



الأحياء

كتاب الطالب
المستوى الحادي عشر

BIOLOGY
STUDENT BOOK

GRADE
11

الفصل الدراسي الثاني
SECOND SEMESTER
2020 - 2021

(الطبعة الأولى - First edition)



© وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي المسموح به قانوناً ولأحكام التراخيص ذات الصلة.

لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر.

تمّ إعداد الكتاب بالتعاون مع شركة تكنولاب.

التأليف: فريق من الخبراء بقيادة الدكتور توم سو وبالتعاون مع شركة باسكو العلمية.

الترجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

الطبعة التجريبية 2020-2021 م



حضرة صاحب السمو الشيخ تميم بن حمد آل ثاني
أمير دولة قطر

النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَاءَ	قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَاءَ
قَطْرُ سَتَبْقَى حُرَّةً	تَسْمُو بِرُوحِ الْأَوْفِيَاءِ
سِيرُوا عَلَى نَهْجِ الْأَلَى	وَعَلَى ضِيَاءِ الْأَنْبِيَاءِ
قَطْرُ بَقْلَبِي سِيرَةً	عِزٌّ وَأَمْجَادُ الْإِبَاءِ
قَطْرُ الرَّجَالِ الْأَوَّلِينَ	حُمَاتُنَا يَوْمَ النَّدَاءِ
وَحَمَائِمُ يَوْمِ السَّلَامِ	جَوَارِحُ يَوْمِ الْفِدَاءِ



المراجعة والتدقيق العلمي والتربوي

خبرات تربوية وأكاديمية من المدارس

الإشراف العلمي والتربوي

إدارة المناهج الدراسية ومصادر التعلم

يعدّ كتاب الطالب مصدراً مثيراً لاهتمام الطلاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات التي يحتاجون إليها للنجاح في تنمية المهارات الحياتية وبعض المهارات في المواد الأخرى.

وبما أننا نهدف إلى أن يكون طلابنا مميزين، نودّ منهم أن يتسموا بما يأتي:

- البراعة في العمل ضمن فريق.
- امتلاك الفضول العلميّ عن العالم من حولهم، والقدرة على البحث عن المعلومات وتوثيق مصادرها.
- القدرة على التفكير بشكلٍ ناقدٍ وبناء.
- الثقة بقدرتهم على اتباع طريقة الاستقصاء العلميّ، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التقارير، وإنتاج الرسوم البيانية، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الزملاء.
- الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
- التمرّس في التفكير الإبداعيّ.
- التمسك باحترام المبادئ الأخلاقية والقيم الإنسانية.

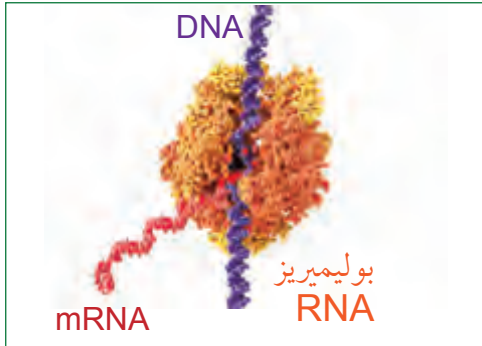
يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التوجّهات مثل:

- تطوير المنهج لجميع المستويات الدراسية بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلمية التي تتوافق مع أعمار الطلاب، والتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
- مواءمة محتوى المصادر الدراسية لتتوافق مع الإطار العام للمنهج الوطني القطريّ بغية ضمان حصول الطلاب على المعارف والمهارات العلمية وتطوير المواقف (وهو يُعرف بالكفايات) ممّا يجعل أداء الطلاب يصل إلى الحدّ الأقصى.
- الانطلاق من نقطة محورية جديدة قوامها مهارات الاستقصاء العلميّ، ما أسّس للتنوّع في الأنشطة والمشاريع في كتاب الطالب.

- توزّع المعرفة والأفكار العلميّة المخصّصة لكلّ عام دراسيّ ضمن وحدات بطريقة متسلسلة مصمّمة لتحقيق التّنوُّع والتّطوُّر.
 - تعدّد الدّروس في كلّ وحدة، بحيث يعالج كلّ درس موضوعاً جديداً، منطلقاً ممّا تمّ اكتسابه في الدّروس السّابقة.
 - إتاحة الفرصة للطلّاب، في كلّ درسٍ، للتّحقّق الذاتيّ من معارفهم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشكلات.
 - احتواء كلّ وحدة على تقويم لكل درس وتقويم للوحدة التي يمكّنان الطّلاب والأهل والمدرّسين من تتبّع التّعلّم والأداء.
- العلوم مجموعة من المعارف التي تشمل الحقائق والأشكال والنّظريّات والأفكار. ولكنّ العالم الجيّد يفهم أنّ «طريقة العمل» في العلوم أكثر أهمّيّة من المعرفة التي تحتويها. سوف يساعد هذا الكتاب الطّلاب على تقدير جميع هذه الأبعاد واعتمادها ليصبحوا علماء ناجحين وليواجهوا مجموعة واسعة من التّحدّيات في حياتهم المهنيّة المستقبلية.

مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التعليمي الوطني لدولة قطر

- الاستقصاء والبحث 
- التّعاون والمشاركة 
- التّواصل 
- التّفكير الإبداعيّ والناقد 
- حلّ المشكلات 
- الكفاية العددية 
- الكفاية اللغويّة 



RNA بوليميريز ينسخ DNA إلى RNA.



Digitalis purpurea مصدر لأدوية القلب.



الماموت القزم Paleoloxodon تم تشكيله بواسطة الانتخاب الطبيعي.



الأشيريكية القولونية E.coli مثال على كائن مسبب للمرض.

يتم من خلال عملية البناء الضوئي في النباتات التقاط طاقة ضوء الشمس عن طريق سلسلة معقدة من التفاعلات الكيميائية الحيوية. الوحدة 5 تستكشف البناء الضوئي والبلاستيدات الخضراء. وتلفت إلى وجود عوامل مشتركة كثيرة بين البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا.

عندما يتكاثر ظبي المها، تلد أنثاه مها أخرى، وليس زرافة أو أي حيوان آخر. تشكّل الآلية التي تخزن بها الكائنات الحية المعلومات الوراثية وتنقلها، موضوع الوحدة 6 الذي يدور حول DNA والأحماض النووية.

نعتمد على النباتات من أجل الغذاء واستخراج كثير من الأدوية. يرد في الوحدة 7 وصف لطرائق كثيرة غيرت بها التكنولوجيا كيفية تكثير النباتات وتحسينها بواسطة الإنسان.

وتصف الوحدة 8 التباين والانتخاب الطبيعي. يصف التباين الاختلافات الصغيرة بين أفراد النوع الواحد. أما الانتخاب الطبيعي فهو يقوم على التباين لتشكيل الأنواع من خلال التطور الذي يحدث على مدى ملايين السنين.

تناقش الوحدة 9 أسباب المرض. على مدى آلاف السنين اعتقد الناس أن أسباب المرض خارقة للطبيعة، لكننا اليوم ندرك أن أمراضاً كثيرة تسببها كائنات ممرضة كالفيروسات والبكتيريا.

يتمثل العنصر الرئيس لتدوير المواد الغذائية الطبيعي في التحلل الحيوي. تناول الوحدة 10 إعادة تدوير الكربون والنيتروجين وعناصر أخرى. تسمح الهندسة الوراثية لنا بتشكيل البكتيريا لتكون قادرة على هضم النفايات كالنفط المتسرب.

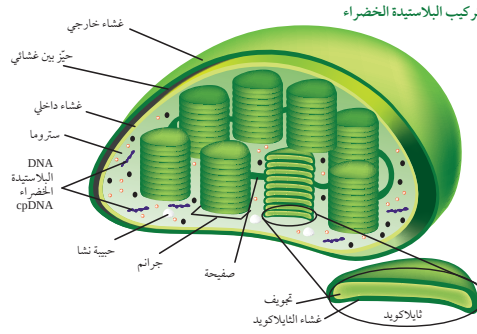
بعض أقسام هذا الكتاب

أسئلة للمناقشة

أسئلة للمناقشة

كيف تطوّرت البلاستيدات
الخضراء؟

تتيح الأسئلة للمناقشة الفرصة
للطلاب كي يتحدّثوا عن المفاهيم
والمعلومات الجديدة



الرّسوم التّوضيحية

المفاهيم المهمّة،
والبيانات، والأمثلة على
كلّ فكرة جديدة، مقدّمة
برسوم توضيحية مفصّلة
وبالكلمات، أيضًا.

شريط الأفكار المهمّة

تحدّد الأفكار النّقاط الأساس، وتذكّر بها.

تتضمّن عمليات الأيض في النباتات البناء الضوئي والتنفس الخلوي.



مسائل

العلاقات الكميّة مقدّمة برسوم بيانيّة
واضحة مع أمثلة ذات صلة بكلّ مفهوم.

مسألة 2

انسخ شيفرة DNA الآتية إلى كودونات RNA، ثم اكتب سلسلة الأحماض الأمينية الصحيحة الناتجة من ترجمة تلك الكودونات.

3' TACGCAATGACCCAGGATTATATT 5' .a

3' TACATAGCTCCCGCGTTAGGAATC 5' .b

الحل

يميل حل مسائل النسخ إلى أتباع مهمات الاتّصال نفسها بين DNA و RNA، والبروتينات. نفترض أن التسلسل هو على السلسلة القالب.

ننسخ DNA إلى mRNA على النحو الآتي:

A → U, T → A, G → C, C → G

ونعود إلى الجدول 1-6، لتحديد الأحماض الأمينية الخاصّة بالكودونات المكوّنة من 3 أحرف.

العلم والعلماء

إنّ معرفتنا بالعلوم قد تطوّرت على مدى
ما يزيد عن ثلاثة آلاف سنة. توفّر هذه
القصص النّظرة الثّاقبة والإلهام من الجانب
الإنسانيّ للعلوم والتكنولوجيا.

بول كروتزن (1933 -)



شكل 10-27 بول كروتزن، كيميائي وعالم مناخ.

بول كروتزن Paul Crutzen هو الكيميائي الهولندي الذي نال جائزة نوبل للعام 1995 (الشكل 10-27). وقد عمل كروتزن واثان من علماء المناخ، هما ماريو مولينا Mario Molina وفرانك س. رولاند Frank Rowland على العوامل المسؤولة عن تدمير الأوزون الستراتوسفيري الذي يحمي الأرض من أشعة الشمس فوق البنفسجية.

ولد بول كروتزن في العام 1933 في أمستردام، وأتقن الفرنسية والألمانية والإنجليزية. إلّا أن نتائجه المدرسية تدهورت بسبب مرض خطير، ولم يستطع متابعة الجامعة. وبدلاً من ذلك، ذهب إلى المدرسة الفنية وتدرّب مهندساً مدنيّاً.

الأنشطة

تدريب على العمل المخبري، ومشاريع بحثية، وأنشطة أخرى تضيف معنى للأفكار الجديدة، وتنمي القدرة على التطبيق العملي.

2-9	مزرعة بكتيريا
سؤال الاستقصاء	كيف يتم استقصاء البكتيريا؟
المواد المطلوبة	أطباق بتري مع آجار مغذ، صابون سائل مضاد للبكتيريا.
الخطوات	1. اكتب على أسفل طبق بتري الخاص بك

تقويم الدرس

يوجد في نهاية كل درس تقويم يحتوي على أسئلة تغطي مفاهيم الدرس ومعلوماته.

2-7	تقويم الدرس
1.	كيف ترتبط دولة قطر بالدول الأخرى، عندما يتعلق الأمر بإنتاج الأغذية أو المشروبات وتوزيعها؟ ابحث في مثالين لم يردا في هذا الدرس.
2.	مميز بين النوع النباتي، والصف النباتي، والصف المُستنبَت.
3.	اذكر المواقع الخمسة التي يوجد فيها النسيج المُؤلَّد المستخدم في تكاثر النباتات.
4.	ما الخلية الكاملة الفاعلية؟ وأين توجد؟ ولم يتم اختيارها لزراعة الأنسجة؟
5.	أذكر التغيرات التي تحدث في الخلية أثناء التكاثر.

مراجعة الوحدة

ملخص قصير في نهاية كل وحدة يوفر مرجعاً سريعاً للأفكار الرئيسية والمفردات.

5	الوحدة
مراجعة الوحدة	fixation، ومرحلة الاختزال، ومرحلة التجديد.
	• يتم في خطوة تثبيت الكربون، تثبيت ذرات الكربون من جزيئات (CO ₂) بمساعدة إنزيم روبيسكو RuBisCO، في جزيئات ريبولوز ثنائي الفوسفات (RuBP) ليتكون مركب مؤقت يتحول بسرعة إلى حمض الغليسرين المُفسَّر (Phosphoglyceric acid) (PGA).
	• في مرحلة الاختزال، تتم عملية اختزال حمض الغليسرين المُفسَّر (PGA) إلى جلسير ألدريد.

تقويم الوحدة

لكل وحدة مجموعة من أسئلة الاختيار من متعدد، وظيفتها التحضير لاختبار معياري.

تقويم الوحدة
تحضير للاختبار
1. أيُّ مُركَّب من المُركَّبات الآتية ليس جزءاً من دورة الكربون-الأكسجين؟ a. الميثان b. الماء c. ثاني أوكسيد الكربون d. غاز النيتروجين
2. أيُّ كائن حيٍّ من الكائنات الحية الآتية ليس مُحلِّلاً؟

تقويم الوحدة

مسائل نوعية ذات إجابات قصيرة، توفر ثلاثة مستويات من التحدي في نهاية كل وحدة.

تقويم الوحدة
26. السلسلة القالب لقطعة DNA تحتوي على أزواج قواعد بالترتيب الآتي: 3' ATCGGTTCCAGA 5'
a. اكتب السلسلة القالب في mRNA مع مسافات لتشير إلى الكودونات.
b. ما اسم أول حمض أميني في التسلسل؟ وما أهميته؟
c. ما اسم آخر حمض أميني في التسلسل؟ وما أهميته؟
d. ترجم السلسلة القالب، وبين كل كودون مضاد.

5 الوحدة

الكيمياء الحيوية: البناء الضوئي

تحتوي البلاستيدات الخضراء على صبغات مختلفة وأهمها الكلوروفيل الذي يلتقط طاقة ضوء الشمس اللازمة للبناء الضوئي. يتألف البناء الضوئي من سلسلة من التفاعلات التي تحوّل طاقة الشمس إلى طاقة كيميائية تُستخدم فيما بعد لإنتاج السكريات.

6 الوحدة

الأحماض النووية والوراثة

تخزن الكائنات الحيّة المعلومات اللازمة للقيام بوظائفها وللتكاثر في حمض نووي يُسمّى DNA. ويقوم حمض نووي ثان هو RNA بنسخ هذه المعلومات وترجمتها إلى سلاسل بروتينية ومنها الإنزيمات. إلا أن DNA يكون عرضة لتغيّرات تسمى الطفرات.

7 الوحدة

التكاثر في النباتات

كيف تتكاثر النباتات؟ البذور، والأزهار، والثمار هي بعض من الاستراتيجيات التكاثرية الكثيرة التي تطورت في النباتات.

8 الوحدة

التنوع والانتخاب الطبيعي

ما مصدر الأنواع المختلفة؟ تتراكم الاختلافات الصغيرة في الكائنات الحية على مدى الأجيال فتؤدي إلى نشوء أنواع جديدة.

9 الوحدة

الأمراض الانتقالية

ما الذي يسبّب المرض؟ مسبّب المرض هو كائن حي دقيق أو فيروس يتكاثر في داخل كائن حي عائل ويسبّب مرضاً، كالكوليرا.

10 الوحدة

الكائنات الحيّة الدقيقة والموقود الحيوي

ماذا بإمكان التكنولوجيا الحيوية أن تقدّمه؟ تؤدّي الكائنات الحيّة الدقيقة وظائف طبيعية، ونستطيع نحن أن نعدّلها هندسياً لتؤدّي وظائف جديدة.

2 الكيمياء الحيوية: البناء الضوئي

5 الوحدة

4 تركيب البلاستيدة الخضراء ووظيفتها

الدّرس 1-5

16 البناء الضوئي

الدّرس 2-5

36 الأحماض النووية والوراثة

6 الوحدة

38 تركيب DNA ووظيفته

الدّرس 1-6

50 وبناء البروتينات

الدّرس 2-6

60 الطفرات

الدّرس 3-6

80 التكاثر في النباتات

7 الوحدة

82 التكاثر اللاجنسي في النباتات

الدّرس 1-7

93 زراعة الأنسجة النباتية

الدّرس 2-7

112 التنوع والانتخاب الطبيعي

8 الوحدة

114 التباين الدرس 1-8

130 الانتخاب الطبيعي الدرس 2-8

148 الأمراض الانتقالية

9 الوحدة

150 أنماط الأمراض الدرس 1-9

164 المضادات الحيوية الدرس 2-9

182 الكائنات الحيّة الدقيقة والوقود الحيوي

10 الوحدة

184 التحلل والتحلل الحيوي الدرس 1-10

194 الوقود الحيوي الدرس 2-10



الوحدة 5

الكيمياء الحيوية: البناء الضوئي

Biochemistry: Photosynthesis

في هذه الوحدة

B1109

B1110

B1111

الدرس 1-5: تركيب البلاستيدة الخضراء ووظيفتها

الدرس 2-5: البناء الضوئي

مقدمة الوحدة

تُعد طاقة ضوء الشمس التي تلتقطها النباتات في عملية البناء الضوئي أساس الحياة على الأرض. بالنباتات تبدأ كل سلاسل الغذاء تقريباً؛ وهي مصدر كل الأكسجين في الغلاف الجوي.

تعرض هذه الوحدة كيفية عمل النباتات على المستوى الخلوي. تحتوي النباتات فضلاً عن الميتوكوندريا على عُضَيَّات متخصصة تسمى البلاستيدات الخضراء، تمتص الطاقة من ضوء الشمس، وتنتج جزيئات تصبح في النهاية سكريات إما أحادية مثل الجلوكوز أو معقدة مثل السيلولوز أو النشا.

تستخدم تفاعلات البناء الضوئي بعض الإنزيمات والعمليات نفسها التي تحدث في التنفس الخلوي؛ ومنها إنزيم ATP سينثيز المدفوع بمنحدر فرق تركيز البروتون عبر الغشاء الداخلي. لكن البناء الضوئي يستخدم أيضاً إنزيمات مختلفة، منها روبيسكو RuBisCo، وهو الإنزيم الأكثر وفرة على الأرض.

الأنشطة والتجارب

البناء الضوئي وألوان الضوء	a1-5
فصل الصبغات النباتية	b1-5
دراسة دورة كالفن	2-5

الدرس 1-5

تركيب البلاستيدة الخضراء ووظيفتها Chloroplast Structure and Function



شكل 1-5 آلة حاسبة شمسية.

تشبه النباتات الآلات الحاسبة الشمسية بطرائق عدّة (الشكل 1-5)؛ ذاك أنها تحتوي على مكّونات معقّدة تؤدّي أفعالاً مختلفة، لكنها لا تعمل من دون استهلاك الطاقة الضّوئية. تحوّل الخلايا الشمسية في الآلة الحاسبة الضّوء إلى طاقة كهربائية، ما يماثل البلاستيدات الخضراء في الخلية التي تحوّل الضّوء إلى طاقة كيميائية.

المصردات



Autotroph	ذاتيّ التّغذية
Carotenoid	الكاروتينويد
Phycobilin	الفايكوبيلين
كلوروفيل أ، ب، ج	
Chlorophyll a, b, c	
Xanthophyll	الزانثوفيل
Carotenes	الكاروتينات
Plastid	البلاستيدة
Proplastid	البلاستيدة البدائية
البلاستيدات الملونة (كروموبلاست)	
Chromoplasts	
Leukoplasts	البلاستيدات البيضاء
Plastid DNA	DNA البلاستيدة
Stroma	الستروما (اللحمة)
Thylakoid	الثايلاكويد
Granum (grana)	الجرانم
Lamellae	الصفائح

مخرجات التّعلّم

B1109.1 يصف تركيب البلاستيدات الخضراء، ويربطها بالتفاعلات الكيميائية الحيوية والضّوئية لعملية البناء الضّوئي.

B1109.2 يقارن بشكل مُختصر بين التشابهات التّركيبية للبلاستيدات الخضراء، والميتوكوندريا، والبكتيريا.

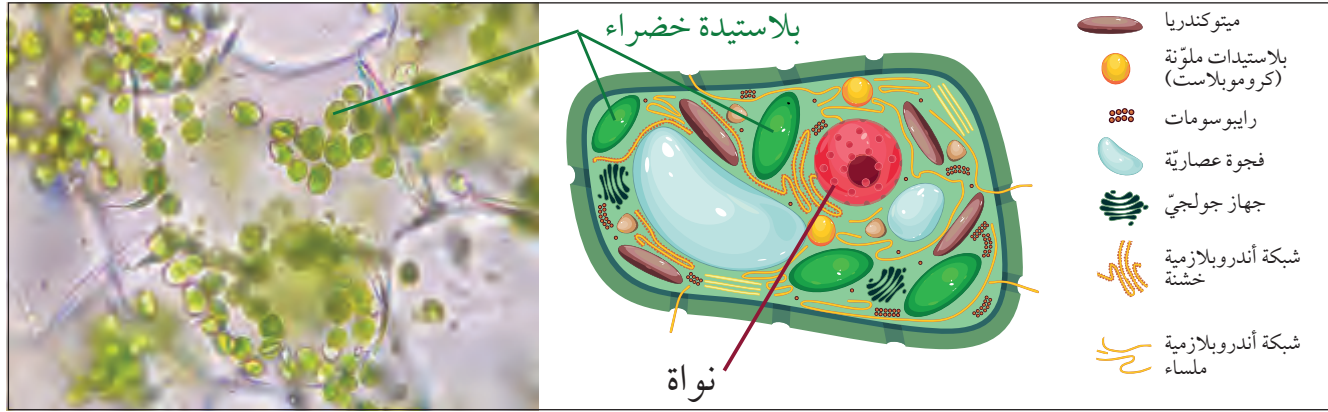
B1110.1 يعرف أنّ هناك عدداً من صبغات البناء الضّوئي (بما في ذلك الكلوروفيل أ، والكلوروفيل ب) التي تعكس الضّوء الأخضر، وتمتصّ الضّوء الأحمر، والضّوء الأزرق من الطّيف الكهرومغناطيسي.

B1110.2 يوضّح أنّه يمكن فصل صبغات البناء الضّوئي عن طريق الفصل اللوني (كروماتوجرافي).

B1110.3 يشرح أهميّة وجود خليط صبغات البناء الضّوئي للنباتات.

