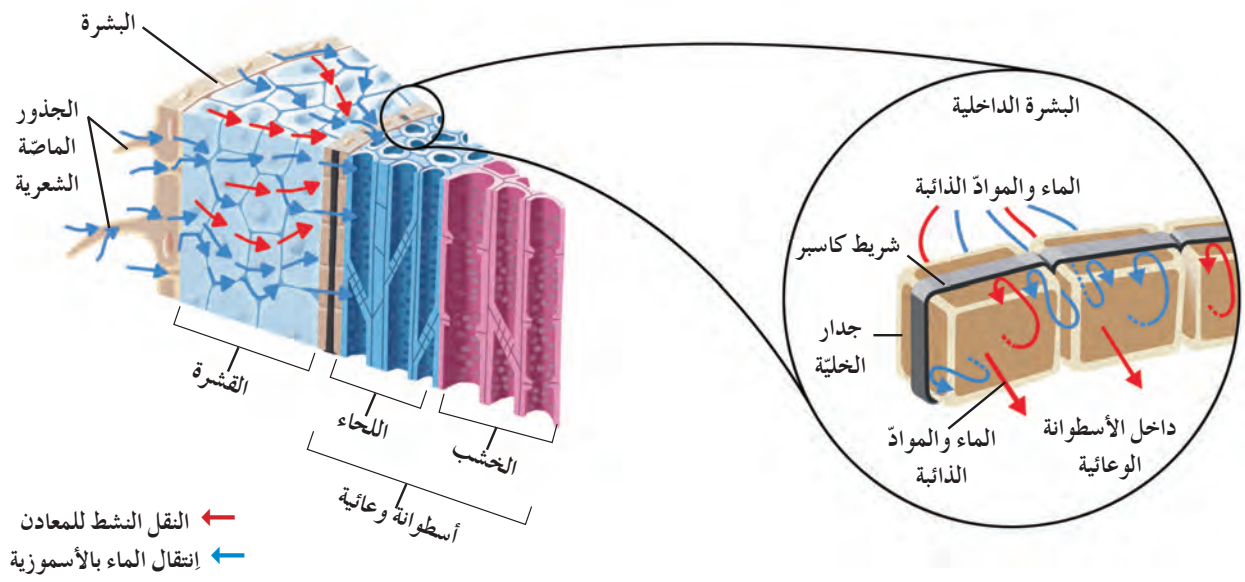
(شكل 30)
إذا لم تمتصّ النبتة عناصر معدنية كافية مثل النيترات الذي يحتوي على النيتروجين، سيتوقّف نموّها وتزول ألوان أوراقها.

(شكل 31)
تظلّ نبتة المنجروف الأحمر حيّة في مياه الشواطئ المالحة التي تقتل معظم النباتات الأخرى. فشبكة جذور نبتة المنجروف تدعم الأفرع المورقة للنبتة فوق الماء والطمي.

1.1 النقل النشط للمعادن
Active Transport of Minerals

يحتوي غشاء خليّة الشعيرات الجذرية الماصّة وخلايا البشرة الأخرى على **بروتينات ناقلة نشطة Active Transport Proteins، تُضَخّ شوارد المعادن بواسطة النقل النشط من التربة إلى داخل الجذور**. تستخدم هذه النواقل الطاقة الكيميائية المختزَنة في جزيئات الـ ATP. يجعل هذا النقل البيئة داخل جذور النبتة ذات تركيز عالٍ بالشوارد المعدنية (جهد مائي منخفِض) بالنسبة إلى التربة (جهد مائي عالٍ). عندئذ، ينتقل الماء من التربة إلى الجذور بالأسموزية (شكل 32).

تتطلّب عملية النقل النشط للمعادن تأمين غاز الأكسجين إلى خلايا الجذور بكمّية كافية، بالإضافة إلى السكّريات، من أجل حدوث عملية التنفّس الخلوي التي تُؤمِّن الطاقة إلى هذه الخلايا. وتعتمد كمّية الماء المُمتَصّة من التربة بواسطة الأسموزية على كمّية الماء في التربة. فعندما تحتوي التربة على كمّية كبيرة من الماء، يكون معدّل الامتصاص عاليًا. أمّا أثناء الجفاف أو تدنّي مستوى هطول الأمطار، فتكون نسبة الماء في التربة أقلّ، وينخفض معدّل امتصاص الماء من التربة.



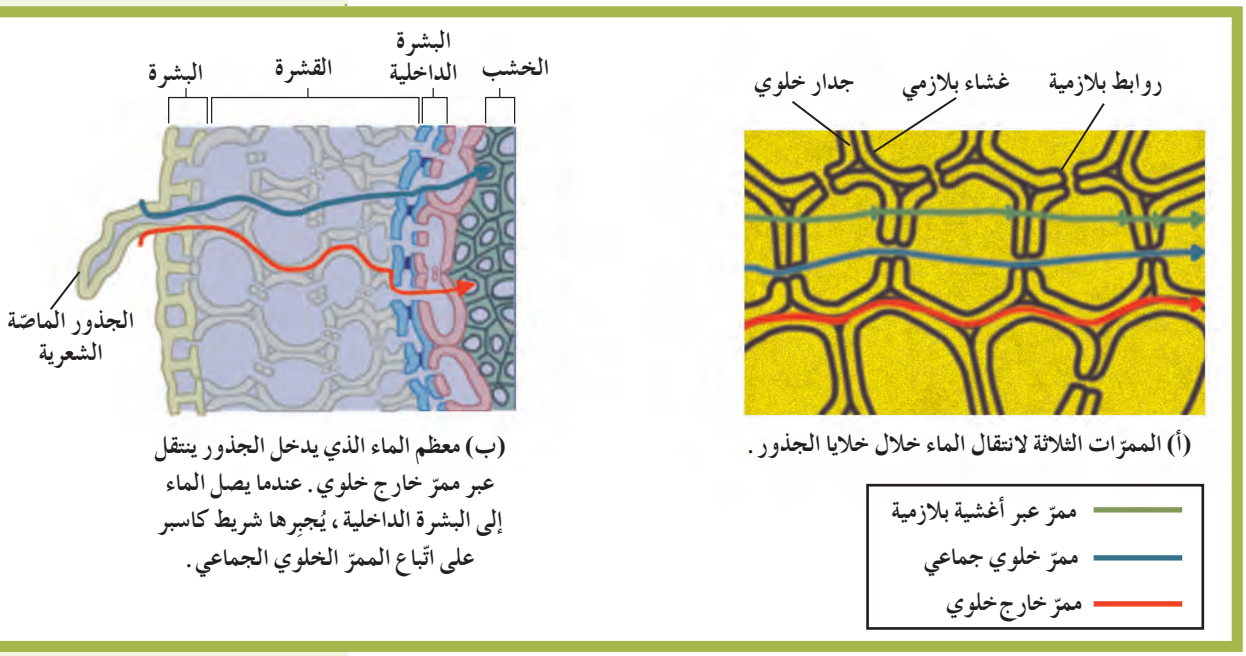
(شكل 32)
إنتقال الماء من التربة إلى الجذور لتصل إلى الأنسجة الوعائية.

2.1 الانتقال إلى داخل الأسطوانة الوعائية
Movement into the Vascular Bundle

ينتقل الماء والأملاح من نسيج البشرة إلى الأسطوانة الوعائية عبر ثلاثة ممرّات موضّحة في الشكل (53). الأوّل هو **الممرّ خارج خلوي Apoplast، وهو انتقال الماء عبر الجدر الخلوية، من القشرة وصولًا إلى البشرة الداخلية.** وهذه الطريقة لا تعتمد على الأسموزية نظرًا إلى أنّ هذه الأخيرة تتطلّب وجود الغشاء الاختياري النفاذية. وعلى هذا الأساس، يتمّ انتقال الماء بهذه الطريقة بواسطة الانتشار الحرّ أو السلبي الذي لا يستوجب وجود طاقة أيضية ATP. الثاني **هو الممرّ الخلوي الجماعي Symplast حيث ينتقل الماء والأملاح من خليّة إلى الخلايا المجاورة عبر الروابط البلازمية Plasmodesmata. والثالث هو الممرّ عبر الغشائي Transmembrane حيث ينتقل الماء والأملاح الذائبة من خليّة إلى أخرى عبر الجدر الخلوية والأغشية.**

يُؤدّي النقل النشط والأسموزية دورًا في انتقال الماء والأملاح المعدنية من البشرة وصولًا إلى الحدود الداخلية للقشرة، حيث توجَد طبقة البشرة الداخلية المؤلَّفة من خلايا ذات شكل قرميدي، والتي تُغلِّف الأسطوانة الوعائية كما في الشكل (32).

يُغلِّف جدر خلايا البشرة الداخلية الأربعة الجانبية شريط غير منفذ للماء يُسمّى شريط كاسبر Casparian Strip، وهو شريط شمعي يمنع مرور الماء عبر الممرّ خارج خلوي، وبالتالي يُجبِر الماء على اتّباع الممرّين الآخرين باتّجاه واحد نحو الأسطوانة الوعائية (شكل 33).



(أ) الممرّات الثلاثة لانتقال الماء خلال خلايا الجذور.

(ب) معظم الماء الذي يدخل الجذور ينتقل عبر ممرّ خارج خلوي. عندما يصل الماء إلى البشرة الداخلية، يُجبِرها شريط كاسبر على اتّباع الممرّ الخلوي الجماعي.

(شكل 33)
انتقال الماء والأملاح إلى الأسطوانة الوعائية عبر ثلاثة ممرات

3.1 الضغط الجذري Root Pressure

لماذا تحتاج النبتة إلى آلية فاعلة تُؤمِّن تحرّكًا باتّجاه واحد؟ تُتيح هذه الآلية للنبتة تأمين ضغط كافٍ لنقل الماء بعيدًا عن التربة باتّجاه الجذور، ثمّ من البشرة باتّجاه الأسطوانة الوعائية، فصعودًا خلال الخشب في جذور النبتة وساقها. في البداية تُضَخّ شوارد المعادن من التربة إلى البشرة، ثمّ إلى الخلايا الداخلية في القشرة بواسطة النقل النشط. وهذا يُؤمِّن الشروط اللازمة لانتقال الماء بالأسموزية باتّجاه واحد من البشرة إلى القشرة، فإلى البشرة الداخلية، ثمّ إلى الأسطوانة الوعائية. يُنتِج انتقال الماء هذا ضغطًا كبيرًا يسمح بدفع الماء داخل الأسطوانة الوعائية باتّجاه الخشب، ثمّ صعودًا خلال الخشب نحو الساق. **يُعتبَر الضغط الجذري Root Pressure نقطة الانطلاق لتحرُّك الماء داخل الجهاز الوعائي.** لكن لا يكفي هذا الضغط لتحريك الماء صعودًا عشرات الأمتار كما في شجر غابات الشجر الأحمر التي يبلغ طولها 90 مترًا. يُظهِر الشكل (34) عرضًا توضيحيًّا لمفهوم ضغط الجذور في جذر نبتة الجزر.

لكي تحصل النباتات على العناصر المعدنية من التربة، تُساعِدها كائنات أخرى. فالكائنات المحلِّلة مثل الفطريات مهمّة للغاية بالنسبة إلى النباتات، لأنها تُحرِّر المركّبات العضوية والعناصر المعدنية من أجسام الكائنات الميتة، ما يجعل هذه الموادّ متاحة للامتصاص بواسطة النباتات.

(شكل 34)
حين يمتصّ الجذر الماء، يدفع الضغط الجذري الماء صعودًا في الأنبوب الزجاجي الذي يُؤدّي دور ساق النبتة وأوراقها.

ففطر الميكوريزا أو الفطر الجذري عبارة عن فطريات خاصّة تعيش في علاقة تكافلية مع جذور بعض النباتات. فتفرز الميكوريزا الأنزيمات الهاضمة التي تُساعِد في تكسير الموادّ العضوية في التربة، وتُحرِّر العناصر المعدنية التي تُصبِح النباتات قادرة على امتصاصها، وفي المقابِل تُؤمِّن النبتة الغذاء كالسكّريات للفطريات.

2. النقل إلى الأعلى في الخشب

Upward Translocation in the Xylem

لقد وضّحنا أنّ الضغط الجذري غير كافٍ لنقل الماء والمعادن عاليًا في الساق. تذكَّرْ أنّ الخشب عبارة عن أنابيب خشبية متواصلة من الجذور مرورًا بالساق ووصولًا إلى الأوراق. تُشكِّل هذه الأنابيب نظام نقل مؤلَّف من أنسجة متخصِّصة. بالإضافة إلى الضغط الجذري، هناك قوًى وآليّات أخرى تعمل على سحب الماء صعودًا، وهما الخاصّية الشعرية Capillary Action والنتح Transpiration.

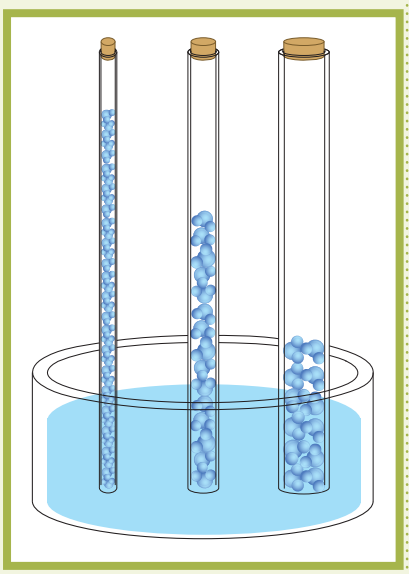
1.2 الخاصّية الشعرية (عمود متواصل من الماء)

Capillary Action(Continuous Column of Water)

يُمكِن تفسير الخاصّية الشعرية بالاعتماد على **نظرية الشدّ والتماسك Cohesion–Tension Theory المسؤولة عن تشكّل عمود الماء المتواصل**. تنطلق هذه النظرية من الخواصّ المميِّزة للماء، وأهمّها التماسك Cohesion بين جزيئات الماء والتلاصق Adhesion بين جزيئات الماء وجدار الأنبوبة (الخشب) أو الإناء الذي يوضَع فيه الماء. بالتالي، إذا وُضِع الماء في أنبوب شعري وأُغلِق طرفاه، لا ينقطع عمود الماء داخل الأنبوب، كما هو موضَّح في الشكل (35).

فإذا ملأنا أنبوبًا زجاجيًّا طويلًا مفتوح الطرفين بالماء، ثمّ ثبّتنا على طرفه العلوي إسفنجة مبلَّلة بالماء، وغمّسنا طرفه السفلي في كأس فيه ماء، نُلاحِظ وجود اتّصال مستمرّ بين كلّ من الإسفنجة والأنبوب الزجاجي والكأس، من دون أيّ انقطاع لاتّصال الماء في هذا النظام. كيف يكون ممكنًا دفع الماء في الأنبوب الزجاجي من دون أن يحدث انقطاع لعمود الماء؟ كيف يندفع عمود الماء إلى أعلى على جدار الأنبوب الزجاجي بالرغم من أنّ عمود الماء هذا يخضع لتأثير شدّ الجاذبية والاحتكاك بجدار الأنبوب؟

يُمكِن أن تُفسِّر صفات الماء التماسكية والتلاصقية استمرارية وجود عمود الماء داخل الأنبوب من دون انقطاع. لكن علامَ يعتمد تحرّك الماء هذا؟ إنّ أيّ فقدان للماء عن طريق تبخّر ماء الإسفنجة يسحب مكانه ماء من الأنبوب الزجاجي الذي يسحب بدوره ماء من الكأس. وبالتالي، إنّ معدَّل صعود الماء في الأنبوب الزجاجي يتناسب طرديًّا مع معدَّل تبخّر الماء من الإسفنجة.



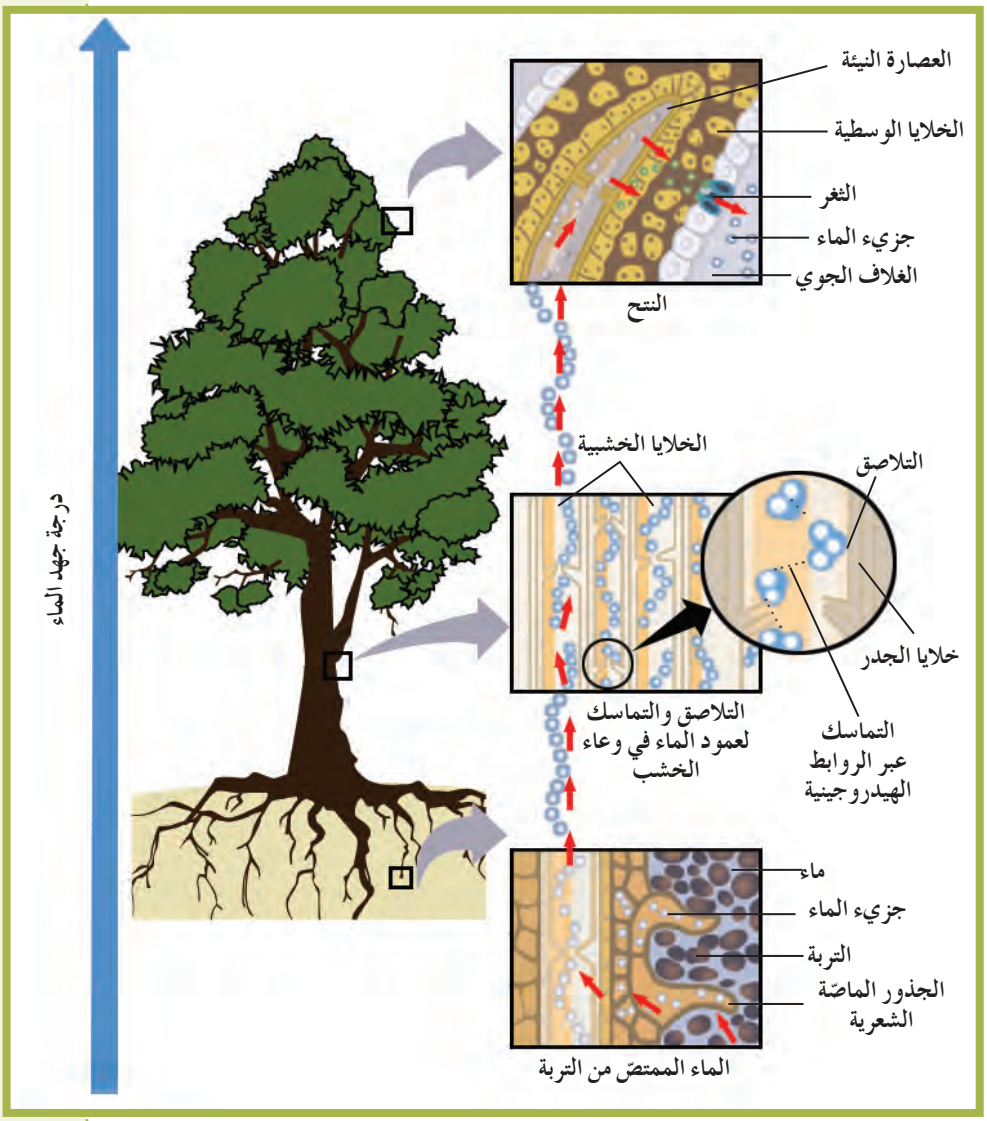
(شكل 35)
الخاصّية الشعرية، وهي نتيجة قدرة جزيئات الماء على الالتصاق بعضها ببعض وبجدر أنبوب ما، تجعل الماء يعلو في أنبوب رفيع أكثر منه في أنبوب عريض. ما الذي يجعل الماء يتحرّك عموديًّا في الأنبوب بعكس الجاذبية؟

يُمكِننا المضاهاة بين هذه الشعيرات الزجاجية، وعلى رأسها الإسفنجة، وبين النبات الذي ينمو في التربة الطبيعية. فيُمكِن أن نُشبِّه ماء الكأس بماء التربة، والأنبوبة الشعرية بالخشب الناقل للماء، والإسفنجة بالسطح المبخّر أي النتح في أوراق الأشجار.

ولكن هل تكفي الخاصية الشعرية لتفسير كيفية انتقال الماء من التربة إلى الأجزاء العالية في النبات، بعكس الجاذبية الأرضية وقوى الاحتكاك في جدر الأوعية الخشبية؟ نحن نعلم أنّ الماء لا يصعد إلى أعلى إلّا إذا كان يخضع لقوى شدّ وجذب من أعلى، وقوى دفع من أسفل. لكن في المضاهاة السابقة، لا توجَد قوى دفع من أسفل، وهذا يُبرِّر أنّ صعود الماء يعتمد أساسًا على قوى الجذب والشدّ من أعلى. ما الذي يُشكِّل قوى الجذب والشدّ من أعلى في النباتات؟

2.2 الشدّ النتحي Transpiration Pull

إنّ قوّة جهد الماء الناتجة عن عملية التبخّر والنتح Evapo–transpiration من خلال ثغور الورقة تشدّ وتجذب الماء صعودًا، وهذا ممكن بوجود عمود الماء في وعاء الخشب (شكل 36).



(شكل 36)
يُسبِّب انحدار الجهد المائي من التربة إلى الساق (خلال النبات) فإلى الهواء قوّة الشدّ النتحي. ينتقل الماء من منطقة جهد مائي عالٍ إلى منطقة جهد مائي منخفِض.

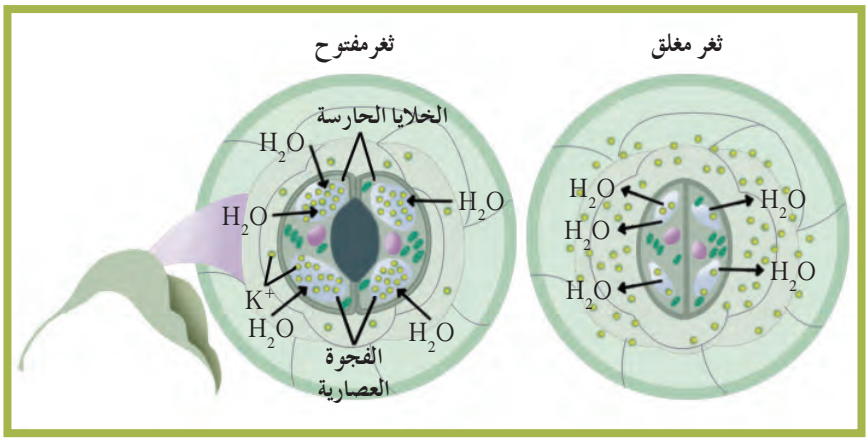
إنّ تحرّك الماء الناتج عن خاصّية الماء التماسكية والتلاصقية يُمكِن أن يُفسَّر بجهد الماء. هناك انحدار في جهد الماء من الأكبر جهدًا في التربة إلى الأصغر جهدًا في الهواء. هذا الانحدار في المبدأ يدفع الماء صعودًا في خشب النبتة نحو الغلاف الجوّي.

ومثل القاطرة التي تسحب وراءها مئات العربات، **إنّ تحرّك الماء خارج الأوراق من خلال الثغور خلال عملية التبخّر والنتح يشدّ الماء صعودًا خلال الخشب من الجذور وحتّى من التربة. تُسمّى هذه العملية قوّة الشدّ النتحي Transpiration Pull.** يُؤدّي ازدياد معدَّل النتح في الطقس الجافّ إلى تدنّي الضغط الأسموزي في خلايا النباتات، فتنكمش النباتات وتذبل. وعندما تذبل، تُقفَل الثغور. لماذا؟

3.2 ضبط النتح Controlling Transpiration

هل يُمكِن تفسير إغلاق الثغور وضبطها باستخدام مفهوم جهد الماء؟

تحدث عملية النتح على مستوى الثغور، وتُحفَّز عملية إقفال الثغور وفتحها بوجود الانحدار في جهد الماء بين الخلايا الحارسة والخلايا المحيطة. في المقابل، ينتج هذا الانحدار عن آلية نقل أملاح البوتاسيوم (K^+). يُحفِّز وجود الضوء النقل النشط لأملاح البوتاسيوم عبر قنوات خاصّة في غشاء الخلايا الحارسة الذي يتطلّب وجود طاقة الـ ATP. تتراكم أملاح البوتاسيوم في فجوات الخلايا الحارسة (شكل 37)، ما يُؤدّي إلى انخفاض جهد الماء فيها نسبة إلى جهد الماء في الخلايا المحيطة. وبناء على ذلك، يتحرّك الماء بحسب انحدار جهد الماء من الخلايا المحيطة في البشرة (جهد مائي عالٍ) إلى داخل الخلايا الحارسة (جهد مائي منخفِض) بالأسموزية، ما يُؤدّي إلى انتفاخ الخلايا الحارسة وفتح الثغور. خلال الليل وأثناء غياب الضوء، يحدث العكس وتُقفَل الثغور.



(شكل 37)
انتقال أملاح البوتاسيوم إلى داخل الخلايا الحارسة أو خارجها يُؤثّر على عملية فتح الثغور.

تضمن عملية النتح جذب الماء إلى أعلى قمّة في الشجرة مع الحفاظ على ضبط هذه العملية، في إطار الحفاظ على اتّزان الماء داخل النبتة، وذلك بضبط عملية فتح الثغور وإغلاقها. وكما رأينا، إنّ التحكّم في عملية فتح الثغور وإغلاقها يتأثّر بجهد الماء في الغلاف الجوّي والتربة، أي يعتمد على الظروف البيئية المحيطة بالشجرة. عندما تكون الظروف البيئية صعبة (حارّة وجافّة وتكون سرعة الرياح قويّة)، يزداد معدَّل النتح وتزداد خسارة النبتة للماء. في هذه الحالة، تُقفِل النبتة ثغورها لكي لا تذبل وتموت. في حال وجود كمّية كبيرة من الماء في التربة، بالإضافة إلى أمطار وفيرة وهواء رطب، تفتح النبتة ثغورها ويرتفع معدَّل النتح بشكل لا يُؤثِّر على فقدان النبتة لكمّيات كبيرة من الماء.

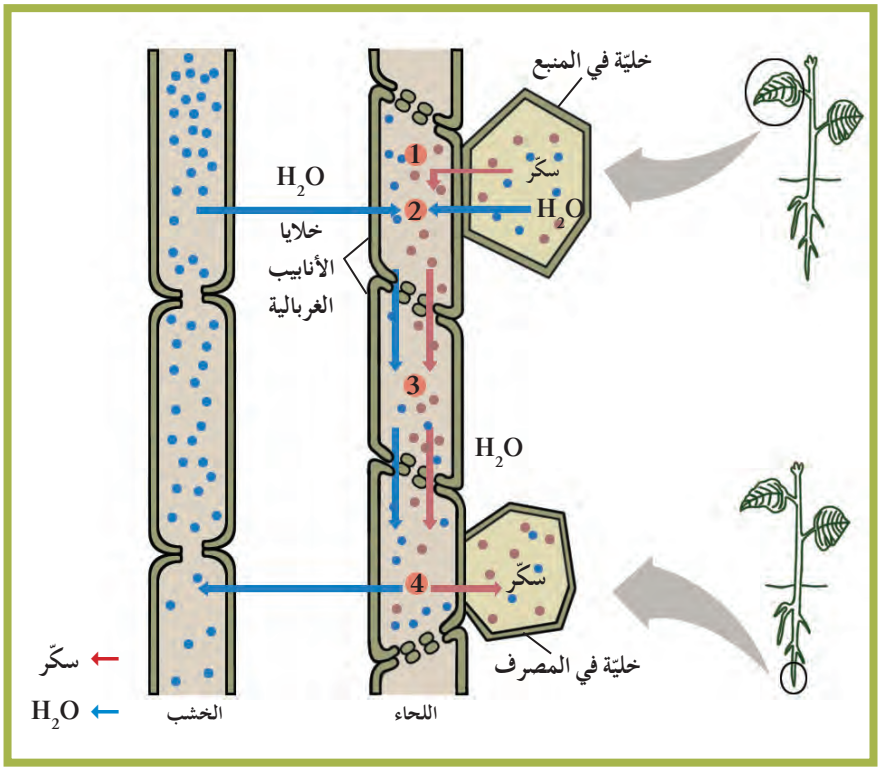
3. انتقال العصارة الناضجة في اللحاء

Transportation of the Elaborated Sap in Phloem

يتمّ تحويل السكّر المنتَج خلال عملية البناء الضوئي إلى سكّر ثنائي "السكّروز"، قبل أن يتمّ تحميله في اللحاء ونقله إلى أجزاء النبتة. السكّروز هو الشكل السائد للسكّر الذي ينقله اللحاء. ويُعتبَر نقل هذا المذاب في اللحاء سريعًا (2.5 سم في الدقيقة الواحدة)، لكن ليس بسرعة انتقال العصارة النيئة الصاعدة في الخشب. تتحرّك العصارة الناضجة داخل أنسجة اللحاء صعودًا أو هبوطًا على حدّ سواء. من الممكن نقل السكّروز من مكان صنعه (الورقة) إلى مكان للتخزين (الجذر، الفواكه أو البذور) أو إلى المناطق النشطة بالنموّ، مثل الأنسجة الإنشائية القمّية في قمّة الجذر والساق (شكل 38).

(شكل 38)
جهاز النقل في النبات
الأوراق: تنقل خلايا المنبع في الأوراق السكّريات إلى اللحاء لينقلها إلى باقي أجزاء النبات، في حين تستقبل الماء والمعادن من الخشب. يتبخّر الماء من خلال الثغور في الورقة.
السوق: ينتقل الماء والموادّ الغذائية والسكّريات خلال النسيج الوعائي في السوق إلى جميع أجزاء النبتة.
الجذور: يمتصّ الخشب في جذور النبتة الماء. تستهلك الجذور السكّريات التي وصلت إليها بواسطة اللحاء وتُخزِّنها.

وقد فُسِّر انتقال السكّريات على أحسن وجه بواسطة **فرضية التدفّق بالضغط The Pressure–Flow Hypothesis** . **فالسكّريات تُنقَل من منطقة في النبتة تُسمّى المنبع Source إلى منطقة تُسمّى المصرف Sink** . ويُمكِنك تتبّع الخطوات التي تصفها هذه الفرضية في الشكل (39) . والمنبع عبارة عن أيّ جزء في النبتة حيث تُنتَج السكّريات عن طريق عملية البناء الضوئي أو عملية تكسّر لجزيئات النشا . أمّا المصرف ، فهو الجزء حيث تُستهلَك السكّريات أو يتمّ تخزينها .



(شكل 39)
1. تنتقل السكّريات من خلايا المنبع إلى خلايا الأنابيب الغربالية خلال عملية النقل النشط ، فيُصبح تركيز السكّر في اللحاء عاليًا .
2. بسبب التركيز العالي للسكّر في اللحاء ، ينتشر الماء إلى داخل خلايا الأنابيب الغربالية رافعًا ضغط الماء .
3. يُسبِّب الضغط تدفّق العصارة (المحلول السكّري) خلال اللحاء .
4. تنتقل السكّريات من اللحاء إلى خلايا المصرف . ينتشر الماء إلى الخشب خافضًا ضغط الماء في اللحاء .

وتُعَدّ أوراق النبتة منابع نموذجية ، أمّا الجذور فتُعَدّ مصارف نموذجية . ومن ناحية ثانية ، إنّ الجذور التي اختُزِنت فيها السكّريات يُمكِن أن تعمل كمنبع أيضًا . أين المصارف في نبتة البطاطا؟

في بداية العملية ، تُضَخّ السكّريات بالنقل النشط من المنبع إلى الأنابيب الغربالية ، ثمّ يدخل الماء إلى خلايا الأنابيب الغربالية بحسب انحدار الجهد المائي في الخشب بالأسموزية رافعًا ضغط الماء . يتحرّك كلّ من الماء والسكّريات إلى أسفل بحسب منحدر (أو تدرّج) التركيز .

وفي النهاية ، تنتقل السكّريات من الأنابيب الغربالية إلى خلايا المصرف بالنقل النشط ، ويترك الماء الأنابيب الغربالية إلى الخشب بالأسموزية .

يجب أن تتوفّر الطاقة لكي تتمّ عملية ضخّ السكّريات إلى داخل الأنابيب الغربالية ، وإلى خارجها في بعض الأحيان . ومن اللازم أن تكون خلايا الأنابيب الغربالية في اللحاء حيّة لكي تُؤدّي وظيفتها ، لأنّ الخلايا الحيّة فقط يُمكِنها أن تُوفِّر الطاقة اللازمة لعملية النقل النشط .

تتحرّك السكّريات خلال النباتات بشكل أبطأ من سرعة تحرّك الماء. ويبلغ أسرع معدَّل للنقل باللحاء حوالى 2 متر في الساعة. عند هذه السرعة، كم من الوقت تستغرق السكّريات لكي تنتقل إلى أسفل خلال جذع شجرة طوله 30 مترًا؟

مراجعة الدرس 1-3

1. لماذا تكون الخاصّية الشعرية غير كافية لانتقال الماء صعودًا داخل النبتة؟
2. صِفْ الآليّات التي تستخدمها النباتات للحصول على الماء والمغذِّيات ولنقل السكّريات.
3. **سؤال للتفكير الناقد:** لماذا يكون نقل الماء في النباتات أسرع في الظهيرة وأبطأ في الليل؟ ما العوامل البيئية التي قد تُؤثِّر في ذلك؟
4. **أضِف إلى معلوماتك:** كيف يُؤثِّر منحدر (أو تدرّج) التركيز على الأسموزية؟

الدرس 1-4

نموّ النباتات
Plants Growth

الأهداف العامة

- يُحدِّد موقع منشأ الخلايا في النباتات .
- يُقارِن بين الأنسجة الإنشائية والأنسجة الأخرى في النباتات .
- يُقارِن بين نمطين من نموّ النباتات .
- يشرح كيف يحدث النموّ الأوّلي والنموّ الثانوي في النباتات .

(شكل 40)

في فنّ تنسيق النباتات في اليابان ، يبتكر الناس أشجارًا مصغَّرة مزروعة في أصص ويُوجِّهون نموّها إلى أشكال جميلة عن طريق ربط أطرافها بسلك وتقليمها كما هو موضَّح في الشكل (40) . وأشجار هذا الفنّ الياباني ليست من النوع الصغير ، لكنّ عمّال البساتين يستطيعون التحكّم بالحجم عبر زراعة الأشجار في أصص صغيرة قليلة العمق ، وعن طريق تهذيب الجذور والفروع المورقة الجديدة أو تقليمها بانتظام .

1. الأنسجة الإنشائية (المرستيمية): مواقع النموّ
Meristems: Sites for Growth

هل تعرف كيف ينمو الإنسان في الطول؟ كلّما زاد طول عظام معيّنة مثل عظام الفخذ والعمود الفقري ، يزداد طولنا . تنمو النباتات لتُصبِح أكثر طولًا عن طريق زيادة طول قمم الجذور والسوق أو أطرافها . وإذا نما الناس في الطول بالطريقة نفسها التي تنمو فيها النباتات ، سينمون عند أطراف أصابعهم وعند قمم رؤوسهم .

تُسمّى الأنسجة النامية للنباتات بالأنسجة الإنشائية (أو المرستيمية) Meristems .

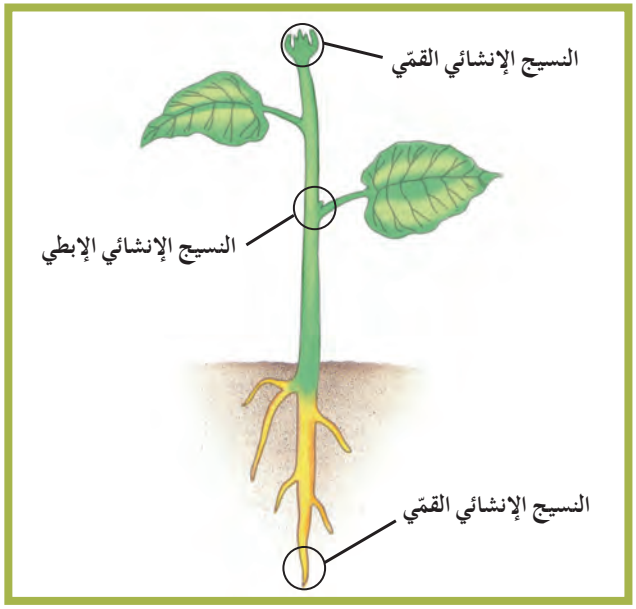
وتحتوي النباتات العشبية والخشبية أنسجة إنشائية عند أطراف السوق والفروع أو قممها، وعند أطراف الجذور أو قممها، وفي البراعم عند مواقع اتّصال الأوراق بالسوق.

بالإضافة إلى ذلك، توجَد أنسجة إنشائية في النباتات الخشبية، بين نسيج الخشب ونسيج اللحاء في الجهاز الوعائي، وبالقرب من أسطح السوق.

ووظيفة الأنسجة الإنشائية هي إنتاج خلايا جديدة بواسطة الانقسام الميتوزي. وكما هو شائع في الانقسام الميتوزي، فإنّ الخلايا الجديدة التي تمّ إنتاجها تكون متشابهة في بادئ الأمر. ومن جهة أخرى، تتخصّص الخلايا في نهاية الأمر أو تتمايز لتُكوّن واحدًا من ثلاثة أنواع من الأنسجة التي تُكوّن النباتات، وهي النسيج الوعائي أو البشرة (النسيج الجلدي) أو النسيج الأساسي.

تُسمّى الأنسجة النامية عند قمم الجذور والسوق أو أطرافها الأنسجة الإنشائية القمّية (أو الأنسجة المرستيمية القمّية) Apical Meristems، وهي تُسبِّب نموّ أطراف السوق والجذور أو قممها في الطول. وبسبب نشاط الأنسجة الإنشائية القمّية، تصبح النباتات أكثر طولًا، وتصبح جذورها أكثر عمقًا إلى داخل التربة.

تتكوَّن الأنسجة الإنشائية البرعمية الإبطية Axillary Meristems في البراعم التي تظهر في مواضع اتّصال الأوراق في السوق، والتي تُسمّى آباط الأوراق. وتُسبِّب هذه الأنسجة نموّ الفروع الجانبية على السوق في الشكل (41).



(شكل 41)
الأنسجة الإنشائية هي مناطق النموّ السريع، مثل تلك الموجودة في قمم الجذور والسوق أو أطرافها.

تُسمّى الأنسجة الإنشائية التي تقع في سوق النباتات الخشبية وجذورها بشكل موازٍ لمحيط العضو بالأنسجة المرستيمية الجانبية Lateral Meristems، وهي المسؤولة عن نموّ النباتات في العرض (ازدياد قطر الساق والجذور).

2. النموّ الأوّلي أو الابتدائي Primary Growth

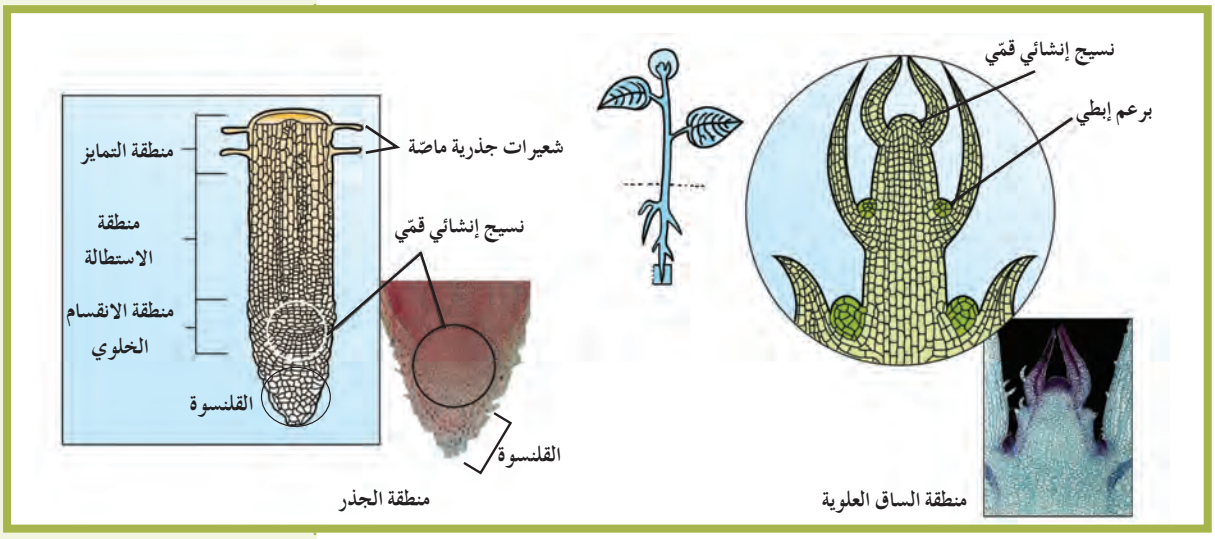
يوجَد نمطان من النموّ في النباتات البذرية. ففي أحد نوعي النموّ، تنمو جميع النباتات لتصبح أكثر طولًا وأكثر عمقًا داخل التربة. وفي النوع الآخر، تنمو النباتات الخشبية لتُصبِح أكثر عرضًا. **وتُسمّى العملية الأولى أي استطالة السوق والجذور بالنموّ الأوّلي أو الابتدائي Primary Growth، حيث تنمو سوق النباتات لتُصبِح أكثر طولًا، وتنمو جذورها لتُصبِح أكثر عمقًا.** ويحدث هذا النموّ في جميع النباتات.