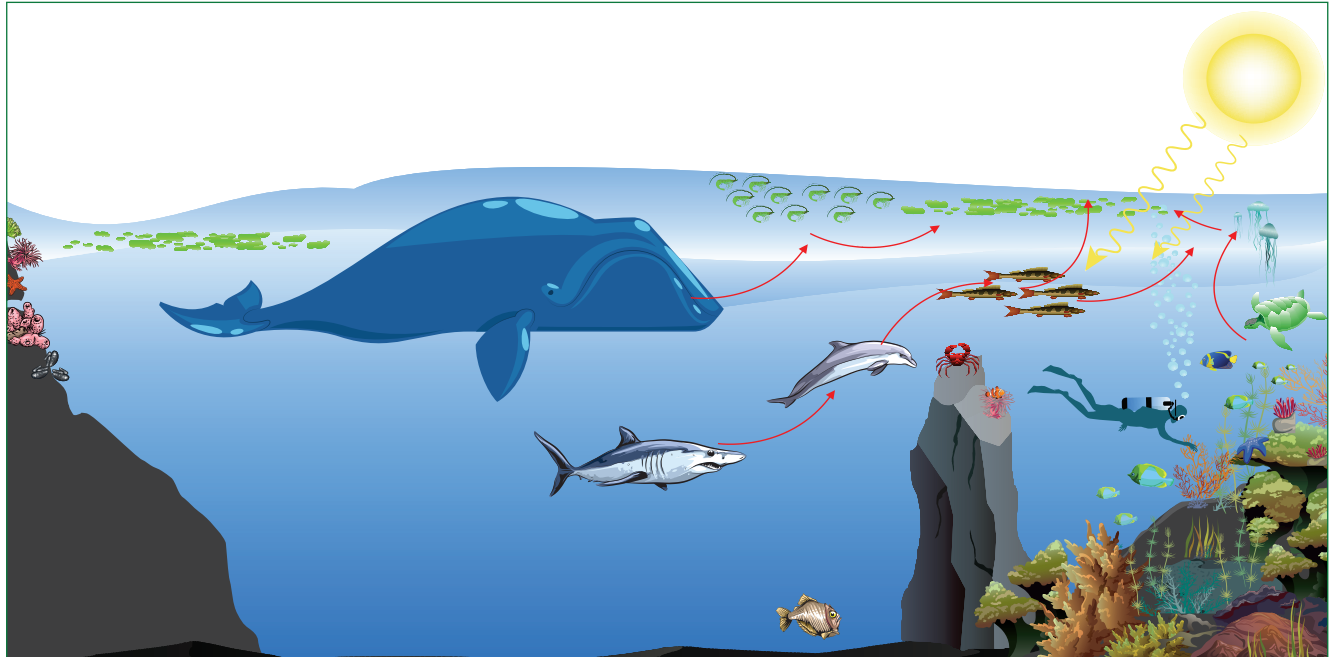
دور البلاستيدات الخضراء والبناء الضوئي

يُعَدُّ البناء الضوئي، الذي يحدث في البلاستيدات الخضراء داخل الخلايا النباتية، المصدر الرئيسي للطاقة الداعمة لسلاسل الغذاء كلّها على الأرض. والبلاستيدات الخضراء عضيات متطورة في الخلايا النباتية، تحدث فيها تفاعلات البناء الضوئي. وتحتوي الخلايا النباتية على عدد كبير من الميتوكوندريا، وعلى كثير من البلاستيدات الخضراء التي يتراوح حجمها بين 1 و5 ميكرومتر. وسبب احتواء النباتات على الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء، أنها تحتاج إلى أداء كلّ من البناء الضوئي والتنفس الخلوي معًا.



شكل 2-5 تركيب خلية نباتية حقيقية النواة نموذجية.

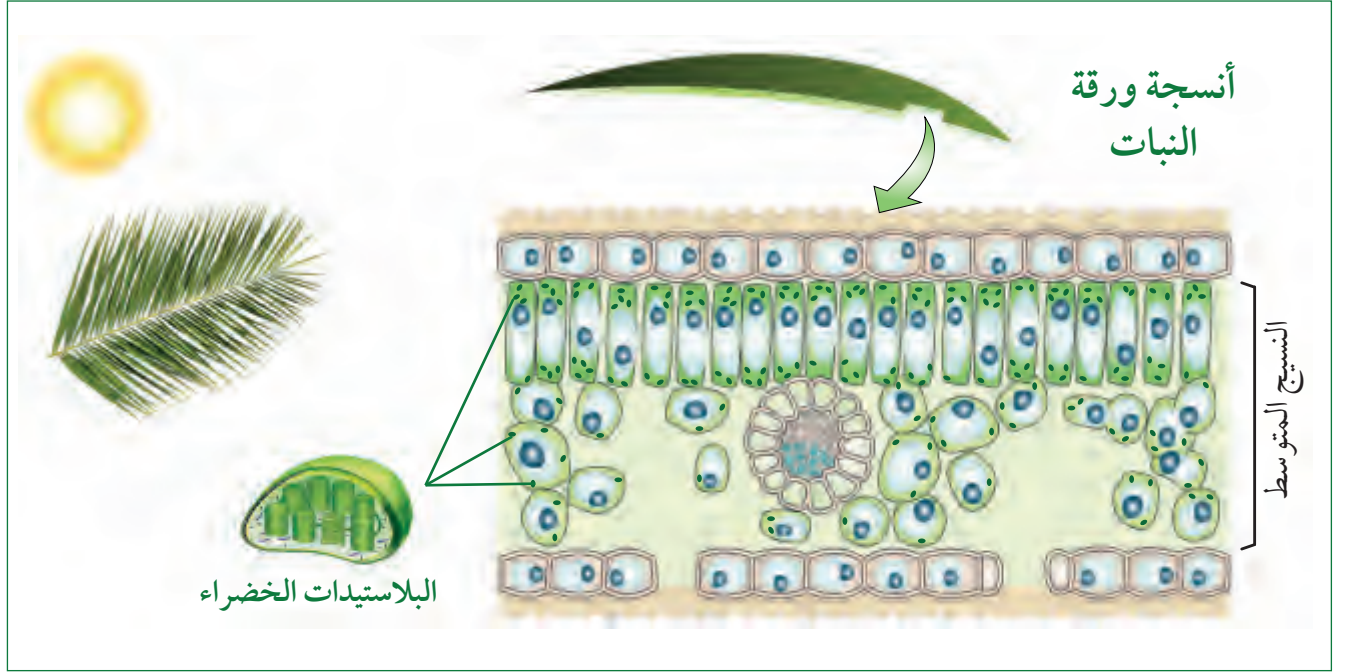
من المعلوم أن نباتات البناء الضوئي ذاتية التغذية **Autotrophs**؛ أي أنها تستطيع صنع غذائها بنفسها. والنباتات تتنوع على نحو استثنائي، وتشغل كل جزء من سطح الأرض يتوافر فيه ضوء الشمس. يصل ضوء الشمس إلى مناطق الأرض جميعها، وإلى عمق مئتي متر تحت سطح البحر، بما في ذلك معظم أجزاء بحر العرب، الذي يعيش فيه أكثر من أربعمئة نوع من النباتات البحرية. وما يصل من ضوء الشمس إلى كل تلك المناطق يكفي للبناء الضوئي.



شكل 3-5 يدعم البناء الضوئي في النباتات الخضراء الحياة المتنوعة في بحر العرب، وهي تمثل قاعدة سلسلة الغذاء.

موقع البلاستيدات الخضراء

عموما يحدث البناء الضوئي في أوراق النباتات الخضراء. تشبه الورقة النموذجية الشطيرة، وتوفر لها الطبقتان الواقعتان على السطحين العلوي والسفلي الحماية من فقدان الماء (الشكل 4-5). توجد خلايا البناء الضوئي في نسيج أوسط يُسمى **النسيج المتوسط Mesophyll**، والذي يتكون جزؤه العلوي من نسيج عمادي تحتوي خلاياه على كمية كبيرة من البلاستيدات الخضراء، بينما يتكون جزؤه الأسفل من نسيج إسفنجي، مع فراغات لتبادل الغازات. ويمكن لبخار الماء، و(CO_2)، والأكسجين (O_2) أن تمر إلى داخل الورقة أو خارجها، عبر فتحات صغيرة تُسمى **الثغور Stomata**.



شكل 4-5 المقطع العرضي لورقة النخيل يظهر فيه النسيج المتوسط، والفراغات الهوائية بين الطبقتين: العلوية والسفلية.

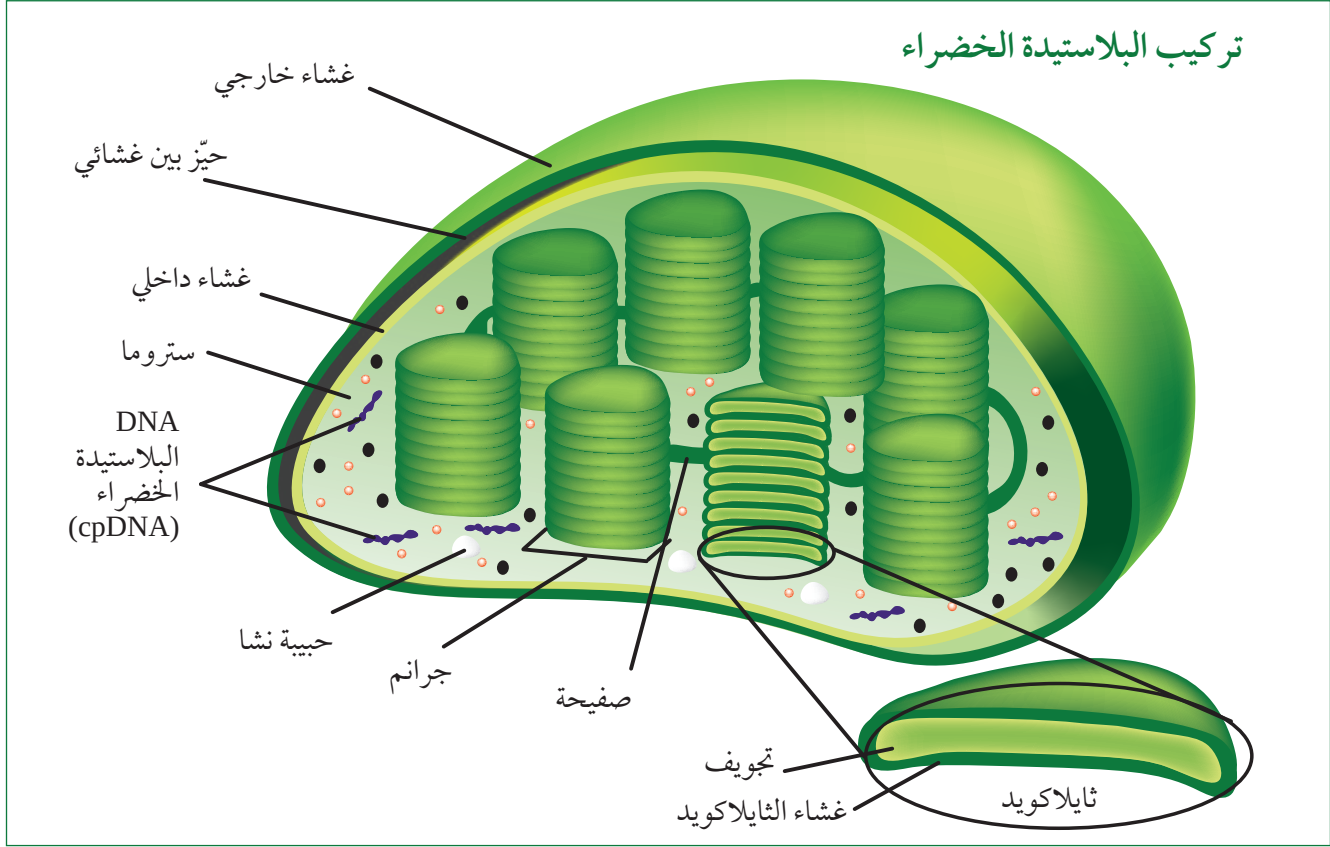
العوالق النباتية كائنات حية دقيقة تقوم بعملية البناء الضوئي، وتعيش فعلياً في المياه العذبة والمالحة جميعها. وتلك العوالق لا تعتبر نباتات. ويمكن تقسيمها إلى مجموعتين، هما: الطحالب الخضراء والحمراء وجميعها حقيقية النواة وتمتلك بلاستيدات خضراء. البكتيريا الخضراء المزرقة، تحتوي على كلوروفيل، لكنها لا تحتوي على بلاستيدات خضراء. وهناك كائنات حية وحيدة الخلية، مثل اليوجلينا، وهي من الطحالب الخضراء وتحتوي على بلاستيدات خضراء (الشكل 5-5).



شكل 5-5 اليوجلينا والسيروجيرا كائنات حية وحيدة الخلية تحتوي على بلاستيدات خضراء.

تركيب البلاستيدة الخضراء

تحاط البلاستيدات الخضراء بغشاء مزدوج (الشكل 5-6)، الغشاء الخارجي شبه منفذ ويحتوي على قنوات خاصة لتمرير الماء، كذلك الغشاء الداخلي شبه منفذ تمر عبره مذابات محددة بواسطة طرق النقل التي درستها سابقا.



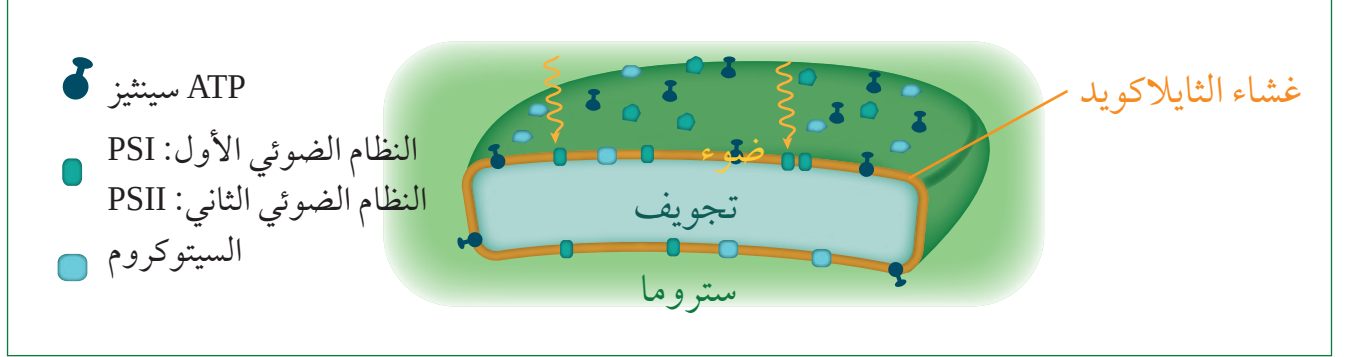
شكل 5-6 تركيب البلاستيدة الخضراء مع الأغشية وحجرات التفاعلات الكيميائية.

يقع بين الغشاءين البلازميين، اللذين يحيطان بالبلاستيدة، حيز بين غشائي. يحيط الغشاء الداخلي بالستروما (اللحمة) **Stroma**، وهي منطقة ممتلئة بسائل داخل البلاستيدة الخضراء، وموقع لتفاعلات الكربون خلال البناء الضوئي. تحتوي الستروما (اللحمة) على تراكيب تُسمى **الثايلاكويدات Thyla-koids**، وهي أكياس مسطحة، أو أقراص مُحاطة أيضًا بأغشية. وفي داخل الثايلاكويد حيز يسمى **التجويف Lumen**.

تترتب الثايلاكويدات بعضها فوق بعض على شكل حزم، مُكوّنة تركيبًا يُسمى **الجرانم Granum**. وبالنظر إلى وجود أكثر من حزمة في الستروما، فإنّها معًا تُسمى الجرانا Grana. ترتبط كثير من الجرانا بتراكيب غشائية إضافية داعمة تُسمى **الصفائح Lamellae**. وتحتوي ستروما البلاستيدة الخضراء على حبيبات نشا توفر إمدادات من الكربوهيدرات. ويصبح النشا المتكوّن في أثناء ساعات النهار مصدر الطاقة في الليل.

الثايلاكوييدات

تشكّل الثايلاكوييدات موقع التفاعلات الضوئية في البناء الضوئي، ويتمّ فيها أيضًا بناء ATP. والthaيلاكوييدات حُجرات محاطة بأغشية تقع داخل البلاستيدات الخضراء.



شكل 5-7 تركيب الثايلاكويد.

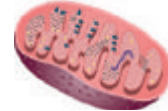
يفصل غشاء الثايلاكويد التجويف عن الستروما في البلاستيدة الخضراء. وتمنع نفاذيته الانتقائية عبور الأيونات والإنزيمات باستثناء جزيئات معينة مثل ADP والفوسفات. يحتوي سطح الثايلاكويد على مُعقدات إنزيمات تساهم في البناء الضوئي مثل PSI، و PSII، و ATP سينثيز والسيتوكروم.

يعمل غشاء الثايلاكويد على نحو يشبه عمل الغشاء الداخلي للميتوكوندريا. ويتم بناء ATP بواسطة ATP سينثيز والسيتوكروم بالطريقة نفسها، إلا أنّ أيونات H^+ الزائدة في التجويف تنتج من عملية التحلل الضوئي للماء، بدل دورة كربس والتحلل السكري.

الجدول 1-5 مقارنة بين البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا والبكتيريا.



البلاستيدات الخضراء



الميتوكوندريا

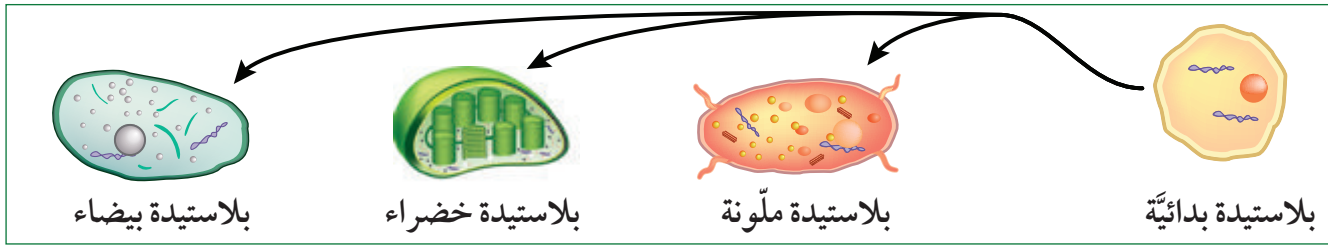
في كليهما DNA حلقيّ مستقلّ يشبه البكتيريا.	
كلاهما تشبه في حجمها البكتيريا، وتنشطر مثل البكتيريا.	
كلاهما مرتبطتان بالطاقة، وتبنيان ATP باستخدام ATP سينثيز والسيتوكروم.	
تطوّرت كلاهما خلال عملية التكافل الداخليّ عندما ابتلعت الخلايا الحقيقية النواة في وقت مبكر البكتيريا البدائية.	
كلاهما عُضَيّات مزدوجة الغشاء.	
الغشاء الداخليّ هو موقع بناء ATP.	غشاء الثايلاكويد هو موقع بناء ATP، والتفاعلات الضوئية في البناء الضوئي.
الحشوة تملأ الغشاء الداخليّ.	التجويف يملأ غشاء الثايلاكويد.
تحصل على الطاقة من الجلوكوز.	تحصل على الطاقة من التفاعلات الضوئية.
توجد في النباتات والحيوانات جميعها.	توجد فقط في النباتات، وفي بعض مجموعات الكائنات الحية الأحادية الخلية.

التكافل الدّاخليّ والبلاستيدات الخضراء

سؤال للمناقشة

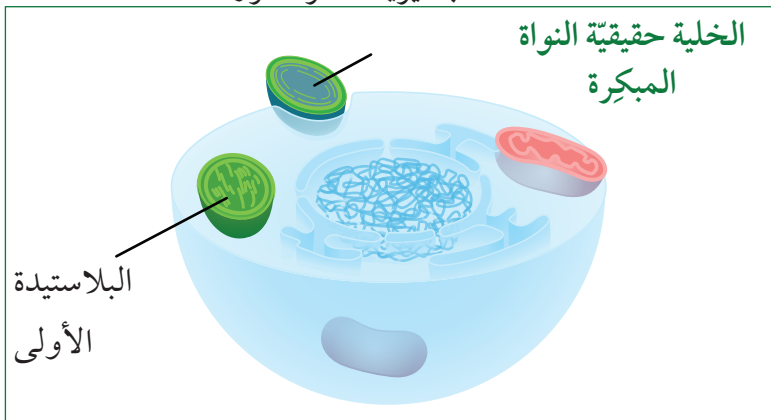
كيف تطوّرت
البلاستيدات الخضراء؟

البلاستيدات هي العُضيّات الموجودة في الطلائعيّات، والنباتات، والطحالب. وقد تطوّرت لصنع الصبغات وتخزينها كما في البلاستيدات الملونة، أو لتخزين النشا كما في البلاستيدات البيضاء. وتعد البلاستيدات الخضراء نوعاً متخصصاً من البلاستيدات. وهي تحتوي على صبغات البناء الضوئيّ، والثايلاكويدات.



شكل 5-8 الأنواع المختلفة من البلاستيدات.

بكتيريا خضراء مزرقّة



شكل 5-9 أصل البلاستيدات.

تطوّرت البلاستيدات الخضراء بعد أن كانت الخلايا الحقيقية النواة قد حصلت فعلاً على ميتوكوندريا بدائيّة. وربّما تطوّرت الثايلاكويدات كانشئات للغشاء الداخليّ مماثلة لأعراف الميتوكوندريا.

أوجه الشّبه بين البكتيريا، والميتوكوندريا، والبلاستيدات الخضراء، تدعم نظريّة التكافل الدّاخليّ.



تدعم أوجه التشابه العديدة بين الخلايا البكتيريّة وكلّ من الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء، نظريّة التكافل الدّاخليّ. فالبلاستيدات، كالبلاستيدات الخضراء، تتّصف بأوجه تشابه عدّة مع كلّ من البكتيريا والميتوكوندريا.

1. البلاستيدات فريدة لكلّ نوع من ذاتيّات التّغذية، لأنّها تحتوي أيضاً على DNA.

2. تتكاثر البلاستيدات باستخدام DNA الخاصّ بها في معظم الحالات.

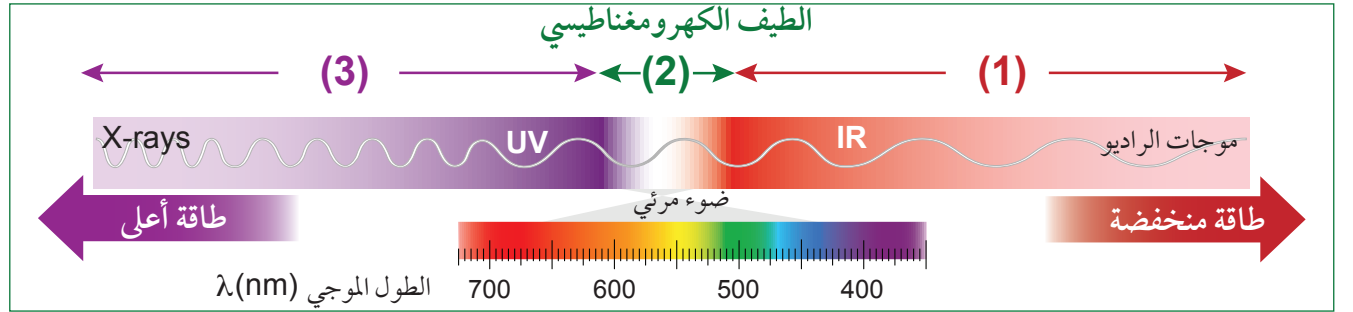
3. تتكاثر البلاستيدات بنوع من الانشطار الثنائيّ، تماماً مثل البكتيريا، وعلى نحو مستقلّ عن الخليّة العائل.

الطيف الكهرومغناطيسي والطاقة

الضوء جزء من تسلسل موجات يُعرف باسم **الطيف الكهرومغناطيسي** - **Electromagnetic spectrum** (الشكل 5-10). توصف موجات الضوء بطولها الموجي، ومقدار الطاقة التي تحملها. كلما كان الطول الموجي أقصر، كانت الطاقة أكبر. يتكون الطيف من ثلاثة أجزاء، هي:

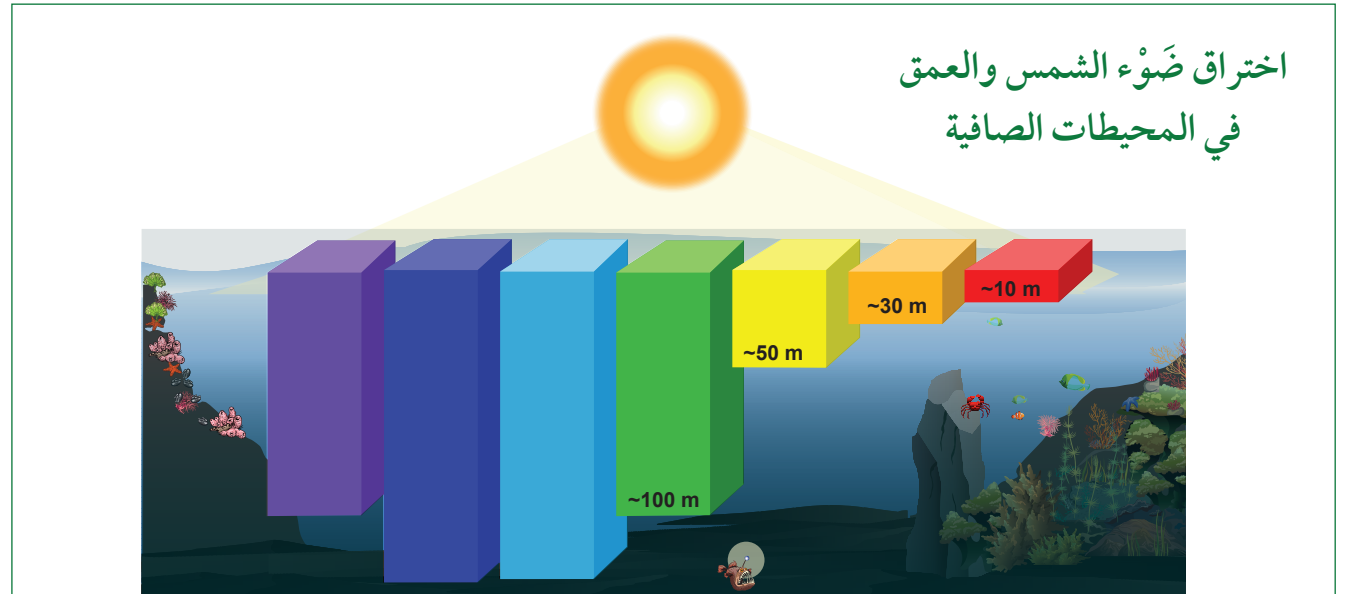
1. موجات الراديو والأشعة تحت الحمراء، وهما تملكان طاقة قليلة جدًا لا تكفي لتغيير التركيب الجزيئي.
2. الضوء المرئي وهو يملك طاقة كافية لتغيير التركيب الجزيئي، لكن ليست كافية لتكسير معظم الجزيئات.
3. الأشعة فوق البنفسجية (UV)، والأشعة السينية (x-rays) وأشعة غاما (Gamma rays) وجميعها تملك طاقة كبيرة جدًا، تمكنها من تكسير الجزيئات.

تستشعر عيون الكائنات الحية نطاق موجات الألوان نفسها التي تستخدمها النباتات في البناء الضوئي. يحتوي الضوء المرئي على كمية الطاقة المناسبة تمامًا للعيون والبناء الضوئي.



شكل 5-10 الطيف الكهرومغناطيسي يشمل الضوء المرئي.

طوّرت النباتات البحرية والطحالب صبغات مختلفة تكيفت مع الطريقة التي يمتص بها الماء ضوء الشمس (الشكل 5-11). تُصنّف الطحالب إلى خضراء، وحمراء، وبنية، على أساس ألوان الضوء التي تستخدمها، وألوان الضوء التي تعكسها. تتكيف الألوان المختلفة للطحالب مع الأعماق المختلفة (الشكل 5-11). لاحظ أن الضوء الأزرق لديه طاقة أعلى، وأنه ينتقل إلى المسافة الأبعد.



شكل 5-11 لا تصل ألوان الضوء إلى كل الأعماق في محيط صافٍ.

الطاقة الضّوئية والصبغات في ذاتيّات التغذية

يبدأ البناء الضّوئيّ بامتصاص البلاستيدات الخضراء للضّوء، لأنّها تحتوي على مركّبات كيميائيّة تُسمّى الصبغات. **والصبغة Pigment** مادّة كيميائيّة تمتصّ الضّوء من بعض الألوان، وتعكسه من ألوان أخرى. وقد طوّرت البكتيريا الخضراء المزرقة، والطحالب، والطلائعيّات، والنباتات صبغاتٍ مختلفةً لامتصاص الطاقة الضّوئية في بيئاتها المختلفة. ويوجد في الطبيعة ثلاث فئات من صبغات البناء الضّوئيّ، هي:

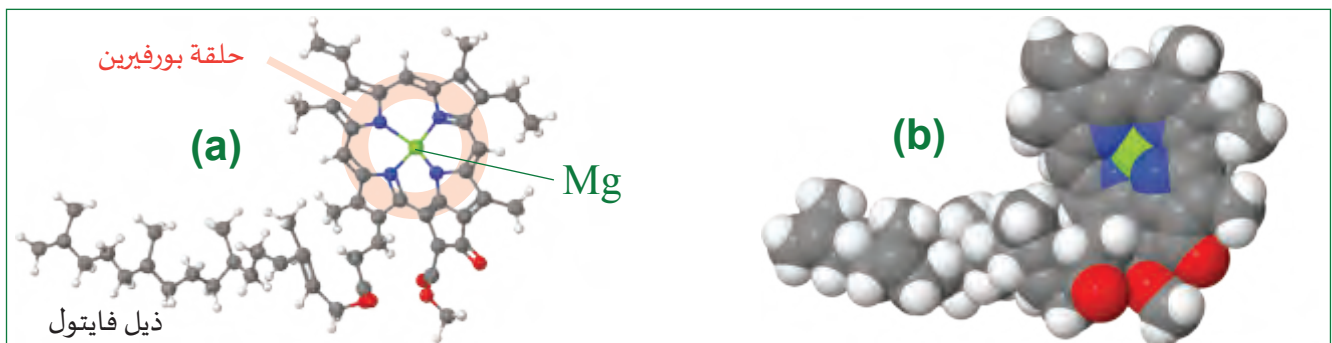
1. **الكلوروفيلات Chlorophylls**: 5 صبغات خضراء تُعرف بأسمائها الكلوروفيل أ، ب، ج، د، هـ.
2. **الكاروتينويدات Carotenoids**: صبغات زاهية حمراء، وصفراء، وبرتقاليّة، غير قابلة للذوبان.
3. **الفايكوبيلينات Phycobilins**: صبغات قابلة للذوبان، توجد في البكتيريا الخضراء المزرقة، والطحالب الحمراء.

تستخدم نباتات اليابسة أساسًا **الكلوروفيل أ Chlorophyll a**، **والكلوروفيل ب Chlorophyll b**. وغالبًا ما تحتوي الطحالب الخضراء على الكلوروفيلات، في حين أن الطحالب الحمراء غالبًا ما تحتوي على الكلوروفيل أ، والكاروتينويدات، والفايكوبيلينات. أمّا الطحالب البنية فتحتوي على **الكلوروفيل ج Chlorophyll c**، **والزائثوفيلات Xanthophylls** الصفراء، **والكاروتينات Carotenes** البرتقاليّة.



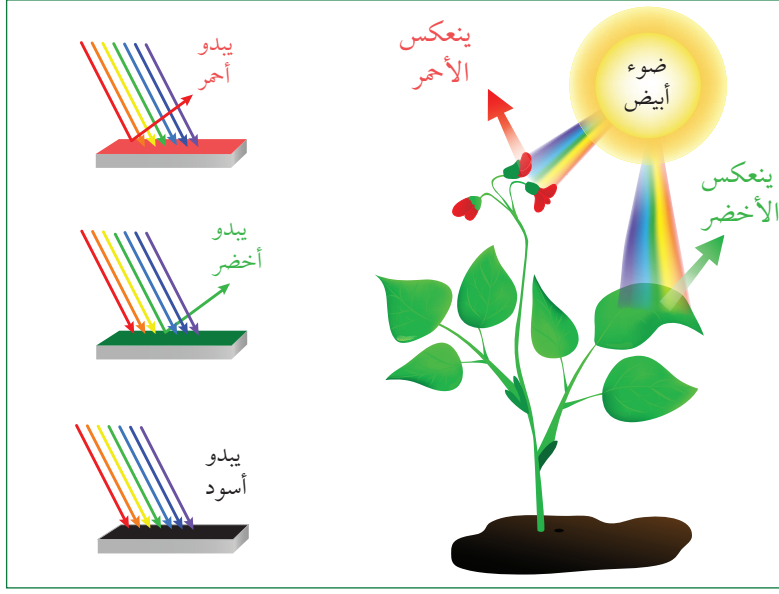
شكل 5-12 الطحالب الحمراء والبنية والنباتات الخضراء.

يحتوي الكلوروفيل أ على أيون مغنيسيوم مُغلّف بتركيب حلقيّ كبير يُسمّى حلقة البورفيرين، يتضمّن أربع ذرّات نيتروجين حول المغنيسيوم المركزيّ (الشكل 5-13). وترتبط سلاسل جانبية مختلفة بالحلقة، تحدد الطول الموجي للضوء الممتص. يكمن الفرق بين الكلوروفيل أ والكلوروفيل ب، في أنّ الكلوروفيل ب يحتوي على ألدهايد بدل مجموعة الميثيل في إحدى السلاسل الجانبية. لجُزيء الكلوروفيل ذيل طويل كاره للماء يثبّت الجُزيء ببروتينات أخرى كارهة للماء في غشاء الثايلاكويد في البلاستيدة الخضراء.



شكل 5-13 (a) تركيب جُزيء الكلوروفيل و (b) سطح الجُزيء.

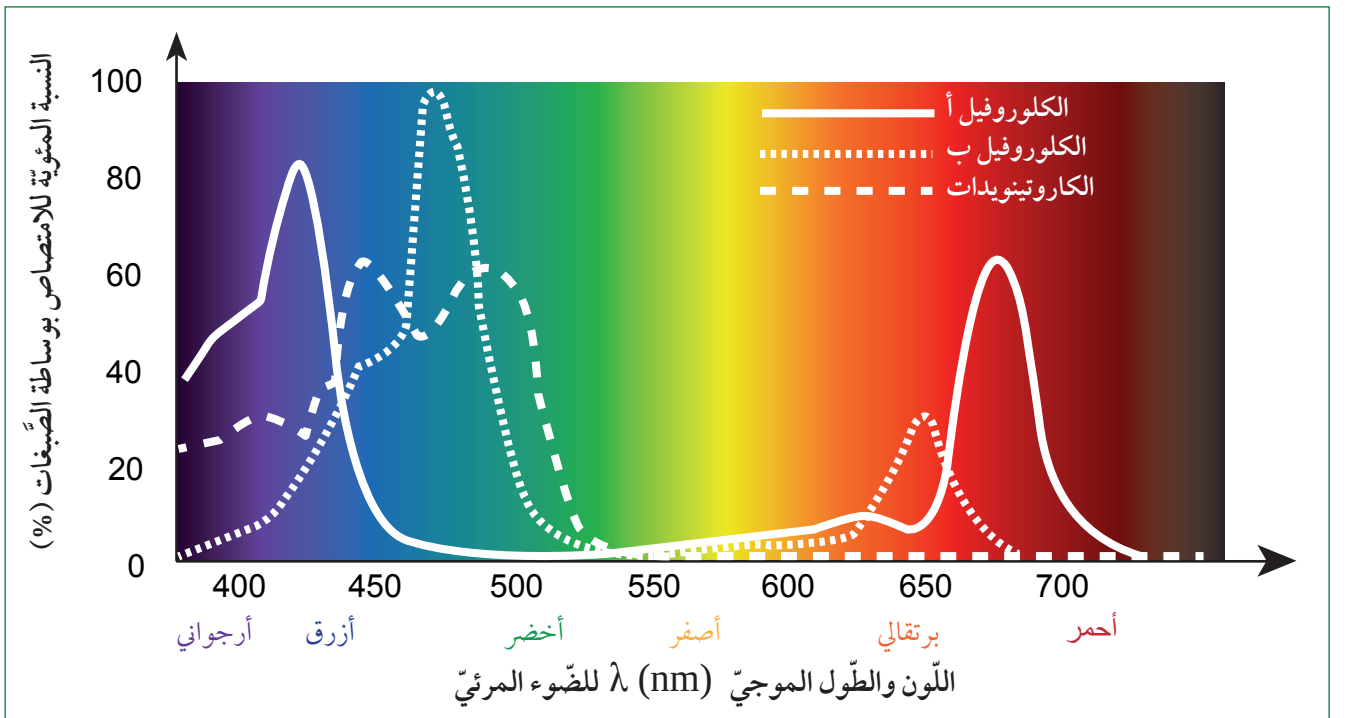
توازن اللون والطاقة



شكل 14-5 الضوء يُمتَصَّ ويُعكَّس.

نرى من خلال الضوء المنعكس، والضوء الأبيض في حقيقته مزيج من كل الألوان. يبدو الجسم أسود عندما تُمتَصَّ كل ألوان الضوء، ولا ينعكس منه أي لون (الشكل 14-5). في حين يبدو أحمر عندما تمتص الصبغات الألوان جميعها ماعدا الأحمر، وتعكس الأحمر إلى عينيك. وتبدو أوراق النبات خضراء، لأن الضوء الأخضر يُعكَّس، وهذا يدلنا على أن الضوء الأخضر لم يُمتَصَّ.

إذا امتصت الورقة جميع الألوان فسوف تسخن. وهذا هو السبب في عدم كون أوراق النبات سوداء اللون. إنها خضراء اللون، لأن النباتات تعكس منتصف طيف الألوان جميعها، بما في ذلك اللون الأخضر. يبيّن الشكل 15-5 امتصاص صبغات مختلفة في النباتات للضوء. يمتص الكلوروفيل أ، والكلوروفيل ب الضوء الأزرق والضوء الأحمر، ويعكسان الضوءين الأخضر، والأصفر. لقد طوّرت النباتات في البيئات المختلفة صبغات تلائم التوازن بين الطاقة وفرط التسخين. وتحتوي معظم النباتات على بلاستيدات خضراء فيها صبغات مختلفة، لكي تلتقط مزيداً من طاقة الضوء، مقارنة ببلاستيدات خضراء فيها صبغة واحدة فقط.



شكل 15-5 طيف الامتصاص لثلاث صبغات بناء ضوئي، هي: الكلوروفيل أ، والكلوروفيل ب، والكاروتينويدات.

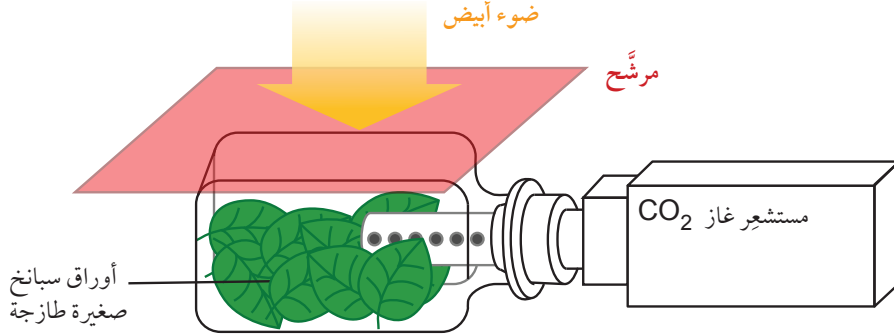


البناء الضوئي وألوان الضوء

a1-5

سؤال الاستقصاء	كيف يؤثر لون الضوء في سرعة البناء الضوئي؟
المواد المطلوبة	مستشعر غاز ثاني أكسيد الكربون، مسجل بيانات، قارورة سعة 250 mL، أوراق سبانخ صغيرة طازجة، مرشحات بلاستيك شفافة حمراء وخضراء وزرقاء.

الخطوات



1. اختر من 10 إلى 15 ورقة سبانخ طازجة، وضعها في قارورة العينة. ضع القارورة في وضع أفقي على طاولة تحت ضوء أبيض. هذا هو الضابط الذي تستخدمه من دون وجود مرشح.
2. اضبط أداة جمع البيانات على قياس جزء من المليون CO_2 ppm كل 15 ثانية. انتظر دقيقة واحدة، ثم ابدأ بجمع البيانات. سجل البيانات كل خمس دقائق.
3. ضع المرشح الأخضر اللّون بين مصدر الضوء والأوراق. لاحظ سرعة إنتاج CO_2 لخمس دقائق أخرى.
4. كرر الخطوة نفسها باستخدام المرشح الأحمر، ثم المرشح الأزرق. تأكد من الحفاظ على مستوى الضوء نفسه للتجارب الأربع.
5. أبعد المرشحات جميعها، واجمع البيانات من قسم الضوء غير المرشح لخمس دقائق أخرى. ثم توقف عن جمع البيانات.

أسئلة تلخيص

- a. قس سرعة استهلاك CO_2 من ميل الرسم البياني في كل من الخطوات الخمس المختلفة (من دون مرشح، أخضر، أحمر، أزرق، من دون مرشح).
- b. صف الفرق في الرسم البياني لتركيز CO_2 لكل من أجزاء جمع البيانات الخمسة المختلفة.
- c. وضح الفرق من جانب الصبغات والبناء الضوئي.
- d. لماذا كررت جمع البيانات من دون مرشح بعد القياسات الثلاثة مع مرشح؟
- e. استخدم بياناتك لرسم مخطط تقريبي لطيف الامتصاص والطيف الفعال.



فصل الصبغات النباتية

b1-5

سؤال الاستقصاء	كيف يمكننا فصل الصبغات النباتية؟
المواد المطلوبة	أوراق سبانخ صغيرة طازجة، انظر إلى القائمة الكاملة في ورقة العمل.

ورقة الفصل اللوني الورقي - الجزء 1

1. لكل مجموعة من الطلاب، كلف طالبًا بتحضير الفصل اللوني للصبغات، وطالبًا آخر باستخدام هاون ومدقة لطحن أوراق السبانخ، واستخلاص صبغتها، وترشيحها وتجهيزها للجزء 2.
2. ضع وجه ورقة سبانخ طازجة إلى الأسفل فوق خطّ قلم رصاص على ورقة الترشيح. دحرج قطعة نقود معدنية سميكة على سطح الورقة لتكوين خيط رفيع من صبغ الورقة مباشرة على خطّ القلم.
3. صب 10-15 mL من الإيثانول في دورق زجاجي.
4. اشبك شريط الترشيح في الدورق، بحيث يكون خطّ الصبغة قرب الكحول. لا تدع خطّ الصبغة يلامس الكحول مباشرة. دع الكحول يرتفع إلى أعلى ورقة الترشيح للاتصال بالصبغة.
5. راقب خطّ الصبغة بعناية طوال الدقائق الـ 15 التالية. تأكد من إخراج الشريط قبل أن يصل الكحول إلى أعلى الورقة.
6. استخدم قلم رصاص لوضع علامة على كل صبغة، واتّبع الإرشادات في ورقة العمل لحساب معامل التأخير لكل صبغة.

قياس الألوان - الجزء 2

7. عاير مقياس الألوان مع كوب صغير من الماء المُقطّر.
8. املاً دورقاً نظيفاً إلى منتصفه بالإيثانول، ثم استخدم ماصة نظيفة لإضافة قطرات من مستخلص الصبغة المصفّاة إلى الإيثانول حتى $\frac{3}{4}$ سعة الدورق الصغير.
9. سجّل امتصاص الضوء لكل لون مدرج.

أسئلة تلخيص

- a. ما ألوان الضوء التي امتصتها صبغات الكلوروفيل؟ وما الألوان التي انعكست من الكلوروفيل؟ وضح إجابتك.
- b. أي لونين من الضوء كان لهما أكبر امتصاص؟ وأي لونين كان لهما أقل امتصاص في عيّتك؟
- c. قارن نتائجك بنتائج زملائك في الصف. هل تشابه نتائج المجموعات كلها؟
- d. كيف يؤثر تركيب الصبغة في حركتها على طول الشريط؟

1. أيّ من العبارات الآتية غير صحيحة عن البلاستيدات الخضراء؟ 
 - a. توجد البلاستيدات الخضراء في كل الخلايا الحقيقية النواة.
 - b. تنتج البلاستيدات الخضراء ATP كما تفعل الميتوكوندريا.
 - c. للبلاستيدات الخضراء تركيب غشائي مزدوج.
 - d. يُحتمل أن تكون البلاستيدات الخضراء قد تطوّرت من خلال التكافل الداخلي.
2. إحدى الوظائف المهمّة للثايلاكويد هي أنه: 
 - a. يجذب الكلوروفيل من السيتوسول.
 - b. يحافظ على حجم البلاستيدة الخضراء.
 - c. يكون سطحًا لبناء رايبوسومات جديدة.
 - d. يحافظ على فصل الأيونات بين الستروما (اللحمة) والتجويّف.
3. إذا كانت ورقة النبات تحتوي على صبغة الكلوروفيل أ، فإنّها تعكس اللون الأخضر. أيّ ألوان الضّوء تمتصّها الورقة؟ 
4. العوالق النباتية هي: 
 - a. عُضَيّات داخل الخلايا النباتيّة.
 - b. نوع من بكتيريا البناء الضّوئيّ الخضراء المزرقة.
 - c. كائنات حيّة أحاديّة الخليّة، وتعتبر أسلاف البلاستيدات الخضراء.
 - d. كائنات حيّة أحاديّة الخليّة، تطفو بحريّة، ويمكنها القيام بعملية البناء الضّوئيّ.
5. ما الأنواع الثلاثة الرّئيسة من صبغات نباتات اليابسة؟ 
6. غير المصطلحات المبرزة أدناه لتصبح كلّ عبارة صحيحة: 
 - a. البلاستيدة الملوّنة هي موقع البناء الضّوئيّ في البلاستيدة الخضراء.
 - b. الفايكوبيلين هي إحدى صبغات البناء الضّوئيّ الرّئيسة في نباتات اليابسة.
 - c. الكاروتينويدات صبغات خضراء، والزانثوفيلات صبغات برتقاليّة.
 - d. التكافل بين سمكة المهرج البدائيّة والخلايا الحقيقيّة النّواة المبكرة أدّى إلى تطوّر البلاستيدات الخضراء.
7. ارسم نموذجًا مبسّطًا للبلاستيدة الخضراء، وعيّن التراكيب جميعها التي تشترك بها مع كلّ من البكتيريا والميتوكوندريا. فيمَ تختلف البلاستيدة الخضراء عنهما؟ 

الدرس 2-5

البناء الضوئي

Photosynthesis

تُشكّل عملية البناء الضوئي في النباتات المصدر لكل المواد الغذائية في العالم (الشكل 5-16). وتمثل التحديات التي تواجه الزراعة في قطر اختباراً جيداً لتطبيق تقنيات جديدة على ممارسات الإنسان القديمة.