تُعرَف الساق الأولى التي تبزغ من أيّ بذرة بالساق الابتدائية أو الأوّلية، وهي تُكوِّن السوق والأوراق. وللسوق الابتدائية نوعان من الأنسجة الإنشائية: الأنسجة الإنشائية القمّية والأنسجة البرعمية الإبطية الموضَّحة في الشكل (42). فالأنسجة الإنشائية التي توجَد في قمم جميع السوق تُكوِّن الساق والأوراق، أمّا البراعم الإبطية الموجودة عند قاعدة كلّ ورقة، فيُمكِن أن تُكوِّن فرعًا أو زهرة. ولأنّ البراعم الإبطية يُمكِن أن تكوِّن فروعًا جانبية من الساق، فإنّها تُسمّى أيضًا البراعم الجانبية Lateral Buds. في معظم النباتات، تبقى البراعم الإبطية غير نشطة بفعل هرمونات الأكسين التي تُفرَز في الأنسجة الإنشائية عند قمّة الساق. وإذا أُتلِفت هذه القمّة أو أُزيلت، سيتوقّف إنتاج هذا الهرمون، وستبدأ البراعم الإبطية بالنموّ. وقد تكون قد رأيت كيف يستغلّ عمّال البساتين فائدة هذه الطريقة، فلكي يجعلوا النباتات تنمو بصورة كثيفة، يقومون بتقليم (قصّ) قمم الفروع. وتُستخدَم هذه التقنيّة أيضًا لعمل الأسوار، فقطع قمم السوق يُزيل التثبيط الهرموني، لكي تبدأ البراعم الإبطية في النموّ إلى الأفرع الجانبية.

يستلزم النموّ الأوّلي أو الابتدائي للجذور والسوق حدوث ثلاث خطوات: الانقسام الخلوي، ثمّ الاستطالة، فالتمايز. في الخطوة الأولى، يُكوِّن الانقسام الخلوي في النسيج الإنشائي القمّي خلايا جديدة. في الخطوة الثانية، تنمو الخلايا في الطول في منطقة من الجذر تُسمّى منطقة الاستطالة، وتدفع استطالة الخلايا الجذر خلال التربة. في الخطوة الثالثة، تُصبِح الخلايا متخصِّصة في منطقة التمايز، وتحدث في هذه المنطقة تغيّرات للخلايا لتُصبِح جزءًا من النسيج الوعائي (الخشب أو اللحاء)، أو النسيج الجلدي (الشعيرات الجذرية)، أو النسيج الأساسي (خلايا بارنشيمية أو دعامية).

أين تتمركز الخلايا في كلّ خطوة من الخطوات الثلاث في الجذر في الشكل (42)؟

تُغطّي قمّة الجذر مجموعة من الخلايا البارنشيمية التي تُحيط به إحاطة كاملة لحماية القمّة النامية. تُشكِّل هذه الخلايا القلنسوة Rootcap، وهي تتآكل ثمّ تنشأ باستمرار خلال استطالة الجذر عميقًا في التربة.



(شكل 42)
يظهر النموّ الأوّلي في جميع النباتات، وفيه تنمو السوق أكثر طولًا وتنمو الجذور أكثر عمقًا.

3. النموّ الثانوي Secondary Growth

إذا راقبْتَ نموّ إحدى الأشجار على مدار فترة زمنية طويلة، قد تُلاحِظ أنّ الشجرة تنمو في العرض كما تنمو في الطول. فأثناء **النموّ الثانوي Secondary Growth، تنمو جذور نباتات بذرية معيّنة وسوقها وفروعها أكثر في العرض**. ويُعتبَر ازدياد عرض جذع شجرة مثالًا للنموّ الثانوي.

لا يحدث النموّ الثانوي في جميع النباتات. فمعظم النباتات العشبية يحدث فيها نموّ أوّلي فقط. وعادة ما يُلاحَظ النموّ الثانوي فقط في الكرمات والشجيرات والأشجار. وعلى سبيل المثال، يحدث النموّ الثانوي في النباتات عارية البذور. **وتنتج عن النموّ الثانوي طبقات من نسيج خلوي ميت يُسمّى الخشب Wood.**

ويُعتبَر النموّ الثانوي تكيّفًا يُمكِّن بعض النباتات الخشبية من البقاء على قيد الحياة في بيئات معيَّنة. وكلّما ازداد عرض ساق النبتة، أصبحت أكثر قوّة. وتسمح الساق القويّة للنبتة بأن تنمو أكثر طولًا، وتُصبِح لديها فرصة متزايدة للحصول على الضوء، وبسبب تنافس النباتات على الضوء، فإنّ احتمال حصول النباتات المرتفِعة على ضوء الشمس الحيوي أكبر، لذلك هي تتكاثر بنجاح. فالنموّ الثانوي عبارة عن التكيّف الذي يُسهِم في سيادة النباتات الخشبية في أنظمة بيئية عديدة.

1.3 الأنسجة الإنشائية الجانبية Lateral Meristems

يُسبِّب حدوث النموّ الثانوي انقسامًا خلويًّا في تراكيب تُسمّى الأنسجة الإنشائية الجانبية . وبخلاف الأنسجة الإنشائية القمّية التي تتمركز عند قمم الجذور والسوق ، تتمركز الأنسجة الإنشائية الجانبية ضمن جوانب الجذور والسوق وبموازاتها . وبشكل عامّ ، تتّخذ الأنسجة الإنشائية الجانبية شكلًا مشابِهًا لأسطوانة جوفاء داخل الجذر أو الساق وتُسمّى نسيج الكمبيوم .

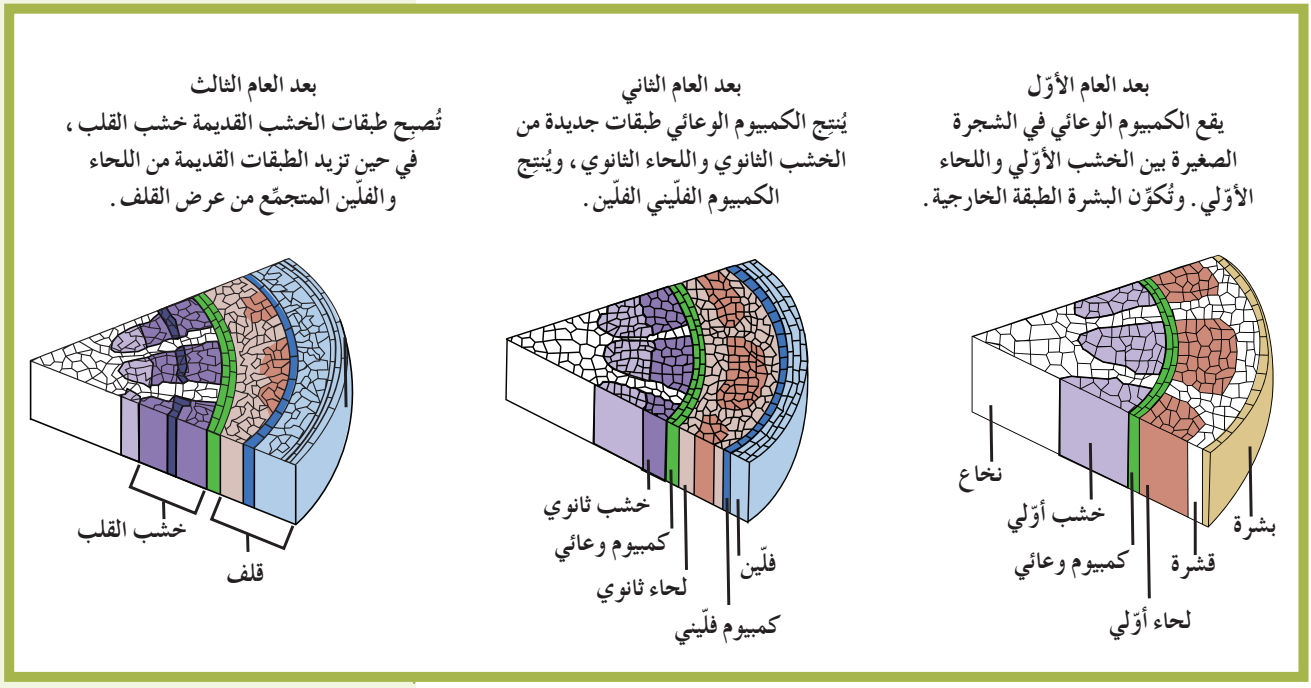
2.3 الكمبيوم Cambium

هو النسيج الإنشائي الذي يُنتِج خلايا جديدة للنموّ الجانبي في النباتات الخشبية .

يوجَد نوعان شائعان من الكمبيوم: الكمبيوم الوعائي والكمبيوم الفلّيني .

يُوضِّح الشكل (43) قطاعًا مستعرضًا لجذع شجرة ، يظهر فيه نوع من الكمبيوم . أيّ نوع منها يُعَدّ جزءًا من قلف الشجرة؟

تُظهِر النباتات ثنائية الفلقة نموًّا ثانويًّا في نطاق الأنسجة الإنشائية التي تُسمّى الكمبيوم الوعائي . وتتكوّن هذه الأنسجة بين الخشب الأوّلي واللحاء الأوّلي ضمن الحزم الوعائية المنفردة ، كما يظهر بعد العام الأوّل .



(شكل 43)
النموّ الثانوي في النباتات ثنائية الفلقة

ثمّ تنقسم خلايا الكمبيوم الوعائي لتُنتِج طبقة جديدة من الخشب الثانوي لناحية مركز الساق ، وخلايا اللحاء الثانوي للناحية الخارجية ، كما يظهر بعد العام الثاني . تُشكِّل هذه الأنسجة المختلِفة كلًّا من القلف والخشب ضمن الساق الناضجة .

(أ) الكمبيوم الوعائي Vascular Cambium

يقع أحد نوعي الكمبيوم، وهو الكمبيوم الوعائي Vascular Cambium، بين الخشب واللحاء. يُنتِج الانقسام الخلوي في الكمبيوم الوعائي خشبًا جديدًا إلى الجهة الداخلية من الكمبيوم، ولحاءً جديدًا إلى الجهة الخارجية. ويحدث نموّ الخشب الجديد واللحاء الجديد في صورة دورية. ففي كلّ عام، يُنتِج الكمبيوم الوعائي خشبًا ولحاء جديدين أثناء موسم نموّ النباتات.

في بداية العام الثاني لنموّ النباتات الخشبية، يُسمّى الخشب الجديد الذي يُنتِجه الكمبيوم الوعائي بالخشب الثانوي Secondary Xylem، وهو يُعرَف عمومًا باسم الخشب. ويُسمّى اللحاء الجديد المتكوّن بواسطة الكمبيوم الوعائي كلّ عام باللحاء الثانوي Secondary Phloem، لكنّه لا يحمل اسمًا شائعًا. وكلّما نمت السوق والجذور في العرض عامًا بعد عام، ينقل الخشب الثانوي الماء، في حين ينقل اللحاء الثانوي السكّريات داخل النباتات.

(ب) الكمبيوم الفلّيني Cork Cambium

يُعرَف النوع الآخر من الكمبيوم **بالكمبيوم الفلّيني Cork Cambium، وهو النسيج الإنشائي الموجود بين اللحاء والبشرة.**

ويستبدل الانقسام الخلوي في الكمبيوم الفلّيني طبقة القشرة وطبقة البشرة أو النسيج الجلدي في النباتات بالفلّين الذي يحمي الشجرة. ويتّحد اللحاء الثانوي والكمبيوم الفلّيني والفلّين لتُكوّن القلف الذي يُحيط بجذع الشجرة. ربّما تعرف الفلّين الطبيعي، وهو المادّة المُستخدَمة في صناعة بعض أنواع لوحات الإعلانات.

وللعديد من الأشجار طبقات عديدة من الفلّين الذي يُعتبَر نسيجًا ميتًا ولا يُمكِنه التمدّد. ونتيجة لذلك، يشقّ النموّ الأفقي المستمرّ لجذوع الأشجار أو يفلق الطبقات الخارجية، ممّا يُسبِّب انشقاق طبقات الفلّين وبالتالي انشقاق القلف. وللأشجار مثل البلّوط قلف متشقّق بسبب نموّ الكمبيوم الفلّيني.

وتُربّى أشجار معيّنة ويُحافَظ عليها من أجل استخلاص الفلّين منها. فأشجار البلّوط الفلّينية في البرتغال تُنتِج حوالى 60 % من الإنتاج العالمي للفلّين الطبيعي.

ويُمكِن استخلاص الفلّين من أشجار البلّوط الفلّينية كلّ 7 إلى 10 سنوات، عندما تبلغ الأشجار 25 عامًا من العمر، ويُمكِن للأشجار التي يصل عمرها إلى 200 عام أن تظلّ تُنتِج الفلّين الصالح للاستعمال. ولا بدّ أن يُراعي جامعو الفلّين عدم إتلاف طبقة الكمبيوم الوعائي عند استخلاص الفلّين من الأشجار، فإذا أُزيلَت هذه الطبقة تموت الشجرة.

العلم والمجتمع والتكنولوجيا

تقليم الأشجار

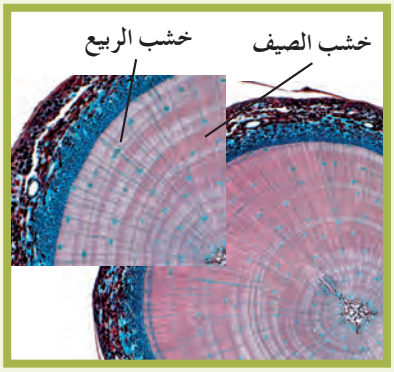
يُسبِّب نموّ النباتات مشكلات أحيانًا، مثلًا عندما تنمو شجرة على خطوط القوى الكهربائية أو على أملاك الجيران. عادةً، يعتني بالأشجار في شوارع المدينة عمّال البلديّة أو مجلس الحيّ. اِتّصِل بمجلس الحيّ الذي تعيش فيه وتعرَّفْ ماذا تفعل إذا لاحظْتَ شجرة نامية على ملكية عامّة بشكل يسترعي الانتباه. من ناحية أخرى، تُعتبَر الأشجار المزروعة في الملكيّة الخاصّة مسؤوليّة مالكيها الذين يستأجرون مؤسّسة خدمية أو هيئة خاصّة لمساعدتهم في رعايتها. رتِّب لإجراء حديث مع شخص ما في إحدى الهيئات الخاصّة لتقليم الأشجار في الحيّ الذي تعيش فيه. كيف يتمّ تهذيب الأشجار أو إزالتها؟ ما التجهيزات اللازمة لذلك؟ اسأل عن بعض المواقف التي استلزمت إزالة الأشجار.

3.3 تكوُّن الخشب Formation of Wood

يتراكم النسيج الخشبي سنويًّا ليُنتِج ما نُسمّيه بالخشب Wood. تستمرّ الطبقات الخارجية الجديدة فقط من الخشب الثانوي في نقل الماء وتكون فاتحة اللون، وتُسمّى بالخشب العصاري Sap Wood.
كلّما ازداد عرض الساق الخشبية، أصبحت أنسجة الخشب القديمة والموجودة ناحية مركز الشجرة مصمتة وغير قادرة على نقل الماء. بالإضافة إلى ذلك، يُصبِح لونها داكنًا مع مرور السنين لاحتوائها على نسب متزايدة من الشوائب التي لا يُمكِن التخلّص منها.
تُسمّى هذه الطبقات القديمة من الخشب بخشب القلب Heart Wood. يحتوي خشب القلب على موادّ مثل الزيوت والأصباغ والموادّ الراتينجية والتانينات غير الموجودة في الخشب العصاري. يُظهِر الشكل (44) تراكيب الخشب. لاحِظ سلسلة الحلقات متداخِلة المركز التي تُسمّى حلقات الشجرة Tree Rings أو حلقات النموّ Growth Rings. كيف تتكوّن هذه الحلقات؟

في معظم الأقاليم المناخية المعتدلة، يكون نموّ الشجرة موسميًّا. عندما يبدأ النموّ في فصل الربيع يبدأ الكمبيوم الوعائي بالنموّ بسرعة منتِجًا خلايا واسعة من خلايا الخشب فاتحة اللون ذات جدر رقيقة. النتيجة هي تكوُّن طبقة فاتحة اللون وواسعة من الخشب تُسمّى الخشب المبكر Early Wood أو خشب الربيع Spring Wood، ويكون هذا النوع من الخشب قادرًا على نقل كمّيات كبيرة من الماء. مع استمرار موسم النموّ في الصيف، وعندما يكون الطقس أكثر جفافًا وحرارة، يُنتِج الكمبيوم الوعائي خلايا أصغر لكنّها تتميّز بوجود جدر خلايا أسمك، تُشكِّل طبقة من خلايا الخشب داكنة اللون وتستطيع نقل كمّيات من الماء أقّل من تلك التي ينقلها الخشب المبكر. تُسمّى هذه الطبقات الخشب المتأخِّر Late Wood أو خشب الصيف Summer Wood. يحدث نموّ هذه الطبقات بمعدَّل أقلّ لأنّها تحدث في موسم الجفاف.

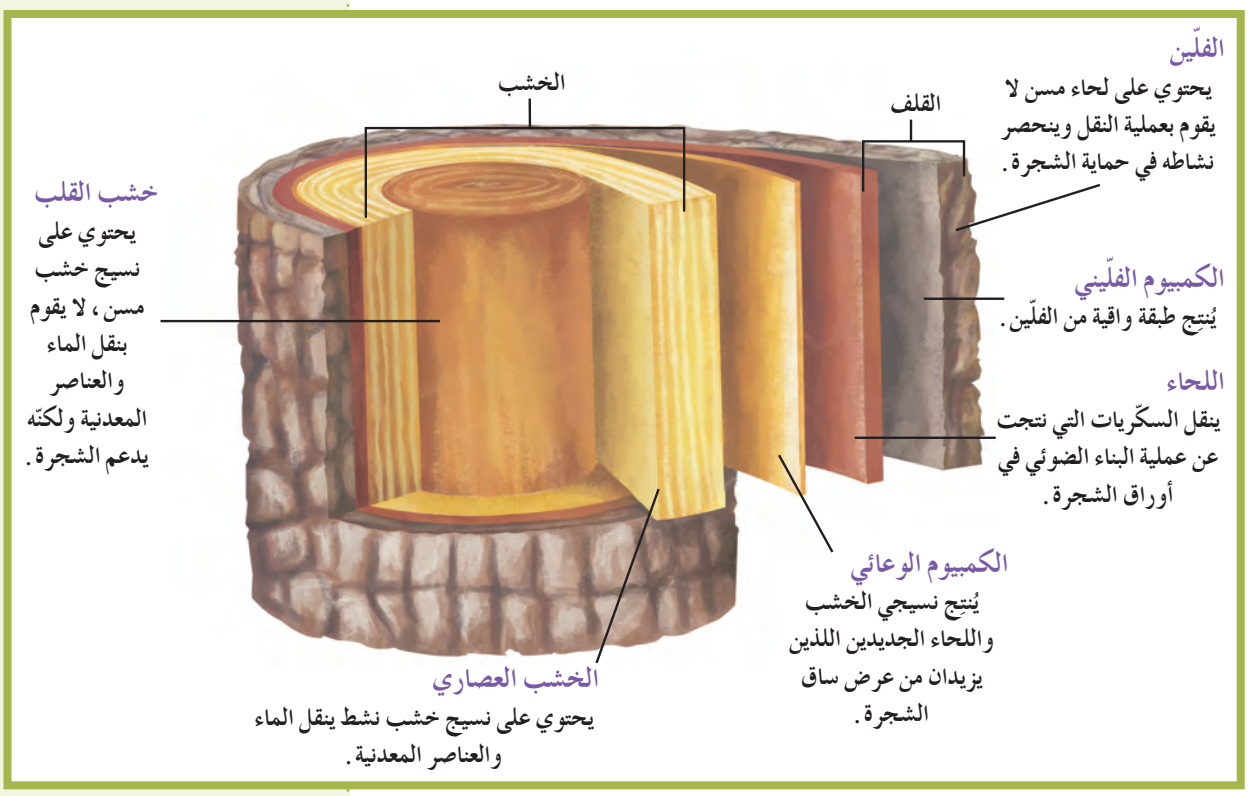
هذا التبادل أو التعاقب في الخشب الداكن والخشب الفاتح يُنتِج ما نُسمّيه عادة حلقات النموّ. تتألّف كلّ حلقة من نطاق من الخشب الداكن ونطاق من الخشب الفاتح، وتُناظِر كلّ حلقة سنة من النموّ، فإذا قمْتَ بعدّ الحلقات في مقطع عرضي من ساق الشجرة الخشبي، أمكنك تقدير عمر الشجرة. يُعطي أيضًا مقدار اتّساع الحلقة معلومات عن الظروف البيئية (الطقس رطب أم جافّ) التي كانت سائدة في سنة معيَّنة من النموّ. فتُشير الحلقات الواسعة إلى أنّ الطقس السائد كان ممطرًا والحرارة كانت مناسِبة، في حين تُشير الحلقات الضيّقة إلى حالة من الجفاف في الطقس. وتتكوّن حلقات النموّ أيضًا في الجذور. لماذا يُمكِنك أن تُحدِّد عمر الشجرة عن طريق عدّ حلقات النموّ فيها؟



(شكل 44)
قارِن بين خشب الربيع وخشب الصيف في هذا القطاع المصبوغ. لماذا يكون خشب الربيع أكثر اتّساعًا؟

4.3 تكوُّن القلف Formation of Bark

تُنتِج معظم الأشجار القلف الذي يتضمّن جميع الأنسجة خارج الكمبيوم الوعائي كما يُظهِر الشكل (45). ممَّ يتألّف القلف؟
كيف يتكوّن القلف؟ تخيَّلِ الشجرة عند إنتاج نسيج جديد من الخشب.



(شكل 45)
يُوضِّح الشكل الطبقات المختلِفة التي أنتجها نسيج الكمبيوم خلال مرحلة النموّ الثانوي في شجرة ناضجة خلال سنوات عديدة. أيّ طبقة تحتوي على خلايا إنشائية؟

سوف يزداد حجم الساق عرضًا. تذكَّرْ أنّ الكمبيوم الوعائي ينقسم باتّجاهين منتِجًا الخشب الثانوي نحو الداخل واللحاء الثانوي نحو الخارج. بتراكم الأنسجة الخشبية، يتحرّك الكمبيوم الوعائي باتّجاه الخارج مؤدّيًا إلى ازدياد عرض الساق، ومحدِثًا ضغطًا على الأنسجة الوعائية الأوّلية نحو الداخل والخارج بوجود هذا الضغط، وتتأثّر الأنسجة الموجودة نحو الخارج مثل اللحاء الأوّلي الذي يتشقّق ويتفتّت، بالإضافة إلى الأنسجة الأخرى كالقشرة والنسيج الجلدي. وممكن أن يُؤدّي ذلك إلى فقدان الشجرة لكمّيات من الماء والغذاء. ولكن لا يحدث هذا في وجود الكمبيوم الفلّيني، كيف؟ يُغلِّف الكمبيوم الفلّيني القشرة ويُنتِج طبقة سميكة من الفلّين. يتألّف الفلّين من خلايا ذات جدر سميكة تحتوي على الدهون والزيوت والشمع. هذه الموادّ غير النافذة للماء تُساعِد على منع فقدان الماء من الساق. في معظم الأحيان، تكون خلايا الفلّين الخارجية ميتة، ومع ازدياد حجم الساق في العرض، يتمزّق الفلّين القديم ويُنزَع على شكل شرائط أو رقع.

مراجعة الدرس 1-4

1. أين تنشأ الخلايا والأنسجة الجديدة في النباتات؟
2. صِفْ نمطين شائعين من نموّ النباتات. ما نوع النباتات التي يظهر فيها كلّ نمط من أنماط النموّ؟
3. قارن بين الأنسجة الانشائية والأنسجة الاخرى من النباتات.
4. **سؤال للتفكير الناقد:** هل تتوقّع أنّ معظم النباتات أحادية الفلقة تُنتِج الفلّين؟ فسِّر إجابتك.
5. **أضِف إلى معلوماتك:** كيف يُمكِّن الانقسام الميتوزي النباتات النامية من الحفاظ على الرسالة الوراثية المدوَّنة في معظم خلاياها؟

فقرة إثرائية

علم الأحياء في حياتنا اليومية

ثابت مثل الأرجوحة الشبكية

قد لا تحتاج أبدًا إلى تحريك أرجوحتك الشبكية إلى أسفل كلّما نمت الأشجار المعلَّقة فيها. فالأشجار تنمو في الطول عند أطراف فروعها أو قممها، لذلك فالأرجوحة المثبَّتة بشجرتين تبقى عند الارتفاع نفسه تقريبًا طيلة فترة حياة الشجرتين.

الفصل الثاني

التكاثر والاستجابة في النباتات
Response and Reproduction in Plants

تزهّر نباتات أجراس الثلج في هواء جبال الألب الشاهقة الارتفاع أسفل القمم المكسوّة بالثلج، وشمالًا في وسط آلاسكا. في بداية فصل الصيف، تنبت أعشاب من خلال ثلج الصيف المبكر تُشبِه الصوف الثلجي في أرض دائمة التجمّد. كيف تبقى هذه النباتات حيّة في المناطق القطبية التي غالبًا ما تكون مظلمة، وبوجود الرياح والبرد الشديدان؟ كيف تتكاثر بوجود هواء قليل الأكسجين وتحت درجات الحرارة المنخفِضة في قمم الجبال؟ غالبًا ما تكون الإجابات عن هذه الأسئلة مذهلة. فبعض النباتات تفرز الكحول الذي يعمل كمادّة مانعة للتجمّد، ولأزهار نباتات أخرى بتلات لها قدرة عالية على عكس الضوء، فهي تتّخذ شكل الكؤوس لاقتناص أشعّة الشمس، لذلك قد ترتفع درجة حرارتها 10°C عن الهواء المحيط بها. الطقس البارد الذي تعيش فيه هذه النباتات البذرية يُطِئ معدَّلات تكاثرها، فتستغرق عامين أو ثلاثة لتُنجِز ما تُنجِزه النباتات التي تعيش في الطقس الدافئ في موسم نموّ واحد. فبراعمها التي تتكوّن في فصل الصيف تبقى راقدة طوال موسم الشتاء الطويل، وتُزهِر مع الأيّام الدافئة الأولى لفصل النموّ التالي. وتتكاثر نباتات قطبية عديدة في التربة عن طريق إنتاج الريزومات أو السوق الجارية لتنمو نباتات جديدة.

خلال البرد، تحتفظ بعض النباتات بالحرارة والطاقة لكي تمنع سوائلها الداخلية من التجمّد. أمّا في البرد القارس فتدخل هذه النباتات في فترة الكمون. ما الطرق الأخرى التي تستجيب بها النباتات لما يحيط بها عندما تنمو وتتكاثر؟

دروس الفصل

الدرس الأوّل
* التكاثر الجنسي في النباتات (1)

الدرس الثاني
* التكاثر الجنسي في النباتات (2)

الدرس الثالث
* التكاثر اللاجنسي في النباتات

الدرس 2-1

التكاثر الجنسي في النباتات (1)
Sexual Reproduction in Plants (1)

الأهداف العامة

* يشرح ظاهرة تعاقب الأجيال في النباتات.
* يصف عملية تكاثر النباتات اللابذرية والنباتات البذرية.

(شكل 46)

إذا تجوّلْتَ يومًا في الغابة في أواخر فصل الصيف، قد تسمع أصوات فرقعة خفيفة. إنّها بذور شجرة البندق الساحرة الموضَّحة في الشكل (46) تُقذَف بقوّة نتيجة تقلّص القرون التي تحويها. قد تصل تلك البذور إلى مسافة تتجاوز 14 مترًا، فهي عبارة عن منتِجات التكاثر الجنسي في النباتات البذرية.

1. التكاثر الجنسي Sexual Reproduction

تمرّ معظم النباتات بطور من التكاثر الجنسي في مرحلة من مراحل دورة حياتها. لذلك، فإنّ إمكانية إنتاج نباتات متنوّعة وراثيًّا، لا بدّ أن تكون ذات فائدة كبيرة للأنواع المختلِفة منها.

فالتنوّع الوراثي في الكائنات الحيّة يعزّز مقدرتها على مقاومة الأمراض، والافتراس، والتأقلم مع التغيّرات التي تحدث في البيئة التي تعيش فيها. يسمح ذلك للنباتات بالاستمرار في الحياة والانتشار على شكل نباتات جديدة وهجينة ذات صفات وراثية مختلِفة إلى حدّ ما عن النباتات الأمّ. ويُوضِّح الشكل (47) وردة هجينة.

وعلى الرغم من أنّ الأزهار تُعتبَر أكثر التراكيب التكاثرية شيوعًا، إلّا أنّ هناك نباتات لا تُنتِج أزهارًا. فالحزازيات والسرخسيات والنباتات المخروطية مثلًا تتكاثر من دون أن تُكوِّن أزهارًا، فلهذه النباتات تراكيب متخصِّصة لإيواء البويضات والأمشاج الذكرية.

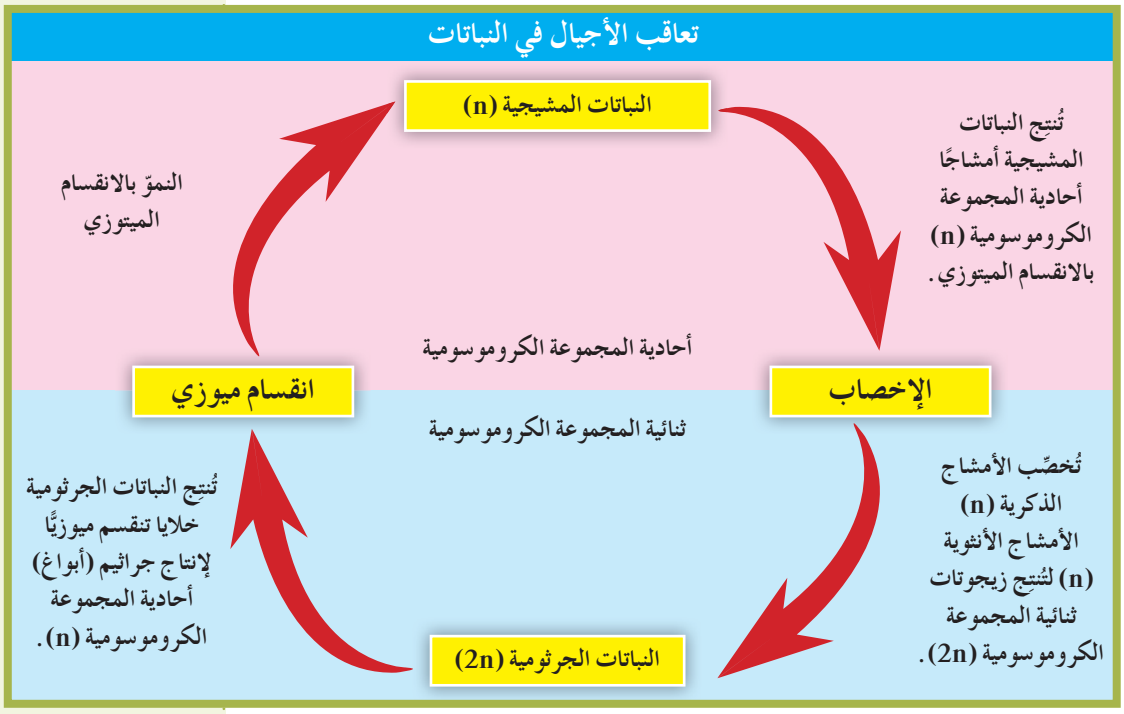
(شكل 47)
أُنتِجت هذه الوردة الهجينة بانتقال حبّة لقاح من نوع من الورد إلى نوع آخر. ويستخدم مربّو النباتات هذا النوع من التكاثر الجنسي لإنتاج زهور ذات روائح وألوان وأشكال جديدة.

وتُعتبَر عملية التكاثر الجنسي في النباتات أكثر تعقيدًا منها في معظم الحيوانات، لأنّ دورة حياتها تستلزم حدوث طورين مختلِفين. وبسبب اختلاف هذين الطورين، فإنّ دورة حياة النباتات تتميّز بظاهرة تعاقب الأجيال.

2. تعاقب الأجيال Alternation of Generations

تمرّ جميع النباتات أثناء دورة حياتها بظاهرة تُسمّى **تعاقب الأجيال Alternation of Generations، والتي تتحوّل خلالها النباتات من أجيال ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n) إلى أجيال أحادية المجموعة الكروموسومية (1n).** **وتتضمّن هذه الظاهرة طورين مهمّين هما: الطور المشيجي والطور الجرثومي أو البوغي.** وقد أُعطِي هذان الطوران هذين الإسمين نسبة إلى ما يُنتِجه كلّ منهما: الأمشاج، والجراثيم أو الأبواغ على التوالي. **خلال الطور المشيجي Gametophyte، تكون النباتات مكوَّنة من خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية (n)، وتُنتِج الأمشاج التي تتّحد أثناء عملية الإخصاب لتُكوِّن الزيجوت (اللاقحة).** **أمّا خلال الطور الجرثومي (البوغي) Sporophyte فتكون النباتات مكوَّنة من خلايا ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n). ويتمّ خلاله انقسام خلايا معيّنة ميوزيًّا لإنتاج الجراثيم (الأبواغ)، وهي تراكيب تكاثرية أحادية المجموعة الكروموسومية (n).** وتستمرّ دورة حياة النباتات بانقسام الجراثيم أو الأبواغ ميتوزيًّا لإنتاج النباتات المشيجية. لاحِظ موضع النباتات المشيجية في دورة حياة النباتات الموضَّحة في الشكل (48). قد تُصبِح النباتات المشيجية نباتات مستقلّة كما يحدث في الحزازيات والسرخسيات، أو مجموعة من الخلايا تعتمد كلّيًّا على خلايا النباتات الجرثومية كما يحدث في النباتات المخروطية والزهرية.

(شكل 48)
يُمثِّل هذا الشكل ظاهرة تعاقب الأجيال في النباتات. كيف تُنتَج الأمشاج؟



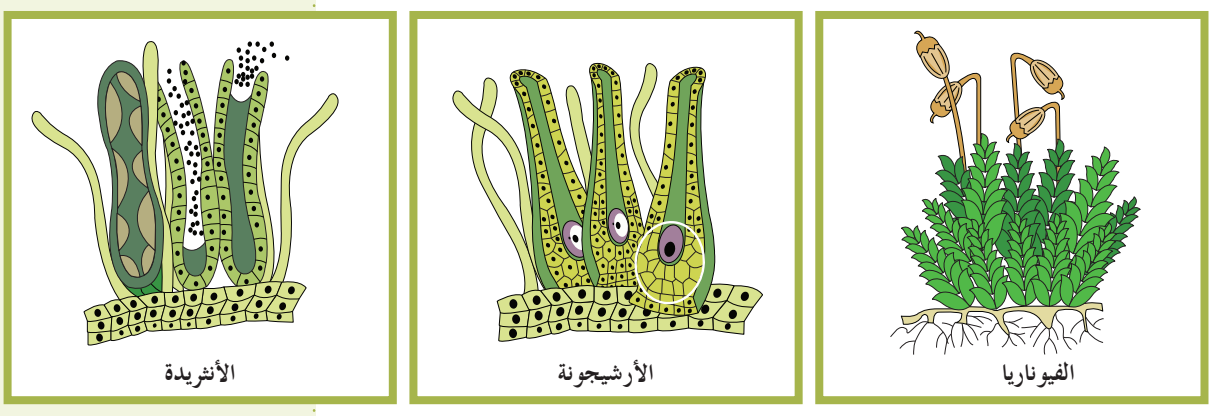
وتختلف دورة حياة النباتات عن دورة حياة الحيوانات في أمرين: الأوّل هو أنّ الخلايا الجسمية للحيوانات هي ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n)، أمّا خلال دورة حياة الأنواع المختلِفة من النباتات، قد يكون الطور الجرثومي أو الطور المشيجي هو السائد. وفي معظم الأنواع النباتية، يكون الطور الجرثومي هو السائد، أمّا في الحزازيات فالطور المشيجي هو السائد. والثاني هو أنّ الانقسام الميوزي لدى الحيوانات يُؤدّي إلى تكوين الأمشاج مباشرة. أمّا في النباتات، فيُؤدّي إلى تكوين الجراثيم. ويُمكِن للجراثيم أن تُصبِح نباتات مستقلّة منتِجة للأمشاج كما يحدث في السراخس والحزازيات.

وفي نباتات أخرى مثل النباتات المخروطية والزهرية، تنمو الجراثيم إلى تراكيب منتِجة للأمشاج، ولا تستقلّ بل تبقى معتمِدة على الطور الجرثومي. وكما في الحيوانات، يحدث الإخصاب باتّحاد السابحات الذكرية والبويضة، فينتج زيجوت جديد ثنائي المجموعة الكروموسومية (2n). لكن في بعض النباتات مثل الحزازيات والسرخسيات، يحدث الإخصاب في الماء. أمّا في النباتات المخروطية والزهرية، فيتمّ الإخصاب من دون الحاجة إلى توفّر الماء.

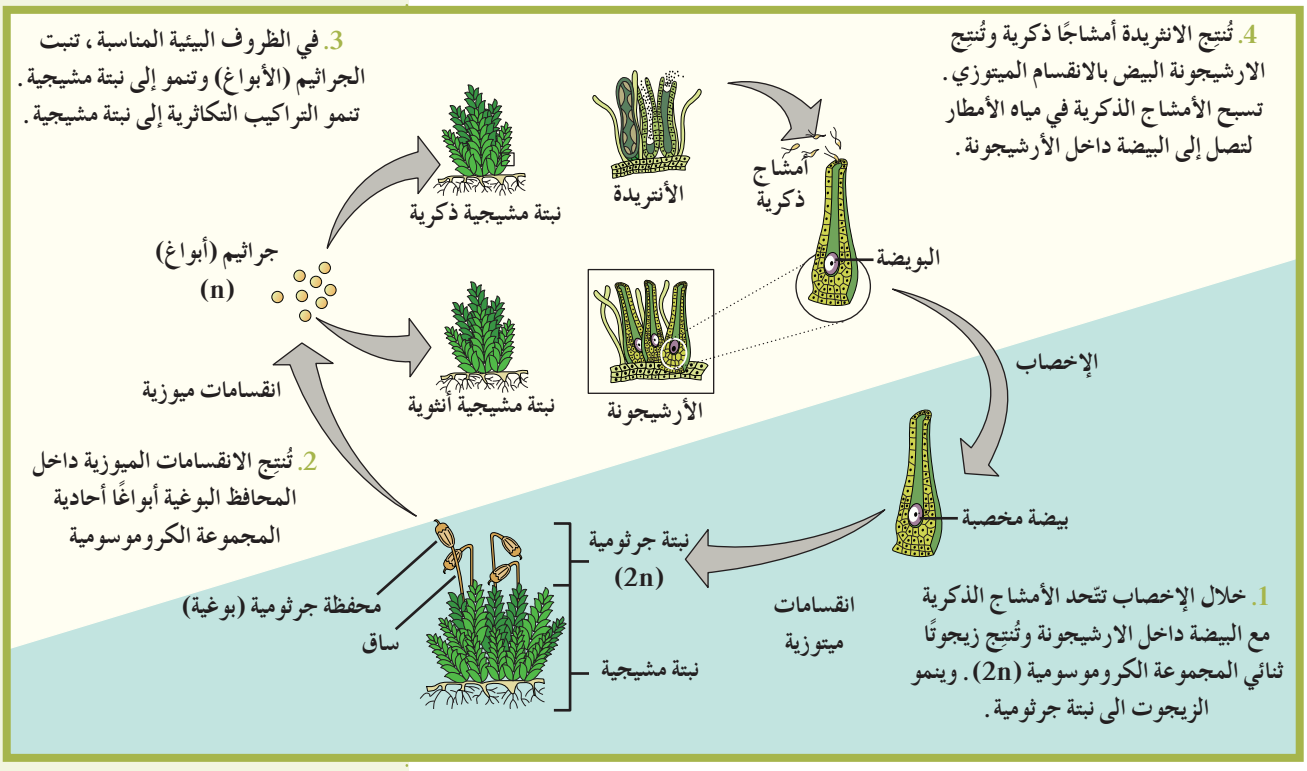
3. دورة حياة النباتات اللابذرية

Life Cycle of Seedless Plants

خلال دورة حياة الفيوناريا، وهي من الحزازيات، يكون الطور السائد هو الطور المشيجي (الشكل 50). تنمو النباتات المشيجية (n) من جراثيم (n) في محيط بيئي مناسب وتعيش مستقلة معتمدة على نفسها في الغذاء لإحتواء خلاياها على البلاستيدات الخضراء ويمتص الماء والمعادن بواسطة الجذور. أثناء هذا الطور، يُؤدّي الانقسام الميتوزي في الأنثريدة Antheridium (التركيب الذكري) إلى إنتاج السابحات الذكرية ذات الأسواط، كما يُؤدّي إلى إنتاج البويضات في الأرشيجونة Archegonium (التركيب الأنثوي) (الشكل 49).