شكل 5-16 زراعة نخيل البلح في قطر.

مخرجات التعلم

B1111.1 يصف دور أغشية الثايلاكويد في المرحلة المعتمدة على الضوء من عملية البناء الضوئي.

B1111.2 يصف عملية الفسفرة الضوئية الحلقية بما في ذلك دور النظام الضوئي الأول، وإنتاج الأدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP.

B1111.3 يصف عملية الفسفرة الضوئية اللاحلقية بما في ذلك أدوار النظامين الضوئيين الأول والثاني في التحلل الضوئي، وإنتاج الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)، و (NADP) مختزل وأكسجين.

B1111.4 يصف المرحلة غير المعتمدة على الضوء في عملية البناء الضوئي، ويشمل دور الستروما (اللحمة)، في تثبيت ثاني أكسيد الكربون عبر ربط كل جزيء بمركب خماسي الكربون، يُسمى ريبولوز ثنائي الفوسفات (RuBP) بواسطة إنزيم ريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيليز (روبيسكو/ RUBISCO)، لتكوين جليسيريت 3 أحادي الفوسفات.

B1111.5 يشرح كيفية استخدام نواتج التفاعلات الضوئية (ATP، NADP المختزل) في المرحلة اللاضوئية لبناء جليسير ألدهيد أحادي الفوسفات (GAP) من مركب جليسيريت-3 فوسفات (GP) بوصفه منتجاً نهائياً، وإعادة بناء مركب خماسي الكربون ريبولوز ثنائي الفوسفات في دورة كالفن (إن تفاصيل المركبات الوسيطة غير مطلوبة).

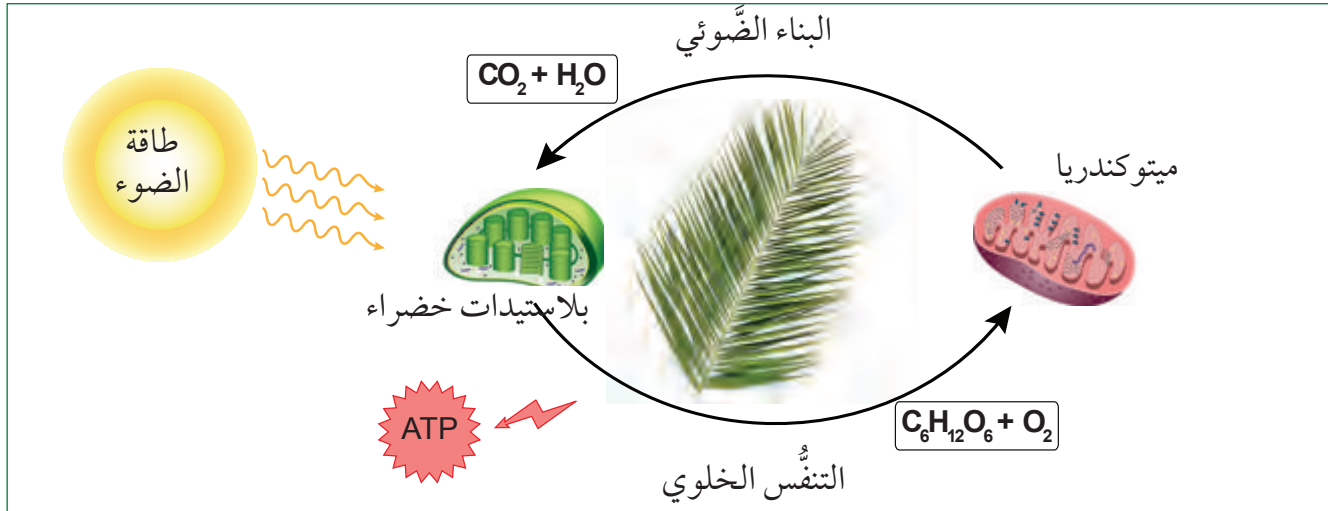
المضردات



Mesophyll	النسيج المتوسط
التفاعلات الضوئية (التفاعلات المعتمدة على الضوء)	
Light-dependent reactions	(الضوء)
التفاعلات اللاضوئية (التفاعلات غير المعتمدة على الضوء)	
Light-independent reactions	(الضوء)
معقد النظام الضوئي فائق التركيب	
Photosystem supercomplex	
Light-harvesting complex	معقد المستقبل الضوئي
Reaction-center complex	معقد مركز التفاعل
photosystem I	النظام الضوئي الأول
Photosystem II	النظام الضوئي الثاني
photophosphorylation	الفسفرة الضوئية
فوسفات ثنائي نيكليوتيد وأמיד النيكوتين / فوسفات ثنائي نيكليوتيد الأدينين وأמיד النيكوتين المختزل	
NADP+ / NADPH	
Calvin cycle	دورة كالفن
ريبولوز ثنائي الفوسفات	
Ribulose biphosphate (RuBP)	
إنزيم ريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيليز RuBisCo	
حمض الجليسيرين أحادي الفوسفات	
Phosphoglyceric acid (PGA)	
C3 plant	نبات ثلاثي الكربون
C4 plant	نبات رباعي الكربون

البناء الضّوئي والتنفس الخلوي في النباتات

البناء الضّوئي هو عملية تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كيميائية وتخزينها، وفيه تستخدم الخلايا النباتية ثاني أكسيد الكربون بوصفه مصدرًا لذرات الكربون، والكثير من الماء. ويتم تخزين الطاقة بشكل طاقة كامنة في ATP أو الجلوكوز، الذي يُستخدم لاحقًا في عمليات الخلية وفي التنفس الخلوي (الشكل 5-17). يستخدم الجلوكوز كمصدر للطاقة، كما يستخدم أيضًا كمونومر تبني منه النباتات بوليمرات أكبر، مثل النشا والسليلوز.

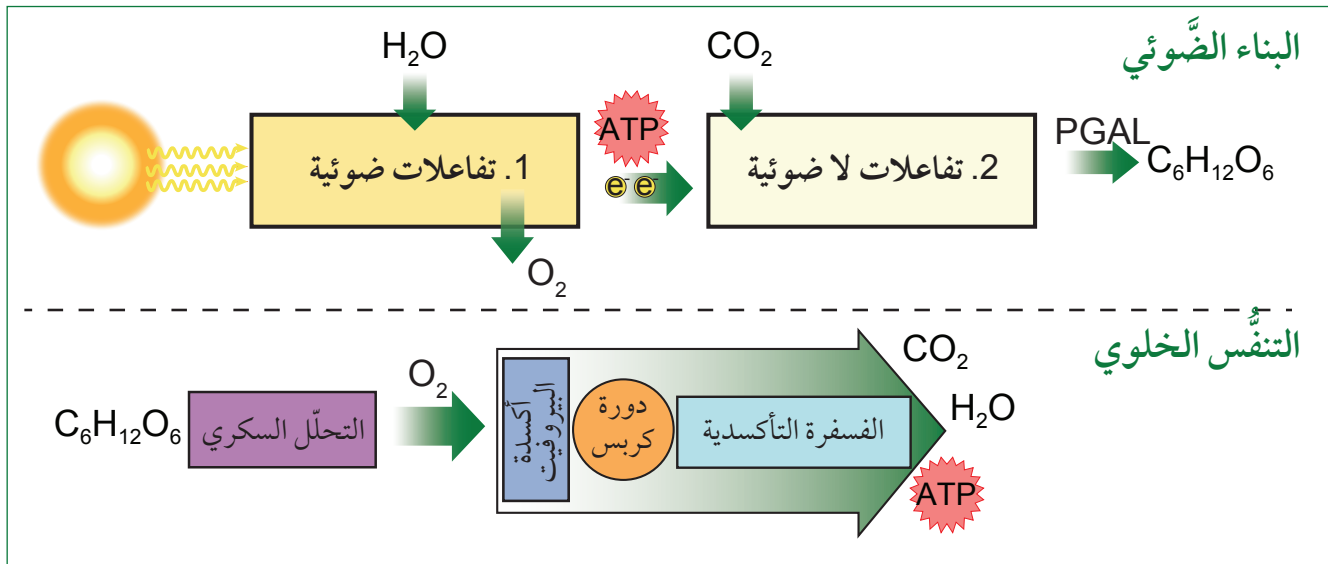


شكل 5-17 تقوم النباتات بالبناء الضّوئي والتنفس الخلوي.

تتضمّن عمليات الأيض في النباتات البناء الضّوئي والتنفس الخلوي.



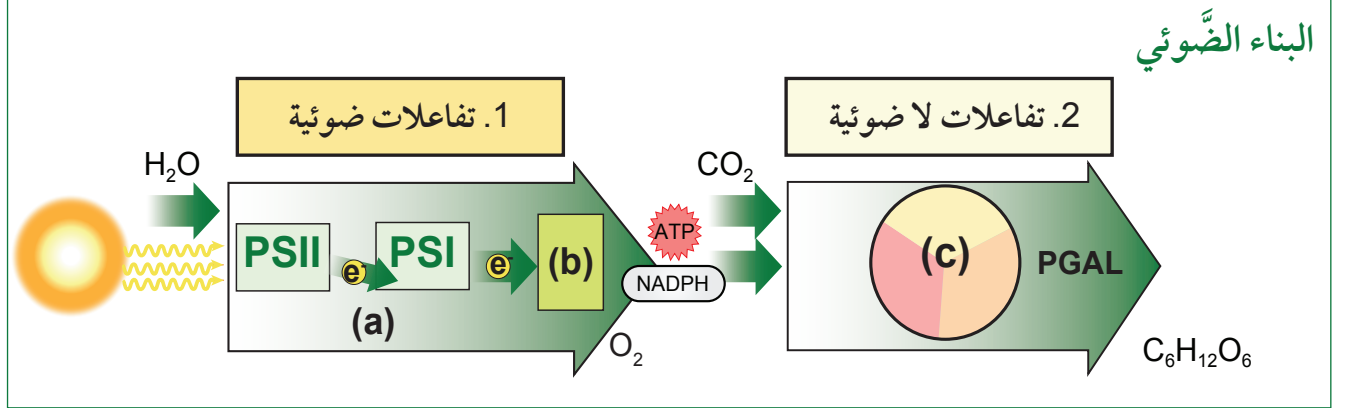
تتضمّن عمليات الأيض، في النباتات التي تعيش على اليابسة، تفاعلات البناء الضّوئي البنائية، وتفاعلات التنفس الخلوي الهدمية (الشكل 5-18). ويتضمّن التنفس الخلوي العديد من التفاعلات والمسارات وبالمقابل فإن البناء الضّوئي يتكوّن من خطوات كثيرة.



شكل 5-18 البناء الضّوئي والتنفس الخلوي كلاهما عمليتان معقدتان تتكوّنان من خطوات كثيرة.

تحدث عملية البناء الضوئي في مرحلتين

ذكرنا من قبل أن البناء الضوئي عملية تتكوّن من مرحلتين. المرحلة الأولى تُسمّى **التفاعلات الضوئية** (التفاعلات المعتمدة على الضوء) **Light-dependent reactions**، وهي تحوّل طاقة ضوء الشمس إلى طاقة كيميائية تُخزّن في ATP و NADPH. أما المرحلة الثانية فتستخدم فيها **التفاعلات اللاضوئية** (التفاعلات غير المعتمدة على الضوء) **Light-independent reactions** الطاقة الكيميائية لصنع جزيئات حيوية يمكن تجميعها بسرعة لتكوين الجلوكوز.



شكل 19-5 تستخدم التفاعلات الضوئية ضوء الشمس من أجل (a) تجزئة الماء ونقل الإلكترونات إلى NADP⁺ و (b) بناء ATP وإرساله إلى التفاعلات اللاضوئية، حيث يُثبّت CO₂ خلال (c) إنتاج السكريات.

سُمّيت التفاعلات الضوئية بهذا الاسم، لأنها تعتمد على الضوء لاستمرار حدوثها. ففي الشكل 19-5a، يتم التقاط أشعة الشمس لتكوين ATP و يتفكّك الماء؛ فينتقل غاز الأكسجين (O₂). وفي الشكل 19-5b، تُنتج التفاعلات ناقلات الإلكترون اللازمة للمرحلة 2. وعند مستويات الإضاءة المنخفضة أو في الليل، يتوقف نقل الإلكترونات إلى المرحلة 2.

خلال التفاعلات الضوئية، يلتقط الكلوروفيل الفوتونات، و يتفكّك الماء،
ويُنتج ATP.



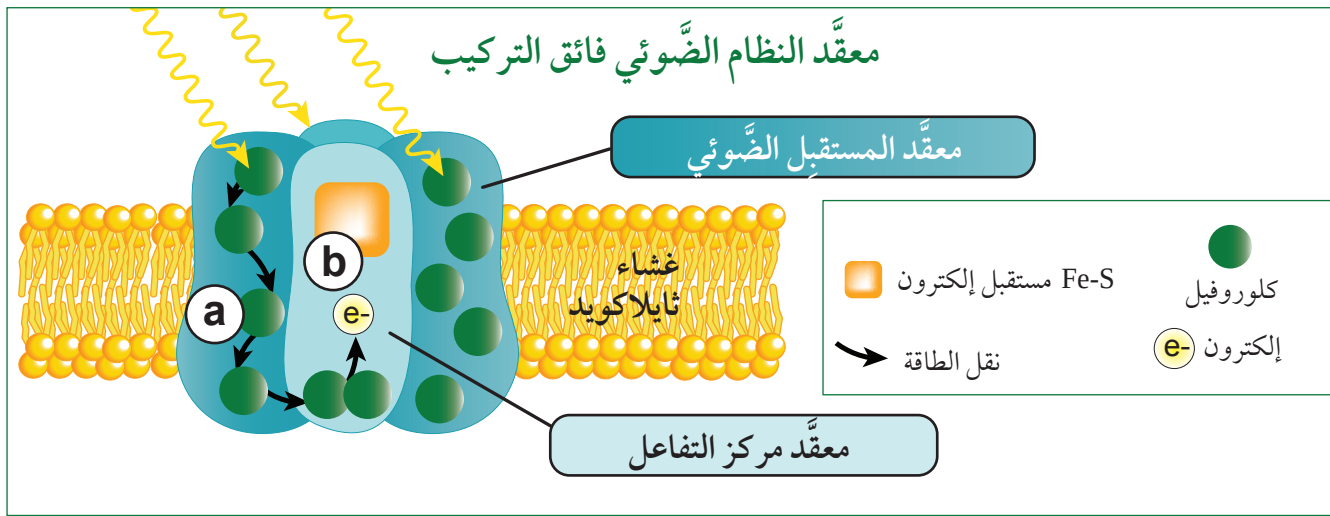
في المرحلة 2، تستخدم التفاعلات اللاضوئية ATP الذي أُنتج في المرحلة 1، لتثبيت الكربون من (CO₂)، فينتج سكر ثلاثي الكربون صغير يُسمّى **جليسير ألدهيد أحادي الفوسفات glyceraldehyde-3-phosphate (PGAL)** كما هو مبين في الشكل 19-5. PGAL هو السكر الثلاثي الكربون نفسه الذي ينتج عندما تتم تجزئة الجلوكوز إلى نصفين أثناء التحلّل السكري في التنفس الخلوي. وخلال المرحلة 2، تتأكسد العوامل المساعدة NADPH لإنتاج PGAL الذي يُطلق بعض منه، ويستخدم بعضه الآخر لتجديد مُركّب يُسمّى **الريبولوز الثنائي الفوسفات Ribulose bis-phosphate (RuBP)**.

تثبّت التفاعلات اللاضوئية الكربون، وتختزل PGA إلى PGAL، وتستعمل
بعضه لتجديد RuBP.



الأنظمة الضّوئية

تحدث التفاعلات الضّوئية ضمن مُعقدّات بروتينية منغرسَة في أغشية الثايلاكويد في ترتيب يُسمّى **مُعقدّ النظام الضّوئي فائق التركيب Photosystem super complex** (الشكل 20-5). ويتكوّن مُعقدّ النظام الضّوئي فائق التركيب من منطقتي مُعقدّ بروتيني: **مُعقدّ المستقبل الضّوئي Light-harvesting complex** (الشكل a20-5)، و**مُعقدّ مركز التفاعل Reaction-center complex** (الشكل b20-5). ويحيط كثير من مُعقدّات المستقبل الضّوئي بمُعقدّ مركز تفاعل واحد. ويمكن أن تحتوي مُعقدّات المستقبل الضّوئي على عدد من جزيئات الكلوروفيل يراوح بين 40 - 100، في حين يتكوّن مُعقدّ مركز التفاعل من جزيئي كلوروفيل خاصين ومستقبل للإلكترونات.



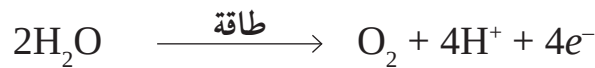
1. شكل 20-5 يوجد في مُعقدّ النظام الضّوئي فائق التركيب كثير من مُعقدّات المستقبل الضّوئي، (a) مع جزيئات الكلوروفيل التي تنقل الإلكترونات إلى مُعقدّ مركز تفاعل واحد، (b) يحتوي على مستقبلات الإلكترون (Fe-S).

1. تمتص جزيئات الكلوروفيل في النظام الضّوئي الطاقة الضّوئية.

2. تُنقل الطاقة إلى زوج خاصّ من جزيئات الكلوروفيل في مُعقدّ مركز التفاعل.

3. تُستخدم الطاقة من زوج جزيئات الكلوروفيل داخل كل مُعقدّ مركز تفاعل؛ لسحب الإلكترونات الناتجة من تحليل الماء، ونقلها إلى جزيء مستقبل لها يحتوي على الحديد (Fe) والكبريت (S).

تنقل المئات من جزيئات الكلوروفيل في كل نظام ضّوئي الطاقة إلى مركز التفاعل. وهذا يدفع إلى تفكّك جزيئات الماء، وإطلاق الأكسجين والأيونات H^+ والإلكترونات.



النواتج الأساسية من التفاعلات الضّوئية، هي:

- الإلكترونات التي تُستخدم لاختزال $NADP^+$ إلى $NADPH$.

- أيونات H^+ التي تحفّز بناء ATP عبر غشاء الثايلاكويد.

- الأكسجين الجزيئي الذي يُطلق إلى الجو.

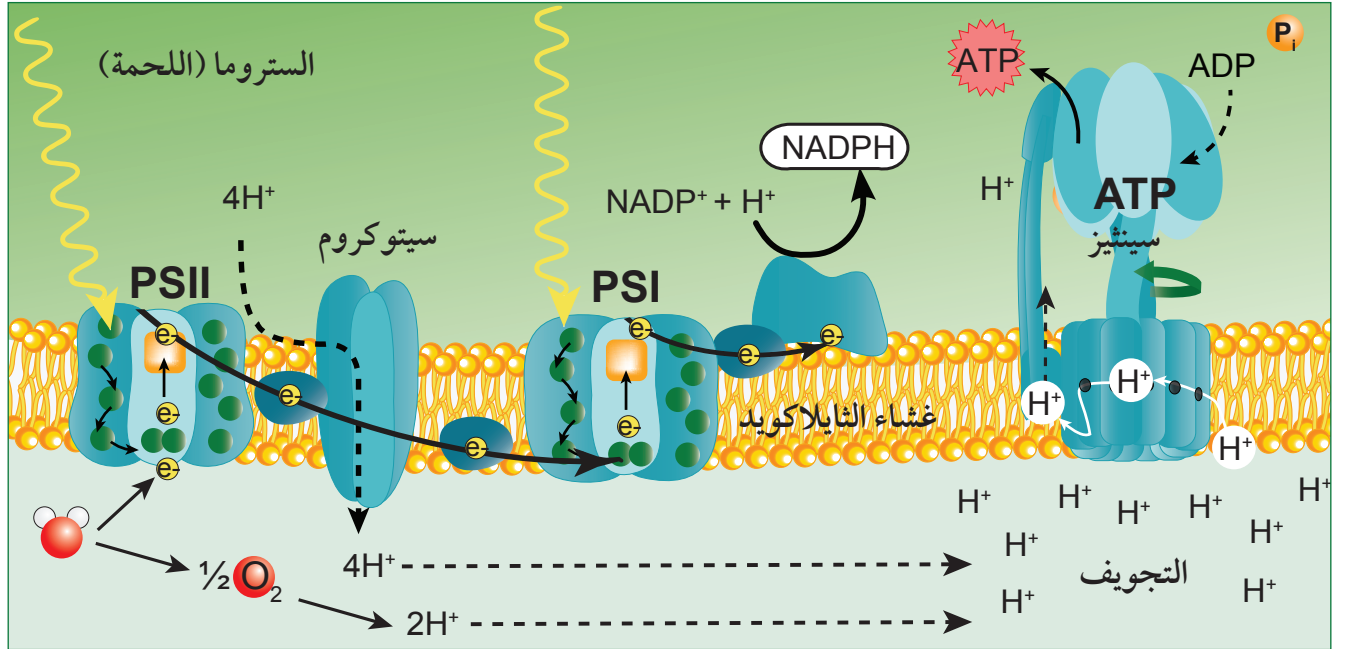
الفسفرة الحلقية واللاحقة

يتكوّن ATP الناتج من عملية البناء الضوئي، بنوع من الفسفرة يستخدم الطاقة الضوئية لتحويل ADP إلى P_i و ATP. ويمكن أن يحدث ذلك بطريقتين، هما:

1. تدفق للاحقة للإلكترونات عبر نظامين ضوئيين، PSI الذي يمتص الطول الموجي (700 nm (P700)، والنظام الضوئي الثاني الذي يمتص الطول الموجي (680 nm (P680، يُنتج ATP و NADPH.
2. تدفق حلقي للإلكترونات من خلال نظام ضوئي واحد فقط يُنتج ATP فقط من دون NADPH.

فسفرة التدفق اللاحقة

يوجد نوعان من مُعقّلات النظام الضوئي، هما: النظام الضوئي الأول (PSI) **Photosystem I**، والنظام الضوئي الثاني (PSII) **Photosystem II**. تبدأ عملية البناء الضوئي عندما يتم امتصاص الضوء بواسطة PSII، فنشط الإلكترونات في الكلوروفيل (الشكل 5-21).

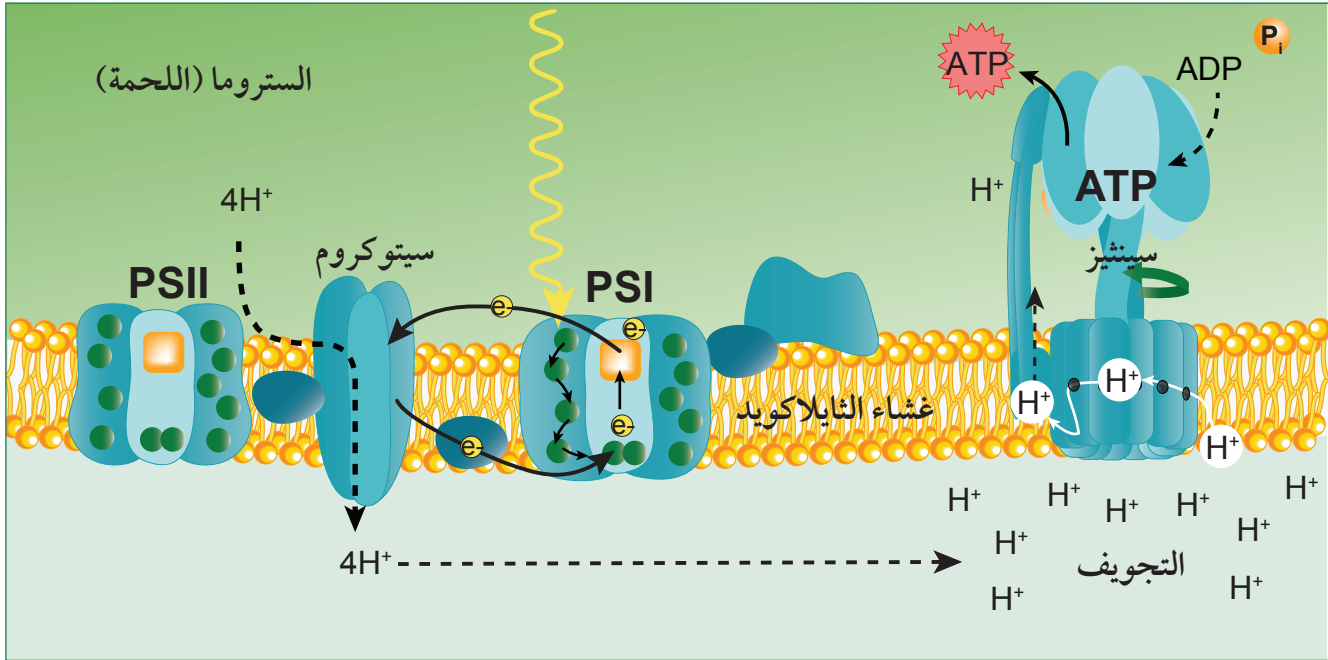


شكل 5-21 عملية فسفرة التدفق اللاحقة للإلكترونات.

1. يستخدم PSII الإلكترونات النشطة في عمليتين، هما: شطر جزيء الماء لإطلاق الأكسجين، وإرسال اثنين من أيونات H^+ إلى التجويف الداخلي لتحفيز ATP سينثيز. ويتم نقل الإلكترون إلى السيتوكروم، حيث تضخ طاقته 4 أيونات H^+ إضافية من الستروما إلى التجويف.
2. تقوم سلسلة نقل الإلكترون بنقل الإلكترون إلى PSI، حيث يحصل على مزيد من طاقة الضوء. وتستخدم طاقة الإلكترون هذه لاختزال $NADP^+$ إلى NADPH.
3. تحدث الفسفرة الضوئية عند ATP سينثيز، مدفوعاً بمنحدر تركيز H^+ بين التجويف والستروما.

فسفرة التدفق الحلقّي

يبدأ مسار التدفق الحلقّي بإلكترون تم نقله عبر سلسلة نقل الإلكترون من PSI (الشكل 22-5).



شكل 22-5 فسفرة التدفق الحلقّي للإلكترون.

1. تقوم جزيئات الكلوروفيل في النظام الضوئي الأول بامتصاص الضوء مما يؤدي إلى تنشيط الإلكترونات في مركز التفاعل.
 2. يلتقط المستقبل الأولي للإلكترونات (primary electron acceptor) الإلكترونات ويمررها إلى سلسلة نقل الإلكترون على غشاء الثايلاكويد.
 3. يفقد الإلكترون طاقته أثناء حركته عبر سلسلة نقل الإلكترون. تستخدم الطاقة المفقودة في ضخ البروتونات من الستروما إلى تجويف الثايلاكويد مما يؤدي إلى تكوين فرق في تركيز البروتونات على جانبي غشاء الثايلاكويد.
 4. تعود البروتونات مع فرق تركيزها إلى الستروما عبر إنزيم بناء ATP (ATP سينثيز).
 5. يستخدم إنزيم بناء ATP طاقة البروتونات في ربط ADP مع P_i لتكوين ATP.
 6. تعود الإلكترونات إلى النظام الضوئي الأول الذي غادرت منه.
- لا يستخدم معقد PSII في العملية الحلقية لأن الإلكترون يمكنه الدوران بين PSI وسلسلة نقل الإلكترون مع كل دفعة طاقة من الضوء الممتص. لاحظ أن البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا تكون ATP عبر نفس الآلية - استخدام منحدر البروتونات وإنزيم ATP سينثيز.

الخطوات الثلاث لدورة كالفن

بمجرد أن يلتقط النبات الطاقة الضوئية ، فإنه يدخل المرحلة 2 أو **دورة كالفن Calvin cycle** ، وهي سلسلة من تفاعلات لا ضوئية (غير معتمدة على الضوء) تحدث في ستروما البلاستيدات الخضراء. تحصل دورة Calvin على الطاقة التي التُقطت خلال المرحلة الأولى لتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى جليسر ألدهيد أحادي الفوسفات (PGAL) الذي يمكن استخدامه في صنع الجلوكوز لتنفس النبات.

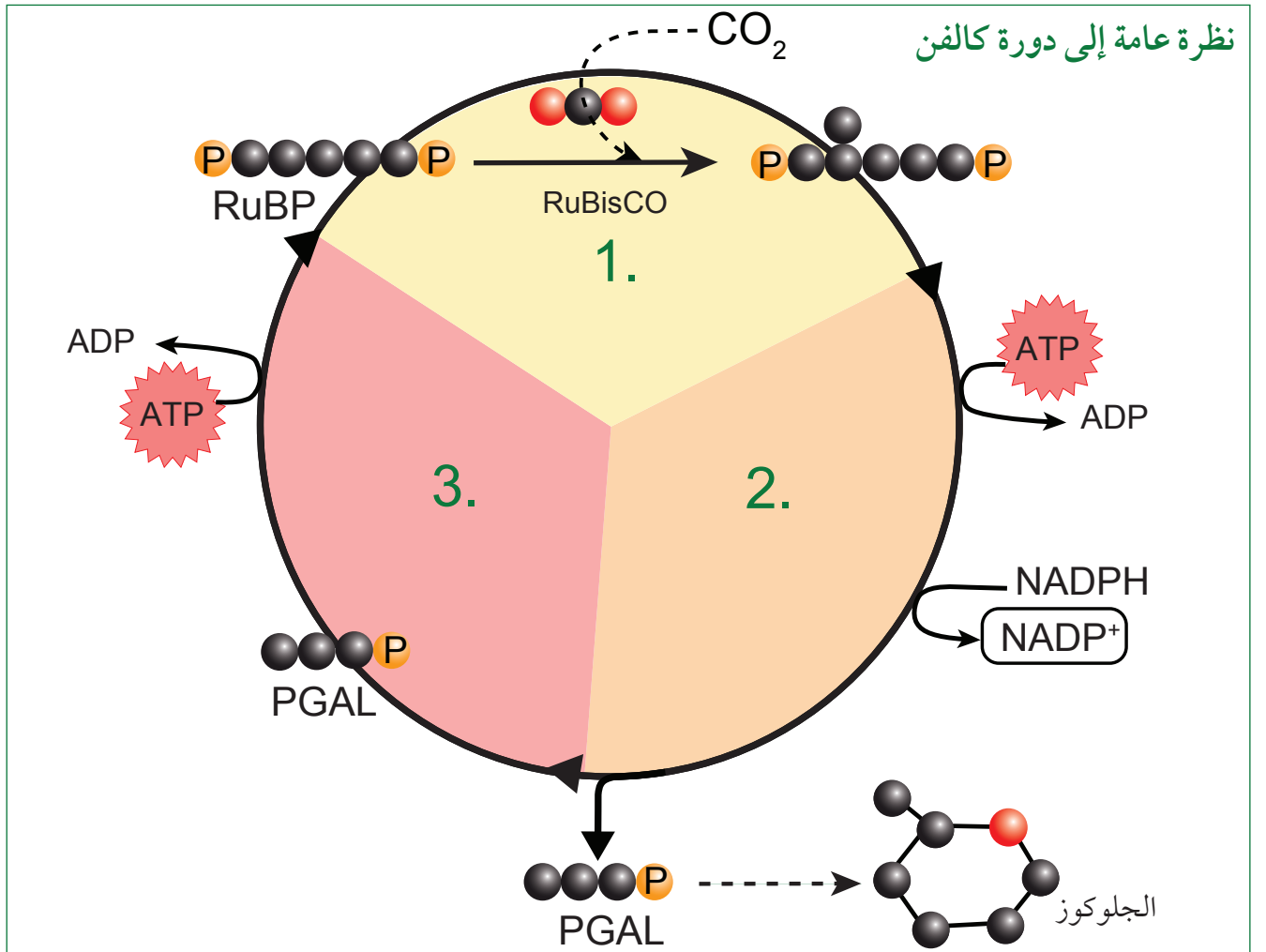
تصنع دورة كالفن مركب PGAL من مركب يعرف باسم **رايبولوز ثنائي الفوسفات Ribulose biphosphate (RuBP)** ، باستخدام إنزيم روبيسكو RuBisCo. وتتكوّن دورة كالفن من ثلاث خطوات قصيرة تم ترميزها بالألوان في (الشكل 23-5)، هي:

1. تثبيت الكربون

2. الاختزال

3. التجديد

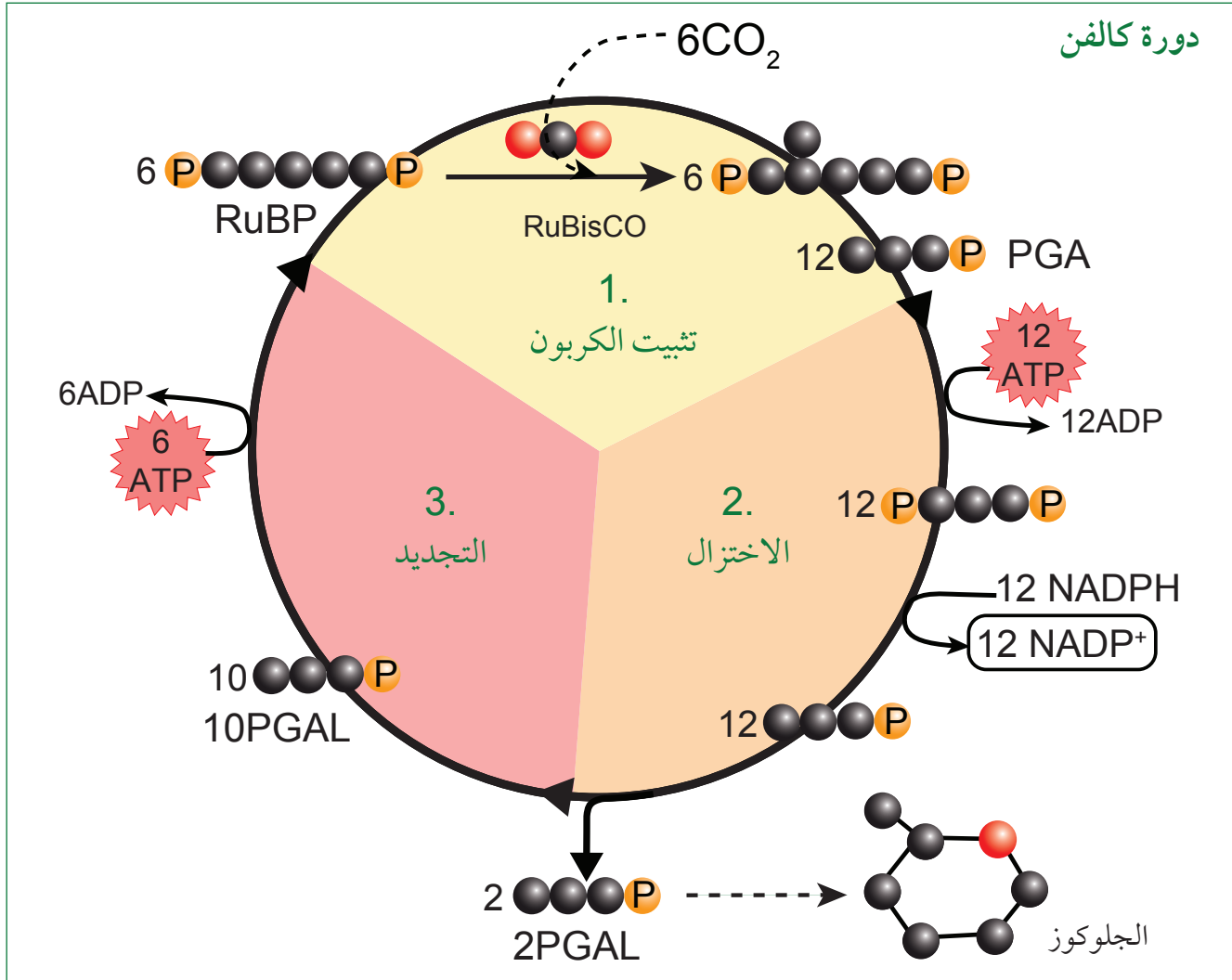
ويتحوّل PGAL في خطوة منفصلة إلى سُكَّر أو نشا.



شكل 23-5 تعتمد دورة كالفن ثلاث خطوات لتثبيت الكربون وإنتاج جليسر ألدهيد أحادي الفوسفات (PGAL).

تستهلك دورة كالفن CO_2 لإنتاج PGAL

تعتقد للوهلة الأولى أن دورة كالفن تعمل بطريقة دورة كربس نفسها. لكن دورة كالفن هي مسار بنائي لإنتاج مركّبات الكربون، في حين أن دورة كربس هي مسار هدمي، تُحلّل فيه المركّبات.



1. شكل 24-5 تستهلك دورة كالفن ثاني أكسيد الكربون و ATP لإنتاج PGAL. وتدور الدورة مرتين لإكمال إنتاج جُزيء الجلوكوز نظراً لتثبيت ثلاثة جزيئات CO_2 في كل دورة.

وقد رُقمت كل خطوة أدناه من دورة Calvin لتتناسب مع الشكل 24-5.

1. يحفّز الإنزيم RuBisCO التفاعل بين CO_2 و RuBP، لتكوين مركّب سداسي الكربون غير مستقر؛ فينشطر بسرعة إلى 2PGA.

2. يوفر ATP القادم من التفاعلات الضوئية الطاقة والفوسفات لإنتاج PGAL، بعد أن يختزل PGA.

3. تُترك بعض جُزيئات PGAL الدورة لتتحوّل إلى جلوكوز. وفي الخطوة نفسها، يستخدم PGAL المتبقّي ATP لتجديد RuBP اللازم لبدء الدورة مرة أخرى.

تبيّن الحسابات أن (6) جُزيئات من ثاني أكسيد الكربون تستخدم (18) ATP و (12) NADPH لإنتاج جُزيء واحد من الجلوكوز.



دراسة دورة كالفن

2-5

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن أن ندرس دورة كالفن؟
المواد المطلوبة	قلم رصاص، أقلام ملونة أو بطاقات مراجعة من قياس A6 أو قوالب رقمية، مقصّات، شريط لاصق، ورق ملصق حائط، أقلام تعليم، لوازم فنية أو برمجيات عرض مثل باور بوينت PowerPoint™.

الخطوات

1. يبدأ هذا المشروع المكوّن من جزئين بعمل فردي، وينتهي بعمل جماعي.
2. تقوم أولاً بإعداد سلسلة من بطاقات المراجعة بالعناوين الآتية:
 - a. تركيب البلاستيدات الخضراء.
 - b. تفاعلات ضوئية مع PS I و PS II.
 - c. ملخص التفاعلات اللاضوئية.
 - d. ملخص حلقة كالفن.
 - e. تثبيت الكربون في حلقة كالفن.
 - f. الاختزال في دورة كالفن.
 - g. التجديد في دورة كالفن.
3. عند الانتهاء، تبادل البطاقات الخاصة بك مع زميلك. فقد تتعلم حقيقة جديدة، أو تعرّف معلومة غابت عنك.
4. استخدم بمشاركة زميلك، بطاقات مراجعة حلقة كالفن فقط لصنع ملصق، أو إعداد ملصق رقمي باستخدام برنامج عرض تقديمي وقالب لوحة حائط. يجب أن يُسلسل الملصق الخاص بك جميع الخطوات، والمواد المتفاعلة، والمواد الناتجة في حلقة كالفن.
5. قدّم مشروعك إلى المعلم. ستُكلّف أنت وزميلك في الفريق تقديم الملصق الخاص بك، أو عرضه في غرفة الصف.

أسئلة ينبغي أن يجيب عنها مشروعك

- a. أين تحدث هذه التفاعلات بالتحديد؟
 - التفاعلات الضوئية.
 - التفاعلات اللاضوئية.
- b. أعدّ جدولاً يتضمّن المواد الأولية، والعوامل المساعدة المهمة، و المواد الوسيطة، والمواد الناتجة والنهائية في دورة كالفن.
- c. أين يذهب كل مُنتج من منتجات حلقة كالفن؟

ملخص سريع لعملية البناء الضّوئي

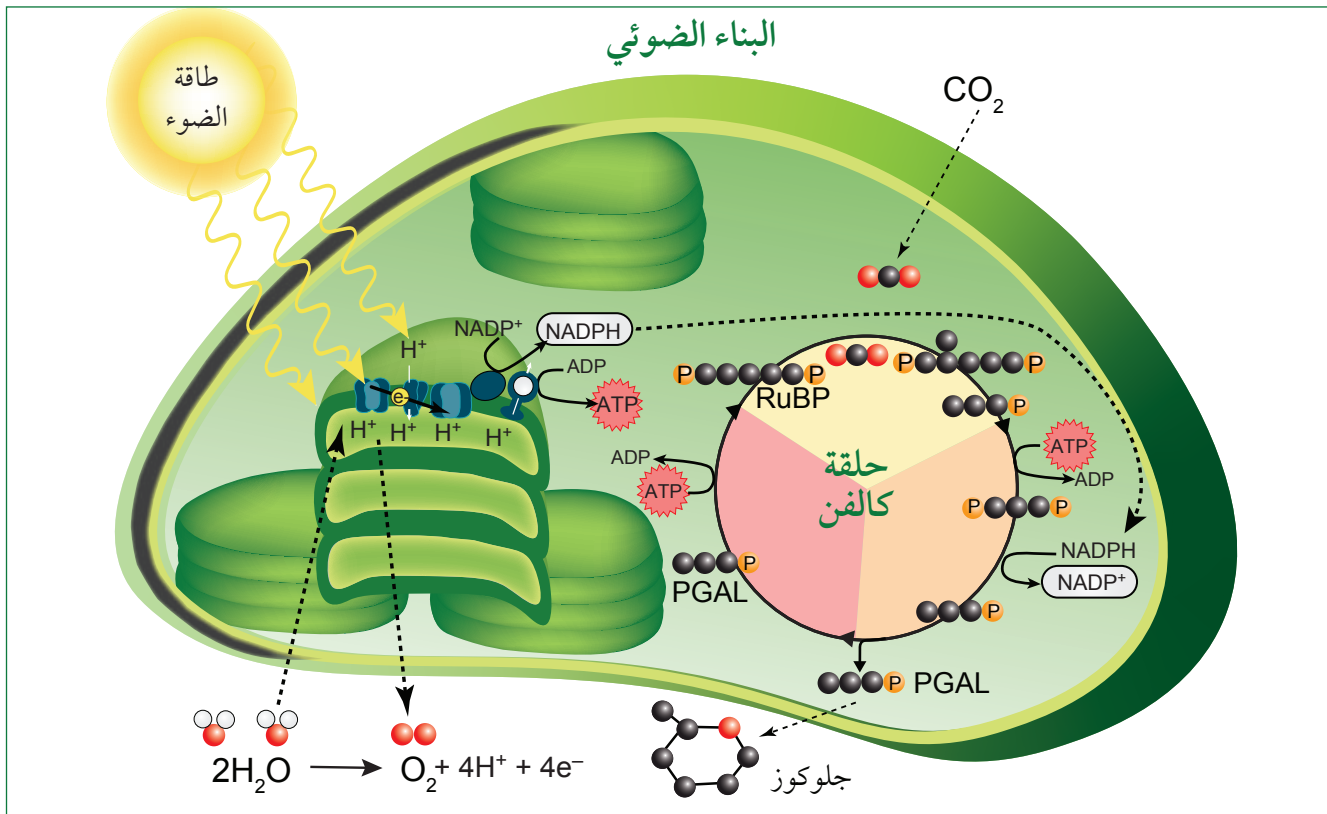
يلخص الشكل 25-5 كلتا المرحلتين. ففي المرحلة الأولى، وهي التفاعلات الضّوئية:

- ينشّط الضوء الذي يمتصّه الكلوروفيل الإلكترونات التي يوفرّها الماء.
- تنتقل الإلكترونات عبر PS II إلى PS I، ليتمّ تزويد دورة كالفن بكلّ من NADPH و ATP.
- وفي المرحلة الثانية، التي تُسمّى التفاعلات اللاضوئية:

- يقوم RuBisCO بتحفيز RuBP، فيتحد مع ثاني أكسيد الكربون لإنتاج PGA في خطوة تثبيت الكربون.
- يوفرّ ATP الطاقة اللازمة لاختزال PGA إلى PGAL في الخطوة 2، ويفقد NADPH إلكترونين ليوفرّ NADP^+ مرة أخرى في الستروما.
- يخرج بعض PGAL من الدورة لإنتاج الجلوكوز، ويجدّد الباقي RuBP.

الجدول 2-5 ملخص البناء الضّوئي لجُزئي واحد من الجلوكوز.

		H_2O	CO_2	O_2	ATP	NADPH	PGAL
تفاعلات ضوئية	مواد داخلة	12					
	مواد ناتجة		6		18	12	
تفاعلات لا ضوئية (دورة كالفن)	مواد داخلة		6		18	12	
	مواد ناتجة						2



شكل 25-5 ملخص البناء الضّوئي.

نباتات C3 ونباتات C4

توجد ظروف قاسية في الصحاري، وتوجد فضلاً عن ذلك، مناطق يحدث فيها تنافس على أشعة الشمس والموارد. وهذا يتطلب وجود مسار أيض مختلف في بعض النباتات التي تعيش على اليابسة. تُعرف معظم النباتات البرية على أنها نباتات بناء ضوئي ثلاثي الكربون C3؛ لأنها تنتج مركباً ثلاثي الكربون يُسمى PGA، بوصفه خطوة أولى في حلقة كالفن. تشكّل النباتات، التي تقوم بالبناء الضوئي الرباعي الكربون C4، مجموعة فريدة من نوعها. إذ تقوم بتثبيت ثاني أكسيد الكربون في وسيط أول، هو مركب كربوني رباعي، لتوفير المياه، وجمع غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. ومن الأمثلة على نباتات C4: الأناناس والذرة وقصب السكر والذرة الرفيعة (الشكل 5-26).



شكل 5-26 الذرة الرفيعة، نبات يقوم بالبناء الضوئي الرباعي الكربون C4، ويستخدم في تغذية الماشية.



شكل 5-27 تركيب ورقة نبات C3 وورقة C4.