(شكل 49)
نبتة الفيوناريا والتراكيب التكاثرية: الأرشجونة (التركيب الأنثوي) والأنثريدة (التركيب الذكري)



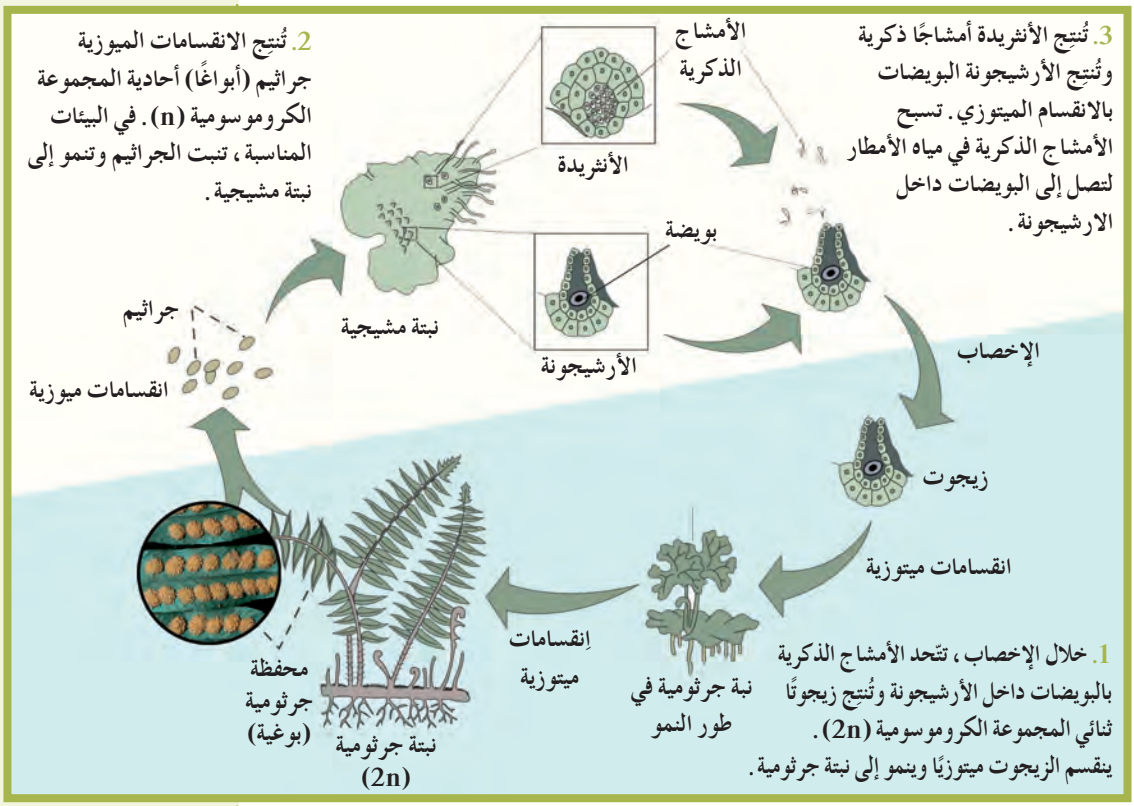
طور ثنائي المجموعة الكروموسومية
طور أحادي المجموعة الكروموسومية

(شكل 50)
دورة حياة الحزازيات

في فترة الخصوبة، تنفصل الأمشاج الذكرية عن الأنثريدة وتسبح باتّجاه الأرشيجونة لتُخصِّب البويضة عند قاعدتها، فتنتج بيضة مخصَّبة (زيجوت) ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n). بعد ذلك يقوم الزيجوت بعدّة انقسامات ميتوزية ينتج عنها جنين ثنائي المجموعة الكروموسومية (2n) داخل الأرشيجونة. ينمو الجنين على النبتة المشيجية ويعتمد عليها في الغذاء ليصبح نبتة جرثومية (2n).

تتشابه دورة حياة الخنشار، وهو من السرخسيات، مع دورة حياة الحزازيات، مع الإختلاف بأنّ الأنثريدة والأرشيجونة تتكوّنان عند السطح السفلي للنباتات المشيجية. وعند توفّر الماء، تسبح الأمشاج الذكرية التي تُطلِقها الأنثريدة باتّجاه الأرشيجونة، فتتّحد إحداها مع بويضة داخلها، ما يُؤدّي إلى إنتاج بويضة مخصَّبة ثنائية المجموعة الكروموسومية. وتُعتبَر البويضة المخصَّبة الخليّة الأولى لنباتات جرثومية (بوغية) (الشكل 51).

خلال الطور الجرثومي (البوغي)، تتكوّن المحافظ البوغية على شكل بثرات في الجهة السفلى لأوراق نباتات الخنشار. تقوم الخلايا في المحافظ الجرثومية (البوغية) بالانقسام الميوزي، فتُنتِج أبواغًا جديدة أحادية المجموعة الكروموسومية. وعندما تنفجر المحافظ الجرثومية (البوغية)، ينقل الهواء الجراثيم (الأبواغ) الناضجة، وينشرها في مساحات واسعة من الأرض حيث تنمو لتُكوِّن نباتات مشيجية جديدة أحادية المجموعة الكروموسومية.



طور ثنائي المجموعة الكروموسومية
طور أحادي المجموعة الكروموسومية

(شكل 51)
دورة حياة السرخسيات

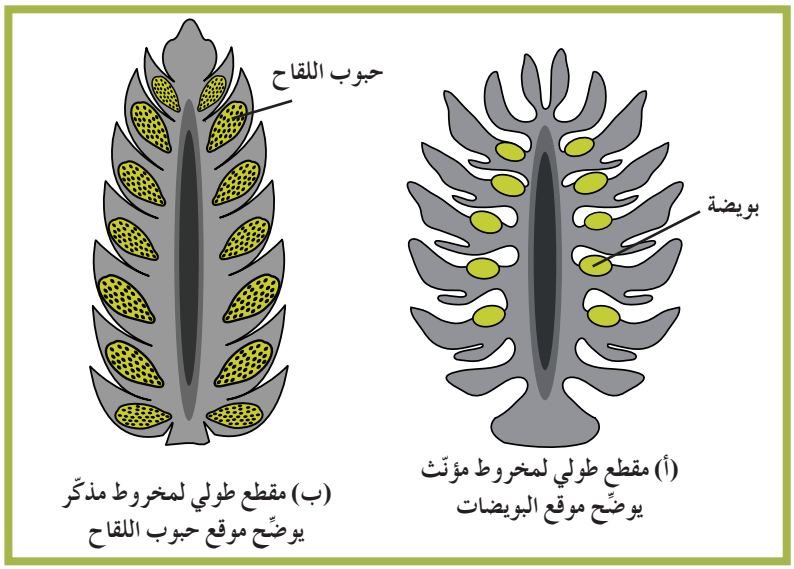
4. التكاثر بالبذور Reproduction by Seeds

أنواع كثيرة من النباتات تُنتِج البذور أثناء التكاثر الجنسي. **والبذرة عبارة عن تركيب يحتوي على جنين نباتي ثنائي المجموعة الكروموسومية، ويُخزِّن الغذاء في شكل نشا بصورة أساسية.** ولمعظم البذور غلاف واقٍ قويّ. ويُمكِن أن تنتقل البذور بعيدًا عن النباتات الأمّ بواسطة الرياح أو الماء أو الحيوانات، تمامًا كما تنتقل الجراثيم (الأبواغ). ويسمح ذلك للنباتات البذرية بالانتشار إلى مساحات واسعة من الأرض.

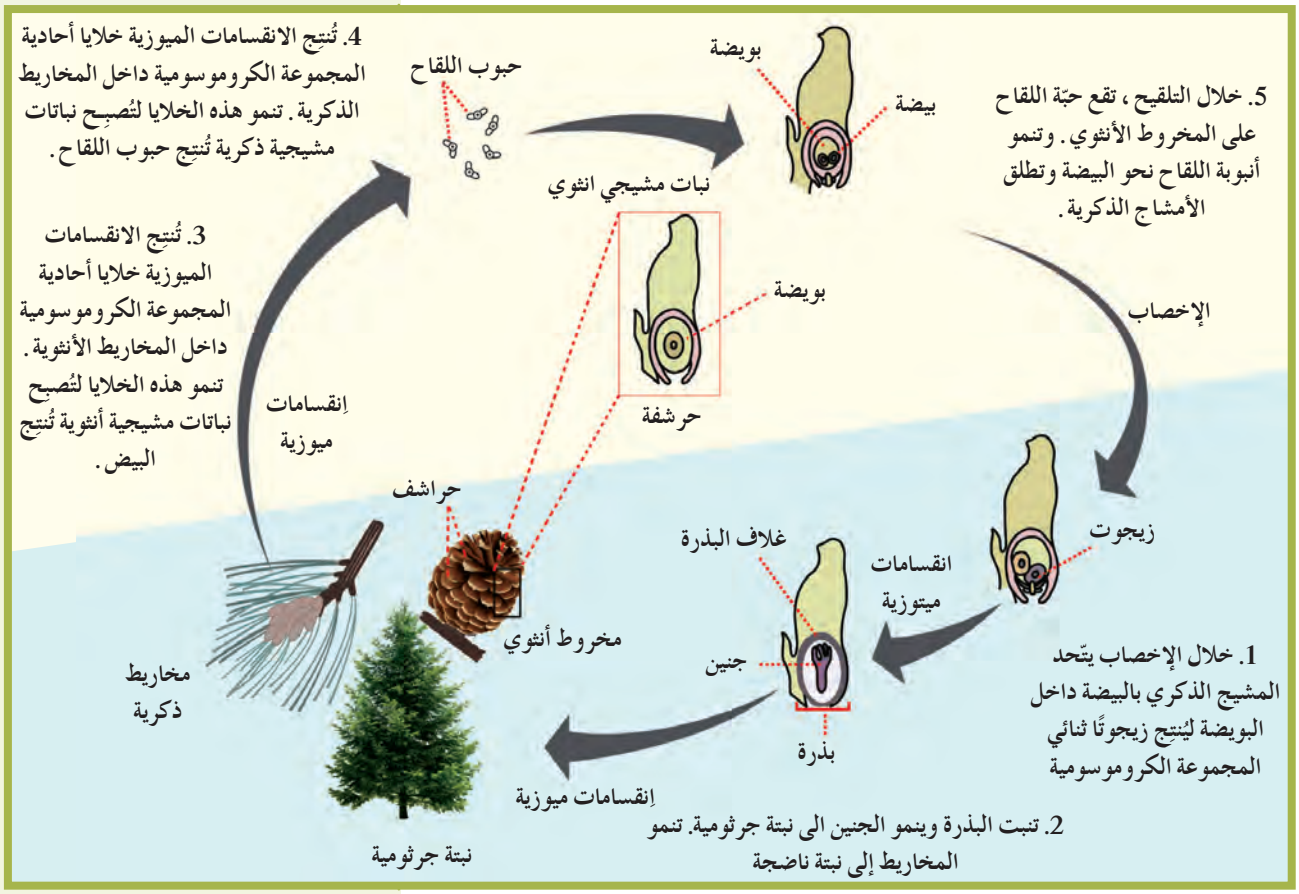
توجَد مجموعتان من النباتات التي يُمكِنها إنتاج البذور. المجموعة الأولى هي النباتات عاريات البذور، وسمّاها العلماء كذلك لأنّ بذورها غير مغلَّفة بثمرة، مثل النباتات المخروطية التي تتواجد بذورها داخل المخاريط. والمجموعة الثانية هي النباتات مغطّاة البذور والتي تكون بذورها مغلَّفة بالثمار، مثل بذور النباتات الزهرية. وتتضمّن هذه المجموعة نباتات أحادية الفلقة Monocots أو ثنائية الفلقة Dicots، وفقًا لعدد الفلقات الموجودة داخل البذرة.

يظهر الشكل (54) دورة حياة الصنوبر، وهو نوع من أنواع النباتات المخروطية. تحمل شجرة الصنوبر نوعين من المخاريط، الذكرية والأنثوية، منفصِلة بعضها عن بعض (شكل 52). خلال فصل الربيع، تقوم خلايا معيَّنة ثنائية المجموعة الكروموسومية من المخاريط الذكرية بإنتاج جراثيم ذكرية دقيقة Microspores أحادية المجموعة الكروموسومية بواسطة الانقسام الميوزي. وفي الوقت نفسه، تقوم المخاريط الأنثوية بإنتاج جراثيم أنثوية ضخمة Macrospores.

(شكل 52)
المخاريط الأنثوية والذكرية وموقع كلّ منهما على الشجرة.

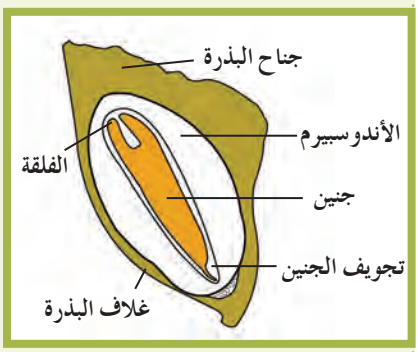


(شكل 53)
مقطعان طوليان لمخروطين أحدهما مذكّر والآخر مؤنث.



(شكل 54)
دورة حياة الصنوبر

على عكس الحزازيات والسرخسيات، لا تُكوِّن الجراثيم نباتات مشيجية، بل تنتج مباشرة حبوب اللقاح Pollen أو بويضات Eggs (شكل 53).
يتمّ التلقيح في الصنوبر حين تُطلِق المخاريط الذكرية أعدادًا كبيرة من حبوب اللقاح التي تنتقل في الهواء. ولا يتمكّن إلّا عدد قليل منها من الوقوع على المخاريط الأنثوية، ليصل بعدها الى البيض فيُخصِّبه. فتنتج عن ذلك بيضة مخصَّبة ثنائية المجموعة الكروموسومية. تبدأ اللاقحة (البيضة المخصَّبة) سلسلة انقسامات ميتوزية حتّى يتكوّن جنين صغير عبارة عن سويقة تحت فلقية، في أحد طرفيها جذير وفي الآخر ريشة محاطة بعدد كبير من الأغلفة (شكل 55).
ويظلّ الجزء المتبقّي من النباتات المشيجية الأنثوية محيطًا بالجنين ليُكوِّن الأندوسبرم. وفي الوقت نفسه، يتصلّب الغلاف البيضي مكوِّنًا غلاف البذرة الذي يلتصق به جناح رقيق يُساعِد على انتشارها بواسطة الرياح.
يمرّ وقت طويل بين التلقيح وتكوُّن البذرة في المخروطيات، يتجاوز السنة أحيانًا. وتتساقط خلال هذا الوقت المخاريط الذكرية في حين تبقى المخاريط الأنثوية معلَّقة على الأشجار. عند إنبات البذرة، يخرج منها جذير يخترق التربة، وتستطيل السويقة وتبدأ بالظهور فوق سطح التربة. ثمّ تتحوّل البادرة تدريجيًّا إلى شجرة غير محدودة النموّ.
وتتميّز دورة حياة المخروطيات، على عكس الحزازيات والسرخسيات، بأنّ الإخصاب لا يحتاج إلى الماء، لذلك لا تحتاج المخروطيات لبيئة رطبة أو مائية لتتكاثر. كذلك يتواجد الجنين داخل البذرة التي تحميها الحراشف السميكة للمخاريط.



(شكل 55)
مقطع طولي لبذرة الصنوبر توضّح تركيب البذرة

مراجعة الدرس 2-1

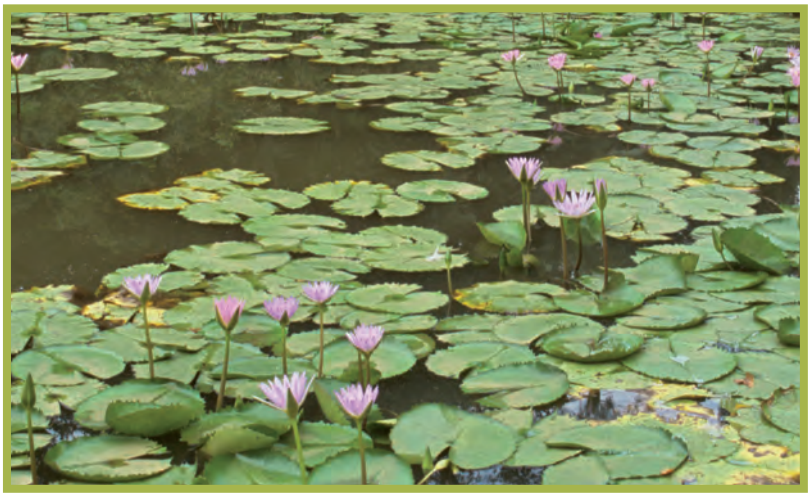
1. صِفْ ظاهرة تعاقب الأجيال في النباتات.
2. ما الطور السائد في كلّ من الحزازيات، السرخسيات والمخروطيات؟
3. ما هي التراكيب التكاثرية في المخروطيات؟
4. **سؤال للتفكير الناقد:** خلال أيّ مرحلة من دورة حياة النباتات تحدث الارتباطات الجينية؟ وأيّ من النبتتين هو أوّل من يرث مثل تلك التغيّرات: النبتة المشيجية أو النبتة الجرثومية (البوغية)؟
5. **أضِف إلى معلوماتك:** قارِن عملية الانقسام الميوزي بالنسبة إلى إنتاج الأمشاج النباتية والحيوانية.

الدرس 2-2

التكاثر الجنسي في النباتات (2)
Sexual Reproduction in Plants (2)

الأهداف العامة

* يُحدِّد التراكيب الذكرية والأنثوية والعقيمة للزهرة.
* يشرح عملية الإخصاب في النباتات الزهرية.
* يُفسِّر عملية إنبات البذور.



(شكل 56)

يحدث التلقيح في نباتات كرفس الماء الموضح في الشكل (56)، عندما تُصادِف الزهرة الذكرية الطافية على سطح الماء منخَفضًا مائيًّا تصنعه الزهرة الأنثوية التي تُثبِّت نفسها بساق مغمورة داخل الماء، فتنزلق الزهرة الذكرية في هذا المنخفَض لتصطدم بالزهرة الأنثوية. في هذه العملية، تُغبِّر الزهرة الأنثوية بحبوب اللقاح التي تقوم بتلقيح البيوض. وعلى الرغم من أنّ الأزهار تُلقَّح بطرق متنوِّعة، إلّا أنّها تحتوي كلّها على التراكيب نفسها التي تسمح بحدوث عملية التكاثر.

1. خصائص الأزهار Characteristics of Flowers

كم قد يبدو العالم من حولنا مظلمًا من دون الأزهار والورود والتوليب والأوركيد! لكنّ أهمّية الأزهار لا تقتصر على الصورة الجميلة التي يراها بها الإنسان أو على رائحتها الزكيّة التي يشمّها، بل في الوظيفة التي تُؤدّيها. فالزهرة هي العضو التكاثري في النباتات الزهرية أو النباتات مغطّاة البذور. **الأزهار Flowers عبارة عن سوق متحوِّرة لها أوراق وتراكيب أخرى متخصِّصة من أجل عملية التكاثر.** ولمعظم الأزهار ثلاثة أنواع من التراكيب: ذكرية، أنثوية وعقيمة.

وتُطلَق تسمية الزهرة الكاملة Complete Flower على تلك التي تحتوي على التراكيب الأنثوية والذكرية معًا، مثل أزهار المنتور والمشمش والفول.
وتوصَف **بالزهرة الناقصة Incomplete Flower تلك التي تحتوي على إحدى التراكيب الأنثوية أو الذكرية فقط**، مثل زهرة التين والتوت والنخيل.
أمّا التراكيب العقيمة فوظيفتها حماية الأزهار والأجنّة النامية، وجذب الحشرات من أجل إتمام عملية التلقيح.

1.1 التراكيب العقيمة للزهرة

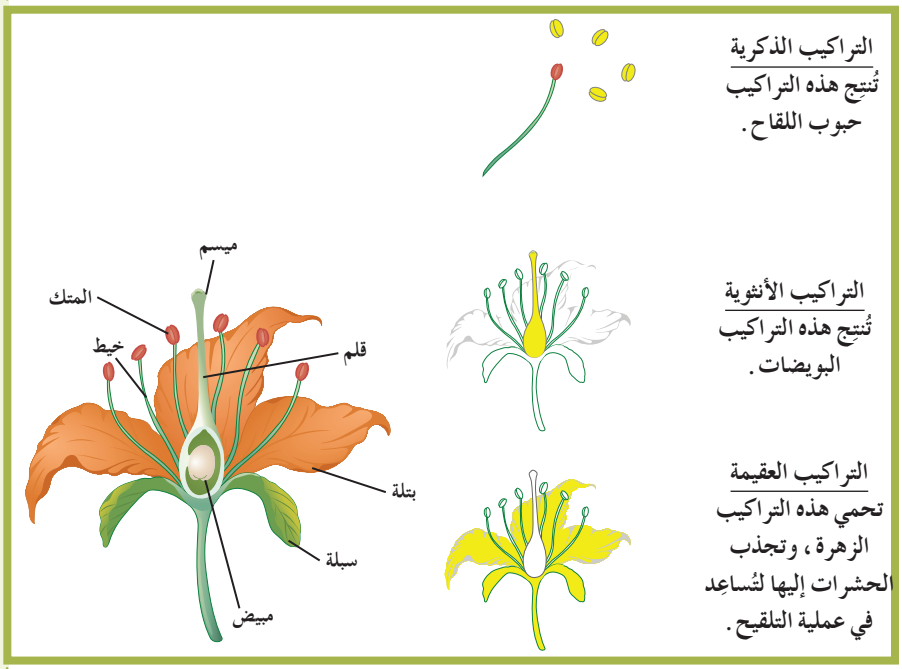
Sterile Parts of the Flower

الكأس، وهي تُشكِّل المحيط الخارجي للزهرة الذي يحضن التراكيب الأخرى ويحميها من العوامل الخارجية. وعادة ما تكون أوراق الكأس أو السبلات Sepals خضراء اللون، لكنّ عددها قد يختلف من زهرة إلى أخرى.
التويج، وهو يتكوّن من أوراق (البتلات) قد يختلف لونها من زهرة إلى أخرى، ولها روائح مختلِفة تُساهِم في جذب الحشرات التي تُؤدّي دورًا مهمًّا في عملية التلقيح. ومثل السبلات، قد يختلف عدد الأوراق الملوَّنة أو البتلات Petals من زهرة إلى أخرى، لكنّه ثابت في أزهار النوع الواحد.

2.1 التراكيب التكاثرية للزهرة

Male and Female Parts of the Flower

الأسدية Stamens، وتُعرَف أيضًا بالطلع، هي التراكيب الذكرية في الزهرة، وقد يختلف عددها من نوع إلى آخر في النباتات. تتكوّن كلّ سداة من جزءين: المتك Anther والخيط Filament، كما يُوضِّح الشكل (57). والخيط يحمل المتك الذي يقوم بإنتاج حبوب اللقاح Pollen التي تحتوي على الأمشاج الذكرية.



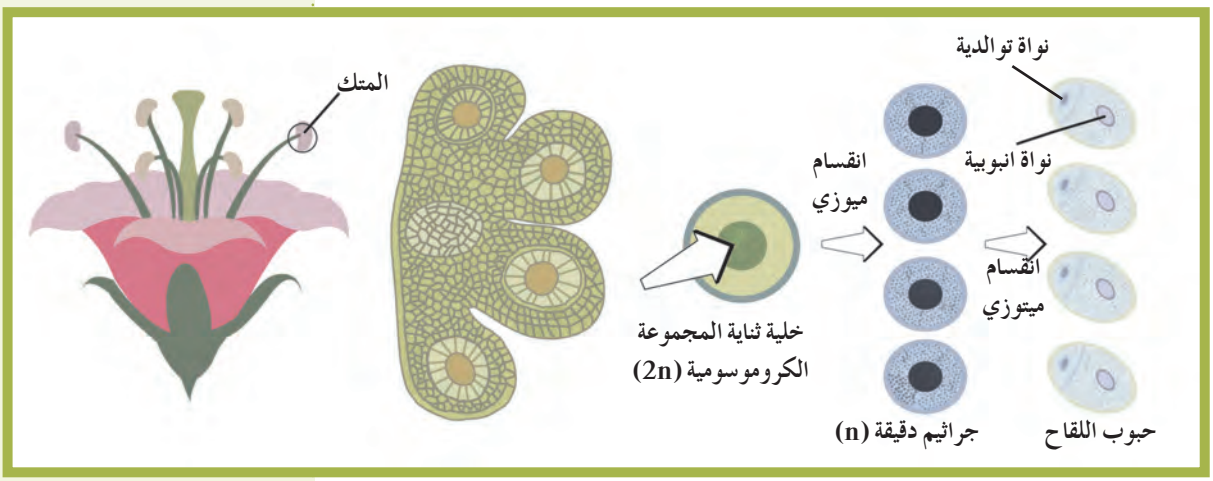
(شكل 57)
زهرة نموذجية

يتكوّن المتاع Pistil الذي غالبًا ما يشغل مركز الزهرة، عادة من ثلاثة أجزاء: الميسم Stigma، والقلم Style، والمبيض Ovary، كما يوضّح الشكل (57).

لكلّ جزء من المتاع وظيفة خاصّة، فالميسم هو التركيب الذي تحطّ عليه حبوب اللقاح وتنبت، لذلك غالبًا ما يكون لزجًا ودبقًا لتثبت عليه حبوب اللقاح. ويصل القلم بين المبيض والميسم، أمّا المبيض فيحتوي على بويضة Ovule واحدة أو أكثر وفقًا لنوع النباتات.

2. تكوُّن الأمشاج Production of Gamete

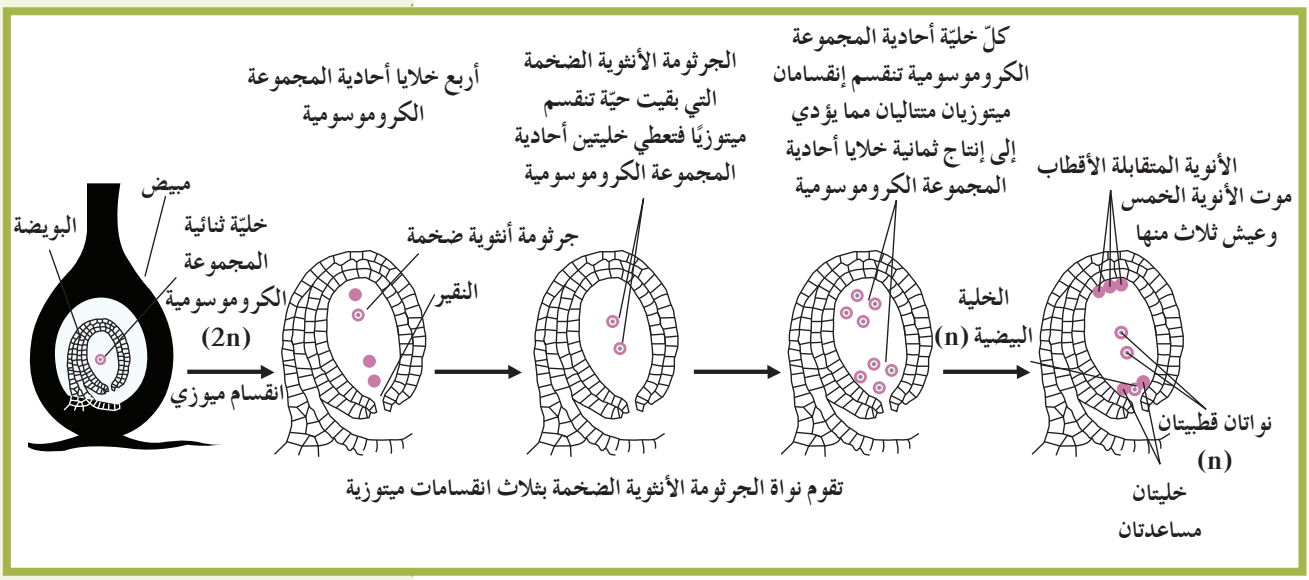
كما في معظم النباتات، تتعاقب الأجيال في النباتات الزهرية، لكنّ الطور المشيجي يقتصر على تكوين الأمشاج ولا يُنتِج نباتات مستقلّة كما يحدث في الحزازيات والسرخسيات. يبدأ النشاط الجنسي للنباتات الزهرية في المتك حيث أنّ ثمّة خلايا معيّنة، ثنائية المجموعة الكروموسومية، تبدأ بالانقسام الميوزي، لتُنتِج كلّ منها أربع خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية تُسمّى الجراثيم (الأبواغ) الدقيقة Microspores، والتي ما تلبث أن تنتج بواسطة الانقسام الميتوزي حبوب اللقاح التي يُشكِّل مجموعها نباتات مشيجية ذكرية. وتحتوي كلّ واحدة من حبوب اللقاح على نواتين: نواة أنبوبية Tube Nucleus ونواة توالدية Generative Nucleus. يُوضِّح الشكل (58) تكوّن حبوب اللقاح في المتك.



(شكل 58)
تُنتَج حبوب اللقاح بواسطة الانقسام الميتوزي داخل أكياس حبوب اللقاح في المتك.

في الوقت نفسه، تبدأ بعض خلايا البويضة Ovule ثنائية المجموعة الكروموسومية بالانقسام الميوزي، لتُنتِج كلّ منها أربع خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية، تزول منها ثلاث لتبقى واحدة فقط تُسمّى الجرثومة (البوغ) الأنثوية الضخمة Megaspore. ثم تتعرّض نواة هذا البوغ إلى ثلاثة انقسامات ميتوزية متتالية، لتُنتِج 8 أنوية أحادية المجموعة الكروموسومية مرتَّبة في مجموعات.

تتمركز ثلاث أنوية في أسفل البويضة (الخلية البيضية Egg Cell ونويتان أخريان مساعدتان تتفتّتان بعد الإخصاب) وثلاث أنوية في أعلاها وتُسمّى الأنوية متقابلة الأقطاب التي تتفتّت أيضًا بعد الإخصاب، ونواتان في منتصفها تُسمَّيان النواتين القطبيتين، كما يُوضِّح الشكل (59). تُشكِّل الأنوية الثماني مع السيتوبلازم المحيط بها الطور المشيجي في النباتات. ثلاث فقط من هذه الأنوية تُؤدّي دورًا مهمًّا في عملية التكاثر الجنسي: النواتان القطبيتان والخلية البيضية التي تأخذ مكانها بالقرب من فتحة النقير Micropyle. أمّا الأنوية الخمس المتبقِّية فتختفي مع حدوث الإخصاب.



(شكل 59)
بعد انقسام ميوزي واحد وعدّة انقسامات ميتوزية، تتكوّن بيضة ونواتان قطبيتان داخل البويضة. أمّا الخلايا أحادية المجموعة الكروموسومية الأخرى الناتجة عن تلك العملية، فتموت.

3. التلقيح والإخصاب Pollination and Fertilization

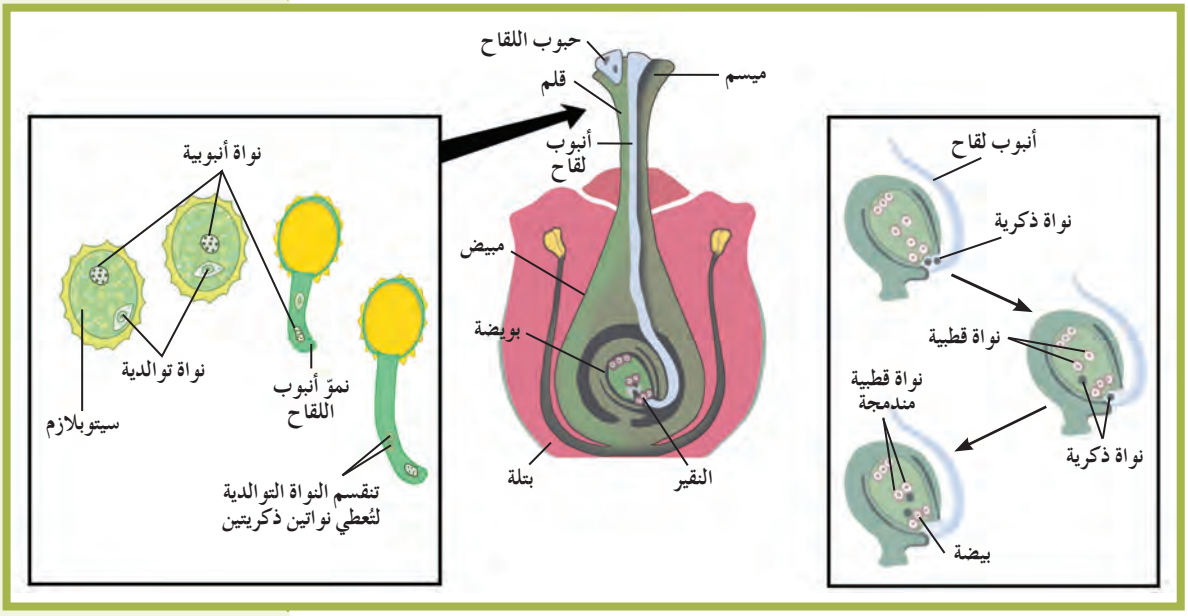
عندما ينضج المتك ينفجر غلافه، فتتناثر حبوب اللقاح وتنتقل إلى ميسم الزهرة أثناء عملية التلقيح Pollination. ويكون التلقيح ذاتيًّا Self Pollination عندما تنتقل حبوب اللقاح من متك زهرة إلى ميسمها. أمّا التلقيح الخلطي Cross Pollination، وهو الأكثر انتشارًا، فتنتقل خلاله حبوب اللقاح من المتك إلى ميسم زهرة أخرى من النوع نفسه. وتُساعِد عوامل عديدة، مثل الهواء والحشرات (شكل 60) والماء، على انتقال حبوب اللقاح وانتشارها. بعد أن تلتصق حبوب اللقاح على ميسم الزهرة اللزج والدبق، تنبت مكوِّنة أنبوبة تُسمّى أنبوبة اللقاح. خلال نموّها، تمتدّ هذه الأنبوبة عبر القلم إلى المبيض حاملة معها النواتين: الأنبوبية والتوالدية. تُساعِد النواة الأنبوبية في نموّ أنبوبة اللقاح، ثمّ تزول مع نهاية نموّه. أمّا النواة التوالدية أحادية المجموعة الكروموسومية (n)، فتنقسم انقسامًا ميتوزيًّا في الأنبوبة لتُعطِي نواتين أحاديتي المجموعة الكروموسومية (n)، تُصبِحان لاحقًا النواتين الذكريتين بعد أن يستطيل شكلاهما.

(شكل 60)
بعض الخنافس تُساعِد في تلقيح الأزهار كلّما تنقّلت من زهرة إلى أخرى باحثة عن حبوب اللقاح لتتغذّى.

ويحدث الإخصاب Fertilization عندما تنتقل إحدى النواتين الذكريتين من أنبوبة اللقاح إلى البويضة عبر فتحة النقير، فتتّحد مع الخلية البيضية لتُكوِّن الزيجوت Zygote أو البيضة المخصَّبة. في هذه الأثناء، تُخصِّب النواة الذكرية الثانية النواتين القطبيتين، ونتيجة ذلك الإخصاب الثاني، يتكوّن نسيج تكون خلاياه ثلاثية المجموعة الكروموسومية (3n)، ويُعرَف بنسيج سويداء البذرة أو الأندوسبرم Endosperm.

يُخزِّن هذا النسيج الموادّ الغذائية في البذرة، بينما يتحوّل جدار البويضة إلى غلاف البذرة. ولا تحدث عملية الإخصاب المزدوجة هذه إلّا في النباتات مغطّاة البذور (شكل 61).

يبدأ الطور الجرثومي (البوغي) للنباتات مع اكتمال عملية الإخصاب وتكوُّن الزيجوت الذي يتعرّض لسلسلة من الانقسامات الميتوزية، فيتكوّن الجنين Embryo، وتُصبِح البويضة بذرة. في الوقت نفسه، تتحوّل الأجزاء الأخرى من المبيض والأنسجة المحيطة به إلى ثمرة Fruit تُغلِّف البذرة أو البذور المتكوِّنة.



(شكل 61)
عندما تحطّ حبوب اللقاح على الميسم، تنمو أنبوبة لقاح وتمتدّ داخل القلم (إلى اليسار). عندما تصل الأنبوبة إلى البويضة، تُخصِّب نواة ذكرية واحدة البيضة مكوِّنة زيجوتًا، بينما تتّحد النواة الذكرية الأخرى مع النواتين القطبيتين مكوِّنة نواة الأندوسبرم.

4. الإنبات Germination

يُساهِم انتشار البذور لمسافات بعيدة عن النبتة الأمّ في انتشار النباتات على مساحات واسعة وفي بيئات مختلِفة. فبعض البذور خفيفة الوزن تُحمَل بواسطة الرياح، وبعضها الآخر له خطّافات تُثبِّتها بسهولة بأجسام الحيوانات التي تنقلها إلى أماكن بعيدة. كما يُمكِن للحيوانات أن تنقل البذور بطريقة أخرى، فعندما تأكل الثمار، تنتشر البذور غير القابلة للهضم بواسطة فضلاتها. وعندما تكون الظروف البيئية مناسبة لنموّ البذور، تظهر منها أولى الأوراق وتنمو في عملية تُسمّى الإنبات. يُوضِّح الشكل (62) مراحل عملية الإنبات لبذرة ثنائية الفلقة.

خلال تلك العملية، يستمدّ الجنين الطاقة من الغذاء المخزَّن في البذرة، فينمو ممزِّقًا غلاف البذرة ويُكوِّن جذيرًا Radicle وسويقة جنينية أو تحت فلقية Hypocotyl ينموان مع نموّ البادرة النباتية.

يمتدّ الجذير في التربة وينمو الى أسفل، وتنمو السويقة الى أعلى حاملة معها الفلقتين والريشة Plumule. وتكون تلك السويقة أوّل الأمر منحنية الى أسفل ثمّ تستقيم وتنفرج الفلقتان، فتتعرّض الريشة للضوء والهواء.

تضمحلّ الفلقتان شيئًا فشيئًا، ثمّ لا تلبثان أن تسقطا بعد أن يُستنفَد كلّ ما فيهما من غذاء مخزَّن. بعد ذلك تخضرّ الريشة وتكبر، وتتميّز فيها الساق والأوراق الخضراء، فتتحوّل تدريجيًّا إلى مجموع خضري، كما يتفرّع الجذير ويستمرّ في النموّ تحت الأرض حتّى يتحوّل إلى مجموع جذري. ويُسمّى هذا الإنبات بالإنبات الهوائي لأنّ الفلقتين تظهران في الهواء فوق سطح التربة.

ويُؤثِّر في عمليّة الإنبات عدّة عوامل بيئية، هي:

* **مدى توفّر الماء:** فخلال المرحلة الأولى من الإنبات، يُنشِّط الماء العديد من الإنزيمات بما فيها تلك التي تُحوِّل النشا إلى السكّر الذي يُعتبَر المصدر الأساسي للطاقة لنموّ الجنين.
* **درجة الحرارة:** تحتاج البذور إلى درجات حرارة معتدلة أو دافئة لكي تنبت. ولهذا السبب، توجد وفرة كبيرة من النموّ النباتي أثناء فصل الربيع الذي يتميّز بالدفء، ما يدفع العديد من البذور الكامنة لأن تنبت.

(شكل 62)
الإنبات

* **مدى توفّر الأكسجين:** لا يحدث الإنبات في غياب هذا العنصر. ففي البذور النابتة، تحدث عملية التنفّس بمعدّل سريع وبخاصّة في المراحل الأولى من الإنبات. ويتوقّف معدّل استهلاك الأكسجين على نوع الغذاء المخزَّن والذي ستتمّ أكسدته.
* **الضوء:** يُؤثِّر على إنبات بعض البذور ولا يُؤثِّر على إنبات البعض الآخر. فبذور التبغ والخسّ والجزر مثلًا تحتاج إلى الضوء لكي تنبت. وعادة ما تكون هذه الأنواع من البذور صغيرة الحجم، تحتوي على القليل من الموادّ الغذائية المخزَّنة التي تكفي لإنبات البذرة لفترة زمنية قصيرة فقط لذا تنثر هذه البذور على وجه التراب.

لا يحتاج إنبات أنواع أخرى من البذور للضوء لأنّه يُعيق إنباتها. فبذور الحمّص والفاصوليا يجب إخفاؤها في التربة لكي لا تتعرّض للإضاءة. وتكون هذه البذور عادة ذات أحجام كبيرة نسبيًّا، وتحتوي على كمّية كبيرة من الموادّ المخزَّنة تكفي لإنبات البذور حتّى لو زُرِعت في عمق التربة.