عندما ترتفع درجات الحرارة وتكون أشعة الشمس شديدة، تُغلق الثغور لمنع فقدان الماء، على الرغم من أن النباتات تحتاج إلى ثاني أكسيد الكربون، ويجب أن تطلق غاز الأكسجين بوصفه فضلات. وبالنظر إلى أن المزيد من الأكسجين يذوب في سيتوسول الخلية عند درجات حرارة أعلى، فقد طوّرت نباتات C4 تركيب أوراقها بشكل مختلف قليلاً. يُثبت ثاني أكسيد الكربون (CO_2) أولاً في مركب رباعي الكربون، ثم يُطلق عندما يتم تكسير هذا المركب نفسه، ويُخزن مؤقتاً. تحدث هذه العملية في خلايا معدلة تحيط بالحزم الوعائية في النسيج المتوسط (الشكل 5-27). ومن الجدير بالذكر أن ثايلاكويد النبات C4 ليس لديه PSI.

تخفض نباتات C4 تبادل الغازات، وتحسّن إنتاج السكر. وبحسب أحد التقديرات، فإن نباتات C4 مسؤولة عن 25 % من كل عمليات البناء الضوئي على الأرض، ولكنها تمثل أقل من 3 % من النباتات الزهرية.

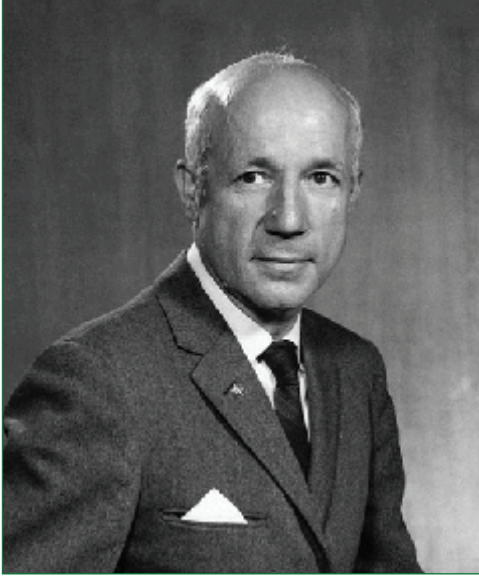
بالنظر إلى ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون بسبب تغيّر المناخ، يبحث العلماء في طرق بديلة لإنتاج الغذاء في المناخات الحارة والجافة. وبالنظر إلى مساحة الأراضي المتاحة للزراعة، وزيادة حاجة المحاصيل إلى المياه والطاقة، يُفترض تنفيذ استثمار أكبر في زراعة نباتات الأرز والقمح والذرة وحصادها.

سؤال للمناقشة

استخدم الإنترنت للبحث حول نباتات CAM، وأين تعيش. وهل يستطيع أيّ نبات تحمّل درجات حرارة ومستويات عالية من ثاني أكسيد الكربون CO_2 ؟

1. هناك بوليمران من الجلوكوز تنتجهما النباتات، ما هما؟ وما وظيفة كل منهما؟ 
2. ارسم مقطعاً عرضياً لورقة نبات ، وحدد أجزاءها ومواقعها على الرسم، مستخدماً الأسهم لتوضيح ما يأتي: 
 - a. موقع حدوث البناء الضوئي.
 - b. موقع تبادل الغازات.
 - c. مواقع انتقال الماء والسكر.
3. لماذا تُفسّر التفاعلات الضوئية والتفاعلات اللاضوئية على أنّهما مرحلتان مختلفتان من عملية البناء الضوئي؟ وضح إجابتك. 
4. كيف تختلف عمليتا التنفس والبناء الضوئي عند النباتات التي تعيش على اليابسة عن الآتية: 
 - a. كائنات حية غير ذاتية التغذية.
 - b. كائنات حية أخرى ذاتية التغذية، مثل البكتيريا، وبعض الطلائعيات والطحالب.
5. ما هو RuBisCO؟ وما وظيفته في عملية البناء الضوئي؟ 
6. في كل خطوة من الخطوات الثلاث لدورة كالفن، احسب عدد كل الجزيئات التي تدخل وتخرج عند استعمال الدورة لجزيء واحد من ثاني أكسيد الكربون. 
- صنّف كل عنصر من العناصر المذكورة بوصفه جزءاً مما يأتي: (a) التفاعلات الضوئية أو (b) التفاعلات غير الضوئية، ثم بوصفه جزءاً من: (c) دورة كالفن (d) نظام ضوئي (e) الفسفرة الضوئية. 
7. PGA
8. ATP سينثيز.
9. ينقل معقد المستقبل الضوئي الإلكترونات.
10. RuBP
11. إطلاق ATP.
12. انشطار الماء .
13. تكوّن NADPH.
14. استهلاك CO_2 .
15. وضح الفرق بين نباتات C3 ونباتات C4، وأعطِ ثلاثة أمثلة على كلٍّ منها. 

ملفين كالفن (1911-1987)



شكل 28-5 الكيميائي ملفين كالفن.

ولد ملفين كالفن في سانت بول بولاية مينسوتا، وهو ابن إلياس وروز كالفين (الشكل 28-5). انتقلت عائلة كالفن، وهو صغير، إلى ديترويت، حيث تخرج في المدرسة الثانوية المركزية عام 1928. حصل كالفن على درجة البكالوريوس في العلوم من كلية ميشيغان للتعليم والتكنولوجيا عام 1931، وعلى شهادة الدكتوراه في الكيمياء من جامعة مينسوتا عام 1935. وانضمَّ عام 1937 إلى هيئة التدريس في جامعة كاليفورنيا، بيركلي، ثم تمت ترقيته إلى رتبة بروفيسور في الكيمياء.

تتبع زميلاه أندرو بينسون وجيمس باشام الكربون في نبات أثناء عملية البناء الضوئي باستخدام نظير الكربون

C-14 كعنصر مشع يمكن تتبعه. وأظهروا كيف يعمل ضوء الشمس على الكلوروفيل لتوفير الطاقة اللازمة لإنتاج الكربوهيدرات، وليس على ثاني أكسيد الكربون كما كان يُعتقد سابقاً. ويُطلق حالياً على سلسلة تفاعلات الأكسدة والاختزال الكيميائية الحيوية التي تحدث في ستروما (لحمة) البلاستيدات الخضراء اسم دورة كالفن.

تستخدم تقنية النظير المشع الذي يمكن تتبعه إلى حقيقة أن C-14 مماثل لـ C-12 و C-13 غير المشع. عندما يضمحل C-14 إلى N-14 ينطلق إلكترون (أشعة بيتا). الإلكترون عالي الطاقة يمكن تتبعه. فمثلاً، إنتاج PGAL بـ C-14 يسمح للباحثين باقتفاء المركبات التي استخدمت فيها ذرات الكربون عبر متابعة الإلكترون عالي الطاقة. تستخدم تقنية النظير الذي يمكن تتبعه حقول بحث بيولوجية متعددة لأنها تعمل داخل كائنات لا تزال حية.

تلقى كالفن وحده جائزة نوبل للكيمياء عام 1961، إلا أن كثيرين انتقدوه لعدم الاعتراف بمساهمات زميله أندرو بينسون وجيمس باشام. وكانت اهتمامات كالفن العلمية متنوعة. فقد درس استخدام النباتات المنتجة للزيوت في إنتاج الطاقة المتجددة، إضافة إلى أنه درس الكيمياء الجيولوجية العضوية، وتحليل صخور القمر، والمسرطنات الكيميائية، وكيمياء الدماغ.

الوحدة 5

مراجعة الوحدة

الدرس 5-1: تركيب البلاستيدة الخضراء ووظيفتها

- نباتات اليابسة، والعوالق النباتية، والطحالب كائنات ذاتية التغذية **Autotrophs** تقوم بتثبيت الكربون Carbon fixation لإنتاج السكريات اللازمة للتنفس الخلوي.
- تعتمد الكائنات ذاتية التغذية جميعاً على ضوء الشمس، وهو جزء من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يشمل الضوء المرئي، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة تحت الحمراء.
- تُعد بعض أنواع البكتيريا، وبعض الأوليات، والطحالب جميعها ذاتية التغذية، شأنها شأن النباتات؛ لأنها تحتوي على صبغات البناء الضوئي، مثل: الكلوروفيل، والكاروتينويدات **Carotenoids**، والفايكوبيلينات **Phycobilins** لامتصاص أطوال موجية معينة من ضوء الشمس.
- **البلاستيدات Plastids** تراكم تصنع وتخزن الصبغات في الكائنات الحقيقية النواة الذاتية التغذية، كـ بعض الطلائعيات، وجميع أنواع الطحالب والنباتات.
- **البلاستيدات البدائية Proplastids** بلاستيدات غير ناضجة، تنضج فيما بعد لتصبح بلاستيدات ملونة **Chromoplasts**، أو بلاستيدات خضراء، أو بلاستيدات بيضاء **Leukoplasts**، وكل نوع من أنواع هذه البلاستيدات مسؤول عن صبغات مختلفة.
- غالباً ما تحتوي نباتات اليابسة على **كلوروفيل أ و كلوروفيل ب Chlorophyll a and chlorophyll b** اللذين يعكسان الضوء الأخضر والأصفر، ويمتصان الضوء البنفسجي والأزرق والأحمر بأطوال موجية معينة.
- تعتمد كمية الصبغات الأخرى ولونها، مثل الكاروتين **Carotenes** والزانثوفيل **Xanthophylls**، والكلوروفيل **Chlorophyll ج** على نوع الكائن الحي، والهدف من وجود تلك الصبغات فيه.
- تماثل البلاستيدات الخضراء البكتيريا والميتوكوندريا؛ لأنها تحتوي على **DNA**، ويمكنها أن تنشطر انشطاراً ثنائياً، وتكون انشاءات غشائية داخلية أثناء تطورها، لتشكل حيزات داخلية مفصولة بأغشية بلازمية.
- تحتوي البلاستيدات الخضراء الموجودة في كل الكائنات الخضراء الذاتية التغذية على تراكم عدة مهمة لعملية البناء الضوئي: **الثايلاكويدات Thylakoids** التي تضم في داخلها تجويف وتكدس بعضها فوق بعض مشكلة الجرانم **Granum** التي تكون محاطة بسائل يملأ البلاستيدة، يسمى **الستروما (اللحمة) Stroma**.
- هناك العديد من الجرانما تملأ البلاستيدة الخضراء تدعمها الصفائح **Lamellae**.

الدرس 5-2: البناء الضوئي

- عملية البناء الضوئي التي تقوم بها نباتات اليابسة تحدث في **النسيج المتوسط Mesophyll** للورقة أو في نسيج الساق.
- تتم عملية تبادل غازي الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون وإطلاق بخار الماء من خلال فتحات على أسطح أوراق النبات، تُسمى **الثغور Stomata**.
- تقسم عملية البناء الضوئي إلى مرحلتين، هما: **التفاعلات المعتمدة على الضوء (التفاعلات الضوئية) Light-dependent reactions**، و**التفاعلات غير المعتمدة على الضوء (التفاعلات اللاضوئية) Light-independent reactions**.

الوحدة 5

مراجعة الوحدة

- لا يمكن أن تحدث التفاعلات الضوئية ما لم يمتص نظام ضوئي **Photosystem super complex** الضوء، ويتكوّن معقد النظام الضوئي من معقد مركز التفاعل **Reaction center complex** ومعقدات المستقبل الضوئي **Light harvesting complexes**، وتكون هذه المكونات بروتينية التركيب.
- تبدأ الأحداث في النظام الضوئي الثاني **Photosystem II (PSII)** عندما يصدم الضوء جزيء صبغة الكلوروفيل، ويثير إلكترونًا؛ فينتقل إلى جزيء صبغة آخر فتنتقل الطاقة.
- يتم تمرير الإلكترونات المثارة إلى مستقبل الإلكترون **Fe/S**، الذي يضخّ أيونات الهيدروجين (H^+) إلى التجويف، ليحدث منحدرًا في التركيز يحتاج إليه النظام الضوئي الأول **Photosystem I**.
- تتشابه الأحداث في **PSI** مع **PSII** ماعدا أن العامل المساعد **Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADPH)** يكون المستقبل الأخير للإلكترونات.
- الفسفرة الضوئية تشبه الفسفرة التأكسدية التي تحدث في الميتوكوندريا، والتي يعمل بها إنزيم **ATP سينثيز** على فسفرة **ADP**.
- يوجد مساران تحدث بواسطتهما الفسفرة في النباتات. في دورة الفسفرة اللاحقة **Linear phosphorylation** يستخدم كلا **PSI** و **PSII** ويتكون **ATP** و **NADPH**. بينما في الدورة الحلقية **Cyclic phosphorylation** يعمل **PSI** فقط ويتكون **ATP** فقط وليس **NADPH**.
- تستهلك تفاعلات دورة كالفن ناتجين من نواتج التفاعلات المعتمدة على الضوء، هما: **ATP** و **NADPH**. وتمر تفاعلات حلقة كالفن بثلاث خطوات، هي: مرحلة تثبيت الكربون **Carbon fixation**، ومرحلة الاختزال، ومرحلة التجديد.
- يتم في خطوة تثبيت الكربون، تثبيت ذرات الكربون من جزيئات (CO_2) بمساعدة إنزيم **روبيسكو RuBisCO**، في جزيئات ريبيلوز ثنائي الفوسفات (**RuBP**) ليتكوّن مركّب مؤقت يتحوّل بسرعة إلى **حمض الغليسرين المُفسفر Phosphoglyceric acid (PGA)**.
- في مرحلة الاختزال، تتم عملية اختزال حمض الغليسرين المُفسفر (**PGA**) إلى جليسير ألدهيد - 3 - فوسفات (**G3P**) or **PGAL** باستخدام الطاقة والفوسفات الناتجين من تحلل **ATP** والإلكترونات من **NADPH**.
- إذا دخلت 6 جزيئات من ثاني أكسيد الكربون إلى دورة كالفن، ينتج جزيئان من **PGAL** يخرجان من الدورة ويستخدمان في تصنيع جزيء جلوكوز، في حين تستمر 10 جزيئات **PGAL** في الدورة لإعادة بناء السكر الخماسي ريبيلوز ثنائي الفوسفات (**RuBP**) إذا توفر المزيد من **ATP**.
- إذا كانت النباتات تُنتج **PGA** من تفاعلات دورة كالفن، يُطلق عليها اسم **نباتات C3**؛ لأن الكربون يثبت في مركّب ثلاثي الكربون.
- النباتات التي تكيفت للعيش في البيئات الحارة والجافة والظروف القاسية تستطيع أن تحفظ CO_2 والماء بالجلوء إلى عملية أخرى ينتج منها مركّب رباعي الكربون؛ لذا يُطلق عليها اسم **نباتات C4**.

اختيار من متعدد

1. أي مما يأتي كائنات ذاتية التغذية؟ قد تكون أكثر من إجابة صحيحة.

a. البكتيريا الخضراء المزرقة.

b. الأعشاب البحرية.

c. المرجان.

d. قصب السكر.

2. مركبات الكربون التي تستخدمها النباتات لتخزين الطاقة الطويل الأمد، هي:

a. CO_2

b. PGA

c. PGAL

d. النشا

3. تحتاج عملية البناء الضوئي، فضلاً عن الضوء وجزيئات الصبغات، إلى:

a. الكربون والأكسجين.

b. ثاني أكسيد الكربون و PGAL.

c. الماء والجلوكوز.

d. الماء وثاني أكسيد الكربون.

4. نواتج التفاعلات اللاضوئية، هي:

a. ثاني أكسيد الكربون والجلوكوز.

b. $NADP^+$ و PGAL.

c. ATP و PGAL.

d. ضوء الشمس.

5. أي العبارات الآتية تصف بالشكل الأفضل الصبغات الموجودة في نباتات اليابسة:

a. نباتات اليابسة جميعها تحتوي على الكلوروفيل ج.

b. تحتوي نباتات اليابسة على صبغات عدة، بعضها للبناء الضوئي.

c. أوراق نباتات اليابسة فقط تحتوي على الكلوروفيل أ والكلوروفيل ب.

d. تحتوي نباتات اليابسة والطحالب على الصبغات نفسها، كما في الطحالب الحمراء والطحالب البنية.

6. أيّ العبارات الآتية صحيحة عن البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا؟

- a. كل منهما تنشط انشطاراً بسيطاً.
- b. كلاتهما موجودتان في النباتات.
- c. كلاتهما تنتجان ATP من خلال الأسموزية الكيميائية.
- d. كل ما ذكر.

7. لماذا تختفي ألوان الضوء كلما انتقلت مسافة أكبر في الماء الصافي؟

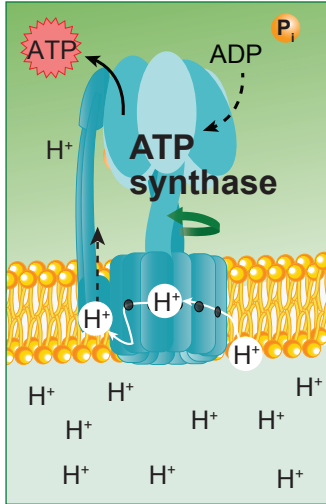
- a. الضوء المرئي لا يمكن أن ينتقل في الماء.
- b. يعكس الماء الضوء كله إلى السطح.
- c. كلما ازداد العمق في الماء الصافي فإن الانكسار يمنع انتقال الضوء كله.
- d. يشتت الماء الضوء، ثم يمتص طاقة ألوانه جميعها كلما ازداد العمق.

8. لون الضوء الأقل فائدة لعملية البناء الضوئي، هو:

- a. الأحمر
- b. الأزرق
- c. الأخضر
- d. البرتقالي

9. أيّ العبارات الآتية ليست صحيحة عن الشكل 29-5؟

- a. يصف الشكل عملية بناء ATP.
- b. تحدث هذه العملية في البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا.
- c. يوجد هذا التركيب في الميتوكوندريا ولا يوجد في البلاستيدات الخضراء.
- d. يتم الحصول على الطاقة اللازمة لإنتاج ATP من فرق تركيز أيونات الهيدروجين (H^+).



شكل 29-5

10. أيّ ممّا يأتي هو الخطوة الأولى في عملية البناء الضوئي؟

- a. تصنيع الماء من ATP.
- b. إنتاج غاز الأكسجين.
- c. تفكيك غاز ثاني أكسيد الكربون.
- d. امتصاص الصبغات للضوء.

11. لا يستخدم البناء الضوئي الأشعة تحت الحمراء لأنها:

- a. ذات طاقة عالية جدًا.
- b. ذات طاقة قليلة جدًا.
- c. لا تتوافر نهارًا.
- d. تُمتص بواسطة جو الأرض.

12. تثبيت الكربون هو:

- a. تحويل CO_2 إلى مُركَّب عضوي.
- b. استخدام إنزيم RuBisCO لتكوين PGA.
- c. إنتاج مركَّبات كربوهيدراتية من PGAL
- d. استخدام ATP و NADPH لاختزال CO_2

13. أيّ مما يأتي ليس موجودًا في النظام الضوئي لدى نباتات اليابسة؟

- a. مستقبل الإلكترونات Fe/S.
- b. ATP
- c. صبغات البناء الضوئي.
- d. الإلكترونات

14. أيّ من عمليات التنفس الخلوي الآتية هي الأكثر شبهًا بالفسفرة الضوئية؟

- a. دورة كريبس.
- b. التحلل السكري.
- c. الأسموزية الكيميائية.
- d. أكسدة البيروفيت.

15. أيّ المواد الآتية لا تنتج من التفاعلات اللاضوئية؟

- a. الماء
- b. ADP
- c. PGAL
- d. NADP^+

16. أيّ المواد الآتية تحفز تثبيت الكربون في دورة كالفن؟

- a. RUBP
- b. NADP^+
- c. NADPH
- d. RuBisCO

أسئلة الإجابات القصيرة

الدرس 5-1: تركيب البلاستيدة الخضراء ووظيفتها

17. لماذا تعتمد الحياة كلها في نهاية المطاف على ضوء الشمس والطاقة التي تثبتها الكائنات الذاتية التغذية في مركبات الكربون؟ وضح ذلك بفقرة مستشهداً فيها بأمثلة من هذه الوحدة، أو وحدة سابقة.

18. اذكر ثلاثة أوجه شبه وثلاثة أوجه اختلاف بين البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا.

19. ما العلاقة بين مصطلحي «الصبغة» و«الكلوروفيل»؟

20. يبين الشكل 30-5 امتصاص صبغتي كلوروفيل صناعيتين مفترضتين للضوء.

a. أيهما تمتص طاقة أكبر من الضوء؟ وضح إجابتك.

b. صف لون أوراق النبات التي تستخدم هذا الكلوروفيل.

c. برأيك، كيف يحافظ نبات يعيش في صحراء حارة ويتضمن كلا a و b، على حياته.

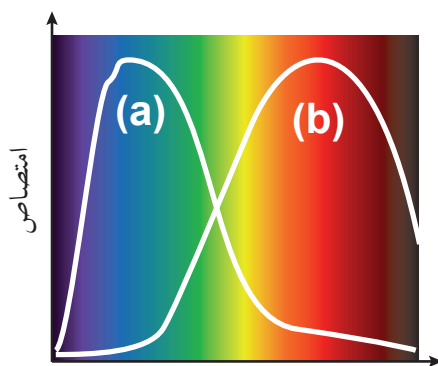
21. اذكر لون الضوء الذي سينعكس بفعل كل صبغة من الصبغات أدناه:

a. الفوكوزانثين

b. البيتا كاروتين

c. الكلوروفيل ج

d. اللوتين



شكل 30-5

أعط مثلاً على كائن حي ذاتي التغذية يستخدمها، ثم وضح وظيفتها. يمكنك الرجوع إلى الإنترنت للمساعدة مع توثيق مصادر المعلومات التي تحصل عليها.

22. ارسم بلاستيدة خضراء، وعين عليها الأجزاء جميعها. تأكد من تضمين الرسم كل الأجزاء.

الدرس 2-5: البناء الضوئي

- 23.** ناقش كيف تؤثر كل من المتغيرات الآتية في معدل البناء الضوئي لنبات يعيش على اليابسة، موضّحاً أيّ مراحل البناء الضوئي ستتأثر.
- a.** لون الضوء.
 - b.** كمية ثاني أكسيد الكربون المتوفرة.
 - c.** عدد ساعات ضوء الشمس.
 - d.** كمية الماء المتوفرة.
 - e.** مساحة سطح الورقة.
- 24.** هل تتم عملية البناء الضوئي فقط في أوراق النبات؟ دَعِّمِ إجابتك بأمثلة.
- 25.** في أيّ مرحلة من البناء الضوئي يتم إطلاق الأكسجين؟ وكيف يخرج من النبات؟
- 26.** اذكر فائدة كل مكون من مكونات معقد النظام الضوئي الآتية:
- a.** جُزِيء الصبغة.
 - b.** معقد مركز التفاعل.
 - c.** معقد المستقبل الضوئي.
 - d.** مُسْتَقْبِل Fe/S.
- 27.** أيّ من أحداث البناء الضوئي يتم في كل من أجزاء البلاستيدة الخضراء الآتية؟
- a.** الستروما
 - b.** غشاء الثايلاكويد.
 - c.** تجويف الثايلاكويد.
- 28.** هل يستطيع نبات ما استخدام السكر الذي ينتج من دورة كالفن في عملية التنفس الخلوي؟ لماذا.
- 29.** وضح لماذا لا تكون المعادلة الموجزة لعملية البناء الضوئي مستمدة من الجمع بين المواد المتفاعلة، والمواد الناتجة من التفاعلات المعتمدة على الضوء، والتفاعلات التي لا تعتمد على الضوء؟
- 30.** لماذا يهتم الباحثون بإجراء دراسات لمعرفة المزيد عن أيض النباتات C4؟



B1117
B1118
B1119
B1120
B1121

الوحدة 6

الأحماض النووية والوراثة

Nucleic Acids and Heredity

في هذه الوحدة

الدرس 1-6: تركيب DNA ووظيفته

الدرس 2-6: RNA وبناء البروتين

الدرس 3-6: الطفرات

مقدمة الوحدة

من المسلّم به أن حيوان المها عندما يتكاثر، يكون نسله مها أخرى، وليس حمارًا وحشيًا أو أيّ كائن حيّ آخر. فكيف يحدث هذا؟ كيف يتمّ تذكُّر المعلومات التفصيلية والمُعقَّدة لتكوّن مها، ونقل تلك المعلومات إلى الجيل اللاحق؟ يعتمد بقاء كل نوع من الكائنات الحيّة على تلك المعلومات لنجاحها في التكاثر.

يفسّر تركيب الأحماض النووية، مثل DNA، و RNA، كيف تحمل هذه الجزيئات المعلومات لتكاثر الكائنات الحيّة وتحديد سلوكها، وتُخزّنُها. وعلى غرار الكلمات الموجودة في القصة، فإنّ كلاً من DNA و RNA هو خيوط طويلة من الشيفرات الجزيئية تصف كل بروتين في الكائن الحي، وهي تُنسخ من جيل إلى جيل آخر.

وبمرور الوقت، تسبّب الأخطاء الصغيرة في تضاعف DNA من جيل إلى جيل آخر حدوث تباين يؤدي إلى حدوث تغييرات في الكائنات الحيّة. هذه التغيّرات التدريجية في DNA، على مدى آلاف الأجيال، تفسّر كيف تطوّرت الكائنات الحيّة، وتغيّرت.

الأنشطة والتجارب

بناء نموذج DNA	a1-6
استخلاص DNA من الفراولة	b1-6
بناء البروتين	2-6
الطفرات	3-6

الدرس 6-1

تركيب DNA ووظيفته

The Structure and Function of DNA

يعدّ أكثر الأحداث أهميّة في علم الأحياء اكتشاف أن كل كائن يحتوي على جُزيء واحد يخزّن تصميمات خاصة بكيفية إنتاج الكائنات الحيّة لنسخ من نفسها. وإلى حد بعيد يُعتبر DNA أكبر جُزيء حيوي معروف. وقد رتّب مشروع جينوم الإنسان بالتسلسل أزواج القواعد جميعها البالغ عددها 3,088,286,401 قاعدة نيتروجينية في DNA الإنسان. لكننا بعيدون عن معرفة ما يعنيه كل التسلسل. وقد أثار مشروع تسلسل جينوم الإنسان، مثله مثل بقية فروع العلوم، أسئلة أكثر من تلك الأسئلة التي أُجيب عنها. ومثال ذلك، نحن لا نفهم حقًا الجينات التي تتحكّم في الشيخوخة.

المفردات



Nucleic acid	الحمض النووي
Nucleotide	النوكليوتيد
الحمض النووي الرايبوزي (RNA)	
Ribonucleic acid (RNA)	
Deoxyribose	الرايبوز المنقوص الأكسجين
Nitrogenous base	القاعدة النيتروجينية
Adenine	الأدينين
Guanine	الجوانين
Cytosine	السيتوسين
Thymine	الثايمين
Uracil	اليوراسيل
Chargaff's rules	قواعد تشارغاف
Purine	البورين
Pyrimidine	البيريميدين
Strand	السلسلة
Template	القالب
Semi-conservative	شبه المحافظ
Base pair	زوج القواعد
DNA هليكيز (إنزيم فك التواء DNA)	
DNA helicase	
Chromatin	الكروماتين
Histone	الهستون

مخرجات التعلّم

B1117.1 يصف التركيب الأساسي

للحمض النووي (DNA) بأنه رايبوز منقوص الأكسجين، ومجموعة فوسفاتية، وواحدة من القواعد النيتروجينية الأربع (أدينين A، وثايمين T، وسائتوسين C، وجوانين G).

B1118.1 يصف اقتران القواعد A-T

و C-G، بما في ذلك دور الروابط الهيدروجينية، ويتعرّف إلى أهمية هذا الاقتران في تركيب اللولب المزدوج للحمض النووي (DNA).

B1118.2 يصف عملية تضاعف الحمض

النووي (DNA) بما في ذلك دور إنزيم (DNA) هليكيز، وإنزيم بلمرة (DNA) (بوليمريز)، وإنزيم اللصق (ليغيز).

B1119.1 يشرح كيف يشكّل تسلسل

القواعد في الحمض النووي الشيفرة الوراثية، التي تنتقل من جيل إلى جيل.



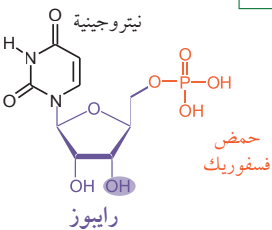
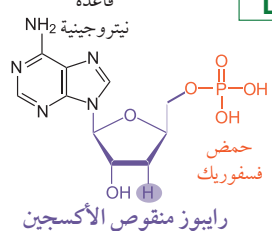
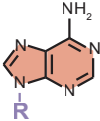
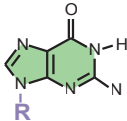
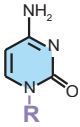
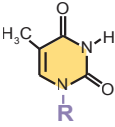
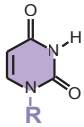
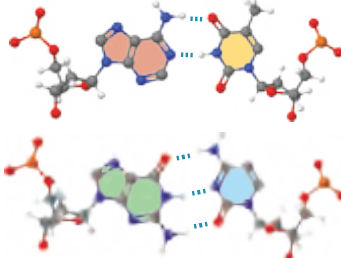
شكل 1-6 واتسون وكريك سنة 1953 مع نموذج DNA.

الأحماض النووية

الأحماض النووية **Nucleic acids** بوليمرات، مكوّنة من سلاسل مونومرات تُسمّى النيوكليوتيدات. هناك حمضان نوويّان لهما أهمية حيوية، هما: الحمض النووي الرايبوزي المنقوص الأكسجين (DNA) Deoxyribonucleic acid، والحمض النووي الرايبوزي (RNA) Ribonucleic acid. اكتشفت الأحماض النووية عام 1869، لكن أهميتها ظلّت غير مفهومة على مدى 100 عام تقريباً. وفي العام

1953، حلّ العلماء جيمس واتسون، وفرانسيس كريك، وموريس ويلكينز، وروزاليند فرانكلين، لغز هذين الحمضين. وحلّ تركيب DNA لغز مكان تخزين المعلومات الوراثية وكيفيته.

النيوكليوتيد Nucleotide جُزء يتكوّن من ثلاثة أجزاء: قاعدة نيتروجينية، وحمض فسفوريك، وسكّر خماسي الكربون (الشكل 2-6). وعندما يحتوي النيوكليوتيد على سكّر الرايبوز، يكون البوليمر RNA. وعندما يحتوي على سكّر الرايبوز منقوص الأكسجين، يكون البوليمر DNA. **القاعدة النيتروجينية Nitrogenous base** مركّب يحتوي على نيتروجين مكوّن من حلقة واحدة أو حلقتين. وهناك خمس قواعد نيتروجينية توجد في كل من RNA و DNA.

النيوكليوتيدات		القواعد النيتروجينية				
RNA		بيورينات		بيريميدينات		
 قاعدة نيتروجينية حمض فسفوريك رايبوز	 قاعدة نيتروجينية حمض فسفوريك رايبوز منقوص الأكسجين	 أدينين	 جوانين	 سايتوسين	 ثايمين	 يوراسيل
DNA						
		أدينين	جوانين	سايتوسين	ثايمين	

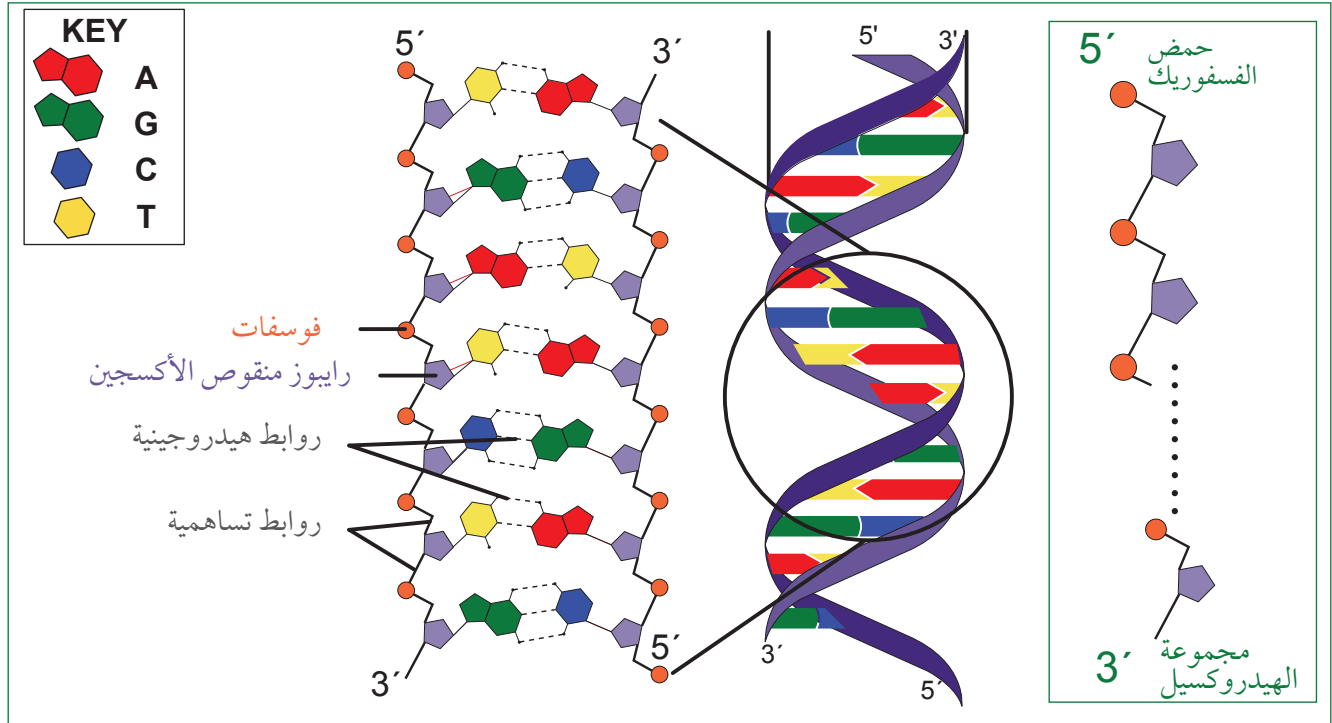
شكل 2-6 نيوكليوتيدات DNA و RNA والقواعد النيتروجينية الخمس.

يوضّح الشكل 2-6 الصيغة البنائية للقواعد النيتروجينية الخمس: **الأدينين Adenine (A)** و**الجوانين guanine (G)** هما مركّبان على شكل حلقتين، في حين يتكوّن كل من **السايטوسين Cytosine (C)**، و**الثايمين Thymine (T)**، و**اليوراسيل Uracil (U)** من حلقة نيتروجينية واحدة. تصنّف القواعد النيتروجينية التي لها حلقتان من **البيورينات Purines**، وتصنّف التي لها حلقة واحدة من **البيريميدينات Pyrimidines**. أما الطريقة التي تقترن بها القواعد النيتروجينية معاً، فهي التي تحدّد تركيب DNA.

DNA هو أكبر جُزء حيوي عُرف حتى الآن. يحتوي جُزء DNA في الكروموسوم البشري الواحد على 500 مليون قاعدة نيتروجينية، وأكثر من 10 مليارات ذرّة.

تركيب DNA الجزيئي

غالبًا ما يُقارن DNA بسلم ملتف (الشكل 3-6). تتناوب في جانبي السلم جزيئات سكر الرايبوز المنقوص الأكسجين وحمض الفسفوريك. ويُسمَّى كل جانب من جانبي السلم **سلسلة Strand**. تحافظ الروابط التساهمية القوية بين السكر والفوسفات في كل سلسلة من DNA على تماسكها.



شكل 3-6 يبيّن نموذج لولب DNA المزدوج أزواج القواعد النيتروجينية.

يوجد بين السلسلتين أزواج من القواعد النيتروجينية تربط بينها روابط هيدروجينية ضعيفة. يتكوّن **زوج القواعد Base pair** من قاعدتين نيتروجينيتين ترتبطان معًا في واحد من الترتيبين الآتين:

- يقترن الأدينين بالثايمين فقط.
- يقترن السايتوسين بالجوانين فقط.

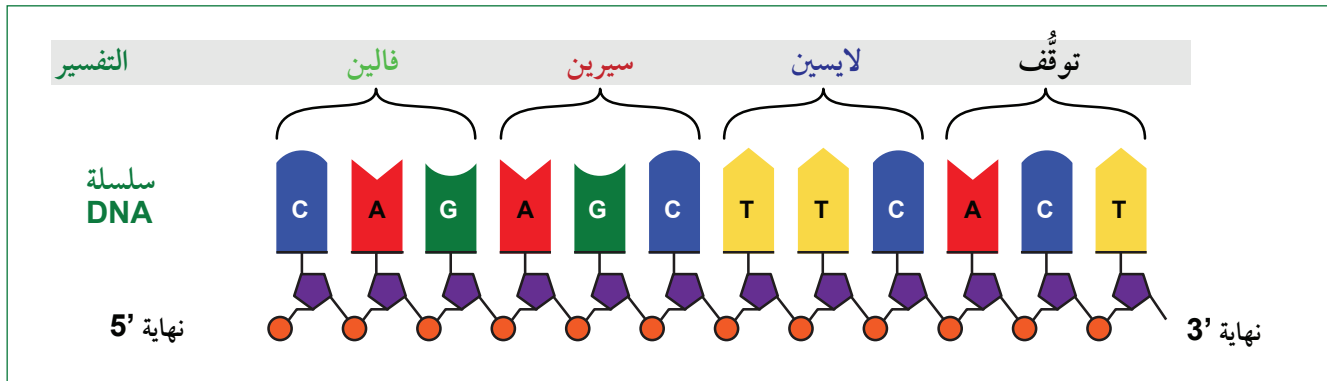
وبحسب **قواعد تشارغاف Chargaff's rules**، يجب أن تكون نسبة البيورين إلى البيريميدين في جزيء DNA 1:1. ويجب أن تكون كمية الجوانين مساوية لكمية السايتوسين، وكمية الأدينين مساوية لكمية الثايمين.

هناك احتمالان للاقتتان، وفي كليهما تقترن قاعدة بيريميدين بقاعدة بيورين. يكوّن زوج الثايمين - الأدينين رابطتين هيدروجينيتين، في حين يكوّن زوج الجوانين - السايتوسين ثلاث روابط هيدروجينية. وتسمح الروابط الهيدروجينية في وسط جزيء DNA «بفك» السلسلتين على امتداد مركزهما، وتبقى كل سلسلة سليمة على كلا الجانبين.

تُطلق على سلسلتي DNA تسمية سلسلتي 3' و 5' بالاعتماد على وجود حمض الفسفوريك أو مجموعة OH في نهاية السلسلة. ويشير الرقمان 3' و 5' إلى رقم ذرة الكربون في السكر التي تكوّن الرابطة. وتتم «قراءة» DNA بواسطة الخلية أثناء تضاعفه ونسخه في الاتجاه الآتي: من النهاية 3' إلى النهاية 5'.

كيف يخزن DNA المعلومات

تكون المعلومات في الجملة مخزنة في ترتيب الحروف والمسافات وتمثل الكلمات فيها وحدات المعنى. أما القصة، فهي تتكوّن من كلمات محدّدة في ترتيب معيّن. تتكوّن الكائنات الحيّة من آلاف البروتينات المختلفة، وكل كائن حي يمثل «قصة» مكتوبة بالبروتينات. تتم «تهجئة» كل بروتين من خلال سلسلة من الأحماض الأمينية. هذه «القصة» هي المعلومات المخزنة في DNA. يُسجّل ترتيب الأحماض الأمينية في البروتين من خلال تسلسل أزواج القواعد فيه. مثلاً، يُظهر الشكل 4-6 تسلسل أزواج القواعد CAG – AGC – TTC – ACT على سلسلة واحدة من DNA. ويمثل كل تسلسل ثلاثة أحرف في هذا المثال حمضاً أمينياً أو معلومة للخليّة. والتسلسل في الشكل يعطي معلومات للخليّة لإنتاج التسلسل: فالين – سيرين – لايسين – توقف. ملاحظة: لا يصنع DNA البروتينات بنفسه، بل يتم ذلك بواسطة RNA، وهذا هو موضوع الدرس التالي. ويقتصر عمل DNA على تخزين المعلومات.



شكل 4-6 كيف يخزن DNA المعلومات.

توجد أربع قواعد (C, G, A, T) في DNA، لذلك يكون عدد الشيفرات المختلفة $4^3 = 64$. معظم هذه الشيفرات البالغ عددها 64 تتوافق مع الأحماض الأمينية، التي يمتلك العديد منها أكثر من تسلسل واحد. فعلى سبيل الذكر، تمثل CAC و CAT و CAG و CAA الفالين، وهو حمض أميني في DNA.

• توفر تسلسلات أخرى تعليمات للخليّة بغية تحديد البداية أو النهاية لجزء DNA الذي ينبغي استخدامه، أو عدم استخدامه.

يعتقد العلماء أن أقلّ من 2 % من شيفرة DNA الإنسان مخصّصة للبروتينات. على الرغم من ذلك فإنّ قسمًا كبيرًا من هذه النسبة تكون مشتركة بين الكائنات الحيّة. فعلى سبيل المثال، يكون تسلسل DNA لبناء ATP هو نفسه للكائنات الحيّة جميعها. وهناك أقلّ من 1.1% من نسبة 2 % المخصصة لبناء البروتينات مختلفة بين الرئيسيات جميعها، بما في ذلك الإنسان. بينما تكون معظم 98 % المتبقية غير مفهومة جيّدًا. ولكن من المعروف أن أجزاء من هذا DNA لها دور في تنظيم الوظائف الوراثية.

تضاعف DNA

يشكّل نموذج اللولب المزدوج Double helix مفتاح كيفية نسخ DNA. فالأدينين يقترن دائماً بالثايمين فقط. وأمّا السايتوسين فيقترن دائماً بالجوانين فقط. هذا يعني أن كل جانب من اللولب المزدوج يحتوي على سلسلة كاملة من الشيفرات الوراثية كونه مكملًا للسلسلة الأخرى.

مثلاً: إذا كانت هناك سلسلة تحتوي على تسلسل: **GGG TTAACC**

فإن السلسلة المقابلة لها تتكوّن من التسلسل **CCC AAT TGG**

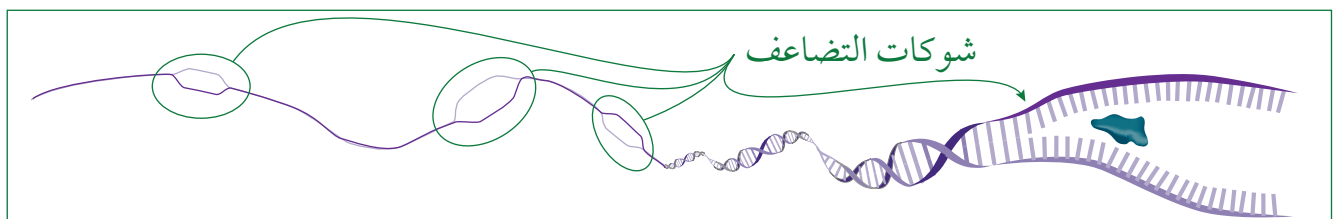
ويتم نسخ DNA عن طريق فصل سلسلتي DNA إحداهما عن الأخرى بتكسير الروابط الهيدروجينية بين أزواج القواعد، وإعادة بناء كل سلسلة بمطابقة القواعد. وتُسمّى عملية نسخ DNA **تضاعف DNA** **DNA replication**. يحدث التضاعف بأربع خطوات في كل مرة تنقسم فيها الخلية (الشكل 5-6). وكما في التفاعلات الأيضية الأخرى، يحدث تضاعف DNA بفعل أكثر من إثني عشر من الإنزيمات المتخصصة.

الخطوة 1: يفكّ الإنزيم DNA هليكيز سلسلتي الـ DNA ويفصل أزواج القواعد عند الروابط الهيدروجينية (الشكل 5-6a).



شكل 5-6 DNA هليكيز (a) يفصل سلسلتي الـ DNA.

في الخلايا الحقيقية النواة يحدث تضاعف DNA عند مئات الأماكن في الوقت نفسه. فإذا لم يحدث هكذا، فسوف يستغرق تضاعف مئات الملايين من أزواج القواعد وقتاً طويلاً جداً. عند الموقع الذي يحدث التضاعف فيه تتكوّن منطقة لها شكل Y، حيث تنفك سلسلتا DNA الأصلي، وتعرف باسم **شوكة التضاعف Replication fork**. تؤدي شوكة التضاعف دوراً مهماً في تحديد الاتجاه الذي تتكوّن فيه السلاسل الجديدة، وحيث تعمل الإنزيمات.

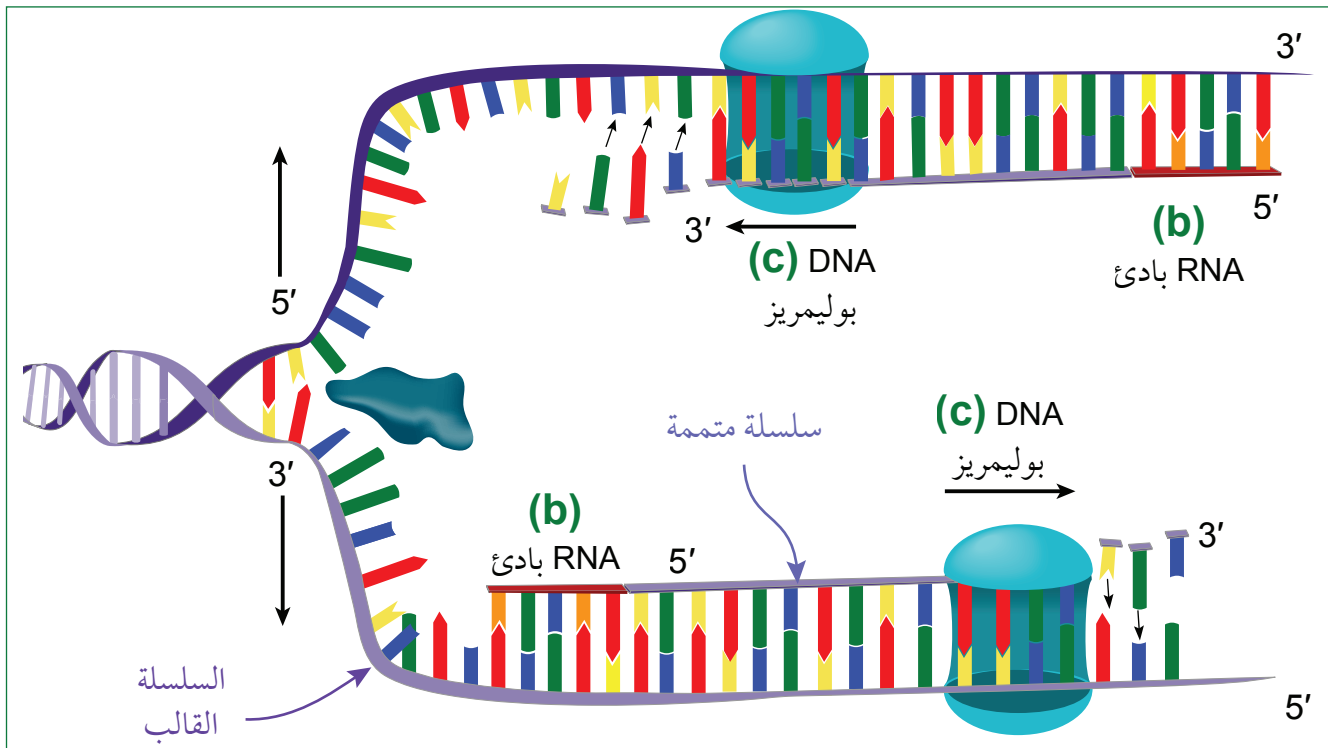


شكل 6-6 تضاعف DNA يحدث في أماكن كثيرة في وقت واحد.