مراجعة الدرس 2-2

1. حدِّد التراكيب الذكرية والأنثوية والعقيمة في الزهرة.
2. اِشرح باختصار عملية الإخصاب في النباتات، موضِّحًا دور كلّ من التراكيب الذكرية والأنثوية للزهرة في هذه العملية.
3. فسِّر عملية الإنبات.
4. **سؤال للتفكير الناقد:** هل تتوقّع أن تكون حبوب لقاح الأزهار هوائية التلقيح لزجة؟ لمَ نعم ولمَ لا؟
5. **أضِف إلى معلوماتك:** كيف تتواءم تكيّفات النباتات بتكيّفات الكائنات التي تُساعِد في إتمام عملية تلقيح الأزهار؟

الدرس 2-3

التكاثر اللاجنسي في النباتات
Asexual Reproduction in Plants

الأهداف العامة

- يصف طرق التكاثر الخضري الطبيعي.
- يشرح طرق التكاثر الخضري الاصطناعي.
- يُعدِّد فوائد التكاثر الخضري الاصطناعي.
- يتعرّف الزراعة في الماء.
- يصف التكاثر الخضري (البكري) عند النباتات الزهرية.
- يُحدِّد مفهوم زراعة الأنسجة عند النباتات.

(شكل 63)

عندما تُقطَع القمم النامية (أنسجة مرستيمية أو إنشائية) من نبات وتوضَع في محلول مغذٍّ وشروط بيئية مناسِبة، تنقسم الخلايا في النسيج الإنشائي وتُسبِّب نموّ النسيج (شكل 63). يلي ذلك أخذ قطع صغيرة من النسيج النامي وإعادة زراعتها في محاليل مغذّية من جديد، لتنمو كلّ قطعة منها وتُصبِح نبتة كاملة. بهذه الطريقة، يكون العلماء قد استنسخوا نباتات عديدة من النبتة الأمّ بطريقة من طرق التكاثر اللاجنسي.

1. التكاثر الخضري Vegetative Reproduction

يتمّ التكاثر الجنسي في النباتات كما في معظم الكائنات الحيّة باتّحاد نواة الأمشاج من فردين، فتنتج عن هذا النوع من التكاثر تنوّعات وراثية كثيرة. وعلى عكس ذلك، لا تحدث في التكاثر اللاجنسي عملية إخصاب، لذلك تنتج عنه أفراد جديدة مطابقة وراثيًّا للنبتة الأمّ.
يُوضِّح الشكل (64) نوعين من النباتات التي تتكاثر لاجنسيًّا.

(شكل 64)
استنساخات نباتية طبيعية، نباتات كلّ منها متطابقة وراثيًّا، ونشأت من نبات أصلي (أبوي) واحد.

وعلى الرغم من أنّ الكثير من النباتات يتكاثر لاجنسيًّا في أوقات معيَّنة خلال دورة حياتها، فإنّ نباتات أخرى تستخدم هذه الطريقة من التكاثر في معظم دورة حياتها. وتُشكِّل قدرة النباتات على التكاثر بالطريقتين الجنسية واللاجنسية فائدة كبيرة لها، ففي البيئة المستقرّة والغنية بالموارد، يكون التكاثر اللاجنسي أسرع من التكاثر الجنسي، ويُنتِج نباتات متكيِّفة للعيش في هذه البيئة.

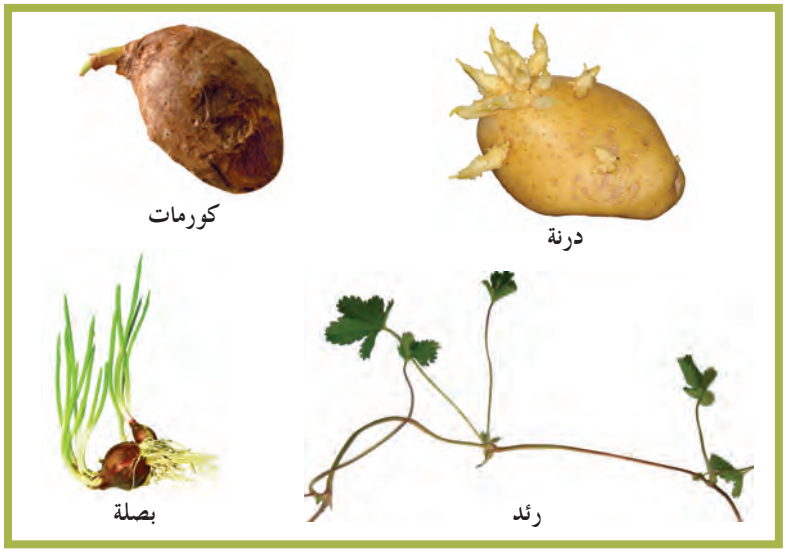
وحين تتغيّر الظروف البيئية، تستطيع هذه النباتات أن تتكاثر جنسيًّا فتنتج عنها نباتات تحمل صفات وراثية جديدة قد تزيد من فرصها للبقاء حيّة في تلك البيئة المتغيِّرة.

ويُسمّى التكاثر اللاجنسي الذي يحدث طبيعيًّا في النباتات بالتكاثر الخضري Vegetative Reproduction، ويُمكِن لتلك النباتات أن تُضاعِف من أعدادها بسرعة كبيرة جدًّا، حتّى أنّها قد تُزاحِم النباتات الأخرى.

2. طرق التكاثر الخضري

Ways of Vegetative Reproduction

يتمّ التكاثر الخضري عن طريق تركيب أو جزء من أجزاء النبات، كالساق أو الجذور أو الأوراق الخضراء. يُمكِنك أن تُقارِن بين العديد من تلك التراكيب الموضَّحة في الشكل (65).



(شكل 65)
الرئدات والدرنات والكورمات والبصلات عبارة عن تراكيب نباتية يُمكِنها إنتاج نباتات جديدة بالتكاثر اللاجنسي. كيف تختلف هذه التراكيب بعضها عن بعض؟

ومع تنوّع التراكيب التي تسمح بالتكاثر الخضري في النباتات، تتنوّع طرق هذا التكاثر الطبيعي. في ما يلي أنواع طرق التكاثر الخضري.

1.2 التكاثر بالرئد أو الترقيد Reproduction by Stolon

هو عملية طمر ساق النبتة في التربة عند ملامسته لها. تحمل الساق الجارية براعم كثيرة ينمو كلّ منها إلى نبتة جديدة. ويُمكِن للنبتة الجديدة أن تُصبِح مستقلّة أو أن تبقى متّصلة بالنبتة الأمّ.

وهذا ما يحدث في نبتة الفراولة ونباتات ياسنت الماء، وهي نباتات مائية تتكاثر خضريًّا بالرئد، وتستطيع أن تسدّ مجاري الأنهر والقنوات. فعشر نباتات منها تستطيع أن تتكاثر وتُنتِج أكثر من 600000 نبتة في العام الواحد.

2.2 التكاثر بالريزومات Reproduction by Rhizomes

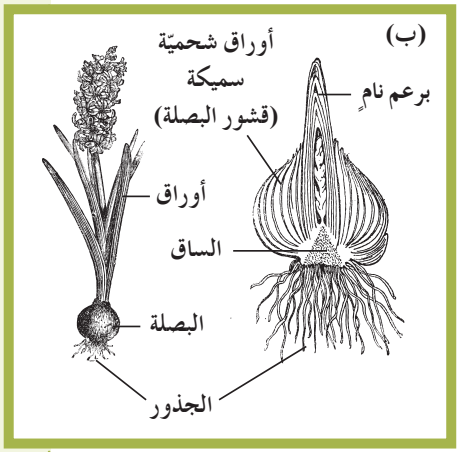
تمتدّ من النبتة ساق تكون في معظم الأحيان أفقية تحت سطح التربة، تمتدّ من براعمها جذور في الأرض، فتنمو نباتات جديدة (شكل 66 – أ)، مثل ما يحدث في نباتات الخيزران والزنجبيل.

3.2 التكاثر بالإبصال والكورمات Reproduction by Corms and Bulbs

لبعض النباتات سوق تمتدّ تحت التربة، فتنمو وتتحوّر لتخزّن الموادّ الغذائية على شكل كورمات Corms. ومن أمثلة النباتات التي تتكاثر بالكورمات، القلقاس والزعفران والجلاديولاس. أمّا الأبصال Bulbs، فهي أيضًا سوق تحت أرضية تحمل أوراقًا شحمية متحوِّرة لتخزين الموادّ الغذائية (شكل 66 – ب). ومن أمثلة النباتات التي تتكاثر بالإبصال، البصل والسوسن والزنبق.

4.2 التكاثر بالدرنات Reproduction by Tubers

تُكوِّن بعض النباتات درنات Tubers، وهي عبارة عن أجزاء أرضية منتفخة من النبتة وتحتوي على براعم. تتكاثر البطاطس مثلًا بواسطة درنات من ساقها، وتنمو براعمها تحت التربة مستخدِمة النشا المخزَّن فيها (شكل 66 – جـ).



(شكل 66)
طرق التكاثر الخضري

(أ) التكاثر بالريزومات
(ب) التكاثر بالإبصال
(جـ) التكاثر بالدرنات

3. التكاثر الخضري الاصطناعي
Artificial Propagation

إذا صادف أن أكلت يومًا العنب من دون بذور أو البرتقال أبو سرة، فإنّك بذلك تكون قد تذوّقت منتَجات للتكاثر الخضري الاصطناعي. ويحدث مثل هذا التكاثر عندما يستخدمه الناس لإنتاج نباتات جديدة. **وتتضمّن طرق التكاثر الاصطناعي التعقيل، والتطعيم و زراعة الأنسجة.**

1.3 التعقيل Cutting

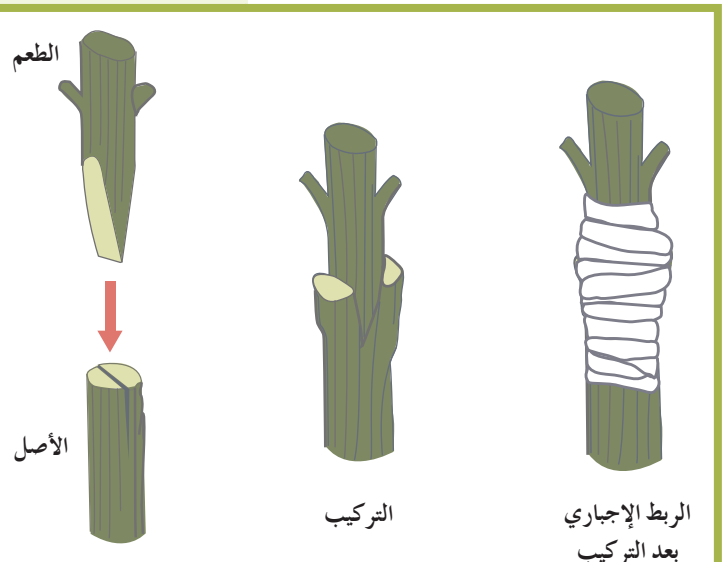
تقتضي هذه الطريقة بأخذ قطعة من الساق أو الورقة، أو برعم الورقة أو قطعة من الجذور، ثمّ غرسها في تربة تُناسِب نموّها. الورود والعنب واللبلاب وتوت العلّيق والتفّاح وقصب السكّر نباتات يتمّ اكثارها بهذه الطريقة.

2.3 التطعيم Budding

هي طريقة نقل قطعة من نبتة تحتوي على برعم واحد تُسمّى الطعم، ووضعها على ساق نبتة أخرى تُسمّى الأصل. في الربيع أو الخريف، يقوم المزارعون بتطعيم الكثير من أشجار الفاكهة والحمضيات مثل التفّاح والليمون الهندي (الجريب فروت).

ولنجاح عملية التطعيم، لا بدّ من اختيار الطعم من شجرة خالية من الأمراض، وأن يكون الطعم والأصل من فصيلة نباتية واحدة. ويجب تغطية مكان الطعم بغطاء ليبقى رطبًا ولمنع دخول الجراثيم إلى الشجرة الأصل. ومن طرق التطعيم تلك الموضّحة في الشكلين (67 – أ) و(67 – ب)، وهي التطعيم بالبرعم والتطعيم بالقلم.

(شكل 67 – أ)
التطعيم بالبرعم



(شكل 67 – ب)
التطعيم بالقلم

(شكل 67)
أنواع من طرق التكاثر الاصطناعي

3.3 الرئد أو الترقيد Stolons

خلال هذه العملية، يعمد المزارعون إلى **طمر أجزاء من سوق النباتات الممتدّة فوق الأرض بينما لا تزال متّصلة بالنبتة الأساسية، لتنمو نبتة جديدة.** وهذا ما يحدث في نبتة الفراولة.

4.3 زراعة الأنسجة Tissue Culture

تسمح هذه الطريقة بإنماء نبتة كاملة من خلايا مفردة أو قطع صغيرة من الأوراق أو الساق أو الجذور. وقد ابتكر هذه الطريقة عالم فسيولوجيا النبات الأميركي ستيوارد، عام 1958، حين تمكّن من إنماء نبتة جزر كاملة من قطع صغيرة من جذورها.

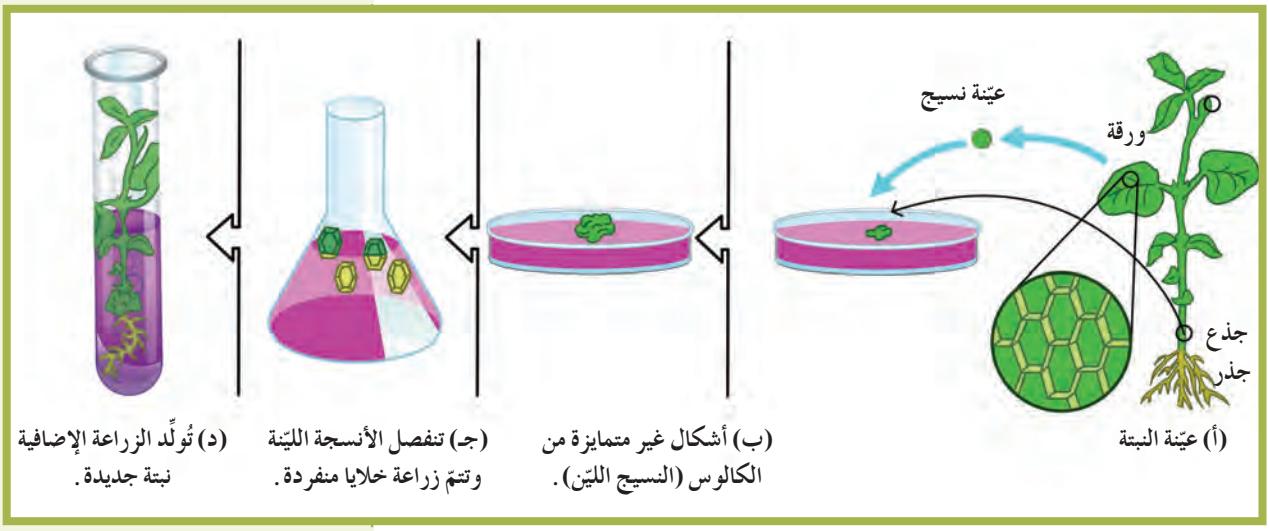
وزراعة الأنسجة النباتية هي مجموعة من التقنيات المُستخدَمة للحفاظ على نموّ خلايا النباتات وأنسجتها في وسط معقَّم ومغذٍّ.

وتعتمد زراعة الأنسجة النباتية على حقيقة أنّ العديد من الخلايا النباتية لديها القدرة على تكوين نبتة كاملة Totipotency. تُؤدّي هذه الزراعة دورًا أساسيًّا في إنتاج محاصيل على نطاق واسع أو تجاري.

من أهمّ تطبيقات زراعة الأنسجة النباتية:

(أ) زراعة الميرستيم Meristem Culture

تستخدم هذه الزراعة أصغر جزء من الساق الذي يحتوي على خلايا غير متمايزة. ويُمكِن لهذه الكتل الخلوية المعروفة بالكالوس Callus أن تتطوّر إلى نبتة كاملة. تُستعمَل هذه التقنية في تطوير الحمضيات والبطاطا الخالية من الفيروسات المسبِّبة للأمراض (الشكل 68).



(أ) عيّنة النبتة — (ب) أشكال غير متمايزة من الكالوس (النسيج الليّن). — (جـ) تنفصل الأنسجة الليّنة وتتمّ زراعة خلايا منفردة. — (د) تُولِّد الزراعة الإضافية نبتة جديدة.

(شكل 68)
زراعة الأنسجة

(ب) زراعة البروتوبلاست **Protoplast Culture**

هي خلايا نباتية أُزيلَ جدارها الخلوي السيلّلوزي. يُمكِن أن تتطوّر هذه الخلايا إلى نباتات كاملة. وتقنيّة انصهار البروتوبلاست هي نوع من التعديل الوراثي حيث تُضاف بعض الموادّ الهرمونية كالسيتوكينين إلى الوسط الغذائي لإنتاج نباتات هجينة.

4. فوائد التكاثر الخضري الاصطناعي
Benefits of Artificial Propagation

إنّ الطرق المختلِفة للتكاثر اللاجنسي ساعدت الإنسان في الحفاظ على أنواع كثيرة من النباتات، والتخلّص من أنواع أخرى غير مرغوب فيها، واستبدالها بنباتات مرغوب فيها. وسمحت له أيضًا بإكثار نباتات يصعب تكاثرها بالبذور، وإنتاج نباتات متشابهة في ما بينها ومشابهة للنبتة الأمّ.

1.4 فوائد التعقيل Benefits of Cutting

(أ) يعتمد المزارعون التعقيل لسهولة الحصول على قطع من النباتات التي يريدون زراعتها.

(ب) يُعطي التعقيل نتائج سريعة، إذ أنّ نموّ النباتات في بعض أنواع نباتات الزينة، مثل الورود، يُعطي نتيجة أسرع من النتيجة التي يُعطيها زرع البذور.

2.4 فوائد التطعيم Benefits of Budding

(أ) يُساعِد التطعيم في إكثار أصناف نباتات معيّنة. فبهذه الطريقة يُمكِن أن ينمو عدّة أنواع من الفاكهة على جذع شجرة واحدة.

(ب) يُساعِد التطعيم أحيانًا في التغلّب على الأمراض التي تُصيب النباتات.

3.4 فوائد الرئد أو الترقيد Benefits of Stolons

(أ) تتمّ عملية الترقيد بسهولة ولا تحتاج إلى عناية كبيرة كالتي يحتاجها التكاثر بالتعقيل.

(ب) يحتاج التكاثر بالترقيد إلى وقت قصير نسبة إلى التكاثر بالتعقيل أو التطعيم.

(جـ) عملية الترقيد مضمونة النجاح لأنّ الساق الجارية تبقى متّصلة بالنبتة الأمّ إلى أن يتمّ تكوين الجذور للنبتة الجديدة.

4.4 فوائد زراعة الأنسجة Benefits of Tissue Culture

تُستخدَم هذه التقنية اليوم لإكثار النباتات ذات الصفات الوراثية النادرة أو المرغوب فيها، مثل نباتات الأوركيد والبنفسج الإفريقي. كما يُمكِن استخدام هذه التقنيّة لإنتاج نباتات سليمة خالية من الأمراض الفيروسية.

5. التكاثر البكري في النباتات الزهرية
Apomixis in Flowering Plants

في هذا النوع من التكاثر، ينمو الجنين من بويضة Ovule غير مخصَّبة.
هناك أنواع مختلِفة من هذا التكاثر الذي يُسمّى التكاثر البكري Apomixis عند النباتات الزهرية، وأهمّها:

التكاثر البكري غير المتكرّر Non Recurrent Apomixis: تخضع الخليّة الأمّ أو الجرثومية الأنثوية الضخمة Megaspore إلى انقسام ميوزي، فيتكوّن كيس جنيني أحادي المجموعة الكروموسومية، ويُعطي بدوره نبتة كاملة لها نصف عدد الكروموسومات الموجودة عند النبتة الأمّ. ولا يُمكِن لهذه العملية أن تتكرّر من جيل إلى آخر.

التكاثر اللاجنسي الجرثومي Sporophytic Apomixis: لا تتكوّن الأجنّة من اتّحاد الأمشاج بل من خلايا النوسيلة Nucellus أو بعض أغلفة البذرة Integuments. ويُعتبَر هذا النوع من التكاثر مهمًّا في عدّة أنواع من الحمضيات.

التكاثر البكري المتكرّر Recurrent Apomixis: هذا النوع هو الأكثر تعقيدًا، لأنّ عدد الكروموسومات في الكيس الجنيني هو نفسه في النبتة الأمّ بسبب عدم اكتمال الانقسام الميوزي في الكيس الجنيني. لذلك ينمو الجنين من خلايا المنشأ أو من الخلايا الجرثومية الأمّ Archesporial Cells أو من أجزاء النوسيلة.

6. علم الزراعة في الماء Hydroponics

هو نمط زراعي لإنتاج المحاصيل في الماء من دون استعمال التربة، حيث يُمكِن تنمية النباتات بواسطة محاليل غنيّة بالمغذّيات المعدنية أو في وسط خامل مثل البرليت، الفيرموكيوليت أو الصوف المعدني. اِكتشف العلماء أنّ النباتات تمتصّ المعادن الأساسية في صورة أيونات لاعضوية ذائبة في مياه الريّ، لذلك بإضافة المغذّيات إلى المياه بطريقة صناعية، لا ضرورة لوجود التربة. تُعتبَر هذه الزراعة تقنيّة نموذجية في البحوث البيولوجية والتدريس (شكل 69).

(شكل 69)
الزراعة في الماء

وتتميّز هذه التقنيّة بعدّة فوائد أهمّها:

- غياب الحاجة إلى التربة، وبذلك يُمكِن الزراعة في أيّ مكان بغضّ النظر عن طبيعة التربة الموجودة فيه.
- اِنخفاض تكاليف الريّ إذ يُمكِن إعادة استخدام الماء.
- تخفيف التلوّث البيئي الناتج عن الأسمدة الكيميائية الزائدة عن حاجة النباتات.
- سهولة الحصاد والحصول على أعلى إنتاجية ممكنة من النباتات.

* التخلّص من الأمراض والآفات الموجودة في التربة مثل الفطريات والديدان، والحشرات، والأعشاب. أضِف إلى ذلك إمكانيّة التقليل من استخدام المبيدات.

لكنّ الزراعة المائية لا تخلو من بعض السيئات:

* يُؤدّي أيّ فشل في نظام التقنيّة إلى الموت السريع للنباتات.
* خطر هجوم الكائنات الممرِضة على النباتات بسبب الرطوبة العالية.
* تحتاج النباتات المائية إلى الكثير من الأسمدة المختلِفة وأنظمة احتواء متنوِّعة.

مراجعة الدرس 2-3

1. فسِّر كيف يُفيد التكاثر اللاجنسي النباتات؟
2. أُذكر ثلاثة تراكيب تستخدمها النباتات في التكاثر الخضري.
3. اِشرح عملية التعقيل في نبتة الجيرانيوم.
4. أيّهما يحتاج إلى وقت أقلّ لإظهار نباتات جديدة، الترقيد أم التعقيل؟ فسِّر إجابتك.
5. ما هي الخاصيّة النباتية التي مكّنت العلماء من استبدال التربة بالماء كوسط زراعي لإنتاج المحاصيل؟
6. **سؤال للتفكير الناقد:** ما وجه الشبه بين التكاثر الخضري الاصطناعي والتكاثر الخضري الطبيعي؟ وما وجه الاختلاف بينهما؟
7. **أضِف إلى معلوماتك:** ما الأحداث التي قد تُسبِّب ظهور صفة وراثية جديدة في إحدى النباتات المُنتَجة بالاستنساخ؟

مراجعة الوَحدة الأولى

المفاهيم

الإخصاب	Fertilization	الأنسجة الإنشائية	Meristems
البذرة	Seed	بروتينات ناقلة نشطة	Active Transport Protein
البلاستيدات الخضراء	Chloroplasts	البناء الضوئي	Photosynthesis
تعاقب الأجيال	Alternation of Generations	الترقيد	Stolon
التطعيم	Budding	التعقيل	Cutting
تفاعلات غير معتمِدة على الضوء (دورة كالڤن)	Light Independent Reactions (Calvin cycle)	تفاعلات معتمِدة على الضوء	Light Dependent Reactions
التكاثر البكري	Apomixis	التكاثر الخضري	Vegetative Reproduction
التكاثر الصناعي	Artificial Propagation	التلقيح	Pollination
الثغور	Stomata	الثمرة	Fruit
الجذر الوتدي	Taproot	الجذر الليفي	Fibrous Root
جرانا	Grana	حرق الجذور	Root Burn
زراعة الأنسجة	Tissue Culture	الزهرة	Flower
الزهرة الكاملة	Complete Flower	الزهرة الناقصة	Incomplete Flower
ستروما	Stroma	السوق	Stem
الشدّ النتحي	Transpiration Pull	ضغط الامتلاء	Turgor
ضغط جذري	Root Pressure	الطور المشيجي	Gametophyte
الطور الجرثومي (البوغي)	Sporophyte	العروق	Veins
عقدة	Node	عقلة	Internode
علم الزراعة في الماء	Hydroponics	عنق الورقة	Petiole
فرضية تدفّق الضغط	Pressure–Flow Hypothesis	الكلوروفيل	Chlorophyll
الكمبيوم	Cambium	كمبيوم فليني	Cork Cambium

كمبيوم وعائي	Vascular Cambium	ممرّ خارج خلوي	Apoplast
كيوتيكل	Cuticle	ممرّ خلوي جماعي	Symplast
ممرّ عبر غشائي	Transmembrane	النسيج الوسطي الإسفنجي	Spongy Mesophyll
النسيج الوسطي	Mesophyll	النسيج الوسطي العمادي	Pallisade Mesophyll
النصل	Blade	نظرية الشدّ المتماسك	Cohesion – Tension Theory
النموّ الأوّلي	Primary Growth	النموّ الثانوي	Secondary Growth

الأفكار الرئيسية للوحدة

الفصل الأوّل: التغذية والنقل والنموّ في النباتات

(1–1) تركيب النباتات

- التراكيب الأساسية للورقة النباتية هي النصل والعروق والعنق، وهي تُمكِّن الورقة من العمل كعضو في عملية البناء الضوئي.
- يُمكِن تصنيف الأوراق النباتية إلى بسيطة أو مركَّبة. ويُمكِن تصنيف الأوراق المركَّبة إلى ريشية أو راحية.
- تحمل السوق الأوراق النباتية والأزهار، وتنقل الماء والموادّ الغذائية إلى جميع أجزاء النباتات.
- إمّا أن يكون للنباتات جذر وتدي كبير واحد أو جذور ليفية صغيرة عديدة منتشرة، وهي تمتصّ الماء والعناصر المعدنية وتُثبِّت النباتات.
- تتكاثر النباتات الزهرية بواسطة البذور.

(2–1) التغذية في النباتات

- تتحوَّل طاقة ضوء الشمس أثناء البناء الضوئي إلى طاقة كيميائية مُختزَنة في الغذاء.
- تتكوَّن المرحلة الأولى من عملية البناء الضوئي من تفاعلات ضوئية تُستخدَم فيها الطاقة الضوئية لشطر الماء إلى غاز الأكسجين، أيونات هيدروجين وإلكترونات عالية الطاقة. ويُساعِد تدفُّق الإلكترونات في توليد مركب الـ ATP.
- في المرحلة الثانية من البناء الضوئي، أي دورة كالڤن (التفاعلات اللاضوئية)، يتحوَّل ثاني أكسيد الكربون إلى جزيء ثلاثي ذرّات الكربون يُستخدَم في إنتاج الجلوكوز.
- تتبادل النباتات الأكسجين وثاني أكسيد الكربون مع الهواء الجوّي، وتفقد الماء من خلال ثقوب تُسمّى الثغور. وتتحكَّم الخلايا الحارسة في حجم الثغور.
- لكي تخزِّن النباتات الطاقة أو تنمو، لا بدَّ أن تُنتِج كمّية جلوكوز أكبر من تلك التي تحتاج إليها في عملية التنفّس الخلوي.
- تفقد النباتات معظم الماء الذي تمتصّه خلال عملية التبخّر.

(1–3) النقل في النباتات

* يحفظ الماء في الفجوات الخلوية ضغط الامتلاء للخلايا النباتية.
* تمتصّ الجذور الماء من التربة بواسطة الأسموزية.
* تدخل بعض العناصر المعدنية الجذور بواسطة الانتشار، وبعضها الآخر بواسطة النقل النشط. ويحتاج جميع الجذور إلى الأكسجين لتُوفِّر الطاقة لعملية النقل النشط.
* في النباتات الوعائية، ينقل نسيج الخشب الماء والأملاح المعدنية الذائبة، وينقل اللحاء العصارة المحتوية على السكّريات الذائبة المنتَجة خلال عملية البناء الضوئي.
* إنّ خلايا نسيج الخشب هي خلايا ميتة وجوفاء. عندما يتبخَّر الماء خلال الأوراق أثناء عملية النتح، يتمّ تعويض هذا الماء من خلال سحب ماء إلى أعلى خلال الأنابيب الجوفاء بواسطة قوى التماسك.
* تستخدم خلايا اللحاء الحيّة الطاقة في النقل النشط للسكّريات من خلايا المنبع إلى الأنابيب الغربالية، ومن الأنابيب الغربالية إلى خلايا المصرف.

(1–4) نموّ النباتات

* يحدث النموّ الأوّلي (أو الابتدائي) في الأنسجة الإنشائية (أو المرستيمية) القمّية، أي عند قمم السوق والفروع والجذور، وكذلك عند مواضع اتّصال الأوراق بالسوق.
* يحدث في جميع النباتات نموّ أوّلي. ويُمكِن للنباتات الخشبية أيضًا أن تنمو أكثر في العرض من خلال النموّ الثانوي.
* الخشب عبارة عن طبقات من نسيج الخشب الثانوي. ويتكوّن القلف من طبقات الفلّين والكمبيوم الفلّيني واللحاء.
* يُوفِّر عرض طبقات نسيج الخشب الربيعي والصيفي بيانات عن تغيّرات المناخ.

الفصل الثاني: التكاثر والاستجابة في النباتات

(2–1) التكاثر الجنسي في النباتات (1)

* يستلزم التكاثر الجنسي في النباتات حدوث تعاقب أجيال أحادية المجموعة الكروموسومية وأجيال ثنائية المجموعة الكروموسومية.
* الطور المشيجي هو الطور السائد في الحزازيات، والطور الجرثومي (البوغي) هو السائد في السرخسيات والنباتات المخروطية والزهرية.
* يُنتِج العديد من النباتات البذور أثناء التكاثر الجنسي.

(2–2) التكاثر الجنسي في النباتات (2)

* لمعظم الأزهار تراكيب ذكرية وأنثوية وعقيمة.
* تتطلّب عملية الإخصاب في النباتات مغطّاة البذور (النباتات الزهرية) حدوث عملية التلقيح، ونموّ أنبوبة اللقاح واتّحاد البيضة مع نواة ذكرية.
* خلال عملية الإخصاب في النباتات مغطّاة البذور تتكوّن البذور والثمرة.
* تحتاج عملية الإنبات إلى وجود عوامل ملائمة مثل الماء والأكسجين ودرجة حرارة معتدلة والضوء أحيانًا.

(2–3) التكاثر اللاجنسي في النباتات

* يُنتِج التكاثر اللاجنسي نباتات مشابِهة تمامًا للنبتة الأمّ ومتكيِّفة للعيش في بيئة مستقِرّة.
* يُمكِن أن يحدث التكاثر الخضري في بعض النباتات بدءًا من بعض التراكيب مثل السوق الجارية والسوق الأرضية والدرنات والكورمات والبصلات.
* يستخدم المزارعون تقنيّات التعقيل والتطعيم والرئد (الترقيد) لإنتاج كمّيات كبيرة من النباتات في وقت أقصر وكلفة أقلّ.
* تكمن أهمّية زراعة الأنسجة النباتية في قدرة خلاياها على التجدّد إلى نباتات كاملة. وتُستخدَم هذه التقنيّة لإنتاج نباتات ذات صفات وراثية نادرة أو نباتات خالية من الأمراض.

خريطة مفاهيم الفصل الأول

اِستخدِم المفاهيم الموضَّحة في الشكل لرسم خريطة تُنظِّم الأفكار الرئيسية التي جاءت في الفصل.

خريطة مفاهيم الفصل الثاني

اِستخدِم المفاهيم الموضَّحة في الشكل لرسم خريطة تُنظِّم الأفكار الرئيسية التي جاءت في الفصل.

تحقق من فهمك

اختر العبارة الصحيحة من بين العبارات التي تلي كل سؤال ممّا يلي وذلك بوضع علامة (✓) أمامها:

1. تقوم العروق بنقل السوائل فيما بين الأوراق النباتية والسوق عبر:
   ☐ الجذور الليفية ☐ الأنصال ☐ الأعناق ☐ الجذور الوتدية
2. التركيب التكاثري النباتي الذي يتكوّن من الجنين والغذاء الخاصّ به هو:
   ☐ الزهرة ☐ الحبّة ☐ المشيج ☐ البذرة
3. الأوعية الأنبوبية التي تنقل الماء والعناصر المعدنية والسكر خلال الأوراق النباتية هي:
   ☐ الجذور الوتدية ☐ العروق ☐ النباتات الوعائية ☐ الأنصال
4. الأعضاء التكاثرية للنباتات الزهرية هي:
   ☐ الأزهار ☐ المخاريط ☐ الثمار ☐ الأعناق
5. يعتبر نموُ النبات من الرئد والدرنة مثالًا لـ .....
   ☐ التكاثر الجنسي ☐ التلقيح ☐ التكاثر الخضري ☐ الاستعمار
6. في النباتات الزهرية، التراكيب التي تحتوي الخلايا الذكرية هي .....
   ☐ الجراثيم ☐ حبوب اللقاح ☐ المبايض ☐ الفلقات
7. تركيب النباتات الذي يتطوّر إلى الثمرة هو .....
   ☐ الفلقة ☐ البذرة ☐ الجرثومة ☐ المبيض

ضَعْ علامة (✓) في المربّع الواقع أمام العبارة الصحيحة، وعلامة (✗) في المربّع الواقع أمام العبارة غير الصحيحة في كلّ ممّا يلي:

1. القمح من النباتات أحادية الفلقة. ☐
2. تسمّى الأعضاء المذكّرة في الحزازيات بالأرشيجونة. ☐
3. تتميّز النباتات اللابذرية فقط بظاهرة تعاقب الأجيال. ☐
4. تقسم النباتات عارية البذور إلى نباتات أحادية الفلقة و نباتات ثنائية الفلقة. ☐
5. النبتة المشيجية هو الطور السائد في النباتات البذرية. ☐
6. تنشأ التراكيب التكاثرية لنباتات عارية البذور في مخاريط ذكرية وأنثوية. ☐

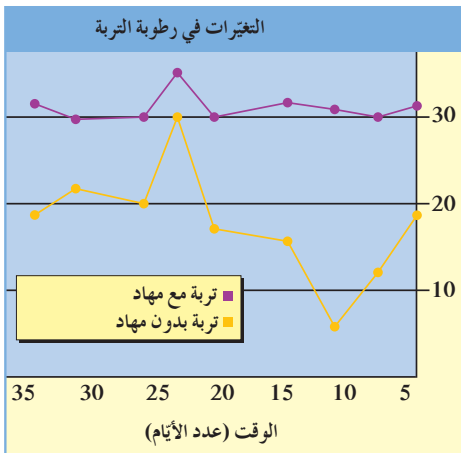
أجب عن الأسئلة التالية بإيجاز

1. ما أوجه اختلاف تعرّق الأوراق في النباتات أحادية الفلقة والنباتات ثنائية الفلقة؟ أُرسم أمثلة تُوضّح تلك الاختلافات.
2. ما نوع نسيج الخشب؟ كيف يختلف عن اللحاء؟
3. ما فوائد كلّ من الجذور الوتدية والجذور الليفية للنباتات؟
4. ما التركيب التكاثري الموجود في كلّ من النباتات معرّاة ومغطّاة البذور وغير الموجود بالحزازيات والسرخسيات؟ ما الفائدة التي تعود على النبات من وجود مثل ذلك التركيب؟

5. ما أوجه التشابه والاختلاف بين طَوْرَي دورة الحياة في النبات؟
6. فسِّر لماذا يُعتبَر من الأفضل للنباتات أن يتكوّن 70 – 20% من حجم النسيج الوسطي في أوراقها من فراغات هوائية.
7. ما المرحلتان الأساسيتان من عملية البناء الضوئي؟ في أيّ مرحلة منهما يُستخدَم الماء ويُنتَج الأكسجين؟ وأيّ مرحلة تُنتِج الجلوكوز؟
8. كيف تتحكَّم الخلايا الحارسة في تبادُل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون والماء خلال الثغور؟
9. ما الموادّ النباتية المسؤولة عن تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية؟
10. صِفْ ما يحدث عندما يذبل نبات. ما أسباب الذبول؟
11. فسِّر أهمّية الطور المشيجي في السراخس.
12. أين تكمن أهمّية انبثاق الجذير أوّلًا في عملية إنبات البذور؟

تحقق من مهاراتك

1. **التنظيم والتصنيف:** تخيَّلْ أنّك مشترِك في لجنة للتنمية الاقتصادية في منطقتك. اِبحث عن بعض الأعمال والصناعات ذات العلاقة بالنباتات التي قد ترغب اللجنة في أن تُحضِرها إلى المنطقة لتُعزِّز النموّ الاقتصادي. ضَعْ في اعتبارك مناخ المنطقة ونوع التربة والموارد المتاحة عند قيامك بعمل توصياتك.
2. **مهارة تفسير الأشكال البيانية:** ينشر الكثير من منسقي الحدائق طبقة من المهاد (قطع صغيرة من قلف الأشجار، ورقائق صغيرة من خشب الأشجار والقشّ وموادّ عضوية أخرى) على التربة حول النباتات، ويُوضِّح الرسم البياني التالي أحد تأثيرات المهاد على التربة. صِفْ ذلك التأثير. ما الظروف التي قد أنتجت التغيّرات الموضَّحة في الشكل البياني؟



3. **تطبيق المفاهيم:** أُحسب الزمن الذي يستغرقه الماء ليصل إلى قمّة جذع شجرة من الصنوبر الأحمر طولها 105 أمتار. اِفترِض أنّ الماء يتحرَّك بأقصى معدَّل.
4. **تصميم تجربة:** خطِّط لإجراء تجربة لتحديد ما إذا كان معدَّل النتح يختلف بواسطة الرياح.

ملحوظة: ضمِّن طريقة لقياس الماء الذي تمتصّه كلّ نبتة.

5. **تصميم التجارب:** ما العلاقة التي تتوقّع وجودها بين طول فترة حياة النبات ومقدرته على القيام بالنموّ الثانوي؟ ما البيانات التي يُمكِنك أن تجمعها لاختبار فرضك؟ صِفْ تجربة تجمّع هذه البيانات.

6. **التنظيم والتصنيف:** فكِّر في طرق التكاثر الخضري الاصطناعي الموصوفة في هذا الفصل. أيّ طريقة ستستخدمها لإنتاج شجرة تفّاح تحمل نوعين مختلِفين من ثمار التفّاح؟

7. **تحليل البيانات:** افترِض أنّ لديك حديقة ظليلة ذات تربة رطبة. وظِّف الجدول التالي لكي تتعرّف النباتات القصيرة التي ستتفتّح أزهارها في حديقتك في فصل الصيف. ما النبتة أو النباتات الأخرى التي يُمكِن أن تتفتّح في حديقتك؟

التخطيط لزراعة الحديقة				
النبتة	فترة الإزهار	اِرتفاع النبتة	الإضاءة	التربة
الأولى	أواخر الربيع	30 cm	ضوء ظليل	رطبة
الثانية	من منتصف الصيف إلى أواخره	20 –30 cm	ضوء ظليل	رطبة
الثالثة	قبل منتصف الصيف	0.6 – 1.8 m	ضوء ظليل	جيّدة الصرف
الرابعة	أوائل الصيف إلى أواخر الخريف	60 cm	ضوء ساطع	جيّدة الصرف
الخامسة	أواخر الربيع إلى منتصف الصيف	30 – 45 cm	ضوء ساطع	جيّدة الصرف

8. **تحليل البيانات:** يُمثِّل الجدول التالي نتائج تجربة قام بها العلماء لدراسة دور الحشرات في عملية تلقيح النباتات المزهرة.

	نباتات المشتل			نباتات الحقول
	في غياب الحشرات	بوجود حشرات صغيرة	بوجود النحل	
إنتاجية بذور الجزر ($kg/40m^2$)	58	205	381	322

ما الذي استنتجه العلماء من معطيات الجدول أعلاه؟

المشاريع

1. علم الأحياء والمجتمع

كيف تتكاثر الأنواع السائدة من النباتات في الحيّ الذي تعيش فيه؟ اِدعم تقريرك بالرسومات أو بالصور الفوتوغرافية.

2. علم الأحياء والفنّ

اِصنع نموذجًا ثلاثي الأبعاد لواحدٍ ممّا يأتي: الطبقات في الورقة النباتية؛ تركيب جذر النبات؛ تركيب ساق نبات خشبية لها نموّ ثانوي.

3. علم الأحياء وعلم الفيزياء

تعرَّفِ التجارب التي قامت بها NASA لاستكشاف كيف تنمو النباتات في بيئة منعدِمة الجاذبيّة. ما الغرض لهذه التجارب على المدى الطويل؟

الوَحدة الثانية

علم الوراثة
Genetics

ما الخصائص والمميّزات الخاصّة التي تجعلك مميَّزًا عن زملائك في المدرسة؟ قد يكون شعرك المجعّد أو خفّة ظلّك وروحك المرحة. هل يُشارِكك أحد أفراد عائلتك هذه الصفات؟ أُنظر من حولك، ما الصفات التي يتقاسمها أفراد العائلات الأخرى؟ هناك عدد كبير من العائلات الحيوانية، أيضًا، مثل الدببة والبوم والذئاب والخنازير والكثير غيرها. لماذا يتشابه أفراد كلّ عائلة من هذه العائلات؟

منذ قرون عدّة، يجهل الناس لماذا يتشابه أفراد العائلات. جاءت الأدلّة الأولى لتُفسِّر ذلك من خلال دراسة دقيقة لتوارث الصفات في النباتات، واكتُشِفت معلومات كثيرة غيرها بعد اكتشاف المجهر. ومن الحدائق والمختبرات، بدأت الاكتشافات تتجمّع بعضها مع بعض لحلّ لغز الوراثة.

اِكتشِف بنفسك

اِستكشِف الصفات الموروثة

الأدوات المطلوبة: قلم رصاص، ورقة بيضاء، ورقة رسم بياني

الخطوات:

1. كُنْ واثقًا من قدرتك على تحديد كلّ صفة من الصفات التالية: القدرة على لفّ اللسان على شكل U، شحمة الأذن ملتحمة أم سائبة، وجود شعر على السلامية الوسطى لأصابع اليد أو غيابه، وجود غمّازات على الخدّ أو غيابها، وغيرها من الصفات.
2. ضَعْ جدولًا لتستخدمه في حصر أفراد عائلتك أو معظم أصدقائك.
3. أُحصر الأشخاص الذين تبدو عليهم صفة أو أكثر من هذه الصفات، وسجِّل مجموع الأشخاص لكلّ صفة.
4. أُرسم شكلًا بيانيًّا لما توصّلْتَ إليه من نتائج. أيّ الصفات أكثر وضوحًا؟ أيُّ صفة من هذه الصفات هي الأكثر انتشارًا؟

فصول الوحدة

الفصل الأوّل

* أساسيات علم الوراثة

أهداف الوحدة

* يتعرّف مفهوم علم الوراثة والصفات الوراثية.
* يُميِّز بين الصفات السائدة والصفات المتنحّية.
* يفهم قوانين مندل الوراثية.
* يفهم موضوع السيادة.
* يُحدِّد شروط تحقيق النسب المندلية.
* يتعرّف مفهوم التلقيح الاختباري وتطبيقاته.
* يتعرّف مفهوم انعدام السيادة.
* يتعرّف توارث الصفات باستخدام سجلّ النسب الوراثي.
* يُفرِّق بين الاختلالات الوراثية السائدة والمتنحّية، وطرق تحديدها.
* يتعرّف مفهومي الارتباط والعبور وما ينتج عنهما من ارتباطات جينية جديدة.
* يُفسِّر دور الوراثة في تحديد الجنس.
* يُميِّز بين الكروموسومات الجنسية والذاتية.
* يتعرّف الصفات الوراثية المرتبطة والمتأثِّرة بالجنس.

معالم الوحدة

* علم الأحياء في حياتنا اليومية
* العلم والمجتمع والتكنولوجيا

الفصل الأوّل

أساسيات علم الوراثة
Fundamentals of Genetics

يتساءل كلّ والدين ينتظران مولودًا جديدًا كيف سيبدو طفلهما. هل سيكون صبيًّا أم فتاة؟ هل سيُشبِه أنفه أنف أبيه أم أمّه؟ هل سيكون لون عينيه أزرق أم بنّيًّا؟ هل سيولَد بصحّة جيّدة؟ في الماضي، ما كان للوالدين سوى أن يتوقّعا الإجابات عن هذه الأسئلة. أمّا اليوم، فأصبحا يملكان كمًّا من المعلومات تُساعِدهم على التوقّع ببعض الصفات التي قد يحملها طفلهما. هذه المعلومات هي نتيجة الأبحاث في علم الوراثة. يشمل هذا العلم دراسة كيفية انتقال الخصائص البيولوجية من الآباء إلى الأبناء. قبل القرن العشرين، اِعتقد الناس أنّ الخصائص البيولوجية تنتقل من جيل إلى آخر بواسطة الدم، ولا يزال الكثيرون يتحدّثون عن "نسب الدم". لكن أصبحنا نعلم الآن أنّ هذه الخصائص تنتقل كرسائل كيميائية في الكروموسومات، وهذه الرسائل مرمّزة على جزيئات الـDNA داخل النواة.

دروس الفصل

الدرس الأوّل
* الأنماط الوراثية

الدرس الثاني
* مبادئ علم الوراثة

الدرس الثالث
* دراسة توارث الصفات في الإنسان

الدرس الرابع
* اِرتباط الجينات (الارتباط والعبور)

الدرس الخامس
* الوراثة والجنس

الدرس 1-1

الأنماط الوراثية
Patterns of Inheritance

الأهداف العامة

* يتعرّف مفهوم علم الوراثة والصفات الوراثية.
* يُميِّز بين الصفات السائدة والصفات المتنحّية.
* يُحلِّل نتائج تجارب مندل لثلاثة أجيال من نبات البازلّاء.

(شكل 70)

هل تخجل من التحدّث مع شخص تلتقيه للمرّة الأولى، أو تخجل من إلقاء خطاب؟ يخجل معظم الناس من ذلك. إستعان العلماء بعلم الوراثة لتوقّع وراثة صفة الخجل عند الأطفال، فأنت تعرف أنّ معظمهم خجول (الشكل 70). ويُحدَّد مقدار خجل الأطفال إلى حدّ ما بعلم الوراثة. ويقلّ هذا الخجل عمومًا كلّما اقترب الإنسان من سنّ الرشد.

لعلّك لاحظْتَ أنّ لكلّ نوع من الكائنات الحيّة صفات تُميِّزه عن الكائنات الأخرى، وأنّ الكائنات تتكاثر جيلًا بعد جيل لتنقل صفاتها إلى نسلها لكي ينمو إلى النوع نفسه. فلا يُنجِب البشر إلّا بشرًا، ولا تلد الفئران إلّا فئرانًا، ولا تنتجُ بذور البلح إلّا نخلًا.

وعلى الرغم من تشابه أفراد النوع الواحد في صفات نوعيّة تُميِّزهم عن أفراد الأنواع الأخرى، إلّا أنّ كلّ فرد من أفراد النوع نفسه له صفاته وملامحه الخاصّة. فلعلّك لاحظْتَ أنّ لديك من الملامح ما يُميِّزك عن زملائك في المدرسة. فبالرغم من أنّنا جميعًا بشر، إلّا أنّ لكلّ منّا من الملامح ما يُميِّزه عن الآخرين (شكل 71).

(شكل 71)
للبشر كلّهم صفات وملامح عامّة، إلّا أنّ لكلّ فرد صفات وملامح تُميِّزه عن الآخرين. ما هذه الصفات وكيف اكتسبها؟

منذ القدم، يعرف الإنسان أنّ صفات الآباء تنتقل إلى الأبناء من جيل إلى جيل، لكنّه لم يكن يعرف شيئًا عن القوانين والآليات التي تحكم انتقال تلك الصفات. وقد افترض العلماء القدامى لعدّة قرون أنّ صفات الآباء تمتزج في الأبناء، لكنّ هذا الفرض لم يُقدِّم تفسيرًا عن ظهور صفات لدى بعض الأبناء لم تكن ظاهرة في الآباء. ولم يستطع العلماء تفسير ذلك إلّا بعد اكتشاف تركيب الخليّة.

سبق أن تعلّمْتَ خلال دراستك للانقسام الميوزي (الاختزالي) أنّ الأبناء يستقبلون، من خلال عملية التكاثر الجنسي للآباء، نصف عدد الكروموسومات من أحد الوالدين والنصف الآخر من الوالد الآخر. وبعد الدراسات والتجارب العديدة، تبيّن أنّ الصفات الوراثيّة تنتقل من الآباء إلى الأبناء بواسطة هذه الكروموسومات.

الصفات الوراثية Genetic Traits هي الصفات التي يُمكِن أن تنتقل من الآباء إلى الأبناء من جيل إلى جيل. ويُطلَق على الدراسة العلمية لهذه الصفات الموروثة اسم علم الوراثة Genetics.

يعتبر العالم النمساوي جريجور مندل (1822–1884م) (شكل 72) مؤسِّس علم الوراثة الحديث. درس العلوم والرياضيات في جامعة ڤيينا، ثمّ أصبح راهبًا في دير قرية برن التي ولد فيها. بدأ في العام 1860م سلسلة من التجارب على نباتات البازلّاء، تمكّن من خلالها التوصل إلى مجموعة من المبادئ والقوانين الرئيسيّة لعلم الوراثة الحديث.

1. تجارب مندل Mendel's Experiments

اختار مندل نباتات البازلّاء التي كان يزرعها في حديقة الدير الذي كان راهبًا فيه لإجراء تجاربه على مجموعة من الصفات المتوارَثة. وتميّزت تجارب مندل عن تجارب العلماء الذين سبقوه أو عاصروه بدراسة كلّ صفة على حدة في بداية تجاربه، وباستخدام أعداد كبيرة من النباتات (20 000 نبتة)، وباستخدام الاحتمالات والإحصاء الرياضي في تفسير النتائج.

وكان اختيار مندل لنبات البازلّاء لإجراء تجاربه موفّقًا لثلاثة أسباب:

* تركيب أزهار البازلّاء، فهي أزهار خِناث، تحيط بتلات التويج بأعضائها التناسلية تمامًا في شكل زورق، ما يسمح بحدوث عملية التلقيح ذاتيًّا حيث تُحاط الأزهار بكيس من الورق لضمان عدم وصول حبوب لقاح من زهرة أخرى إليها. بالإضافة إلى ذلك، يمكن إحداث التلقيح الخلطي فيها بسهولة من خلال نزع المتك منها قبل نضجها، ثم إحاطتها بكيس من الورق على أن تُنقَل إليها حبوب اللقاح بطريقة صناعية في الوقت المناسب (شكل 37).

فقرة إثرائية

علم الأحياء في حياتنا اليومية

خطوط الدم!

بحسب أسطورة شعبية عن الوراثة، تنتقل الصفات من الآباء إلى الأبناء عن طريق الدم. ومصطلح "خط الدم" الذي يستخدمه مربّو الحيوانات يعكس هذه الأسطورة. ففي هذا المصطلح، تُستخدم كلمة الدم للدلالة على النسب والذرية، أو وراثة الصفات.

(شكل 72)
العالم جريجور مندل (1822–1884م) مؤسّس علم الوراثة الحديث.

تقطع الأسدية من الأزهار البنفسجية ثم تلقح خلطيًا بحبوب اللقاح من الزهرة البيضاء.

(شكل 73)
كيف ساعد تركيب زهور البازلّاء وشكلها مندل على القيام بعمليّة التلقيح الخلطي وضبط التجربة؟

* يحمل نبات البازلّاء أزواجًا من الصفات المتضادة (المتقابلة أو المتعارضة) سهلة التمييز والرؤية، ما سهّل على مندل ملاحظة نتائج تجاربه.
* قصر دورة حياة نبات البازلّاء (3 أشهر) يسمح بتكرار التجارب من ثلاث إلى أربع مرّات على الأقلّ على مدار العام الواحد.

درس مندل في تجاربه وراثة سبع صفات متضادّة، لكلّ صفة منها مظهران يسهل تمييزهما بعضهما عن بعض. فعلى سبيل المثال، إمّا أن يكون الساق في النباتات طويلًا (أكثر من 150 cm) أو قصيرًا، ولا يوجَد طول متوسّط. أمّا بالنسبة إلى لون البذور، فإمّا أن تكون صفراء أو خضراء، ولا يوجَد لون وسط بين هذين اللونين. وينطبق هذا الأمر على الصفات الأخرى.

بدأ مندل تجاربه بالتأكّد من نقاء هذه الصفات عن طريق زراعة النباتات وتركها تتلاقح ذاتيًّا لتُنتِج الصفة نفسها التي كان يدرسها من جيل إلى جيل آخر من دون أيّ تغيير. فالنباتات الطويلة لا تُنتِج إلّا نباتات طويلة جيلًا بعد جيل، والنباتات ذات الأزهار البنفسجية لا تُنتِج إلّا نباتات ذات أزهار بنفسجية جيلًا بعد جيل، وهذا ينطبق على باقي الصفات السبع. وبذلك، حصل مندل على نباتات تتميّز بنقاء صفاتها الوراثية، وأطلق على صفات هذه النباتات مصطلح «صفات نقية».

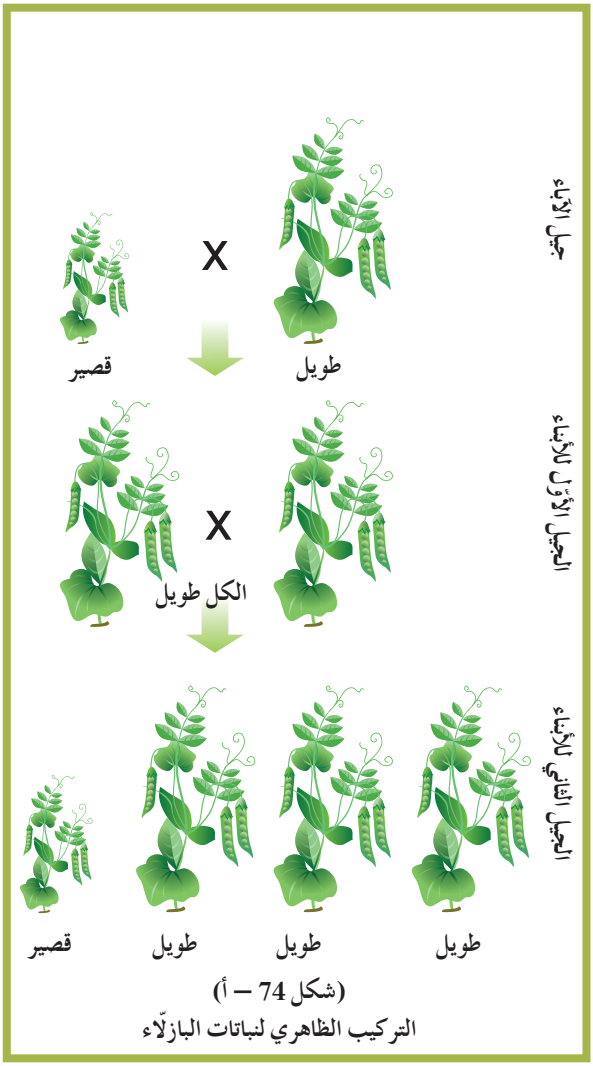
اِستخدم مندل في تجاربه مجموعتين مختلِفتين من النباتات النقية (تحمل كلّ مجموعة منهما أحد شكلي الصفة التي كان يدرس توارثها)، وأطلق عليها اسم جيل الآباء. أجرى مندل التلقيح الخلطي بين المجموعتين، ثمّ زرع البذور الناتجة، فأنتجت بذورها نباتات أطلق عليها اسم الجيل الأوّل (F_1).

وترك هذه النباتات تتلاقح ذاتيًّا ثمّ زرع البذور التي حصل عليها، فأنتجت نباتات أسماها الجيل الثاني (F_2). يُوضِّح الشكل (74) خطوات ونتائج الدراسة التي أجراها مندل على توارث صفة طول الساق في نبات البازلّاء، حيث كانت آباء إحدى المجموعتين طويلة الساق نقية، والأخرى قصيرة الساق نقية.

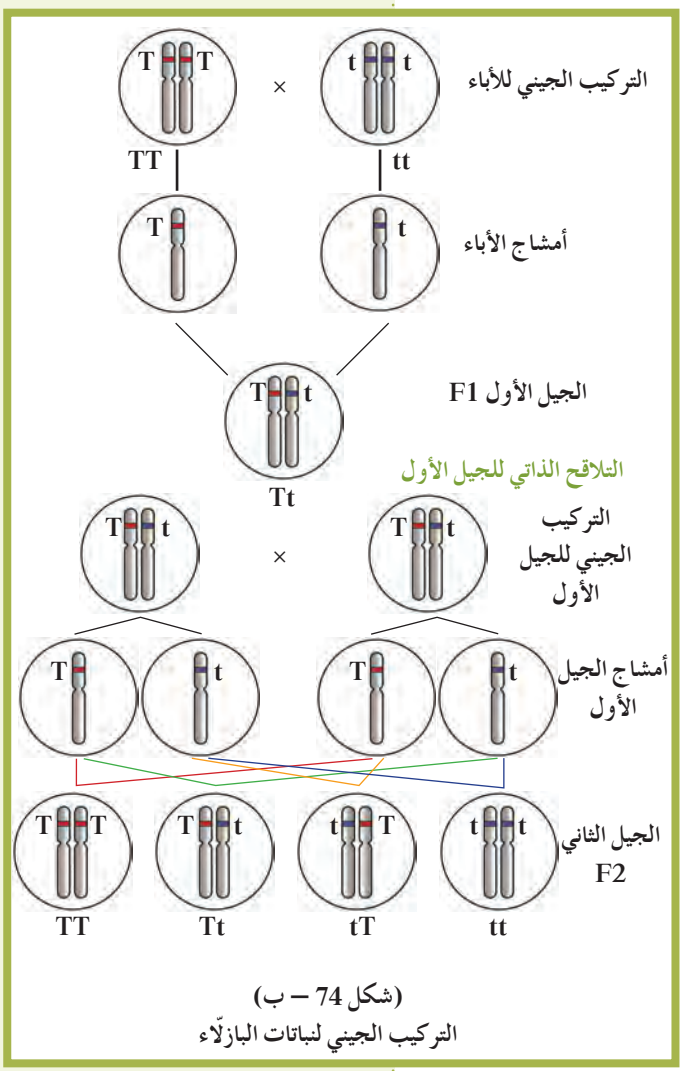
2. ملاحظات مندل Mendel's Remarks

توقّع مندل أن يحصل على نباتات طويلة الساق وأخرى قصيرة الساق في الجيل الأوّل، لكنّه فوجِئ بأنّ نباتات الجيل الأوّل كانت كلّها طويلة الساق.

دهش مندل عندما ظهرت بعض نباتات الجيل الثاني طويل الساق بنسبة 75% وبعضها الآخر قصير الساق بنسبة 25%. فالصفة الوراثية لقصر الساق قد اختفت في نباتات الجيل الأوّل ثمّ عاودت الظهور في نباتات الجيل الثاني. ولاحظ مندل أنّ النسبة العددية بين نباتات الجيل الثاني كانت تقريبًا 3 : 1 (طويل : قصير).



(شكل 74 – أ)
التركيب الظاهري لنباتات البازلّاء



(شكل 74 – ب)
التركيب الجيني لنباتات البازلّاء

(شكل 74)
ما الصفة التي اختفت في نباتات الجيل الأوّل؟ وما نسبة كلّ صفة من الصفتين في نباتات الجيل الثاني؟

كرّر مندل تجاربه على الصفات الستّ المتبقّية كما هو مبيَّن في الشكل (75). وفي كلّ مرّة كان يحصل على النمط الوراثي نفسه في الأبناء، حيث تظهر إحدى الصفتين فقط في الجيل الأوّل ثم تظهر الصفتان معًا في الجيل الثاني، بنسبة عددية ثابتة 1:3 تقريبًا. لاحِظ النتائج الموضَّحة في الجدول (1).

أطلق مندل على **الصفة الوراثية التي يحملها أحد الأبوين، وتظهر في أفراد الجيل الأوّل** اسم «**الصفة السائدة Dominant Trait**»، أمّا **الصفة التي يحملها أحد الأبوين ولا تظهر في الجيل الأوّل** فقد أطلق عليها اسم «**الصفة المتنحّية Recessive Trait**». أي أنّ الساق الطويلة سائدة على الساق القصيرة.

ووجد مندل أنّ 75% من نباتات الجيل الثاني تحمل الصفة السائدة، أمّا الـ 25% المتبقّية من أفراد الجيل الثاني فتحمل الصفة المتنحّية.

الصفة	المظهر السائد	المظهر المتنحّي
شكل البذور	أملس	مجعّد
لون البذور	أصفر	أخضر
شكل القرن	منتفِخ	محزّز
لون القرن	أخضر	أصفر
لون الزهرة	بنفسجي	أبيض
موضع الزهرة	إبطي	طرفي
طول الساق	طويل (أكثر من 1.5 متر)	قصير (أقلّ من 0.5 متر)

(شكل 75)
الصفات السبع التي درسها مندل في نباتات البازلّاء (لكلّ صفة مظهران أو شكلان مختلِفان).

الصفة الوراثية	الصفة الوراثية في جيل الآباء	الصفة الوراثية في الجيل الأوّل	أعداد النباتات الحاملة للصفة في الجيل الثاني	النسبة الحقيقية
طول الساق	طويل × قصير	طويل	طويل ، قصير 705 ، 224	1 : 2,84
شكل القرن	منتفِخ × محزّز	منتفِخ	منتفِخ ، محزّز 882 ، 299	1 : 2,95
لون القرن	أخضر × أصفر	أخضر	أخضر ، أصفر 428 ، 152	1 : 2,82
شكل البذور	أملس × مجعّد	أملس	أملس ، مجعّد 4574 ، 1850	1 : 2,96
لون البذور	أصفر × أخضر	أصفر	أصفر ، أخضر 6022 ، 2001	1 : 3,01
موضع الزهرة	إبطي × طرفي	إبطي	إبطي ، طرفي 651 ، 207	1 : 3,14
لون الزهرة	بنفسجي × أبيض	بنفسجي	بنفسجي ، أبيض 705 ، 224	1 : 3,15

(جدول 1)
يُوضّح الجدول الصفات السبع التي درسها مندل والنتائج التي حصل عليها. قارِنْ كلّ صفة من الصفات الوراثية بين الجيلين الأوّل والثاني.

3. اِستنتاجات مندل وتفسيراته
Mendel's Conclusions and Explanations

حاول مندل تفسير ملاحظاته حول التجارب المقنّنة التي أجراها باستخدام التحليل الإحصائي، فافترض أنّه يتمّ التحكّم بالصفة الوراثية بواسطة ما أسماه «العوامل» التي توجَد في أزواج في خلايا الكائن. تُعرَف حاليًّا العوامل التي افترضها مندل باسم **الجينات Genes، وهي أجزاء من الكروموسومات مسؤولة عن إظهار الصفات الوراثية.** لاحِظ أنّه في الفترة الزمنية التي كان مندل يجري فيها تجاربه لم تتوفّر أيّة معرفة بالكروموسومات أو الجينات.

اِفترض مندل أيضًا أنّه لا بدّ من وجود شكلين على الأقلّ لكلّ عامل من هذه العوامل (أو الجينات) بسبب وجود مظهرين لكلّ صفة وراثية، ويسمّى كلّ واحد منهما بالأليل. **والأليل الذي يظهر تأثيره عندما يجتمع الأليلان هو الأليل السائد Dominant Allele، أمّا الأليل المتنحّي Recessive Allele فهو الذي لا يظهر تأثيره عندما يجتمع مع الأليل السائد. وإذا كان الأليلان متماثلين (سواء أكانا سائدين أم متنحّيين)، تكون الصفة الوراثية صفة نقية Pure Trait.**

أمّا إذا اجتمع الأليل السائد مع المتنحّي، فتكون الصفة صفة هجينة Hybrid Trait. وعادة ما يُمثَّل الأليل السائد بالحرف الأوّل الكبير من الكلمة الأجنبية الدالّة على الصفة الوراثية كرمز للتعبير عن «العامل» أو «الجين» السائد المسؤول عن إظهار الصفة السائدة أو توريثها. ويُستخدَم الحرف الصغير للحرف نفسه للتعبير عن العامل أو الجين المسؤول عن الصفة المتنحّية المقابِلة. فعلى سبيل المثال، يُمثَّل الجين المسؤول عن صفة طول الساق بالحرف "T"، أمّا الجين المسؤول عن صفة قصر الساق فيُمثَّل بالحرف "t" (الحرف "T" أو "t" هو الحرف الأوّل من كلمة Tall)، وبالتالي يُعبَّر عن كلّ صفة بحرفين. (يُمكِن في حالة تُشابِه شكل الحرف اللاتيني الكبير مع الحرف الصغير استبداله بحرف آخر لسهولة الدراسة).

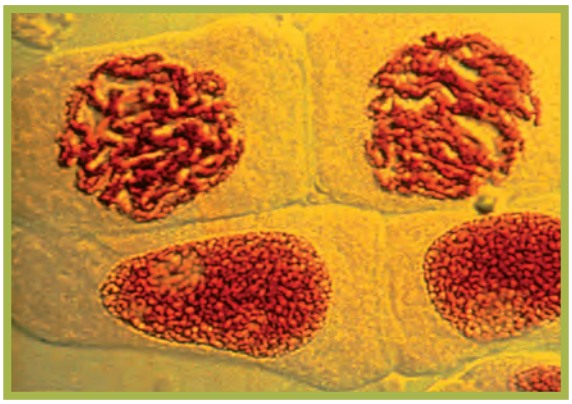
نشر مندل ملخَّصًا لتجاربه وملاحظاته واستنتاجاته في العام 1866، لكنّها لم تلقَ أيّ صدًى. ولم يُفهَم مغزى أعمال مندل إلّا بعد 50 عام على وفاته، بعد أن اكتُشِفت الكروموسومات وعملية الانقسام الميوزي.

مراجعة الدرس 1-1

1. اِشرح الفرق بين الصفة الوراثية السائدة والصفة الوراثية المتنحّية.
2. ما النتيجة التي تتوقّعها من تجارب مندل لتلقيح نبات بازلّاء نقي أزهاره إبطية الموضع (axial) مع نبات بازلّاء نقي أزهاره طرفية الموضع (terminal)؟
3. **سؤال للتفكير الناقد:** فوجِئ مندل باختفاء صفة أحد الأبوين في الجيل الأوّل من تجاربه. ما تفسيرك لذلك؟
4. **أضِف إلى معلوماتك:** قارِن بين التلقيح الخلطي والتكاثر اللاجنسي.
5. التلقيح ما بين نبتتي بازلّاء، الأولى بذورها صفراء اللون والثانية بذورها خضراء اللون، أعطى في الجيل الأوّل نباتات بازلّاء بذورها صفراء اللون.
   (أ) ماذا تستنتج؟
   (ب) أعط رموزًا للأليلات.
   (ج) ما هو التركيب الجيني للآباء والتركيب الجيني للأبناء في الجيل الأوّل؟

الأهداف العامة

* يُلخِّص قوانين مندل الوراثية ويفسر بعض تطبيقاتها.
* يُحدِّد شروط تحقيق النسب المندلية.
* يُوضِّح مفهوم السيادة في الكائنات الحيّة.
* يتعرّف مفهوم انعدام السيادة ويُفسِّر بعض حالاته.
* يتعرّف مفهوم التلقيح الاختباري وبعض تطبيقاته.



(شكل 76)

قبل عصر مندل، لم يكن يُعرَف شيء عن الكروموسومات. لكن بعد اكتشاف تقنيات صبغ الأنسجة، شوهِدت الكروموسومات في أنوية الخلايا للمرّة الأولى في أواخر القرن التاسع عشر (شكل 76). سمحت هذه التقنيات للعلماء والباحثين بملاحظة التغيّرات المختلِفة التي تشهدها الكروموسومات أثناء المراحل المختلِفة للانقسامين الخلويين الميتوزي والميوزي.

1. الأساس الخلوي للوراثة
The Cellular Basis of Inheritance

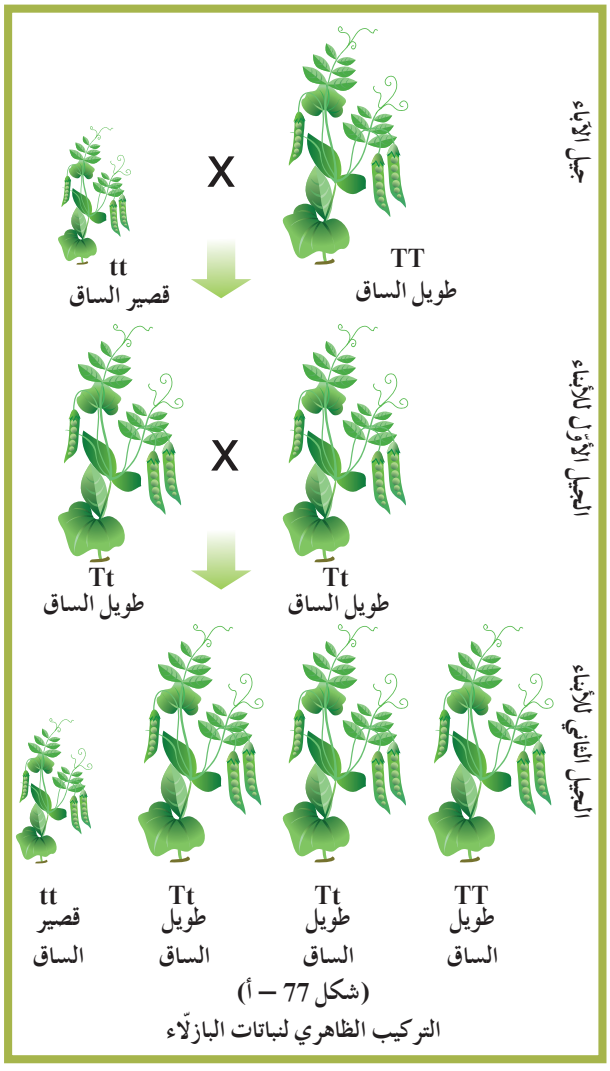
بعد إعادة اكتشاف ما نشره مندل، وتمكّن العلماء من مشاهدة الكروموسومات (في الخلايا المصبوغة) بواسطة المجهر ودراستهم للانقسام الميتوزي والانقسام الميوزي في الخلايا، بدأ العلماء بملاحظة التشابه بين سلوك الكروموسومات وسلوك العوامل الوراثية التي افترضها مندل (والتي عُرِفت لاحقًا بالجينات).

وقد سمح ذلك للعالم ساتون في العام 1903 بوضع «**النظرية الكروموسومية في الوراثة Chromosome Theory of Heredity**»، **والتي تُقِرّ بأن «مادّة الوراثة محمولة بواسطة الجينات الموجودة على الكروموسومات»**. بناء على ذلك، إنّ سلوك الصفات عند انتقالها من جيل إلى الجيل الذي يليه يرجع إلى سلوك الكروموسومات وما تحمله من جينات.

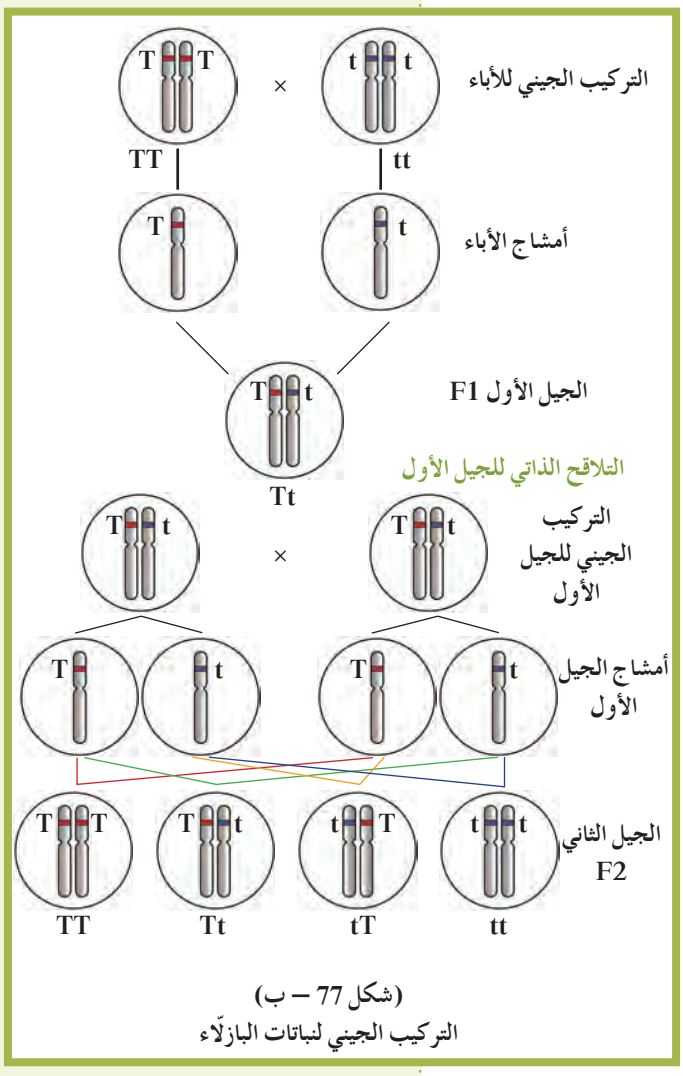
2. تمثيل الأليلات بالرموز Representing Alleles

إستخدم العلماء مجموعة من المصطلحات والرموز لتبسيط شرح النظرية الكروموسومية في الوراثة. وبما أنّ الجينات هي أجزاء من الكروموسومات، فإنّ الكروموسومات هي المسؤولة عن توريث الصفات. **والأليلات Alleles عبارة عن أشكال مختلِفة للجينات**، ولكلّ جين صفة وراثية. فيتحكّم في إظهار لون قرن البازلّاء جين واحد له أليلان، أحدهما للقرون الخضراء (الصفة السائدة) ويُرمَز له بالحرف (G)، والآخر للقرون الصفراء (الصفة المتنحّية) ويُرمَز له بالحرف (g). طبقًا لاستنتاجات مندل والنظرية الكروموسومية في الوراثة، توجَد عوامل (جينات) الصفة الوراثية في أزواج. بالتالي فإنّ **جينَي الصفة الوراثية قد يكونان متماثلين (سواء للصفة السائدة أو للصفة المتنحّية المضادّة)**، ويُسمّى الفرد «**نقيًا أو متشابه اللاقحة Homozygous**»، أو يحتمل أن **يكون الجينان مختلفين (أحدهما للصفة السائدة والآخر للصفة المتنحّية)** فيُسمّى الفرد «**هجينًا أو خليطًا أو متباين اللاقحة Heterozyous**». بالتالي فإنّ **التركيب الجيني Genotype أي التركيب الوراثي** لنبات البازلّاء النقي للقرون الخضراء هو GG، والتركيب الجيني لنبات البازلّاء الهجين للقرون الخضراء هو Gg. بمعنى آخر، الفرد الذي يحمل الصفة السائدة له احتمالان لتركيبه الجيني. فما هو التركيب الجيني أو التركيب الوراثي لنباتات البازلّاء ذي القرون الصفراء؟

يُطلَق على الصفة الظاهرة على الفرد مصطلح التركيب الظاهري Phenotype. فقد يكون نبات البازلّاء بنفسجي أو أبيض الأزهار، وقد يكون طويل أو قصير الساق، وهذا ينطبق على باقي الصفات. فعلى سبيل المثال، التركيب الظاهري لجيل الآباء لتجارب مندل كان نباتات طويلة الساق لها تركيب جيني نقي (TT)، ونباتات قصيرة الساق لها تركيب جيني نقي (tt)، أنتجت نباتات الجيل الأوّل التي لها تركيب ظاهري طويل الساق (صفة سائدة) وتركيب جيني هجين (Tt) (شكل 77).



(شكل 77 – أ)
التركيب الظاهري لنباتات البازلّاء



(شكل 77 – ب)
التركيب الجيني لنباتات البازلّاء

(شكل 77)
توارث صفة طول الساق في نبات البازلّاء.
قارِن بين التركيب الجيني للنباتات مع تركيبها الظاهري.

3. قوانين مندل Mendel's Law

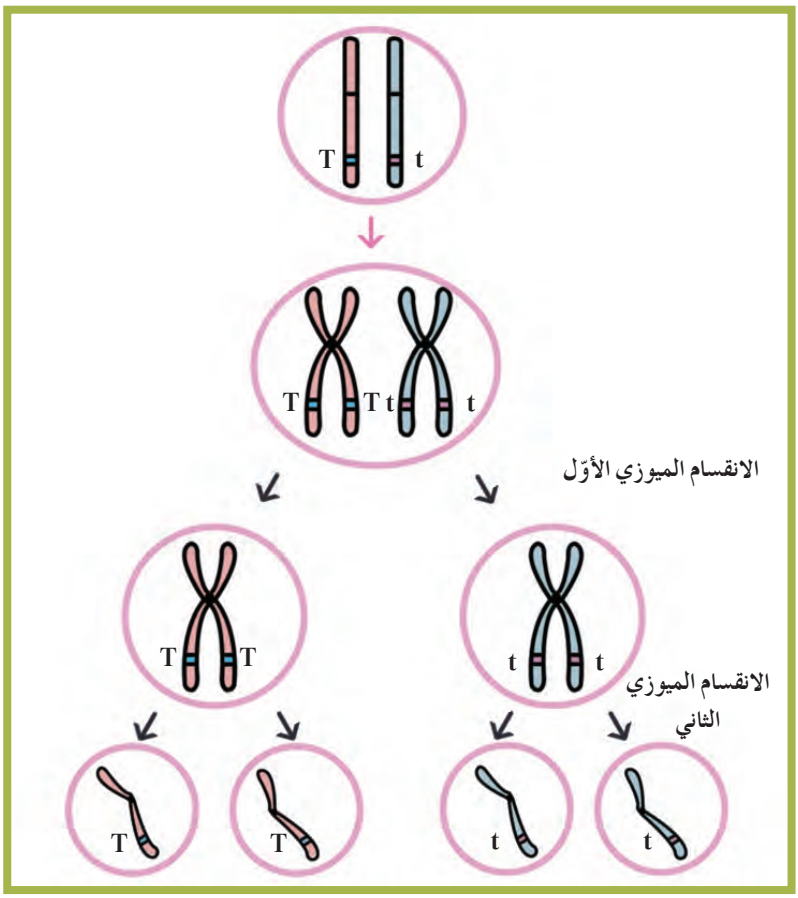
بعد اكتشاف أعمال مندل، قام العلماء بصياغة نتائجه وإصدارها في شكل قوانين سُمِّيت قوانين مندل، تقديرًا لإنجازاته. ولوحِظ أنّ العديد من الصفات تتّبع قوانين مندل وتُسمّى الصفات المندلية، في حين أنّ صفات أخرى لا تتبعها وتُسمّى الصفات غير المندلية. (تذكَّرْ دائمًا خطوات الانقسام الميوزي ونتائجه عند دراسة الصفات المندلية).

1.3 القانون الأوّل: قانون الانعزال The Law of Segregation

اِفترض مندل أنّ أزواج العوامل (الجينات) تنفصل عند تكوين الأمشاج، ويُعرف هذا حاليًّا بقانون الانعزال. وينصّ هذا القانون على ما يلي:

«ينفصل كلّ زوج من الجينات بعضهما عن بعض أثناء الانقسام الميوزي، بحيث يحتوي نصف عدد الأمشاج الناتجة على جين واحد من كلّ زوج من الجينات، ويحتوي النصف الآخر على الجين الآخر».

أُنظر الشكل (78) الذي يمثّل الانقسام الميوزي للخلية الأمّ لنبتة بازلّاء من الجيل الأوّل، والذي ينتج عنه تكوين أمشاج يحتوي كلّ منها على جين واحد.



(شكل 78)
خلال الانقسام الميوزي تنفصل أزواج الجينات بعضها عن بعض.
ما عدد الأمشاج التي تحتوي على الجين T، وما عدد الأمشاج التي تحتوي على الجين t؟

التوقّع بوراثة صفة واحدة

Prediction of the Inheritance of One Trait

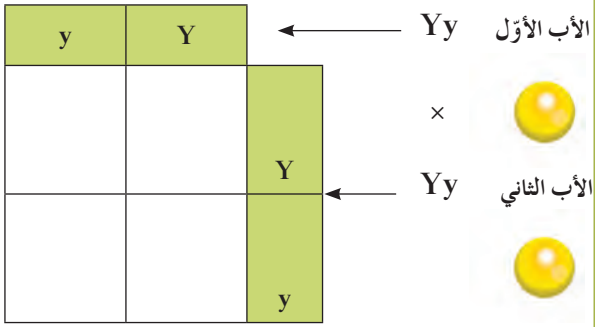
يستخدم علماء الوراثة بعض الوسائل والأدوات للتوقّع بتوارث التراكيب (الأنماط) الظاهرية والجينية في تجاربهم قبل القيام بها، أي قبل أن تحدث عمليتا التهجين والإخصاب بين نباتات أو حيوانات هذه التجارب.

ومن هذه الأدوات أداة صمّمها العالم بانت وتُعرَف **بمربّعات بانت Punnett Squares، وهي عبارة عن مربّعات لتنظيم المعلومات الوراثية لتوضيح النتائج المتوقَّعة في تجارب الوراثة وليس النتائج نفسها.**

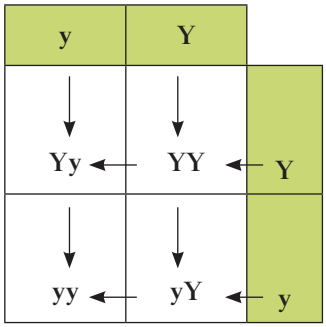
ويُمكِنك أيضًا استخدام مربّع بانت للتوقّع بنتائج التهجين أو التزاوج بين كائنين، مثل التهجين بين نباتي بازلّاء كليهما هجين أو متباين اللاقحة بالنسبة لصفة البذور الصفراء (Yy).

في هذا المثال كلّ من الأبوين متباين اللاقحة لأليل بذور البازلّاء الصفراء (Yy).

1. أُرسم جدولًا من خطوط متقاطعة
ضَعْ أليلات الأمشاج التي تخصّ أحد الأبوين في قمّة الجدول، وتلك الخاصّة بالآخر على الجانب الأيمن من الجدول.

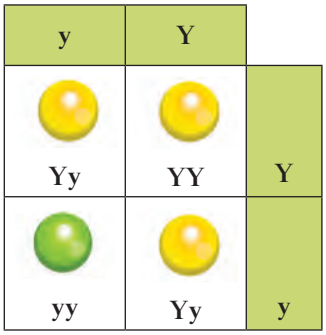


2. إملأ الخانات في الجدول
زاوِج بين أليلات أمشاج الأبوين داخل خانات الجدول. تُمثِّل الحروف الناتجة التراكيب الجينية للأبناء.



نسبة التركيب الجيني لنباتات الجيل الأوّل 1 : 2 : 1، وهذا معناه. (1) YY، (2) Yy، (1) yy

3. حدِّد التراكيب الظاهرية للأبناء
إستخدِم قانون السيادة التامّة لتُحدِّد التراكيب الظاهرية للأبناء والنسب بينها.



نسبة التركيب الظاهري لأفراد الجيل الأوّل 3 : 1، وهذا معناه 3 بذور بازلّاء صفراء اللون مقابل بذرة واحدة خضراء.

يُكتَب هذا التهجين على الصورة التالية: Yy × Yy. بالتالي، ينتج عن كلّ نبات من الآباء نوعان من الأمشاج، نصفها يحمل الأليل Y والنصف الآخر يحمل الأليل y.

ستُلاحِظ أنّ الحروف التي تشغل هذه الخانات جاءت نتيجة ارتباط أليلات الأمشاج الناتجة عن الآباء، وبالتالي فإنّ هذه الحروف تُمثِّل التراكيب الجينية لجيل الأبناء. يُوضِّح الشكل (79) وجود ثلاثة تراكيب جينية مختلِفة للجيل الأوّل: yy، Yy، YY. ما التراكيب الظاهرية لهذه التراكيب الجينية الثلاثة؟ يُوضِّح الشكل أيضًا أنّ النسب المحتملة للتراكيب الجينية للأبناء هي 1 : 2 : 1، ونسبتها المئوية 25%YY: 25% yy: 50% Yy.

(شكل 79)
كيف تُصمِّم مربّع بانت؟
تُسهِّل مربّعات بانت للعاملين في مجال الوراثة التوقّع بالتراكيب الجينية والتراكيب الظاهرية المحتمَلة للأبناء.

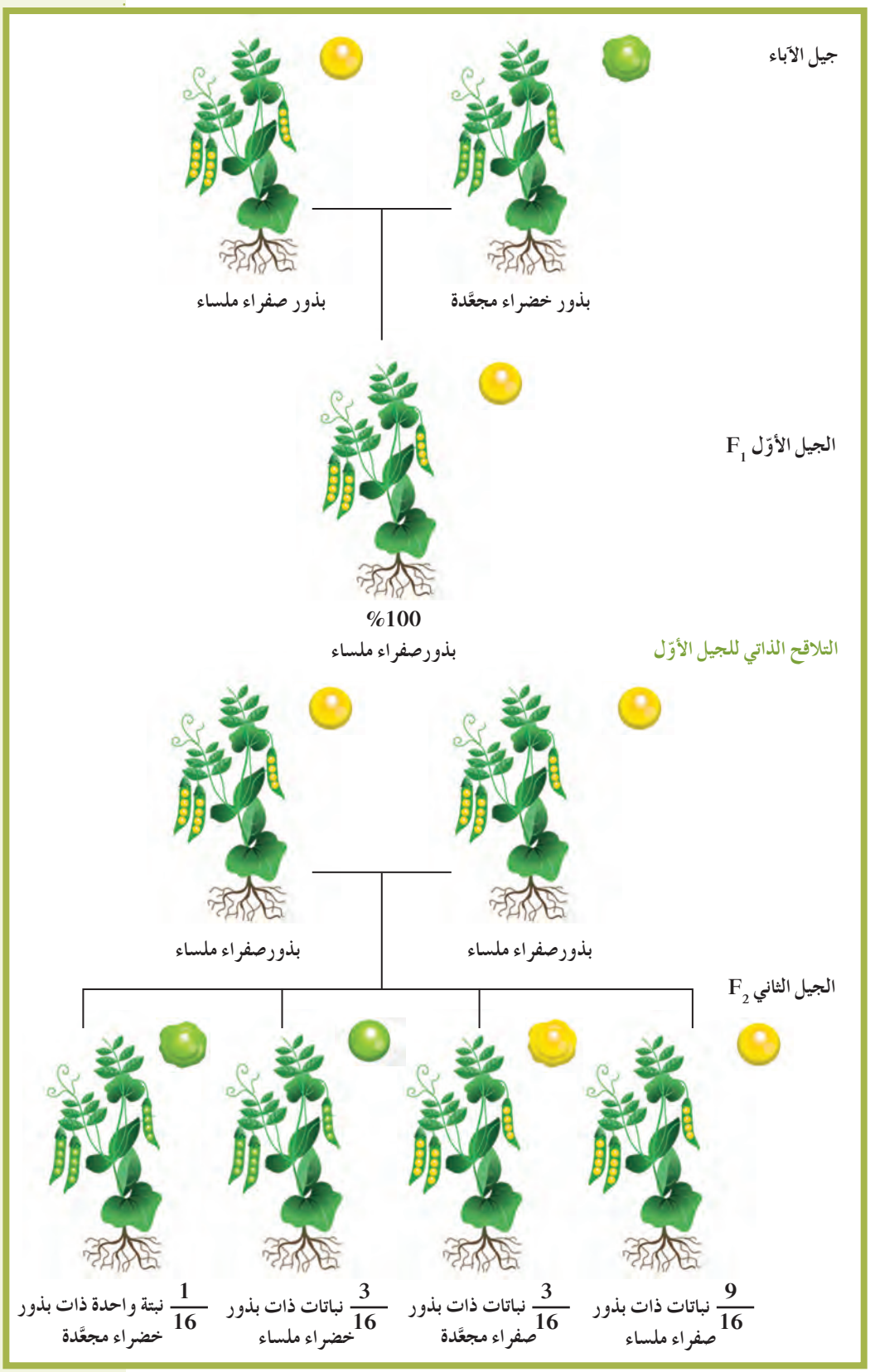
لقد تعرّفْتَ كيفية استخدام مربّع بانت للتوقّع بنتائج **توارث صفة واحدة من دون النظر إلى باقي الصفات، وهذا ما يعرف بالتهجين الأحادي Monohybrid Cross.**

هل يُمكِنك تحديد نتائج التهجين الأحادي لنباتات بازلّاء طويلة الساق نقيّة (TT) مع نباتات بازلّاء أخرى طويلة الساق هجينة (Tt)؟

2.3 القانون الثاني: قانون التوزيع المستقلّ
The Law of Independent Assortment

درس مندل أيضًا توارث صفتين وراثيتين في الوقت نفسه، فأجرى تلقيحًا خلطيًّا بين نباتي بازلّاء يحمل أحدهما صفتين سائدتين نقيتين هما بذور ملساء الشكل وصفراء اللون (YYRR)، في حين يحمل الآخر صفتين متنحّيتين هما بذور مجعّدة الشكل وخضراء اللون (yyrr)، فجاءت جميع نباتات الجيل الأوّل تحمل بذورًا ملساء وصفراء اللون (YyRr)،

أي أنّها تحمل الصفتين السائدتين فقط. ثمّ ترك مندل نباتات الجيل الأوّل تتلاقح ذاتيًّا، فظهرت نباتات الجيل الثاني تحمل جميع الارتباطات الممكنة لشكل البذور ولونها الظاهرة في الشكل (80).



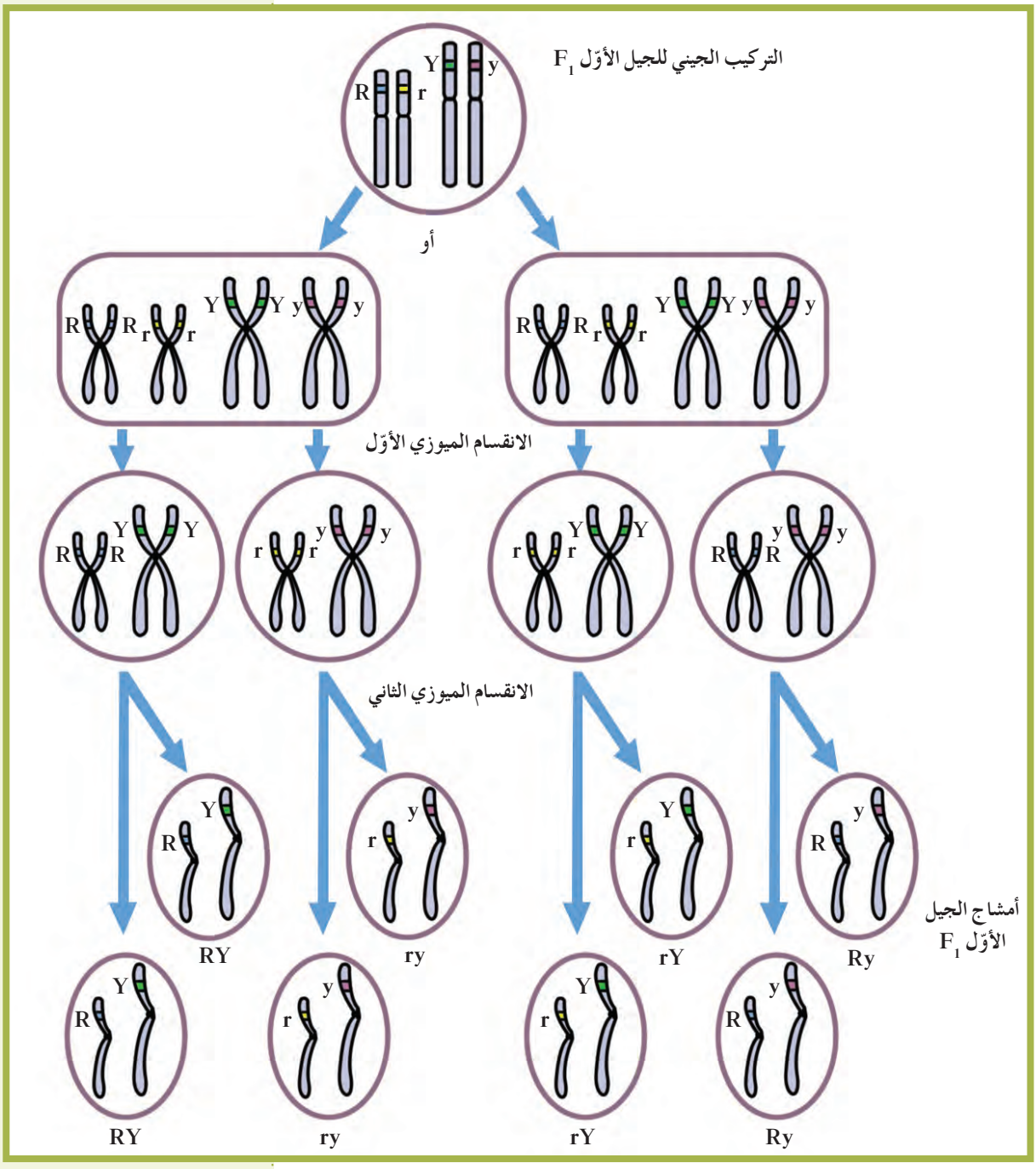
(شكل 80)

دراسة مندل لتوارث صفتي لون البذور (خضراء وصفراء) وشكلها (ملساء ومجعَّدة) في الوقت نفسه.
ما التراكيب الظاهرية لبذور البازلّاء التي حصل عليها مندل، وما النسب الظاهرية لها؟

وقد لاحظ مندل أنّ النسبة نفسها بالنسبة لكلّ صفة من هاتين الصفتين هي التي حصل عليها في تجاربه على زوج واحد من الصفات (3 : 1). هذا يعني أنّ توارث لون البذور لا يرتبط بتوارث شكلها، أي أنّه يتمّ توارث كلّ صفتين متضادّتين (صفراء، خضراء) بشكل مستقلّ عن الصفتين الأخريين (ملساء، مجعّدة). وهذا ما يوضحه القانون الثاني لمندل والذي ينصّ على أن: «**تنفصل أزواج الجينات بعضها عن بعض، وتتوزّع في الأمشاج عشوائيًّا ومستقلّة كلّ منها عن الأخرى**».

وطبقًا لهذا القانون، سوف تتوزّع الأليلات مستقلّة، ما يُؤدّي إلى إمكانية تواجد أربعة احتمالات ممكنة للأليلات في أمشاج الجيل الأول: rY، ry، RY، Ry، كما هو مبين في الشكل (81).

(شكل 81)
أمشاج الجيل الأوّل F_1
كيف تنفصل أزواج الجينات وتتوزّع في الأمشاج؟

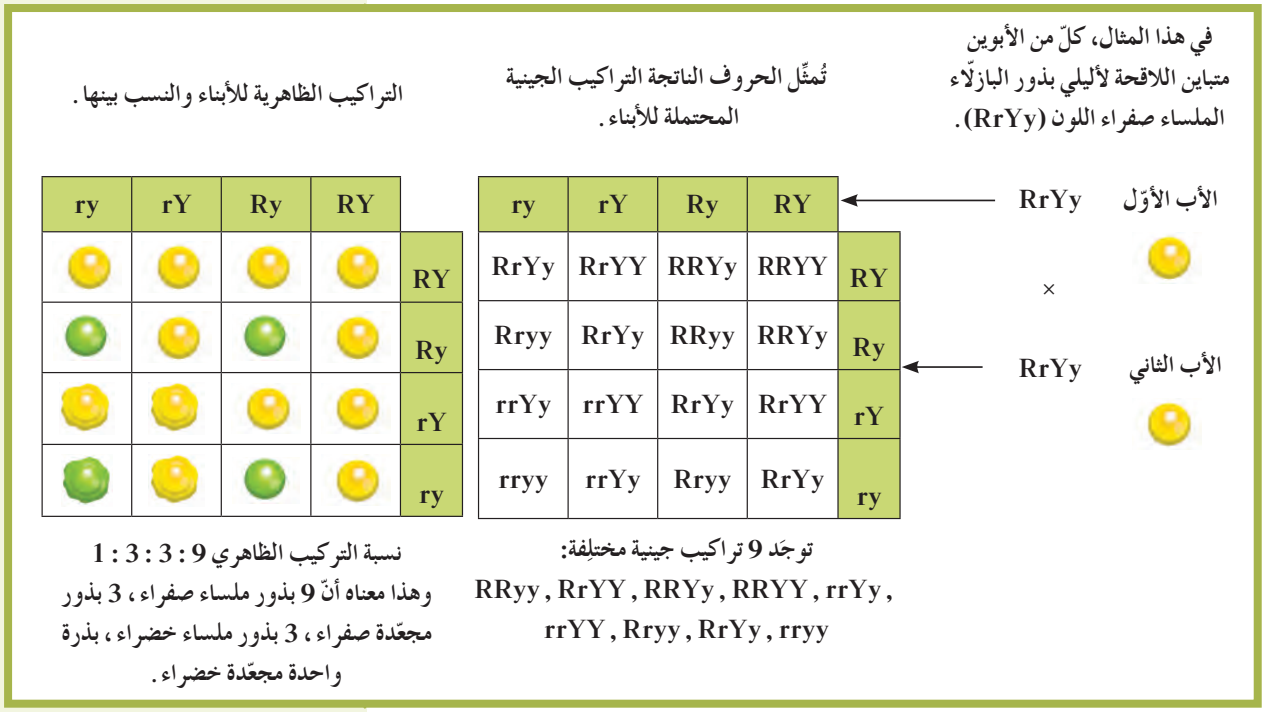


قارِن بين قانون التوزيع المستقلّ وسلوك الكروموسومات أثناء الانقسام الميوزي (شكل 81). لاحِظ أنّ انفصال أزواج الكروموسومات يحدث عشوائيًّا وتنتج جميع الاحتمالات الممكنة للكروموسومات في الأمشاج. بالتالي إذا لم تنفصل أزواج الكروموسومات عشوائيًّا، سيكون للأبناء ارتباط الصفات نفسه مثل أحد الأبوين. بمعنى آخر، من دون قانون التوزيع المستقلّ، لا يُمكِن أن يكون لديك لون عيني أبيك ولا ابتسامة أمّك!

التوقّع بوراثة صفتين

Prediction of the Inheritance of Two Traits

تُعرَف دراسة توارث صفتين في وقت واحد بعملية التلقيح الثنائي Dihybrid Cross. ويُوضِّح الشكل (82) الخطوات المتّبعة لتفسير نتائج التلقيح الذاتي لنباتات البازلّاء من الجيل الأوّل وهما متباينا اللاقحة لأليلي البذور الملساء صفراء اللون. ويُكتَب هذا التهجين على الشكل التالي: RrYy × RrYy.



(شكل 82)
كيف تتوقّع بنتائج التهجين الثنائي؟
تُسهِّل عمليّات التهجين الثنائي التوقّع بالتراكيب الجينية والظاهرية المحتملة لوراثة صفتين.

3.3 القانون الثالث: قانون السيادة

The Law of Dominance

ينصّ هذا القانون على ما يلي: «**الأليل السائد يظهر تأثيره، أمّا الأليل المتنحّي فيختفي تأثيره في الفرد الهجين، الّا إذا اجتمع هذان الأليلان المتنحيان معًا**».

على سبيل المثال، يُمثَّل اللون البنفسجي لزهرة البازلّاء متباينة اللاقحة بأليلين، أحدهما سائد (P) والآخر متنحٍّ (p) وتركيبها الجيني (Pp)، أمّا تركيبها الظاهري فبنفسجي اللون. بذلك يتّضح أنّ الأليل السائد هو الذي ظهر تأثيره، في حين أنّ الأليل المتنحّي لا تأثير ظاهر له طالما أنّه متزاوج مع الأليل السائد.

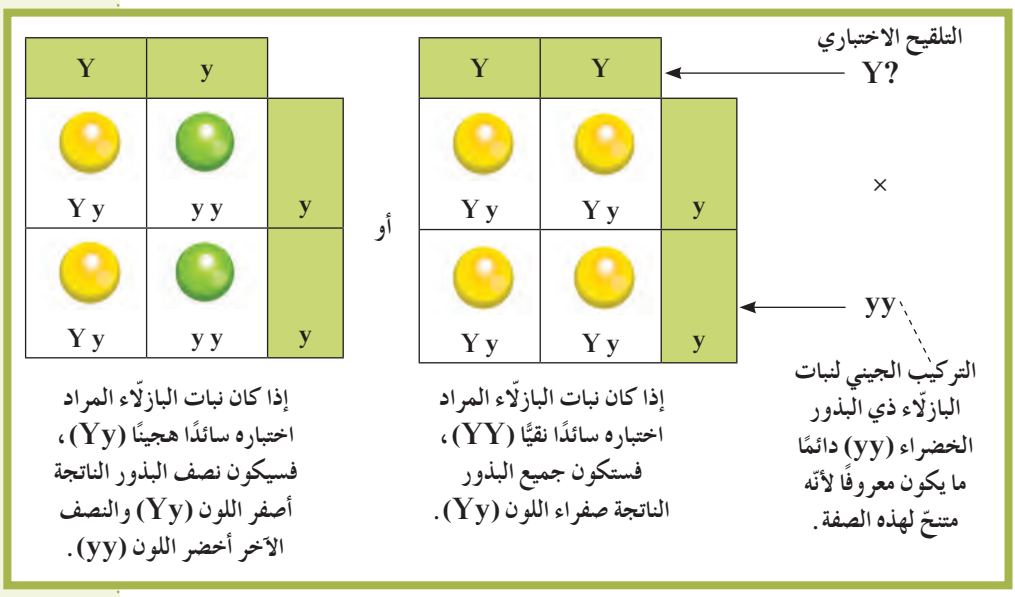
التلقيح الاختباري Test–cross

تعرّفت أنّ الفرد الذي يحمل صفة سائدة يُمكِن أن يكون تركيبه الجيني نقيًّا (متشابه اللاقحة) أو هجينًا (خليطًا أو متباين اللاقحة). أمّا الفرد الذي يحمل الصفة المتنحّية فدائمًا ما يكون تركيبه الجيني نقيًّا أو متشابه اللاقحة. فكيف يُمكِن تحديد ما إذا كان التركيب الجيني للفرد الذي يحمل الصفة السائدة نقيًّا أم هجينًا لهذه الصفة؟

يُمكِن للعلماء **التمييز بين الفرد النقي السائد والفرد الهجين السائد** من خلال إجراء **التلقيح الاختباري Text Cross**. ويتمّ ذلك بإجراء تلقيح خلطي بين الفرد الذي يحمل الصفة السائدة غير محدّدة التركيب الجيني مع فرد آخر يحمل الصفة المتنحّية المقابلة لها. وبما أنّ الصفة المتنحّية لا تظهر في التركيب الظاهري إلّا إذا اجتمع الأليلان المتنحّيان، فإنّ الفرد الذي يحمل الصفة المتنحّية يكون نقيًّا ومعروف التركيب الجيني.

فإذا كان التركيب الجيني للفرد المختبَر سائدًا نقيًّا، سيكون التركيب الظاهري لجميع الأفراد الصفة السائدة. أمّا إذا كان التركيب الجيني للفرد المختبَر سائدًا هجينًا، فسيكون التركيب الظاهري لنصف الأفراد الناتجة الصفة السائدة والتركيب الظاهري لنصفها الآخر الصفة المتنحّية.

ولتتعرّف كيف يتمّ التلقيح الاختباري، أُدرس المثال في الشكل (83). فكلا التركيبين الجينيين Yy وYY يُنتِجان بذور بازلّاء صفراء اللون لأنّها الصفة السائدة. ففي التلقيح الاختباري، يتمّ تلقيح النبات المراد اختباره (Y?) خلطيًّا مع النبات الذي يحمل التركيب الجيني النقي المتنحّي (yy). ما التركيب الجيني لهذا النبات المُختبَر إذا أنتجت جميع نباتات الجيل الأوّل بذورًا صفراء اللون؟

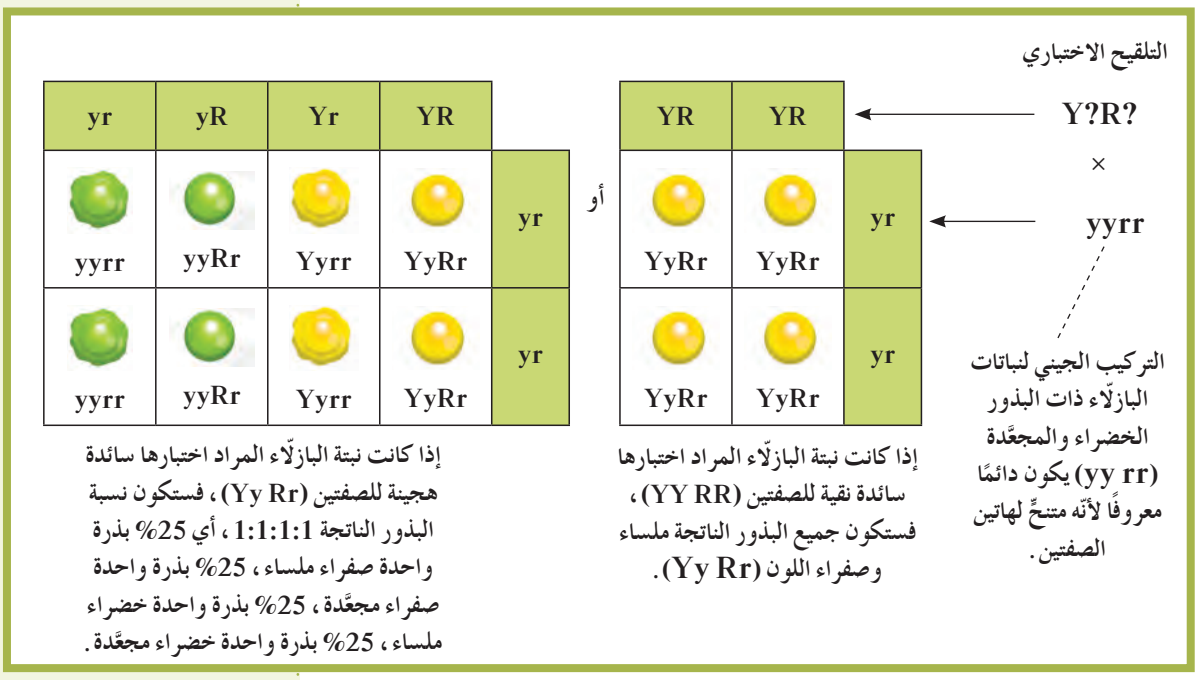


(شكل 83)

إستخدام التلقيح الاختباري لتحديد التركيب الجيني

قد يكون نبات البازلّاء الذي يحمل البذور الصفراء (الصفة السائدة) نقيًّا (YY) أو هجينًا (Yy). إذا كانت نسبة البذور الصفراء إلى البذور الخضراء في النباتات الناتجة من التلقيح الاختباري (1:1)، فما هو التركيب الجيني للنبات السائد؟

يوضّح الشكل (84) مثالًا آخر على التلقيح الاختباري بين نبتتين من البازلّاء: لإحداهما صفتان سائدتان هما البذور الملساء صفراء اللون، وللأخرى صفتان متنحّيتان هما البذور المجعَّدة خضراء اللون (yy rr). وقد أُجري هذا التلقيح لمعرفة نقاوة الصفتين السائدتين (Y?R?).



4. توقّعات وراثية لا تخضع لقوانين مندل
Predictions that Do Not Obey Mendel's Laws

تعلّمْتَ خلال دراستك للسيادة التامّة أنّ أحد أليلي الصفة الوراثية يسود على الأليل الآخر ويحجب تأثيره تمامًا، أو بمعنى آخر أنّ الصفة السائدة في الفرد الهجين (الناتج من تزاوج آباء نقية) تسود على الصفة المتنحّية وتحجب ظهورها تمامًا. إلّا أنّ تجارب العلماء بعد مندل أوضحت أنّ هناك صفات لا تورَث وفقًا لما توصّل إليه مندل، أي أنّها تتعارض مع قوانينه. وقد سُمِّيت «الصفات غير المندلية» لأنّها تخضع في توارثها لآليات أخرى غير السيادة التامّة. من هذه الآليات آلية السيادة الوسطية.

1.4 السيادة الوسطية Intermediate Dominance

يُلاحَظ أنّ **الفرد الهجين لديه صفة لا تُشبِه تمامًا الصفة الموجودة لدى أيّ من الأبوين** ويُسمّى هذا النوع من السيادة **بالسيادة الوسيطة Intermediate Dominance**. يُظهِر التركيب الظاهري لهذا الفرد الهجين التأثيرات لأكثر من أليل واحد. يوجَد نوعان من السيادة الوسطية: السيادة غير التامّة والسيادة المشتركة.

(شكل 84)
قد يكون البازلاء الذي يحمل البذور الملساء والصفراء (الصفتان السائدتان) نقيًا (YY RR) أو هجينًا (Yy Rr). إذا كانت نسبة البذور الناتجة من التلقيح الإختباري (1:1:1:1)، فما هو التركيب الجيني لنبات البازلاء ذات الصفتان السائدتان؟

فقرة إثرائية

شروط تحقيق النسب المندلية

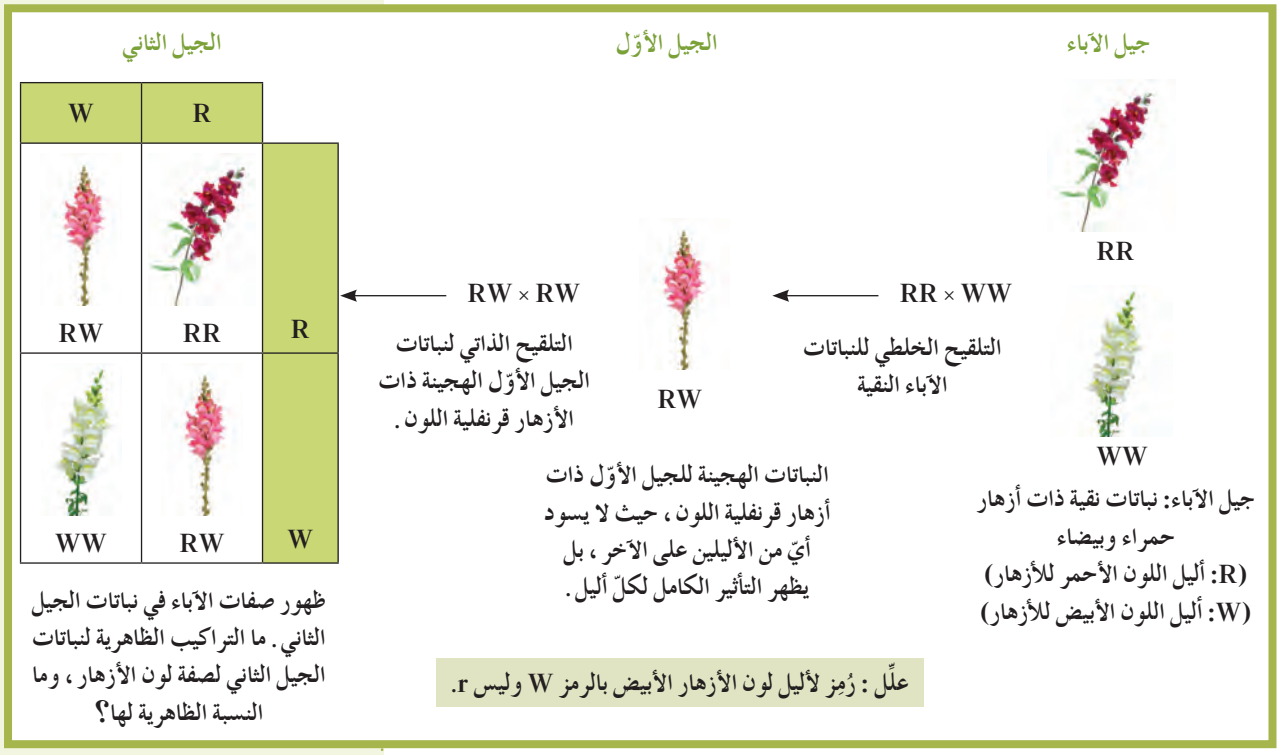
لكي تتحقّق النسب الجينية والظاهرية للصفات التي تنطبق عليها قوانين مندل، يجب التقيّد ببعض الشروط:

- أن يكون الأبوان المراد تزاوجهما من سلالة نقية.
- أن يوجَد تباين بين الصفات الوراثية التي تتمّ دراستها.
- أن تكون الكائنات المختارة سريعة النموّ وسهلة التربية وذات إنتاج كبير، وذلك للتمكّن من تفسير نتائج تزاوجاتها التجريبية إحصائيًّا.

(أ) السيادة غير التامّة Incomplete Dominance

يكون التركيب الظاهري للهجين وسطيًّا بين التركيبين الظاهرين للأبوين النقيين في حالة السيادة غير التامّة Incomplete Dominance . يُوضِّح الشكل (85) هذا النوع من الوراثة من خلال توارث لون الأزهار في نبات حنك السبع. يُعتبَر اللون القرنفلي لأزهار نبات الجيل الأوّل صفة وسطية بين اللونين الأحمر والأبيض لأزهار الآباء. يظهر تأثير الأليل (R) على الصفة الظاهرية للزهرة، وفي الوقت نفسه يظهر تأثير الأليل (W)، ولا يسود أيّ منهما سيادة تامّة على الآخر، وبمعنى آخر لا توجَد أليلات مسؤولة عن إظهار اللون القرنفلي للأزهار.

عندما يتمّ التلقيح الذاتي للأزهار القرنفلية للنباتات الهجينة للجيل الأوّل، تعود صفات الآباء للظهور إلى جانب ظهور صفة اللون القرنفلي في أفراد الجيل الثاني. ما النسبة المظهرية بين نباتات الجيل الثاني؟

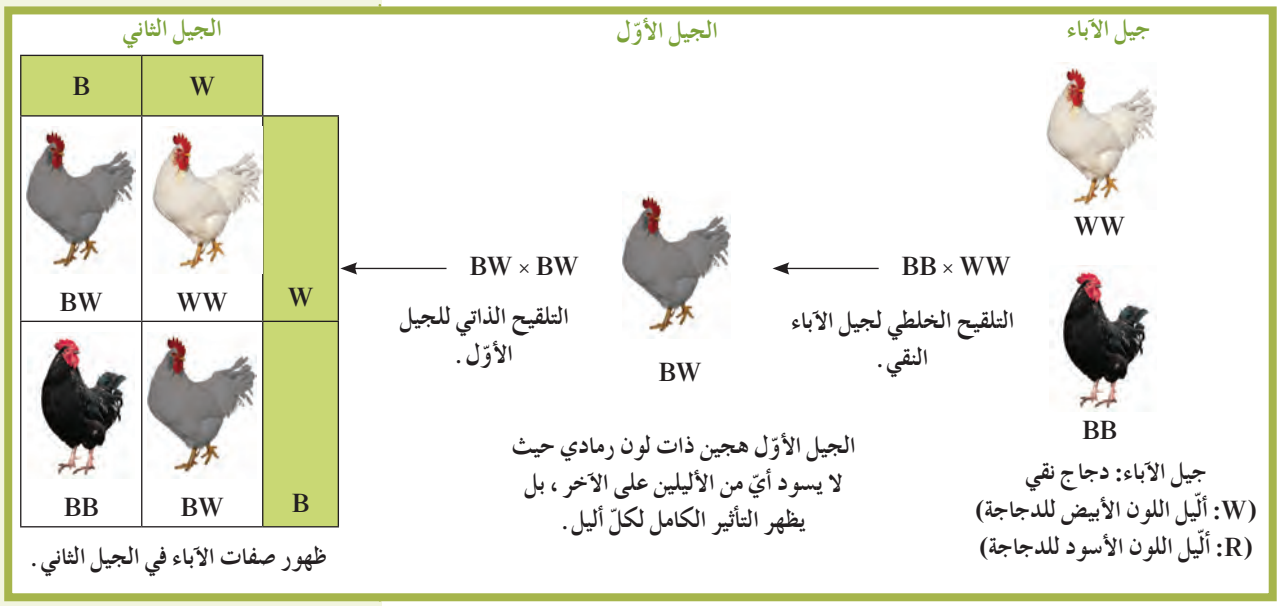


(شكل 85)

السيادة غير التامّة في نبات حنك السبع.

تظهر حالة السيادة غير التامة عندما يُظهِر كلّ من أليلي الأبوين تأثيره كاملًا، ويكون التركيب الظاهري للجيل الأوّل وسطيًّا بين التركيبين الظاهريين للأبوين. في هذا المثال، ينتج عن الأزهار البيضاء والأزهار الحمراء أزهار قرنفلية اللون.

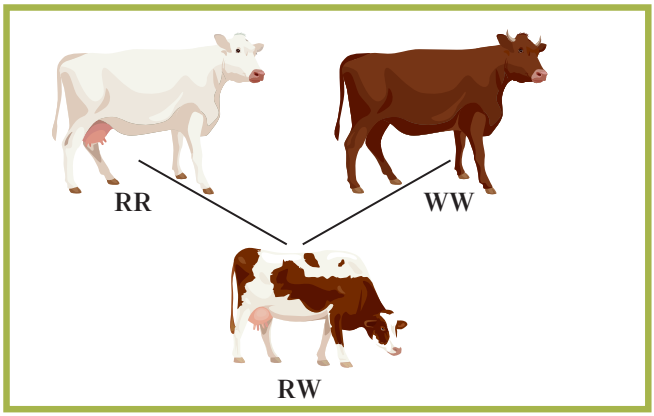
توجَد أمثلة أخرى توضِّح انعدام السيادة مثل توارث لون الجلد في بعض سلالات الأبقار حيث توجَد أبقار حمراء وأخرى بيضاء. تزاوج فردين من هذين اللونين يُنتِج أبقارًا هجينة ذات لون بنّي مبيضّ أو أغبر، يُعتبَر مزيجًا من لوني الأبوين الأحمر والأبيض. مثال آخر هو توارث لون الريش في الدجاج الأندلسي، فتزاوج فردين نقيين أحدهما أسود الريش والآخر أبيض الريش يُنتِج دجاجًا هجينًا له ريش رمادي اللون (شكل 86).



(شكل 86)
السيادة غير التامّة في دجاج الأندلس.
ما النسبة لكلّ تركيب ظاهري للدجاج؟

(ب) السيادة المشتركة Codominance

يظهر تأثيرا الأليلين الموجودين في الفرد الهجين كاملين منفصلين في حالة **السيادة المشترَكة Codominance**. مثال على السيادة المشترَكة وراثة لون الشعر في أبقار الشورتهورن، حيث إنّ ألّيلي لون الشعر الأحمر (R) والأبيض (W) ذات سيادة مشتركة. فإنّ تزاوج ذكر شورتهورن أحمر اللون (RR) مع أنثى شورتهورن بيضاء اللون يُنتج أفرادًا هجينة تمتلك شعرًا أبيض وأحمر (RW) كما هو موضّح في الشكل (87). بالتالي، لا يوجد سيادة لأحد الألّيلين على الآخر.



(شكل 87)
السيادة المشتركة

مراجعة الدرس 1-2

1. صِفْ قوانين مندل واذكر أمثلة.
2. قارِن بين التهجين الأحادي والتهجين الثنائي.
3. باستخدام قوانين مندل، اِشرح سبب ظهور نباتات بازلّاء تحمل الصفات الوراثية السائدة أكثر من تلك التي تحمل الصفات الوراثية المتنحّية خلال الجيل الثاني.
4. ما نتائج التهجينات التالية؟

(أ) dd x Dd **(ب)** qq x QQ

(جـ) Mm x MM **(د)** Bb x Bb

5. ما مرحلة الانقسام الميوزي التي تتّفق مع قانون مندل للانعزال؟
6. **أضف إلى معلوماتك:** هل يجري التلقيح الاختباري على أفراد الجيل الثاني في حالة السيادة الوسطية؟
7. حدث تزاوج بين ببّغاء لون جسمه أخضر ورأسه أصفر نقي للصفتين، وببّغاء لون جسمه أزرق ورأسه أبيض نقي للصفتين. فجاء لون أجسام جميع طيور الببّغاء في الجيل الأوّل أخضر ولون رؤوسها أصفر.

(أ) ما هي الصفات السائدة؟ علِّل إجابتك.

(ب) اُكتب رموزًا للجينات المناسِبة.

(جـ) حدِّد التراكيب الجينية لكلّ فرد من أفراد جيل الآباء وأفراد الجيل الأوّل.

بعد أن زاوجنا أفراد الجيل الأوّل، حصلنا في الجيل الثاني على التراكيب الظاهرية التالية:

27 طير ببّغاء أخضر – أصفر

9 طيور ببّغاء خضراء – بيضاء

9 طيور ببّغاء زرقاء – صفراء

3 طيور ببّغاء زرقاء – بيضاء

(د) اُحسب النسب لأفراد الجيل الثاني.

(هـ) أجرِ التحليل الجيني المناسِب للتحقّق من النتائج التي حصلْتَ عليها.

(و) ما أنواع التراكيب الجينية التي نحصل عليها من هذا التزاوج.

مراجعة الدرس 1-2 (تابع)

8. يوجد ثلاثة أشكال من الفجل وهي الطويل، الدائري والبيضاوي. وقد أعطت التلقيحات المختلفة بين نباتات الفجل النتائج التالية:

التلقيح الأوّل: ما بين نبتة فجل طويلة ونبتة فجل بيضاوية أعطى 120 فجلة طويلة و118 فجلة بيضاوية.

التلقيح الثاني: ما بين نبتة فجل دائرية ونبتة فجل بيضاوية أعطى 139 فجلة دائرية و141 فجلة بيضاوية.

التلقيح الثالث: وهو تلقيح ذاتي ما بين الفجل البيضاوي أعطى 60 فجلة طويلة، 58 فجلة دائرية و119 فجلة بيضاوية.

فسّر وتحقّق من نتائج التلقيحات الثلاثة.

9. التلقيح ما بين سلالتين نقيتين من الذرة لديهما الخصائص التالية: بذور دائرية صفراء اللون وبذور مجعّدة سوداء اللون أعطى في الجيل الأوّل ذرة جميع بذورها دائرية وسوداء اللون.

(أ) ماذا تستنتج؟

(ب) أعط رموزًا للجينات.

(جـ) ما هو التركيب الجيني لنباتات الآباء ولنباتات الجيل الأوّل (F_1)؟ قمنا الآن بإجراء التلقيح الذاتي لنباتات الجيل الأوّل.

(د) اجرِ تحليلًا جينيًا مناسبًا مستعينًا بمربع بانت لتحديد نسب التراكيب الظاهرية والتراكيب الجينية عند جيل الأبناء الثاني (F_2).

التلقيح بين نوعي نبات ذرة لديهما التراكيب الظاهرية التالية: بذور دائرية سوداء وبذور دائرية صفراء.

يعطي النتائج التالية:

241 نبتة بذورها دائرية وسوداء

234 نبتة بذورها دائرية وصفراء

78 نبتة بذورها مجعّدة وسوداء

81 نبتة بذورها مجعّدة وصفراء

(هـ) ما هي التراكيب الجينية النظرية للآباء؟

(و) بعد مناقشة منطقية، استنتج التركيب الجيني لكلّ منهما.

(ز) احتسب نسب التراكيب الظاهرية لنتائج التلقيح.

(حـ) اجرِ تحليلًا جينيًا مناسبًا مستعينًا بمربع بانت للتحقّق من النسب المحتسبة.

الدرس 1-3

دراسة توارث الصفات في الإنسان
Studying Inherited Traits in Humans

الأهداف العامة

* يُفسِّر توارث بعض الصفات باستخدام سجلّ النسب الوراثي.
* يُدرِك الفرق بين بعض الاختلالات الوراثية السائدة والمتنحّية.
* يُحدِّد بعض طرق تحديد بعض الاختلالات الوراثية المحتمل توارثها (الاستشارات الوراثية).

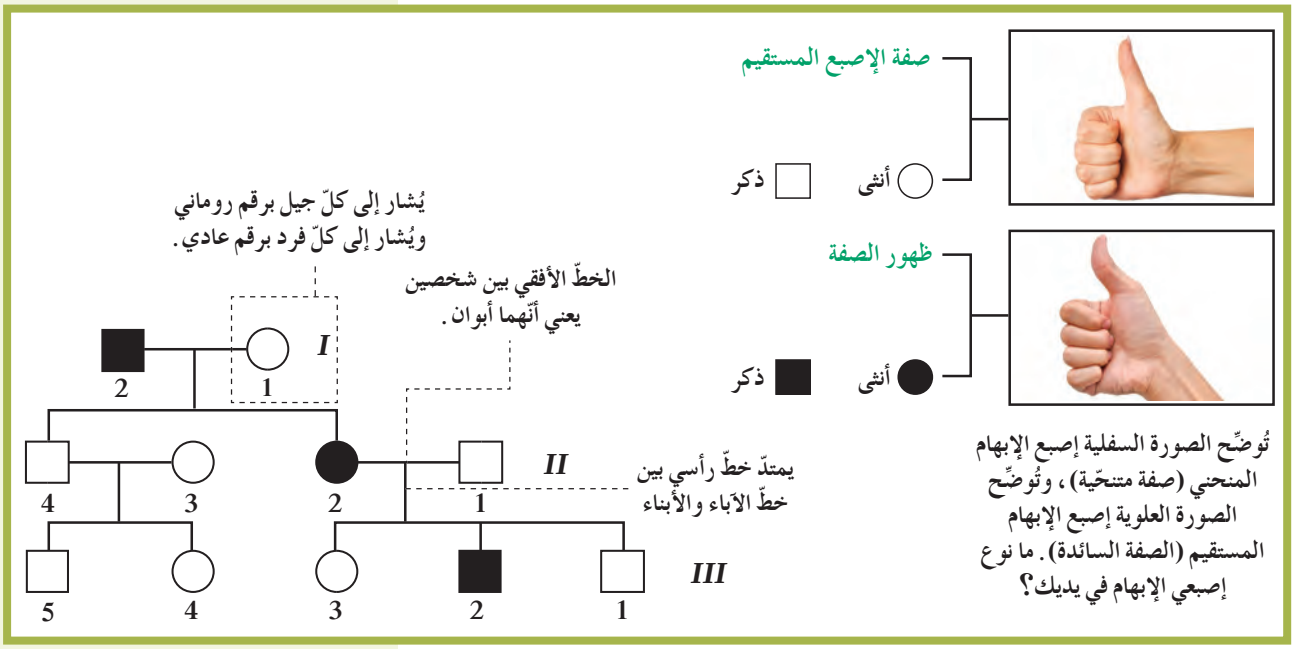
(شكل 88)

هل تظهر غمّازات في خدّيك عندما تبتسم؟ هل تعرف عائلة تنتشر الغمّازات لدى أفرادها؟ يتحكّم في توارث الغمّازات أليل سائد، فإذا وُرِّث هذا الأليل ظهرت الغمّازات (شكل 88). لكن أن يكون الأليل سائدًا لا يعني بالضرورة أن تكون الصفة الظاهرة نتيجة تأثيره هي الصفة الأكثر عمومية وانتشارًا. كم عدد الأشخاص الذين تعرفهم والذين لديهم غمّازات؟

1. دراسة سجل النسب الوراثي Pedigree Studies

ليست دراسة انتقال الصفات الوراثية في الإنسان أمرًا سهلًا، وذلك بسبب طول الفترة الممتدّة بين جيل وآخر. إلّا أنّ دراسة انتقال الصفات الوراثية في نبات البازلّاء أسهل إذ تبلغ الفترة الممتدّة بين جيل وآخر 90 يومًا فقط، بالإضافة إلى قلّة عدد الأفراد الناتجة عند كلّ تزاوج. تمكّن العلماء حديثًا من التوصّل إلى بعض التقنيات التي تُمكِّنهم من دراسة جينات الإنسان بطريقة مباشرة.

لكنّ معظم ما نعرفه عن الوراثة في الإنسان ما زال مصدره دراسة بعض الأنماط الوراثية في الإنسان عن طريق دراسة سجلّ النسب أو شجرة النسب لبعض العائلات. **وسجلّ النسب Pedigree عبارة عن مخطَّط يُوضِّح كيفية انتقال الصفات وجيناتها من جيل إلى جيل في عائلة محدَّدة.**



(شكل 89)
مخطّط سجلّ النسب لتوارث صفة إصبع الإبهام المنحني في إحدى العائلات

لهذه السجلّات الوراثية فائدة صحّية في تتبّع توارث الصفات المختلفة، بخاصّة ما يتعلّق بالاختلالات والأمراض الوراثية.

ويُحضِّر المستشارون الوراثيون هذه السجلّات الوراثية للأشخاص المقبلين على الزواج للتوقّع باحتمال ظهور مثل هذه الصفات الوراثية في نسلهم. ويفعلون ذلك من خلال جمع المعلومات عن التاريخ الوراثي لعائلات هؤلاء الأشخاص فيما يخصّ صفات وراثية معيّنة.

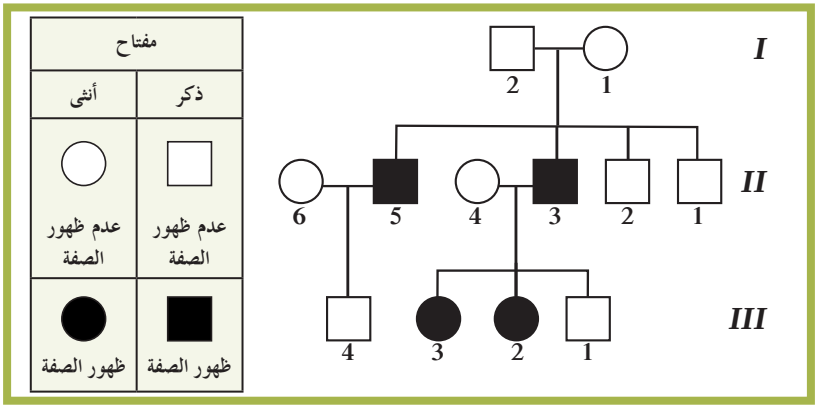
يُوضِّح الشكل (89) تتبّع وراثة صفة إصبع الإبهام المنحني خلال ثلاثة أجيال لإحدى العائلات، وهي صفة وراثية متنحّية. قارِن بين إصبعي الإبهام في الشكل، هل لديك مثل هذه الصفة؟

سبق أن تعلّمْتَ أنّ الأليل المتنحّي لا يظهر تأثيره في حالة وجوده مع الأليل السائد. ففي الفرد الهجين (متباين اللاقحة) لا يظهر تأثير الأليل المتنحّي بسبب اجتماعه مع الأليل السائد. **ويُطلَق على الفرد الذي يحمل أليل/جين الصفة المتنحّية والتي لا يظهر تأثيرها مصطلح حامل الصفة Carrier.**

1.1 دراسة سجلّ النسب الوراثي لصفة وراثية متنحّية
Pedigree Study for a Recessive Trait

يُعَدّ المَهَاق (الألبينو) Albinism الموضَّح في الشكل (90) صفة وراثية متنحّية (خلل وراثي) في الإنسان، يتسبّب في ظهورها أليل متنحٍّ يُسبِّب نقصًا في صبغ الميلانين أو غيابه في الجلد والشعر والعينين والرموش. ويُرمَز لهذا الأليل المتنحّي بالحرف (a) والأليل السائد بالحرف (A)، ولا تظهر هذه الصفة إلّا في حالة اجتماع الأليلين المتنحّيين (aa). أمّا الأفراد ذوو التراكيب الجينية (AA) أو (Aa)، فأفراد سليمون ولا تظهر هذه الصفة عليهم، حتّى لو كان الفرد ذو التركيب الجيني (Aa) يُعتبَر حاملًا لهذه الصفة. ويُوضِّح الشكل (91) سجلّ النسب الخاصّ بتوارث هذه الصفة في إحدى العائلات.

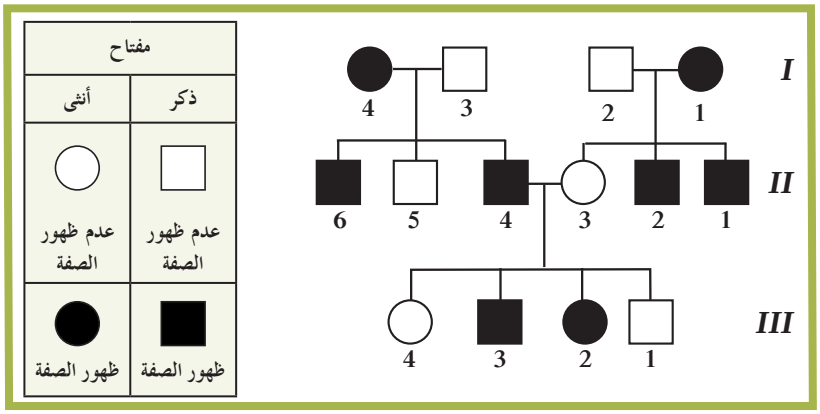
(شكل 90)
المَهاق (عدوّ الشمس) صفة متنحّية تظهر في جميع السلالات البشرية.



(شكل 91)
سجلّ النسب لصفة وراثية متنحّية (المهاق) في الإنسان

2.1 دراسة سجلّ النسب الوراثي لصفة وراثية سائدة
Pedigree Study for a Dominant Trait

يُوضِّح الشكل (92) سجلّ توارث الخلل الوراثي المعروف باسم استجماتيزم العين. ينتج هذا الخلل عن أليل سائد يتسبّب في عدم تساوي تقوّس قرنيّة العين، ما يُؤدّي إلى ظهور الأشياء أكثر وضوحًا عند مستوى معيّن منه عند مستوى آخر.



(شكل 92)
سجلّ النسب لصفة وراثية سائدة (استجماتيزم العين) في الإنسان

فقرة إثرائية
علم الأحياء في حياتنا اليومية

الشمع في أذنيك!

هل تعلم أنّ قوانين الوراثة تُحدِّد نوع الشمع الذي يتساقط من أذنيك على فترات؟ يوجَد نوعان من شمع الأذن: أحدهما لزج أو رطب (W) والآخر جافّ (w). ما النوع الذي لديك؟ وهل هي صفة سائدة أم متنحّية؟

2. زواج الأقارب وزواج الأباعد

Endogamy and Marriage

غالبًا ما يُؤدّي الزواج بين الأقارب إلى ولادة أبناء يُعانون الكثير من الاختلالات والأمراض الوراثية. ويُفسِّر ذلك بأنّ الزواج بين الأقارب يُتيح الفرصة لظهور تأثير الكثير من الجينات الضارّة من النوع المتنحّي الموجودة لديهم. أمّا الزواج بين الأباعد فيُؤدّي إلى ولادة أفراد هجينة يتمّ فيها احتجاب الصفات غير المرغوب فيها بواسطة الصفات السائدة العادية، لذلك يكون ظهور الأمراض والاختلالات الوراثية نادرًا.

فقرة إثرائية

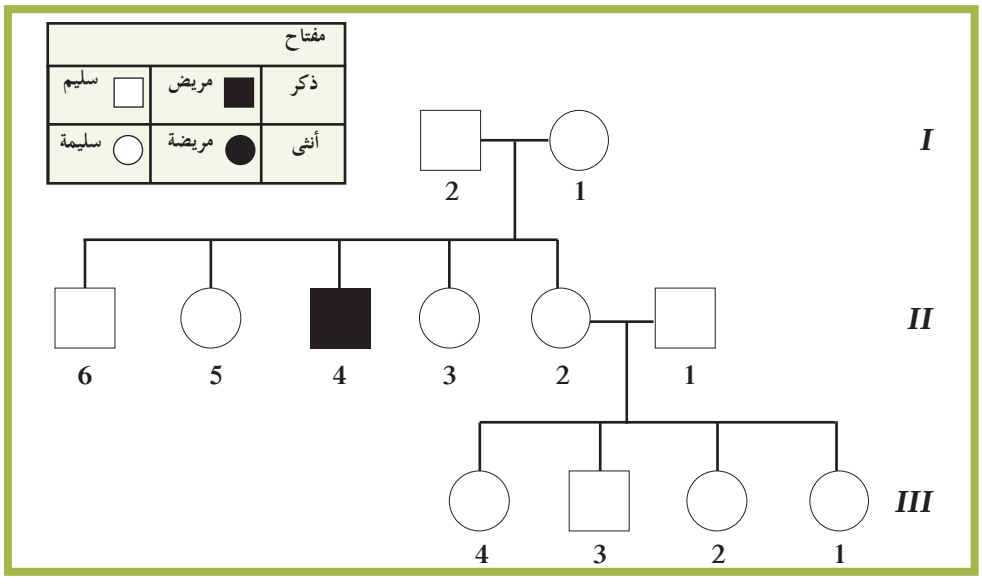
العلم والمجتمع والتكنولوجيا

الاستشارات الوراثية

دعت الحاجة إلى وجود مراكز للاستشارات الوراثية حيث يُقدِّم الاستشاريون الإرشاد لراغبي الزواج، وللأزواج الذين يعلمون بوجود بعض الاختلالات الوراثية لدى بعض أفراد عائلاتهم ويخشون ظهورها في نسلهم. فيتتبّع هؤلاء الاستشاريون التاريخ الوراثي لعائلتي الزوجين من خلال إعداد سجلّ النسب للزوجين لتحديد ما إذا كان أحدهما (أو كلاهما) حاملًا لأليلات المرض أو الخلل الوراثي.

يستخدم الاستشاريون أيضًا التقنيات الجزيئية الحديثة لتحديد الجينات غير الطبيعية التي ينتج عنها الخلل الوراثي، مثل إجراء اختبار لقياس كمّية بروتين معيّن في جسم الأمّ أثناء المراحل المبكرة من الحمل، للكشف عن وجود كروموسوم زائد في الجنين (متلازمة داون) يُؤدّي للتخلّف العقلي والموت المبكر.

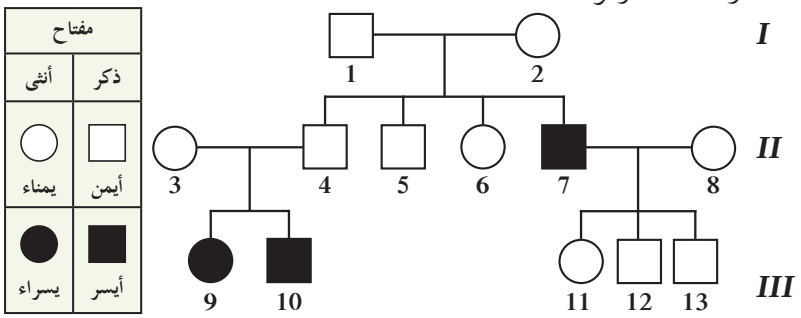
وهناك اختبار يُجرى لحديثي الولادة لتحديد خلل وراثي يُسمّى مرض الفينيل كيتونيوريا، ينتج عن وجود جين متنحّ يُسبِّب عدم تكوين إنزيم يُكسِّر حمض الفينيل ألانين الموجود في الحليب. ومن دون هذا الإنزيم، يتراكم هذا الحمض الأميني في الجسم ويُدمِّر الخلايا العصبية مؤدّيًا للوفاة. ويُمكِن علاج هذا المرض إذا اكتشف مبكرًا.



سجلّ النسب لمرضى الفينيل كيتونيوريا. يُصمِّم المستشار الوراثي سجلّ النسب لتوقّع الآباء لخطر توريث أليل المرض للأبناء. أيّ فرد/أفراد السجلّ الوراثي مصاب/مصابين بهذا المرض؟

مراجعة الدرس 1-3

1. ما الذي يُوضِّحه سجلّ النسب الوراثي؟
2. صِفْ تأثير الأليلات المتنحّية والسائدة في الإنسان؟
3. **سؤال للتفكير الناقد:** ما الخطوات التي يُمكِن أن يتّبعها الآباء لتحديد ما إذا كانت جينات معيّنة ستُورَث لأبنائهم؟ أُذكر مثالًا واحدًا.
4. **أضِف إلى معلوماتك:** اِفترِض أنّ أبوين يحملان خللًا وراثيًّا متنحٍّ. أُرسم مخطّطًا يُوضِّح جميع التزاوجات الممكنة لأمشاجهم بعد الانقسام الميوزي.
5. إنّ صفة أيمن أو أيسر تقع على الكروموسوم الجسمي. الجينة المسؤولة عن هذه الصفة لها أليلان: أليل الصفة أيمن (R) سائدة على أليل الصفة أيسر (ℓ). يُوضِّح سجلّ النسب أدناه عائلة بعض أفرادها أيسريون.



(أ) حدِّد التركيب الجيني للزوجين 1 و2. علِّل إجابتك.
(ب) حدِّد التراكيب الجينية للزوجين 7 و8 ولأولادهم 11، 12 و13. علِّل إجابتك لكلّ تركيب جيني.
(جـ) هل يُمكِن للمرأة 11 أن تُنجِب طفلًا أيسر؟ علِّل إجابتك.

6. تزوّج رجل (A) مصاب بعمى الألوان بامرأة (B) ترى الألوان بشكل طبيعي أنجبا أربعة أولاد: صبيّ وبنت مصابين بعمى الألوان، وصبيّ وبنت (C) رؤيتهما طبيعية. تزوّجت الإبنة (C) برجل (D) طبيعي وأنجبا أربعة أولاد: بنتين وصبيين طبيعيين وصبيًّا مصابًا بعمى الألوان. الجين المسؤول عن عمى الألوان هو جين متنحٍ ويقع على الكروموسوم الجنسي X.

(أ) ارسم سجل النسب لهذه العائلة محددًا باللون الأسود الأفراد المصابين بعمى الألوان.
(ب) حدّد التركيب الجيني للزوج A.
(جـ) حدّد التركيب الجيني للزوجة B وعلِّل الإجابة.
(د) حدّد التركيب الجيني للإبنة C وزوجها D.
(هـ) لِمَ لم ينجب الزوجان C وD إبنة مصابة بعمى الألوان.
ملاحظة استعمل الرموز التالية (N) لرؤية الألوان و(n) لعمى الألوان.

الدرس 1-4

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

الأهداف العامة

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

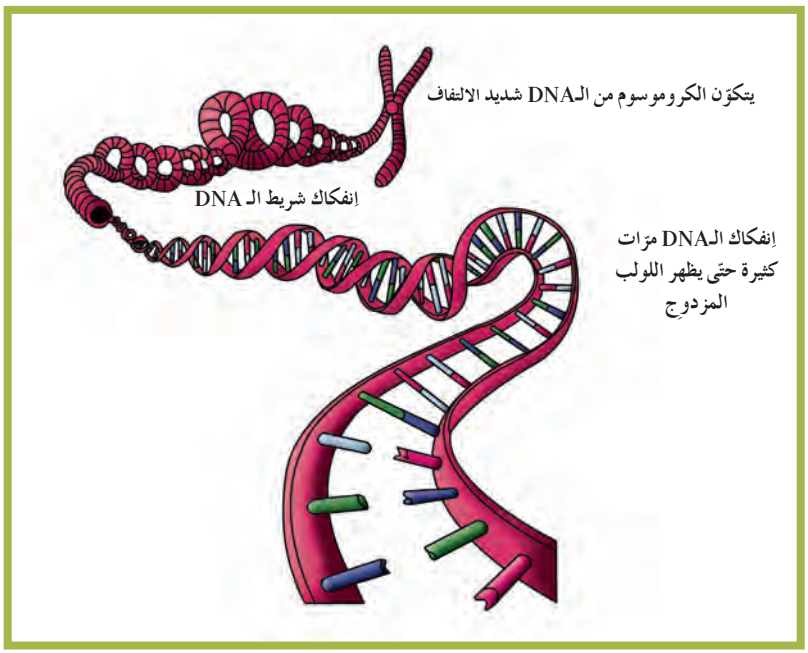
(شكل 93)

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

1. الارتباط Linkage

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

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



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

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

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

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

جيل الآباء

الجيل الأوّل

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

الجيل الثاني

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

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

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

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

مربّع بانت للجينات المرتبِطة

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

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

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

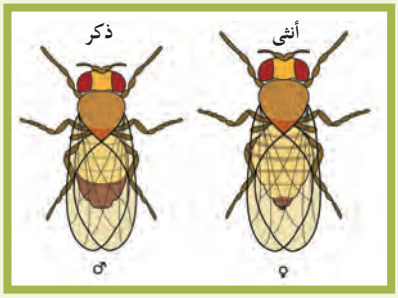
واشتبه العالمان في أنّ هناك اتّصال أو ارتباط بين جينات الصفتين، وأنّهما قد بقيا معًا أثناء الانقسام الميوزي. ولكنّهما لم يكن لديهما فكرة عن سبب هذا الارتباط بين الصفات.

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

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

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

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



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

(شكل 97)
الكروموسومات الثمانية في خلايا ذبابة الدروسوفيلا

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

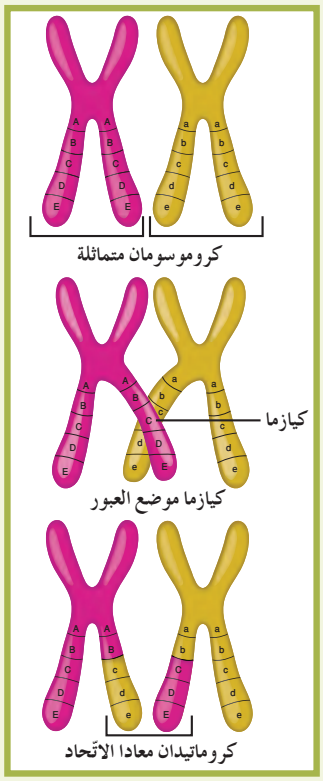
2. العبور Crossing over

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

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

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

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



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

فقرة إثرائية

علم الأحياء في حياتنا اليومية

الإنسان أصله إنسان!

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

مراجعة الدرس 1-4

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

(أ) الجينات غير مرتبِطة.

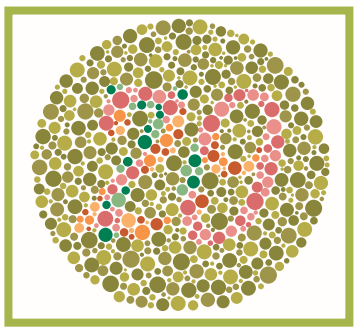
(ب) الجينات مرتبِطة ارتباطًا تامًّا.

الدرس 1-5

الوراثة والجنس
Heredity and Sex

الأهداف العامة

- يُفسِّر دور الوراثة في تحديد الجنس.
- يُميِّز بين الكروموسومات الذاتية والكروموسومات الجنسية.
- يتعرّف بعض الصفات الوراثية المرتبِطة والمحدَّدة والمتأثِّرة بالجنس ويُقارِن بينها.



(شكل 99)

إذا استطعْتَ التمييز بين النقاط الملوَّنة في الشكل (99)، قد تتمكّن من قراءة رقم. الأشخاص الذين لا يرون هذا الرقم قد يكونون مصابين بعمى اللونين الأحمر والأخضر. هذه الصفة الوراثية الشائعة وصفات أخرى غيرها، ستتعرّفها خلال هذا الدرس، ذات نمط وراثي فريد وخاصّ.

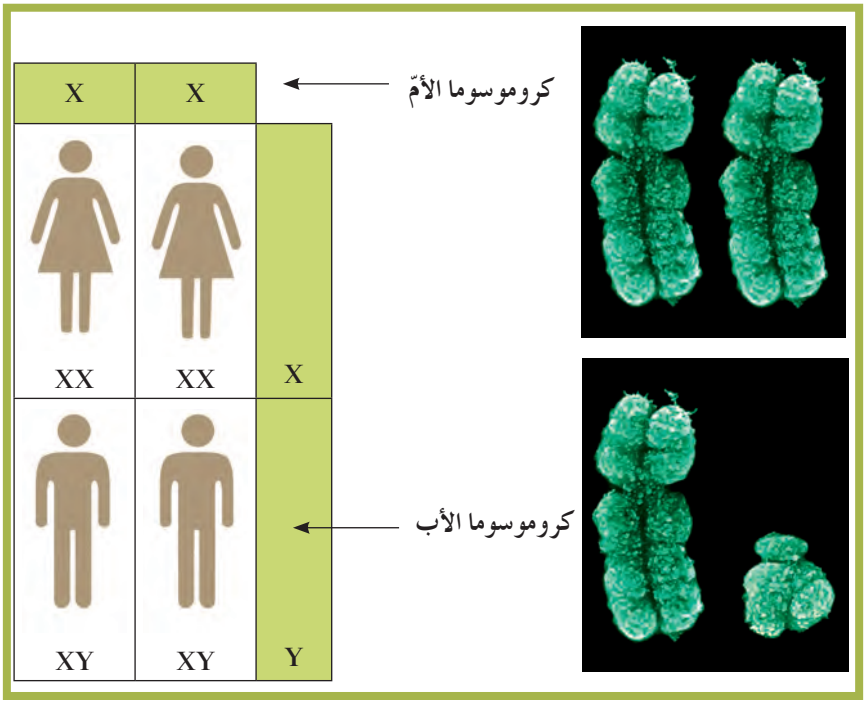
1. كروموسومات الانسان Human Chromosomes

تحتوي الخلايا الجسمية للإنسان على 23 زوجًا من الكروموسومات (46 كروموسومًا)، منها 22 زوجًا (44) تُسمّى الكروموسومات الذاتية أو الجسمية، وزوج واحد يُسمّى الكروموسومان الجنسيان.

الكروموسومات الذاتية (الجسمية) Autosomes تظهر في أزواج ذات الشكل نفسه ولكنّها تختلف عن الأزواج الأخرى في الخلية الجسمية.

والكروموسومان الجنسيان Sex Chromosomes هما اللذان يُحدِّدان ما إذا كان الأفراد ذكورًا أو إناثًا، وهما مختلِفان ويُرمَز إليهما بالحرفين X و Y. ويُعتبَر الكروموسوم Y في الثدييات، ومنها الإنسان، المحدِّد الأساسي للجنس. فإذا كان الكروموسوم Y موجودًا كان الفرد ذكرًا (XY)، وإذا كان غائبًا كان الفرد أنثى (XX). ولأنّ خلايا الإناث تحتوي على كروموسومين جنسيين (XX)، فجميع البيض الناتج عن الانقسام الميوزي يحتوي على كروموسوم واحد من النوع X (22 + X).

أمّا في الذكور (XY)، فنصف الحيوانات المنوية الناتجة عن الانقسام الميوزي يحتوي على الكروموسوم الجنسي Y (22 + Y)، ونصفها الآخر يحتوي على الكروموسوم الجنسي X (22 + X). أي مشيجي ذكر الإنسان يُحدِّد نوع الجنس في الأبناء؟ (الشكل 100).



(شكل 100)
يُحدِّد الكروموسومان X و Y الجنس في الإنسان.
ما النسبة المئوية في أن تكون المواليد إناثًا؟

2. الصفات المرتبِطة بالجنس Sex-linked Traits

الكروموسومان X و Y غير متماثلين. **تُعرَف الجينات المحمولة على الكروموسومين X و Y بالجينات المرتبطة بالجنس Sex-linked Genes، ويُطلَق على الصفات التي تتحكّم فيها الجينات المرتبِطة بالجنس اسم الصفات المرتبِطة بالجنس Sex-linked Traits.**

1.2 تجارب مورجان Morgan's Experiments

يُعتبَر العالم مورجان أوّل من درس الجينات المرتبِطة بالجنس في العام 1910، حين كان يجري أبحاثه على توارث صفة لون العينين في حشرة ذبابة الفاكهة (الدروسوفيلا). فقد لاحظ وجود ذبابة ذكر ذات عينين بيضاوين بدلًا من العينين الحمراوين العاديتين لدى هذا الذباب.
فقام بتهجين ذبابة أنثى حمراء العينين مع ذكر أبيض العينين، فجاء جميع أفراد الجيل الأوّل حمر العينين، ما يعني سيادة صفة لون العينين الحمراوين على صفة لون العينين البيضاوين. ثمّ هجّن مورجان ذكور الجيل الأوّل مع إناثه متوقّعًا بحصوله على نسبة 3 : 1 للعينين الحمراوين إلى العينين البيضاوين في أفراد الجيل الثاني. وكما توقّع مورجان، تحقّقت هذه النسبة، ولكن كانت مفاجأة له أن جاء جميع أفراد الذباب بيض العينين ذكورًا (شكل 101).

(شكل 101)
دهش مورجان لدى اكتشافه أنّ جميع أفراد الذباب بيض العينين ذكور. لماذا توقّع مورجان نسبة 3 : 1 للعينين الحمراوين إلى العينين البيضاوين في الجيل الثاني؟

وافترض مورجان لتفسير ظهور الذكور بيض العينين في الجيل الثاني أنّ أليل لون العين الأبيض متنحٍّ (r) وأليل لون العين الأحمر هو سائد (R)، وأنّ جين لون العيون محمول على الكروموسوم الجنسي X، في حين لا يحمل الكروموسوم Y أي جين للون العين، ويُعَدّ هذا كافيًا لتُصبِح الذكور بيض العينين. أمّا في الإناث (XX)، فإنّ أليل اللون الأحمر السائد الموجود على أحد كروموسومي X يحجب تأثير الأليل المتنحّي المحمول على الكرموسوم الجنسي X الآخر. وبذلك تكون عيون الإناث حمراء، ولا تظهر عيون الإناث بيضاء إلّا إذا كان كلا الكروموسومين X حاملين لجين اللون الأبيض (المتنحّي).

واختبر مورجان صحّة فرضه بتهجين ذكور بيض العينين مع إناث هجينة حمراء العينين (من الجيل الأوّل)، فجاء نصف الإناث بيضاء العينين.

وبإثبات صحّة هذا الفرض، يُصبِح مورجان أوّل من أثبت وجود الجينات على الكروموسومات، وبالتالي تمّ التأكّد من صحّة النظرية الكروموسومية في الوراثة.

2.2 الصفات المرتبِطة بالجنس في الإنسان

Sex Linked Traits In Humans

اِكتُشِف الكثير من الجينات المرتبِطة بالجنس خلال السنوات التالية لتجارب مورجان، نذكر منها ما يلي:

(أ) مرض عمى الألوان Color Blindness

مرض عمى الألوان هو صفة مرتبِطة بالجنس في الإنسان، حيث لا يُمكِن التمييز بين الألوان، بخاصّة اللونين الأحمر والأخضر. ويتسبّب في هذا المرض الأليل المتنحّي المرتبِط بالكروموسوم الجنسي X ويُرمَز له بالحرف X^c، أمّا أليل الرؤية الطبيعية للألوان فيُرمَز له بالحرف X^C وهو السائد. وبذلك يكون التركيب الجيني للذكر المصاب بعمى الألوان X^cY، والتركيب الجيني للأنثى المصابة بهذا المرض X^cX^c (متشابهة اللاقحة). أمّا المرأة التي تحمل التركيب الجيني X^CX^c (متباينة اللاقحة) فهي طبيعية وإن كانت حاملة لجين مرض عمى الألوان. ما التركيب الجيني لأمّ الولد المصاب بعمى الألوان؟

(ب) الهيموفيليا (نزف الدم) Hemophilia

الهيموفيليا هو خلل وراثي مرتبِط بالكروموسوم الجنسي X، حيث لا يتجلّط الدم كالمعتاد ويستمرّ نزف الدم حتّى في الجروح البسيطة. ويتسبّب هذا الجين المتنحّي بعدم تكوّن المادّة الكيميائية المسؤولة عن التجلّط الطبيعي للدم.

ولأنّ الذكور (XY) يستقبلون كروموسوم X من أمّهاتهم، فإنّهم يرثون عمى الألوان والهيموفيليا وغيرهما من الصفات المرتبِطة بالكروموسوم الجنسي X من أمّهاتهم.

أمّا الإناث (XX) اللواتي تظهر عليهن الصفات المرتبِطة بالكروموسوم الجنسي X، فيرثنها من كلى الوالدين حيث يستقبلن كروموسوم X من كلّ والد.

وتبيّن أنّ مرضي عمى الألوان والهيموفيليا لا يظهران بالدرجة أو الشدة نفسها عند جميع الأفراد المصابين، ما يدلّ على تداخل عدد من الجينات المختلِفة، يقع معظمها على مواقع مختلِفة من الكروموسوم الجنسي X.

3. الصفات المحدَّدة بالجنس والصفات المتأثِّرة بالجنس
Sex-Limited Traits and Sex Influenced Traits

1.3 الصفات المحدَّدة بالجنس Sex-limited Traits

الصفات المحدَّدة بالجنس هي الصفات التي لا تظهر إلّا بوجود الهرمونات الجنسية وفي أحد الجنسين أو الآخر فحسب. ومثل معظم الصفات الجسمية، تتحكّم بهذه الصفات جينات تقع على الكروموسومات الذاتية (الجسمية) وليس على الكروموسومات الجنسية. وعلى الرغم من أنّ جينات هذه الصفات موجودة في كلّ من الذكور والإناث، إلّا أنّها لا تظهر إلّا في جنس واحد منهما فقط.

ولكي تظهر الصفة المحدَّدة بالجنس، لا بدّ من وجود الهرمون الجنسي المناسِب في الجسم. ولأنّ الهرمونات الجنسية لا تُنتَج بكمّيات كبيرة إلّا عندما يبلغ الفرد، فإنّ معظم هذه الصفات لا تظهر في الأطفال.

وتُفسِّر الصفات المحدَّدة بالجنس الكثير من الاختلافات بين الجنسين. فعلى سبيل المثال، غالبًا ما تكون ألوان ذكور الطيور كثيرة وأكثر زهوًّا من ألوان الإناث (شكل 102). لكن ما فائدة ذلك؟ ومن أمثلة هذه الصفات في الإنسان ظهور اللحية ونموّها في الذكور وإنتاج الحليب في الإناث.

(شكل 102)
لاحِظ أنّ الصورة اليسرى للذكر، أمّا الصورة اليمنى فللأنثى. ما الصفات المحدَّدة بالجنس التي يُمكِنك اكتشافها في هذين الطائرين؟

(شكل 103)
الصفات المتأثِّرة بالجنس، مثل صفة الصلع، تظهر بدرجات متفاوتة في الجنسين. هل أليل صفة الصلع سائد أم متنحٍّ في الشخص في الصورة؟

2.3 الصفات المتأثِّرة بالجنس Sex-influenced Traits

الصفات المتأثِّرة بالجنس هي الصفات التي توجَد جيناتها على الكروموسومات الذاتية وتتأثّر بالهرمونات الجنسية، وهي تظهر في الجنسين ولكن بدرجات متفاوتة. فمثلًا أليلات صفة الصلع (B) في الإنسان متأثِّرة بالجنس، فأليل الصلع يكون سائدًا في حالة وجود الهرمونات الجنسية الذكرية (شكل 103)، ويكون متنحٍّ في حالة وجود الهرمونات الجنسية الأنثوية. لذلك لا يسقط شعر الأنثى تمامًا ولكن تقلّ كثافته إذا كان لديها جينان لصفة الصلع (BB). يوضِّح الجدول (2) التراكيب الجينية والظاهرية لصفة الصلع بحسب الجنس.

الجنس	التركيب الجيني	التركيب الظاهري
ذكر	BB	أصلع
	Bb	أصلع
	bb	عادي الشعر
أنثى	BB	خفيفة الشعر
	Bb	عادية الشعر
	bb	عادية الشعر

(جدول 2)
التراكيب الجينية والظاهرية لصفة الصلع بحسب الجنس

مثال (1)

تزوَّج رجل مصاب بعمى الألوان بامرأة سليمة ولكن حاملة لهذا الخلل الوراثي وهو مرض يسبّبه أليّل متنحٍ مرتبط بالكروموسوم الجنسي X.

(أ) حدِّد التراكيب الجينية للأمّ والأبّ.

(ب) حدِّد النسب المئوية لتراكيب أولادهما الظاهرية والجينية المحتملة.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.

المعلوم:

(أ) تركيب الأبّ الظاهري (مصاب بعمى الألوان)

(ب) تركيب الأمّ الظاهري (سليمة حاملة للخلل الوراثي)

(جـ) أليّل المرض متنحٍّ ومرتبط بالكروموسوم الجنسي X

غير المعلوم:

(أ) التركيب الجيني للأبّ وللأمّ

(ب) النسب المئوية لتراكيب أولادهم الظاهرية والجينية المحتملة.

2. حلّ غير المعلوم:

(أ) التركيب الجيني للأبّ: الأبّ مصاب بعمى الألوان أي يحمل أليّل المرض وبالتالي يكون تركيبه الجيني: X^cY

التركيب الجيني للأمّ: الأم ذات تركيب ظاهري سليم ولكنّها حاملة للخلل الوراثي أي تحمل في آن معًا الأليّل السليم X^C وأليّل المرض X^c وبالتالي تركيبها الجيني X^CX^c

(ب) لحساب النسب المئوية للتراكيب الظاهرية والجينية المحتملة للأولاد يُستَخدم مربَّع بانت الذي يوضِّح النتائج المتوقَّعة.

	الأبّ	×	الأمّ
التركيب الجيني للوالدين	X^cY		X^CX^c
الأمشاج	X^c Y		X^C X^c
	%50 %50		%50 %50

♂ / ♀	X^c %50	Y %50
X^C %50	X^CX^c	X^CY
X^c %50	X^cX^c	X^cY

النسب المئوية للتراكيب الظاهرية والجينية:

%25 أنثى سليمة ولكن حاملة للخلل الوراثي X^CX^c

%25 أنثى مصابة بعمى الألوان X^cX^c

%25 رجل سليم X^CY

%25 رجل مصاب بعمى الألوان X^cY

3. قيّم: هل النتيجة لها معنى؟

تمكّنّا من إستنتاج النسب المئوية لتراكيب الأولاد الظاهرية والجينية المحتملة اعتمادًا على ارتباط مرض عمى الألوان بالكروموسوم الجنسي X وعلى كونه ناتج من أليّل متنحٍّ.

مثال (2)

تزوّج رجل أصلع بامرأة خفيفة الشعر .

(أ) حدّد التراكيب الجينية للأمّ والأبّ .

(ب) حدّد النسب المئوية لتراكيب أولادهما (الأبناء) الظاهرية المحتملة .

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم .

المعلوم:

(أ) تركيب الأمّ الظاهري (خفيفة الشعر)

(ب) تركيب الأبّ الظاهري (أصلع)

غير المعلوم:

(أ) التركيب الجيني للأبّ وللأمّ

(ب) النسب المئوية لتراكيب أولادهم الظاهرية المحتملة .

2. حلّ غير المعلوم:

(أ) هناك أليّلان للجين المسؤول عن الصلع (B) و(b) . وأليّل الصلع (B) سائد عند الرجال ومتنحٍّ عند النساء والأليل (b) السليم سائد عند النساء ومتنحٍّ عند الرجال أي أن التركيب الجيني للأمّ لا يمكن أن يكون سوى (BB) لظهور تلك الصفة في حين أنّ التركيب الجيني للأبّ قد يكون متشابه اللاقحة أي (BB) أو متباين التركيب (Bb)

(ب) إذا كان التركيب الجيني للأبّ متشابه اللاقحة:

♂ / ♀	B	B
B	BB	BB
B	BB	BB

تحليل الجدول:

100% ذكور صلع 100% إناث خفيفات الشعر

أمّا إذا كان التركيب الجيني للأب متباين اللاقحة:

♂ / ♀	B	b
B	BB	Bb
B	BB	Bb

تحليل الجدول:

لدى الإناث: 50% مصابات بالصلع (خفيفات الشعر) (BB) 50% سليمات (عاديات الشعر) (Bb)

لدى الذكور: 100% مصابون بالصلع (Bb) أو (BB)

3. قيّم: هل النتيجة لها معنى؟

تمكّنا من تعرّف التراكيب الظاهرية للأولاد (الأبناء) اعتمادًا على مبدأ سيادة أليّل الصلع (B) عند الرجال وتنحّيه عند النساء .

مراجعة الدرس 1-5

1. ما الفرق بين الكروموسومات الجسمية (الذاتية) والكروموسومات الجنسية؟
2. ما الفرق بين الصفات المرتبِطة بالجنس والصفات المحدَّدة بالجنس والصفات المتأثِّرة بالجنس؟
3. **سؤال للتفكير الناقد:** ما النتائج التي تتوقّعها من تهجين ذباب فاكهة إناث عيونها بيضاء اللون مع ذكور عيونها بيضاء؟ اِستخدِم مربّع بانت.
4. **أضِف إلى معلوماتك:** كيف يُمكِنك تنقيح قانون السيادة لمندل ليتوافق مع الصفات المرتبِطة بالجنس؟
5. اُكتب التراكيب الجينية لكلّ من الأفراد التالية:

   ذكر طبيعي غير مصاب بالهيموفيليا.

   ذكر مصاب بالهيموفيليا.

   أنثى طبيعية غير مصابة بالهيموفيليا.

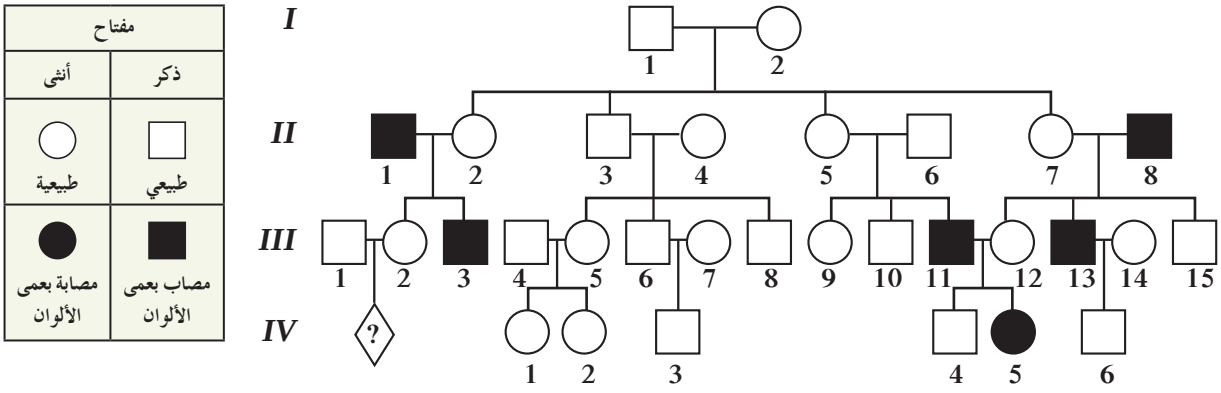
   أنثى طبيعية حاملة للمرض.

   أنثى مصابة بمرض الهيموفيليا.
6. عمى الألوان هو خلل في رؤية الألوان يعود إلى جين متموضع على الكروموسوم الجنسي X. يمثِّل سجل النسب أدناه، عائلة بعض أفرادها مصابون بعمى الألوان.

   (أ) هل الجين المسؤول عن عمى الألوان سائد أم متنحٍّ؟ علِّل إجابتك.

   (ب) حدّد التراكيب الجينية للأفراد III–2، III–1، II–2، II–1. علِّل كلّ إجابة.

   (جـ) تنتظر المرأة III–2 مولودًا ولكنّها قلقة حيال إصابته بعمى الألوان. هل هناك احتمال لإصابة هذا الطفل بعمى الألوان؟ أوضح ذلك مستعينًا بمربع بانت.



مراجعة الدرس 1-5 (تابع)

7. تزوّج رجل وامرأة سليمان وأنجبا ولدًا مصابًا بمرض وراثي يُسمّى الهيموفيليا (نزعة وراثية للنزف الدموي). الجين المسؤول عن هذا المرض متنحٍّ (n) بالنسبة إلى الجين الطبيعي (N) ويحمله الكروموسوم الجنسي X.

(أ) ما هو التركيب الجيني لكلّ من الأبوين؟

(ب) أعط تحليلًا جينيًا مستعينًا بمربع بانت.

(جـ) حدِّد جنس الولد المريض.

(د) لماذا لا يمكن أن تُصاب الإناث بهذا المرض؟

8. يمثِّل سجل النسب أدناه عائلة بعض أفرادها مصابون بمرض الهيموفيليا. يُلاحظ ظهور هذا المرض عند الذكور فقط. ويؤدّي وجود الجين المسؤول عنه بنسختين في التركيب الجيني إلى موت الجنين.

(أ) هل الأليّل المسؤول عن هذا المرض سائد أم متنحٍّ؟ علِّل إجابتك.

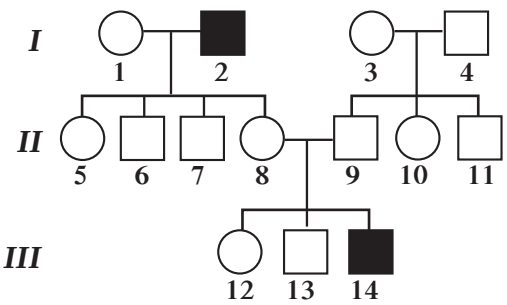
(ب) هل هذا الجين مرتبط بالجنس؟ علِّل إجابتك.

(جـ) حدّد التراكيب الجينية للأفراد: 8، 13 و14 وعلِّل كلّ إجابة.

(د) اجر التحليل الضروري لتحديد نسب احتمال إصابة نسل الأنثى 5 في الحالتين التاليتين:

- إذا لم يكن زوجها مصابًا بالمرض.
- إذا كان زوجها مصابًا بالمرض.

مفتاح	
ذكر	أنثى
طبيعي	طبيعية
مصاب بالهيموفيليا	مصابة بالهيموفيليا



9. هناك أليّلان للجين المسؤول عن الصلع (B) و(b). يُعتبَر أليّل الصلع (B) سائدًا عند الرجال ومتنحٍّ عند النساء. ويعتبر أليّل (b) السليم سائدًا عند النساء ومتنحٍّ عند الرجال.

يتسبَّب أليل واحد من أليّل الصلع (B) بظهور الصلع عند وجود المستوى الطبيعي لهرمون التستوستيرون (هرمون ذكري) عند الرجال البالغين أي امتلاكهم التراكيب الجينية التالية: (Bb) أو (BB)، بينما، يجب عند النساء، أن ترثن أليّلين من أليّل الصلع (B) أي أن تمتلكن التركيب الجيني (BB).

إنطلاقًا من المعطى أعلاه:

(أ) ماذا نعني بالقول إنّ خاصية الصلع متأثِّرة بالجنس؟

(ب) صِغ فرضية تفسِّر سبب سيادة أليّل الصلع عند الذكور.

(جـ) لدى والدان ليسا أصلعين، ابن أصيب بالصلع عند عمر الثلاثين. إذا كان لهذين الوالدين ابنة، حدّد نسبة احتمال إصابتها بالصلع.

مراجعة الوَحدة الثانية

المفاهيم

الارتباط	Linkage	الأليل	Allele
الأليل السائد	Dominant Allele	الأليل المتنحّي	Recessive Allele
التلقيح الاختباري	Test Cross	التهجين الأحادي	Monohybrid Cross
التهجين الثنائي	Dihybrid Cross	الجين	Gene
الجينات المرتبِطة	Linked Genes	الجينات المرتبِطة بالجنس	Sex Linked Genes
حامل الصفة	Carrier	سجلّ النسب	Pedigree
السيادة غير التامة	Incomplete Dominance	السيادة المشترَكة	Codominance
السيادة الوسطية	Intermediate Dominance	الصفات المتأثِّرة بالجنس	Sex Influenced Traits
الصفات المحدَّدة بالجنس	Sex Limited Traits	الصفة النقية	Pure Trait
الصفة الهجينة	Hybrid Trait	الصفة الوراثية	Genetic Trait
التركيب الجيني	Genotype	التركيب الظاهري	Phenotype
العبور	Crossing Over	علم الوراثة	Genetics
الكروموسومات الجسمية	Autosomes	الكروموسومات الجنسية	Sex Chromosomes
النظرية الكروموسومية في الوراثة	Chromosome Theory of Heredity	مربّع بانت	Punnett Square
نقي أو متشابه اللاقحة	Homozygous	هجين أو متباين اللاقحة	Heterozygous

الأفكار الرئيسية للوحدة

الفصل الأوّل: أساسيات علم الوراثة

(1–1) الأنماط الوراثية

* علم الوراثة هو دراسة انتقال الصفات أو توارثها.
* جريجور مندل أوّل من استخدم الإحصاء والرياضيات لدراسة توارث الصفات في الكائنات.
* الأليلات عبارة عن أشكال مختلِفة للجين الواحد. في الكائن الهجين، الأليل السائد هو الذي يظهر تأثيره.

(1–2) مبادئ علم الوراثة

* تنصّ النظرية الكروموسومية في الوراثة على أنّ وراثة الصفات تُحكَم بواسطة الجينات المحمولة على الكروموسومات.
* التركيب الجيني هو جميع الأليلات الخاصّة بالصفة الموروثة، والتركيب الظاهري هو الصفة الظاهرة ذاتها.
* يصف قانون الانعزال كيف تنفصل أزواج الكروموسومات أثناء الانقسام الميوزي.
* ينصّ قانون التوزيع المستقلّ على أنّ أزواج الجينات تنفصل وتتوزّع مستقلّة كلّ عن الأخرى.
* ينصّ قانون السيادة على أنّ الأليل السائد، إذا وُجِد، هو الذي سيظهر تأثيره.

(1–3) دراسة توارث الصفات في الإنسان

* تُنظَّم المعلومات الوراثية بطرق معيّنة تسمح بالتوقّع بوراثة الصفات.
* بعض الصفات لا تخضع في توارثها لقوانين مندل.
* يُستخدَم سجلّ النسب لتتبّع تاريخ بعض الصفات الوراثية بين الأقارب.
* يُحدِّد المستشارون الوراثيون الصفات التي يُمكِن أن يتوارثها الأبناء.

(1–4) إرتباط الجينات (الارتباط والعبور)

* تقع الجينات المرتبِطة على الكروموسوم نفسه ولا تتوزّع مستقلّة عن بعضها.
* تتكوّن تراكيب جينية جديدة نتيجة حدوث العبور أثناء الانقسام الميوزي.

(1–5) الوراثة والجنس

* تُحدِّد الكروموسومات الجنسية (X و Y) جنس الأفراد، وباقي الكروموسومات هي كروموسومات ذاتية (أو جسمية).
* الجينات الواقعة على الكروموسومات الجنسية جينات مرتبِطة بالجنس.
* تقع الصفات المحدَّدة بالجنس والمتأثِّرة بالجنس على الكروموسومات الذاتية، ولكنّها تتأثّر بالهرمونات الجنسية.

خريطة مفاهيم الوحدة

اِستخدِم المفاهيم الموضَّحة في الشكل لرسم خريطة تُنظِّم الأفكار الرئيسية التي جاءت في الوَحدة.

تحقق من فهمك

1. أكمِل الجُمل التالية بما يناسبها:

1. تعرّف الصفة التي تظهر على الكائن بـ .....
2. يظهر التأثير الكامل لكلّ من الأليلين في حالة .....
3. تُسمّى دراسة الصفات الوراثية بـ .....
4. أدّت التشابهات بين عوامل مندل وسلوك الكروموسومات إلى قيام ساتون باقتراح .....
5. ..... يصف ظهور تأثير الصفة السائدة في حالة وجود الأليل الخاصّ بها.
6. تحدث ظاهرة العبور خلال ..... من الانقسام الميوزي.
7. الكروموسومات ..... تُعتبَر مسؤولة عن الصفات المرتبِطة بالجنس.

2. ضَعْ علامة (✓) في المربّع الواقع أمام العبارة الصحيحة، وعلامة (×) في المربّع الواقع أمام العبارة غير الصحيحة في كلّ ممّا يلي:

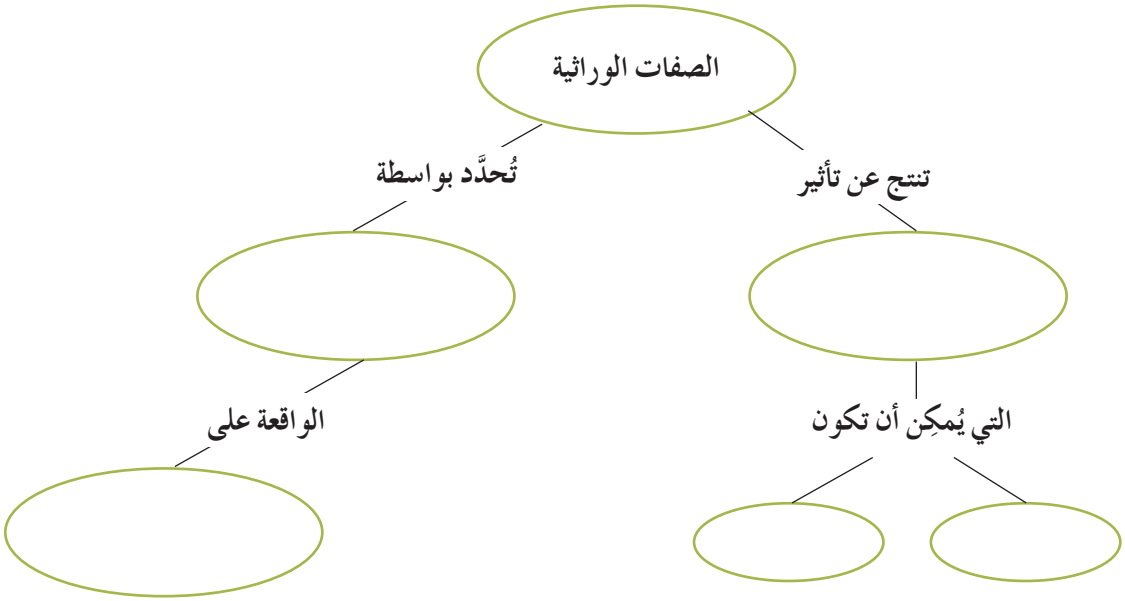
1. حامل الصفة الوراثية لا يظهر عليه تأثير الأليل الخاصّ بهذه الصفة. ☐
2. في تجارب مندل، غالبًا ما تكون أفراد الجيل الأوّل متشابهة اللاقحة بالنسبة للصفة المدروسة. ☐
3. الصفة المتنحّية التي لا تظهر في الجيل الأوّل دائمًا ما تظهر في الجيل الثاني. ☐
4. جميع أليلات أزواج الجينات تُكوِّن التركيب الجيني للكائن. ☐
5. يُمكِن استخدام التلقيح الاختباري لتوضيح جميع النتاجات الممكنة للتهجينات الوراثية. ☐
6. تُعتبَر الكروموسومات الجنسية مسؤولة عن الصفات المتأثِّرة بالجنس. ☐
7. يتمّ التحكّم في الصفات المحدَّدة بالجنس بواسطة الجينات الواقعة على الكروموسومات الذاتية (الجسمية). ☐

أجب عن الأسئلة التالية بإيجاز

1. أُذكر أحد الأنماط الوراثية التي لا تتبع قوانين مندل.
2. ما الفرق بين الفرد النقي والفرد الهجين؟
3. كيف يُستخدَم التلقيح الاختباري لتمييز التركيب الظاهري السائد إذ كان متشابه اللاقحة أو متباين اللاقحة؟
4. لخِّص الدليل الذي أدّى إلى النظرية الكروموسومية في الوراثة.
5. لماذا كان مندل موفّقًا في اختيار نباتات البازلّاء لإجراء تجاربه؟
6. وضِّح كيف اختلفت نتائج تجارب باتسون وبانت عن الفرضيّات التي افترضاها. كيف تمكَّنا من تفسير هذا الاختلاف؟
7. كيف تتكوّن التراكيب الجينية الجديدة للجينات المرتبِطة؟
8. لماذا تظهر الصفات المتنحّية الواقعة على الكروموسوم الجنسي في ذكور الإنسان؟
9. ما المفاهيم الرئيسية التي اكتشفها مورجان نتيجة أبحاثه على ذبابة الفاكهة (الدروسوفيلا)؟

تحقق من مهارتك

1. كوِّن خريطة للمفاهيم: أكمِل خريطة المفاهيم التالية بإضافة المصطلحات: الأليلات، الجينات، الكروموسومات، سائدة، متنحية.



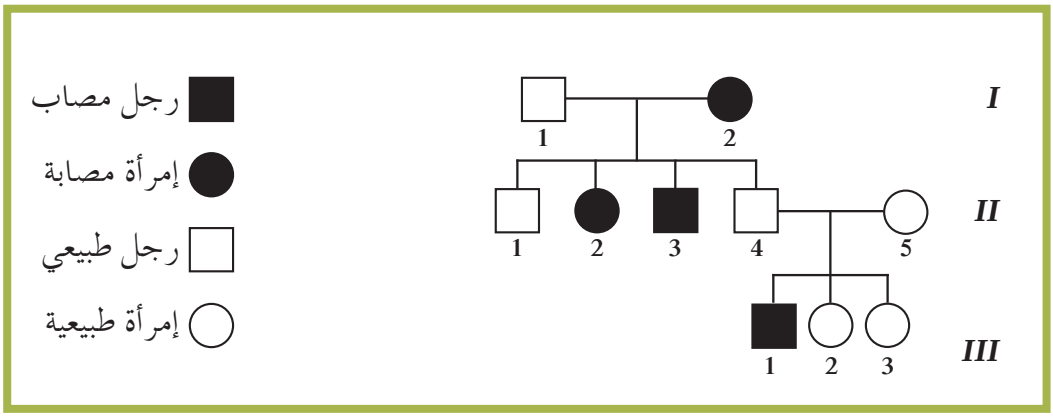
2. **تطبيق المفاهيم:** إذا كانت صفة البذور الملساء سائدة على صفة البذور المجعّدة، وصفة اللون الرمادي لقشرة البذرة سائدة على صفة اللون الأبيض لقشرة البذرة في نباتات البازلّاء. وضِّح باستخدام مربّع بانت نتائج تهجين نبات بازلّاء نقي أملس البذور وقشرة بذرته رمادية اللون مع نبات آخر نقي بذوره مجعّدة وقشرة بذرته بيضاء اللون. ما الصفات التي تظهر في الجيل الأوّل؟
3. **تطبيق المفاهيم:** أُرسم أشكالًا تخطيطية تُوضِّح ما يلي: «كلّما كانت الجينات المرتبِطة بعيدة بعضها عن بعض ازدادت الفرصة لانفصالها أثناء حدوث العبور».
4. **تقويم المفاهيم:** لِنفترض أنّ مندل درس وراثة صفة لون الأزهار في نبات حنك السبع بدلًا من نبات البازلّاء، هل للنتائج التي كان من الممكن أن يتوصّل إليها تأثير على القوانين التي صاغها؟
5. **تحديد السبب والتأثير:** لِنفترض أنّ رجلًا مصابًا بالهيموفيليا تزوّج بامرأة حاملة لهذا الخلل الوراثي، فما احتمال أن يكون الابن أو الابنة مصابًا بهذا الخلل الوراثي؟
6. **تطبيق المفاهيم:** لِنفترض أنّ دراسة انتقال ثلاثة أزواج من الأليلات قد حصلت نتيجة تزاوج كائن ما متنحّي الصفتين مع كائن هجين الصفتين. يعرض الجدول التالي نتائج التزاوجات:

التزاوج	النتائج			
متنحّي الصفتين [ab] × هجين [AB]	350	353	49	48
	[AB]	[ab]	[Ab]	[aB]
متنحّي الصفتين [ad] × هجين [AD]	361	358	40	41
	[AD]	[ad]	[Ad]	[aD]
متنحّي الصفتين [bd] × هجين [BD]	891	890	8	8
	[BD]	[bd]	[Bd]	[bD]

فسِّر النتائج وحدِّد موقع الجينات الثلاثة على الكروموسوم.

ملاحظة: إدراج الأليلات داخل هذا الشكل [ ] يعني التركيب الظاهري.

7. المَهاق خلل وراثي في الإنسان ينتج عن نقص في صبغ الميلانين في الجلد والشعر والعينين. يُمثِّل سجلّ النسب التالي عائلة يَظهر على بعض أفرادها هذا الخلل الوراثي.



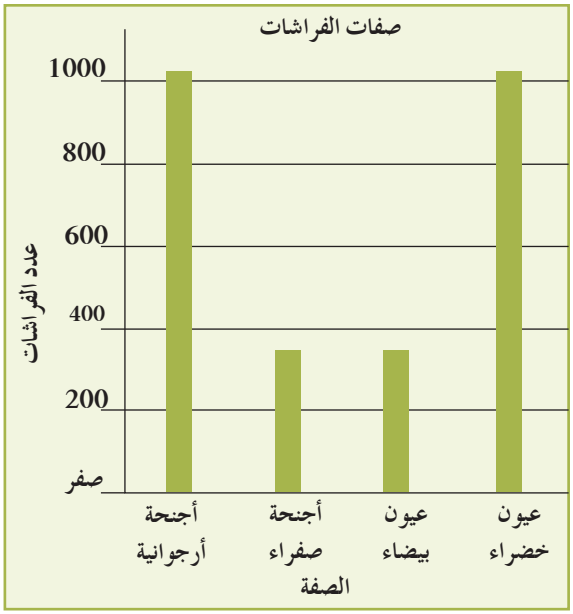
(أ) باستخدام التحليل المنطقي، حدِّد ما يلي:

* هل الأليل المسؤول عن المَهاق أليلًا سائدًا أم متنحّيًا؟
* هل الأليل المسؤول موجود على كروموسوم جسمي أو كروموسوم جنسي؟

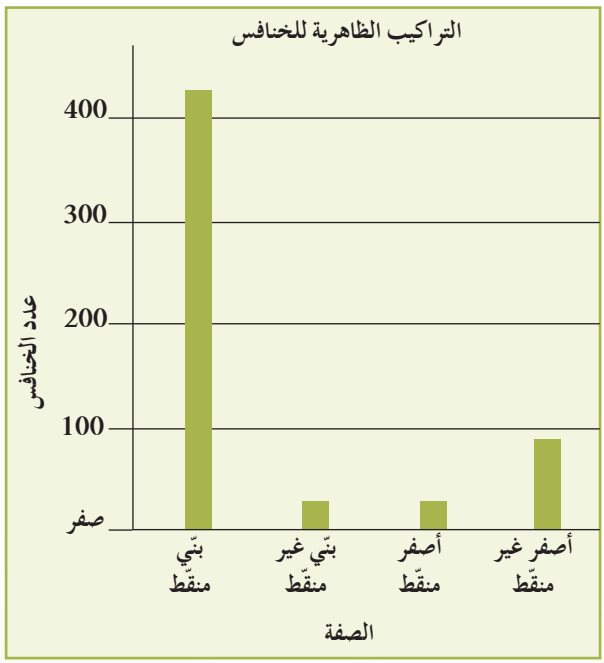
(ب) أُكتب التراكيب الجينية المحتمَلة لكلّ من الأفراد التالية: II–4 وII–5 وأولادهما الثلاثة.

8. **تصميم تجربة:** اِشتبه أحد الباحثين بوجود خلل وراثي مُعيَّن يُسبِّبه أليل متنحٍّ محمول على الكروموسوم الجنسي X في ذبابة الفاكهة. صمِّم تجربة لاختبار صحّة هذا الفرض.

9. **تفسير شكل بياني:** يُوضِّح الشكل البياني التالي بعض الصفات الوراثية في 1355 فراشة. أيّ من هذه الصفات سائد، وأيها متنحٍّ؟ فسّر إجابتك.



10. **تفسير شكل بياني:** يوجَد في نوع من الخنافس أليلان لصفة لون الجسم: بنّي (أحمر داكن) أو أصفر، وكان لهذه الخنافس أيضًا أليلان لصفة تنقيط الجسم: منقّط أو غير منقّط. هُجِّن خنفسان متباينا اللاقحة لكلي الصفتين. يُوضِّح الشكل البياني التالي التراكيب الظاهرية لأفراد الجيل الثاني. هل يوجَد ارتباط بين هذه الصفات؟ أيّ من هذه الصفات سائد؟



المشاريع

1. **علم الأحياء والفنّ:** يرسم العديد من الفنانين لوحات زيتية للمناظر الطبيعية والحدائق. ما الصفات التي درسها مندل في اللوحة الزيتية التالية؟ وما الصفات التي يدرسها العلماء للأشخاص في الصور الفوتوغرافية؟ أُرسم منظرًا أو لوحة زيتية لإحدى الحدائق، ثمّ حدِّد الصفات التي يُمكِن تحديد توارثها.

2. **علم الأحياء وعلم الاجتماع:** اِذهب إلى إحدى الحدائق العامّة التي تنتشر فيها النباتات المزهرة أو إلى محلّ لبيع الزهور، واستكشِف توارث الصفات في مختلِف النباتات. اِبحث عن التهجينات الجديدة بين النباتات. ما الصفات التي تهجّنت في النباتات الأبوية؟ وما مظهر الصفات في النباتات البنوية؟
3. **علم الأحياء والتاريخ:** لم تلقَ أعمال مندل اهتمامًا، بل تمّ تجاهلها لمدّة تُقارِب الخمسين عامًا حتّى اكتشفها بعض العلماء. لماذا تمّ تجاهل أعمال مندل؟

مصطلحات

الإخصاب Fertilization: هي اتحاد الخلايا المذكرة مع البيض وهي تحدث بعد حدوث عملية التلقيح.

الأنسجة الإنشائية (المرستيمية) Meristems: هي الأنسجة النامية للنباتات ووظيفتها إنتاج خلايا جديدة.

البذرة Seed: تركيب تكاثري يتكون من جنين النبات وغذائه المدخر.

بروتينات ناقلة نشطة Active Transport Proteins: تضخ شوارد المعادن بواسطة النقل النشط من التربة إلى داخل الجذور.

البلاستيدات الخضراء Chloroplasts: عضيات خلوية تتواجد بكميات كبيرة في خلايا الأوراق النباتية وتحدث فيها عملية البناء الضوئي.

البناء الضوئي Photosynthesis: عملية تستخدم فيها الكائنات ذاتية التغذية طاقة ضوء الشمس لبناء الكربوهيدرات (السكريات) من المواد غير العضوية البسيطة مثل ثاني أكسيد الكربون والماء.

تعاقب الأجيال Alternation of Generation: مرحلة في دورة حياة النباتات حيث تتحول فيها النباتات من أجيال ثنائية المجموعة الكروموسومية إلى(2n) إلى أجيال أحادية المجموعة الكروموسومية (n).

الترقيد أو الرئد Stolon: هي طمر أجزاء من سوق النباتات الممتدة فوق الأرض بينما لا تزال متصلة بالنبتة الأساسية لتنمو نبتة جديدة.

التطعيم Budding: هي طريقة نقل قطعة من نبتة تحتوي على برعم واحد تسمى الطعم، ووضعها على ساق نبتة أخرى تسمى الأصل.

التعقيل Cutting: تقتضي هذه الطريقة بأخذ قطعة من الساق أو الورقة، أو برعم الورقة أو قطعة من الجذور، ثم غرسها في تربة تناسب نموها.

تفاعلات غير معتمدة على الضوء (دورة كالڤن) Light Independent Reactions (Calvin Cycle): المرحلة الثانية من عملية البناء الضوئي، تحدث في سدى البلاستيدات الخضراء وتستخدم ATP وNADPH لتصنيع الكربوهيدرات.

تفاعلات معتمدة على الضوء Light Dependent Reactions: هي المرحلة الأولى من عملية البناء الضوئي، وكما يدلّ اسمها هي تعتمد في حدوثها على ضوء الشمس.

التكاثر البكري Apomixis: في هذا النوع من التكاثر، ينمو الجنين من بويضة غير مخصبة.

التكاثر الخضري Vegetative Reproduction: تكاثر لا جنسي يحدث طبيعيًا في النباتات.

التكاثر الصناعي Artificial Propagation: استخدام الناس للتكاثر اللاجنسي، مثل التعقيل، التطعيم وزراعة الأنسجة، لإنتاج نبات جديدة.

التلقيح Pollination: عملية إنتقال حبوب اللقاح من الأجزاء المذكرة إلى الأجزاء المؤنثة بالزهرة.

ثغور Stomata: فتحات أو ثقوب دقيقة تتواجد بين خلايا البشرة للأوراق النباتية.

الثمرة Fruit: تركيب من النباتات الزهرية تتكون بداخلها البذور التي تقوم الثمرة بإحاطتها وحمايتها كما أنها تساعد في انتشارها.

الجذر الوتدي Taproot: جذر مركزي كبير الحجم يحمل الكثير من الجذور الجانبية التي تتفرع منه، كما أنّه ينمو عميقًا تحت الأرض ليمتص المياه الجوفية.

الجذر الليفي Fibrous Root: يبدو في شكل كتلة من التراكيب الخيطية الرفيعة القصيرة، كما أنه ينمو بالسنتيمترات القليلة العلوية من التربة فقط ليمتص الماء والعناصر المعدنية من الطبقة السطحية للتربة وعلى مساحة كبيرة.

الجرانا Grana: هي عبارة عن تراكيب قرصية الشكل متراصة بعضها فوق بعض.

حرق الجذور Root Burn: في حال وجود كميات كبيرة من المعادن في التربة، سيخرج الماء من الجذور إلى التربة.

زراعة الأنسجة Tissue Culture: تسمح هذه الطريقة بإنماء نبتة كاملة من خلايا مفردة أو قطع صغيرة من الأوراق أو الساق أو الجذور.

الزهرة Flower: عضو التكاثر الجنسي في النباتات الزهرية، تنتج الأمشاج الذكرية والأنثوية كما تشكل التركيب الذي تتم فيه عملية الإخصاب.

الزهرة الكاملة Complete Flower: هي الزهرة التي تحتوي على إحدى التراكيب الأنثوية والذكرية معًا.

الزهرة الناقصة Incomplete Flower: هي الزهرة التي تحتوي على إحدى التراكيب الأنثوية أو الذكرية فقط.

الستروما Stroma: تتركب البلاستيدات الخضراء من غشاء مزدوج يحيط بمادة جيلاتينية عديمة اللون تعرف السدى.

السوق Stem: لا تعمل الأوراق بمفردها في النباتات لكنها مثبتة بتراكيب تسمي السوق.

الشد النتحي Transpiration Pull: هو تحرك الماء خارج الأوراق من خلال الثغور خلال عملية التبخر والنتح يشد الماء صعودًا خلال الخشب من الجذور وحتى من التربة.

ضغط الإمتلاء Turgor: دعامة الخلية الناتجة عن الضغط الأسموزي لغشاء الخلية على جدار الخلية.

الضغط الجذري Root Pressure: نقطة الانطلاق لتحرك الماء داخل الجهاز الوعائي.

الطور المشيجي Gametophyte: الطور أحادي المجموعة الكروموسومية الذي ينتج الأمشاج في دورة حياة النباتات.

الطور الجرثومي (البوغي) Sporophyte: الطور ثنائي المجموعة الكروموسومية الذي ينتج الجراثيم (الأبواغ) في دورة حياة النباتات.

العروق Veins: تراكيب أنبوبية الشكل ينتقل خلالها الماء والعناصر المعدنية والسكريات إلى جميع أنحاء النصل.

العقدة Node: هي المواضع حيث تتصل الأوراق بالسوق.

عقلة Internode: هي قطع الساق الواقعة بين كل عقدتين متجاورتين.

علم الزراعة في الماء Hydroponics: هو نمط زراعي لإنتاج المحاصيل في الماء من دون استعمال التربة، حيث يمكن تنمية النباتات بواسطة محاليل غنية بالمغذيات المعدنية أو في وسط خامل.

عنق الورقة Petiole: تركيب صغير يصل ما بين نصل الورقة وساق النبات.

فرضية تدفق الضغط Pressure flow Hypothesis: فرضية تفسر انتقال السكريات في النبات مع المنبع إلى المصرف.

الكلوروفيل Chlorophyll: صبغة خضراء داخل البلاستيدات الخضراء، تكسب النبات لونها الأخضر وتمتص طاقة ضوء الشمس.

الكمبيوم Cambium: النسيج الإنشائي الذي ينتج خلايا جديدة للنمو الجانبي في النباتات الخشبية .

الكمبيوم الفليني Cork Cambium: هو النسيج الإنشائي الموجود بين اللحاء والبشرة ويستبدل الانقسام الخلوي طبقة القشرة وطبقة البشرة أو جلد النباتات بالفلين الذي يحمي الشجرة .

الكمبيوم الوعائي Vascular Cambium: يقع بين الخشب واللحاء ويُنتِج الانقسام الخلوي خشبًا جديدًا إلى الجهة الداخلية من الكمبيوم ، ولحاءً جديدًا إلى الجهة الخارجية .

الكمون Dormancy: فترة النشاط المنخفض التي تنتج عن التغيرات التركيبية والكيميائية في النبات .

كيوتيكل Cuticle: طبقة من مادة شمعية غير منفذة للماء ، تغطي السطحين العلوي والسفلي للورقة وتقلل من فقدان الماء من الورقة النباتية خلال عملية التبخر .

الممر خارج خلوي Apoplast: الممر الأول حيث ينتقل الماء عبر الأجزاء والخلايا والأنسجة غير الحية ، وبخاصة الجدر الخلوية من القشرة وصولًا إلى البشرة الداخلية .

الممر الخلوي الجماعي Symplast: الممر الثاني حيث ينتقل الماء والأملاح من خلية إلى الخلايا المجاورة عبر الروابط البلازمية .

الممر عبر الغشائي Transmenbrane: الممر الثالث حيث ينتقل الماء والأملاح الذائبة من خلية إلى أخرى عبر الجدر الخلوية والأغشية .

النباتات الوعائية Vascular Plant: نباتات تحتوي نسيج وعائي .

النسيج الأساسي Ground Tissue: هو عبارة عن الخلايا التي تقع بين النسيج الجلدي والنسيج الوعائي .

النسيج الوسطي الإسفنجي Spongy Mesophyll: موجود تحت النسيج الوسطي العمادي على شكل طبقة من الخلاي غير منتظمة الشكل والمتباعدة بعضها عن بعض .

البشرة (النسيج الجلدي) Dermal Tissue: يكوّن الطبقة الخارجية للأوراق والسوق والجذور ، ويسمى أحيانًا بالنسيج الوقائي أو السطحي .

النسيج الوسطي Mesophyll: نسيج نباتي يتواجد فيما بين البشرتين العليا والسفلى ويتكون من خلايا برنشيمية .

النسيج الوسطي العمادي Palisade Mesophyll: موجود أسفل النسيج العلوي الجلدي على شكل طبقة من الخلايا مستطيلة الشكل المتراصة بعضها على بعض .

النسيج الوعائي Vascular Tissue: يُشكل نظامًا من المواصلات لنقل الماء والمغذيات داخل النباتات .

النصل Blade: الجزء الأكبر من الورقة النباتية وهو مفلطح وعريض ويحتوي الخلايا التي تقوم بعملية البناء الضوئي .

نظرية الشد والتماسك Cohesion – Tension Theory: هي المسؤولة عن تشكل عمود الماء المتواصل .

النمو الأولي Primary Growth: استطالة السيقان لتصبح أكثر طولًا واستطالة الجذور لتصبح أكثر عمقًا ، وهو يحدث في جميع النباتات .

النمو الثانوي Secondary Growth: نمو جذور وسيقان وفروع النباتات في السمك وهو يحدث في نباتات بذرية معينة .

الارتباط Linkage: اتصال بين الجينات التي تورث مع بعضها .

الأليل Allele: شكل من أشكال الجين .

الأليل السائد Dominant Allele: أليل يظهر تأثيره عندما يجتمع أليلان مع بعضهما .

الأليل المتنحي Recessive Allele: أليل لا يظهر تأثيره عند اجتماعه مع الأليل السائد .

التلقيح الاختباري Test Cross: تلقيح بين فرد نقي اللاقحة لصفة متنحية والفرد الذي يحمل الصفة السائدة المقابلة غير محددة التركيب الجيني .

التهجين الأحادي Monohybrid Cross: دراسة توارث صفة واحدة دون النظر لباقي الصفات .

التهجين الثنائي Dihybrid Cross: دراسة توارث صفتين في وقت واحد .

الجين Gene: جزء من كروموسوم مسؤول عن إظهار صفة وراثية .

الجينات المرتبطة Linked Genes: جينات واقعة على الكروموسوم نفسه .

الجينات المرتبطة بالجنس Sex Linked Genes: الجينات المحمولة على الكروموسومين الجنسيين x و y .

حامل الصفة Carrier: عبارة تطلق على الفرد الذي يحمل اليل/جين الصفة المتنحية والتي لا يظهر تأثيرها .

سجل النسب Pedigree: مخطط يوضح كيفية انتقال الصفات وجيناتها من جيل إلى جيل في إحدى العائلات.

السيادة غير التامة Incomplete Dominance: عندما يكون التركيب الظاهري للهجين وسطيًا بين التركيبين الظاهرين للأبوين النقيين.

السيادة المشتركة Codominance: عندما يظهر تأثيرا الأليلين الموجودين في الفرد الهجين كاملين ومنفصلين.

السيادة الوسطية Incomplete Dominance: نوع من السيادة حيث يكون التركيب الظاهري للفرد الهجين وسطًا بين التركيب الظاهري السائد والتركيب الظاهري المتنحي.

الصفات المتأثرة بالجنس Sex Influenced Trait: صفات توجد جيناتها على الكروموسومات الذاتية وتتأثر بالهرمونات الجنسية وتظهر بكلا الجنسين ولكن بدرجات متفاوتة.

الصفات المحددة بالجنس Sex Limited Traits: صفات تظهر فقط في وجود الهرمونات الجنسية ولا تظهر إلا بأحد الجنسين أو الآخر.

الصفة النقية Pure Trait: عند اجتماع أليلان متماثلين سواء كانا سائدين أم متنحيين مع بعضهما فتكون الصفة الوراثية صفة نقية.

الصفة الهجينة Hybrid: عند اجتماع الأليل السائد مع المتنحي مع بعضهما فستكون الصفة الوراثية صفة هجينة.

الصفة الوراثية Genetic Traits: الصفات التي يمكن أن تنتقل من الآباء إلى الأبناء من جيل إلى جيل.

التركيب الجيني Genotype: التركيب الوراثي للفرد.

التركيب الظاهري Phenotype: الصفة الظاهرة على الفرد.

العبور Crossing Over: تبادل للقطع المتجاورة من الكروماتيدات الداخلية للرباعي مع بعضها أثناء الطور التمهيدي الأول من الانقسام الميوزي.

علم الوراثة Genetics: الدراسة العلمية للصفات الوراثية الموروثة.

الكروموسومات الجسمية Autosomes: جميع الكروموسومات باستثناء الكروموسومات الجنسية .

الكروموسومات الجنسية Sex Chromosomes: الكروموسومان اللذان يحددان جنس الفرد ، ذكر أم أنثى وهما مختلفان ويرمز لهما بالحرفين x و y .

مربع بانت Punnett Square: مربع لتنظيم المعلومات الوراثية لتوضيح النتائج المتوقّعة في تجارب الوراثة وليس النتائج نفسها .

النظرية الكروموسومية في الوراثة Chromosome Theory in Heredity: النظرية التي تقر أن مادة الوراثة محمولة بواسطة الجينات الموجودة على الكروموسومات .

نقي أو متشابه اللاقحة Homozygous: جيني الصفة الوراثية لديهما الأليل نفسه سواء أليل سائد أم متنحي .

هجين أو متباين اللاقحة Heterozyous: جيني الصفة الوراثية لديهما أليلان مختلفة .

ملاحظات