عمل DNA بوليمريز

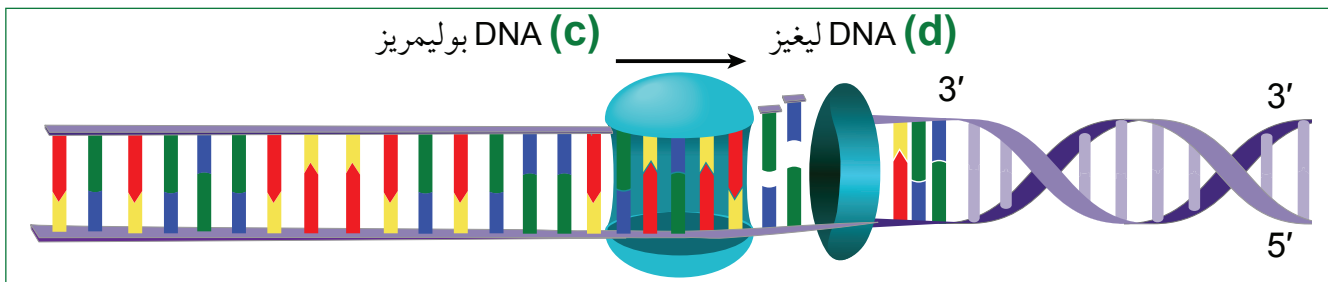
الخطوة 2: يضيف الإنزيم RNA برايميز RNA primase سلسلة قصيرة من RNA تسمى البادئ Primer إلى السلسلة المفتوحة وتبدأ التضاعف (الشكل 6-7b). يمنع هذا الأمر نيوكليوتيدات DNA أخرى من الارتباط بالجزء المفتوح من سلسلة DNA.

الخطوة 3: انطلاقاً من RNA البادئ، يحفز DNA بوليمريز بناء سلسلتين جديدتين عن طريق إضافة النيوكليوتيدات من نهاية 5' إلى نهاية 3' (الشكل 6-7c). لاحظ أن DNA بوليمريز يعمل في اتجاهين متعاكسين على سلسلتي DNA، لأنه يقرأ سلسلة DNA الأصلية دائماً ابتداءً من 3'، والسلسلة الجديدة تنمو من 5' إلى 3'.



شكل 6-7 تضاعف DNA مع RNA بادئ (b) و DNA بوليمريز (c).

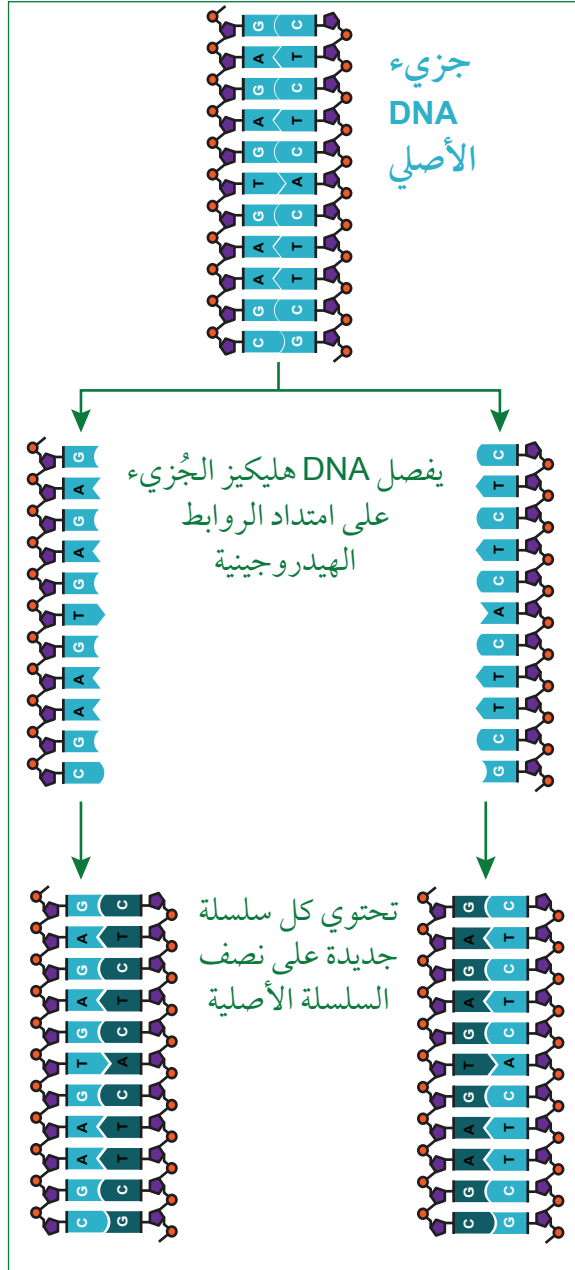
الخطوة 4: فيما يواصل DNA هليكيز فكّ لولب DNA، يقوم DNA بوليمريز ببناء السلسلة المتممة. وأخيراً تلتقي السلسلة الجديدة ببداية سلسلة أخرى ناتجة من التضاعف عند شوكة التضاعف التالية. وعندما يحدث هذا، يربط إنزيم ثالث يسمى DNA ليغيز السلسلتين عبر حفز تكوين رابطة تساهمية بين فوسفات نيوكليوتيد والرايبوز المنقوص الأكسجين للنيوكليوتيد التالي (الشكل 6-8).



شكل 6-8 DNA ليغيز يربط بين السلسلتين اللتين تلتقيان.

أهمية التضاعف شبه المُحافظ

يُعدُّ تضاعف DNA عملية ضرورية للنمو وبناء الخلايا وتجديدها. ينقل DNA الهوية الوراثية من الآباء إلى الأبناء، ويتحكّم بالتفاعلات بين الخلايا ويوجّهها، ويبني الأنسجة والأعضاء ويتحكّم بوظائفها. وتم اكتشاف أن DNA يؤدي دورًا مهمًا في تحديد السلوك. ولكل هذه الأسباب يصبح تضاعف كل المليارات الثلاثة من أزواج القواعد في DNA بدقة أمرًا حيويًا.



شكل 9-6 التضاعف شبه المُحافظ يعني نصف السلسلة الأصلية في كل نسخة.

تتميز عملية تضاعف DNA بالسرعة والدقة بفضل عمل أكثر من 12 إنزيمًا متخصصًا. إنزيمات DNA بوليميراز دقيقة جدًا ومعدل خطئها أقل من 1 لكل 10^7 نيوكليوتيد مضاف. لدى DNA بوليميراز القدرة على التدقيق وإزالة النيوكليوتيدات من نهاية السلسلة النامية لتصحيح القواعد غير المتطابقة. تراقب آليات الإصلاح ما بعد التضاعف عدم التطابق في سلسلة DNA المُركبة حديثًا مع تسلسل السلسلة الأصلية. تتضمن الخطوات الثلاث تلك دقة التضاعف إلى أقل من خطأ واحد لكل 10^9 نيوكليوتيد.

الأمر الجوهري في دقة تضاعف DNA هو أن العملية شبه محافظة **Semi-conservative**. يظهر في الشكل 9-6 أن نصف سلسلة DNA الأصلية موجود في كل نسخة من الاثنتين. العملية شبه المُحافظَة وجُزئيّة DNA المزدوج السلسلة دقيقان إلى درجة أن كل الكائنات الحية التي تعيش حاليًا على الأرض تركز على DNA.

بناء نموذج DNA

a1-6

سؤال الاستقصاء	كيف نبني نموذج DNA؟
المواد المطلوبة	أقلام ملونة، حقيبة لنموذج DNA، آلة تصوير رقمية، نموذج قالب مع مقص، شريط لاصق، مغلف.

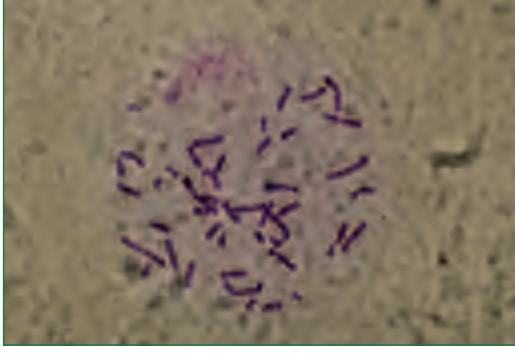
الخطوات

1. سوف يزودك معلمك إما بحقيبة لنموذج DNA مع تعليمات، أو بقوالب النماذج ومستلزماتها، مع ورقة العمل.
2. تأكد من قراءة التعليمات، وطرح أي أسئلة قبل أن تستمر في النشاط.
3. استخدم أقلاماً ملونة لبناء مفتاح لكل جزيء حيوي تحتاج إليه في نموذجك، وأجب عن أسئلة ورقة العمل قبل بناء النموذج.
 - a. أي القواعد النيتروجينية بيورينات؟
 - b. أي القواعد النيتروجينية بيريميدينات؟
 - c. هل يميز نموذجك بين الرابطة التساهمية والروابط الهيدروجينية؟ وضح إجابتك، إذا كان هذا صحيحاً.
4. إذا كانت لديك حقيبة DNA، تابع بناء النموذج كله بالتعاون مع فريقك أو مجموعتك. وعند الانتهاء من بناء النموذج، التقط صورة له، وسجل تسلسل القواعد النيتروجينية من الطرف 3' في DNA، وسجل أيضاً البيانات على ورقة العمل، أو اتبع التعليمات الإضافية المعطاة.
5. أكمل بقية الأسئلة في ورقة العمل. وإذا استخدمت نموذجاً ورقياً، احتفظ بقطع النموذج كلها في المغلف الذي زودت به؛ فقد تحتاج إليها لتنفيذ النشاط اللاحق.
6. بعد بناء النماذج جميعها، سوف ينظم معلمك مناقشة صفية.

أسئلة تلخيص

- a. هل كان هناك التسلسل نفسه لأي من أزواج القواعد في أي نماذج أخرى؟
- b. كيف يقارن اتجاه النموذج لسلسلة 3' بسلسلة 5'؟
- c. بالنظر إلى حجم القواعد النيتروجينية للنموذج وشكلها، لماذا لا يكون محتملاً، أن يشكّل اثنان من البيورينات أو اثنان من البيريميدينات زوج قواعد؟

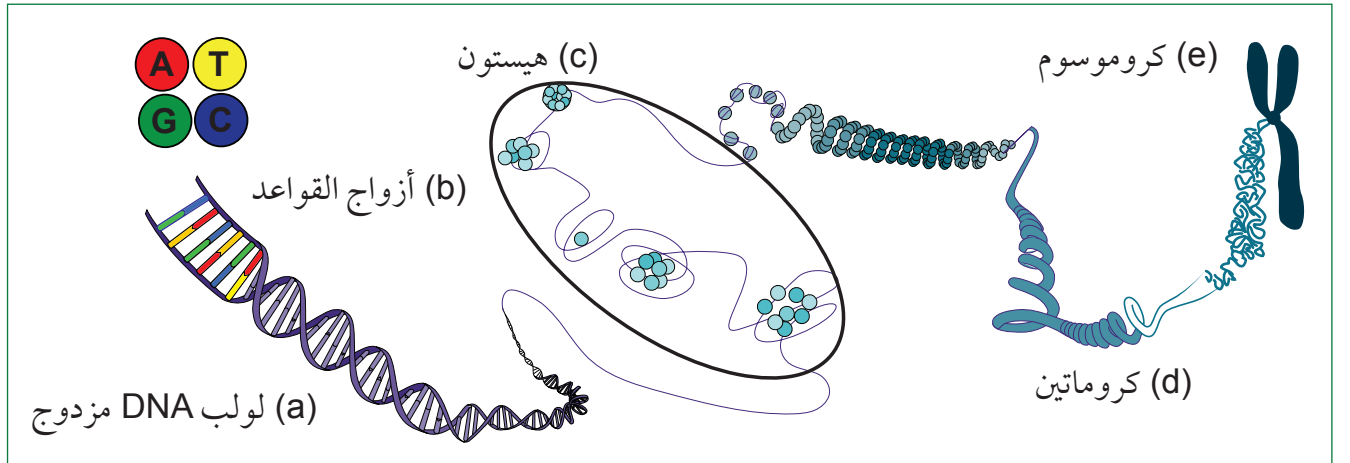
تضاعف DNA في حقيقيات النواة



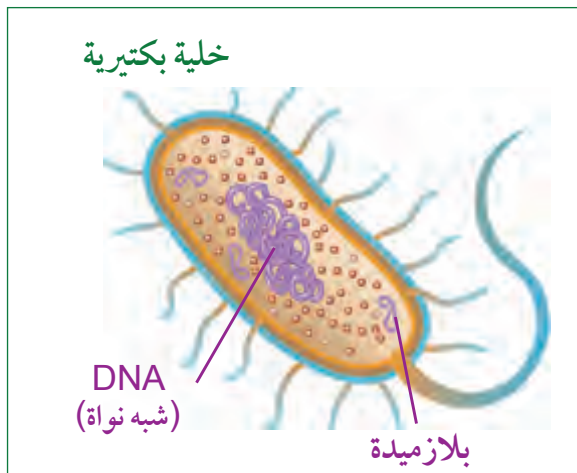
شكل 10-6 كروموسومات الإنسان.

يساوي عرض جُزيء DNA عددًا قليلًا من الجُزيئات، ولكنه أطول بنحو 20 ألف مرة من نواة الخلية الحقيقية النواة. يلتف جُزيء DNA بإحكام في تراكيب تُسمى **الكروموسومات Chromosomes**؛ ليتلاءم مع حجم النواة، كما هو مبين في (الشكل 10-6). وهو أشبه بخيط رفيع طوله كيلومتر واحد ملتف في نصف كرة بحجم إبهامك.

بعد التضاعف، يلتف لولب DNA المزدوج بإحكام حول بروتين خاص يُسمى **الهستون Histone** (الشكل 11-6)، ثم تلتف تلك اللفائف بعضها على بعض في خيوط مرئية، تُسمى **الكروماتين Chromatin**. وخلال عملية التكاثر، يكون الكروماتين لفائف فائقة تشكّل التركيب المُعقّد للكروموسوم. وتحدث دورة فك الالتفاف وإعادة الالتفاف في كل مرة تنقسم فيها الخلايا.



شكل 11-6 DNA مع (a) أزواج قواعد ملتفة حول (c) بروتين الهستون، ليكون (d) الكروماتين الذي يلتف أكثر لتكوين (e) الكروموسوم.

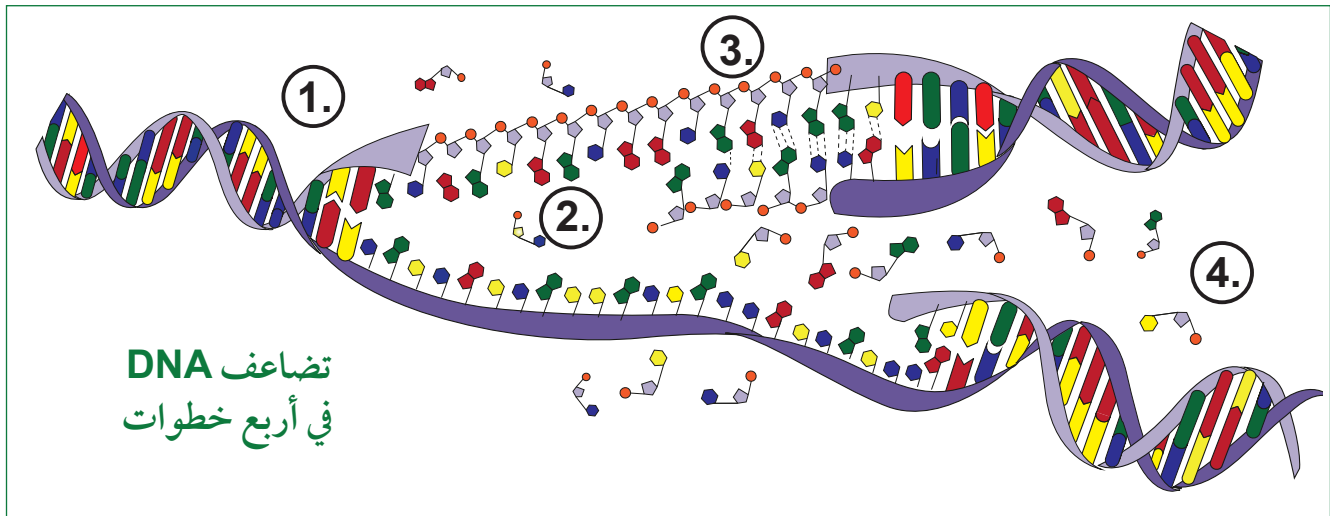


شكل 12-6 DNA بكتيري.

ليس لدى الكائنات الحيّة البدائية النواة، كالبكتيريا، نوى. يقع DNA معظم البكتيريا في جُزيء حلقي وحيد يُسمى الكروموسوم البكتيري (الشكل 12-6). ويشكّل ذلك الكروموسوم مع البروتينات وRNA منطقة شبه نواة غير منتظمة الشكل داخل السيتوبلازم. تحتوي البكتيريا غالبًا على بلازميدات plasmids، وهي جُزيئات DNA حلقيّة صغيرة. تستطيع البكتيريا إدخال بلازميدات جديدة من خلايا بكتيرية أخرى تنتمي إلى النوع نفسه، أو إلى أنواع مختلفة، أو من البيئة.

مراجعة DNA

- يحمل الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين، أو DNA، معلومات الكائن الحي الوراثية. ويُخزّن DNA في الخلايا الحقيقية النواة داخل النواة.
- يتكوّن DNA من لولب مزدوج يضمّ في مركزه أزواجًا من القواعد، أدينين-ثايمين وجوانين-سايروسين، فيما تشكّل مجموعات السكر والفوسفات الجانبين.
- ترتبط أزواج القواعد معًا بروابط هيدروجينية ضعيفة نسبيًا.
- يشفر DNA المعلومات الوراثية في تسلسل أزواج القواعد.
- يعدّ DNA أكبر جُزء حيوي معروف وقد يتكوّن من ثلاثة مليارات زوج من القواعد.
- يشكّل اللولب المزدوج مفتاح فهمنا لكيفية تضاعف DNA من أجل تمرير المعلومات الوراثية إلى الأبناء.



شكل 6-13 خطوات تضاعف DNA الأربع.

1. يفك DNA هليكز DNA ويفصله على امتداد الروابط الهيدروجينية بين القواعد النيتروجينية.
2. يُعاد تجميع النيوكليوتيدات المتممة بواسطة DNA بوليمريز على كل سلسلة مفردة مكشوفة، وتكون كل سلسلة مفردة قالبًا للسلسلة الجديدة التي يجري بناؤها. تسمّى هذه العملية التضاعف شبه المُحافظ، لأن نصف DNA الأصلي يُحفظ في النسخة.
3. تعيد الروابط الهيدروجينية تشكيل أزواج القواعد. وتحدث تفاعلات التكثيف بين الرايبوز المنقوص الأكسجين التابع لأحد النيوكليوتيدات وفوسفات مجاور تابع للنيوكليوتيد التالي لتشكيل روابط تساهمية جديدة.
4. تعيد الروابط الهيدروجينية بين أزواج القواعد الشكل اللولبي، فتكون النتيجة جُزئي DNA متماثلين. يحتوي كل جُزء على سلسلة من الجُزء الأصلي وسلسلة تم بناؤها كونها متممة للسلسلة الأصلية.

استخلاص DNA من الفراولة

b1-6

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن فصل DNA من نواة خلية؟
المواد المطلوبة	مخبر مدرّج، ماء مُقَطَّر، دوارق سعة 250 mL و 100 mL، سائل تنظيف أوّانٍ، 1g NaCl، ساق تحريك، فراولة طازجة نظيفة، كيس بلاستيكي بزمّام لحفظ الأطعمة المجمّدة، قماش قطني أو مصفاة كحول إيزوبروبيل مبرّد 9%، ملقط، طبق زجاجي للمشاهدة، آلة تصوير رقمية.

الخطوات

1. حضّر محلول الاستخلاص عن طريق إضافة 90 mL من الماء المُقَطَّر إلى دورق سعة 250 mL، وإضافة 1g NaCl مع تحريكه أثناء الإضافة. ثم أضف بعناية إلى هذا المحلول 10 mL من سائل تنظيف الأواني مع التحريك أيضاً، ثم ضع المحلول جانباً.
2. ضع فراولة جافة ونظيفة في الكيس البلاستيكي ذي الزمام.
3. صبّ خليط الاستخلاص في الكيس، وأزل الهواء كلّهُ.
4. اهرس بإبهاميك الثمرة في الكيس البلاستيكي، حتى لا تعود ترى أيّ نسيج.
5. افتح الكيس، وثبّت قطعة قماش أو مصفاة معدنية فوق الدورق الآخر لفصل النسيج وجمع السائل. واستخدم الكيس للضغط على ثمرة الفراولة الصلبة؛ لاستخراج أكبر قدر ممكن من السائل، من دون إضافة نسيج فراولة إلى الدورق.
6. انقل هذا السائل إلى الدورق سعة 100 mL، وأضف إليه 5 mL من الكحول.
7. احمل الدورق على مستوى عينيك، وابحث عن طبقة بيضاء تطفو على سطح السائل.
8. استخدم ملقطاً لالتقاط الطبقة ولفّها عليه، وأنت ترفعها ببطء إلى الأعلى. ضع المادة على طبق زجاجي، والتقط صورة لها، ثم شارك زملاءك في الصف بنتائجك.

صمّم تجربة

- a. ما المتغيّرات التي تعتقد أن بالإمكان تغييرها ولا تزال تحقق نتائج؟
- b. اعمل مع فريق، أو مجموعة، للبحث عن عدد قليل من الخيارات، وضع فرضية، ثم صمّم تجربة بسيطة، واكتب الخطوات. احصل على موافقة معلّمك على التجربة قبل البدء بتنفيذها.
- c. نفّذ تجربتك، وقدم النتائج جميعها إلى معلّمك.

1.  ارسم مخططًا بسيطًا يمثل مكونات الجزيئات الثلاثة في النيوكليوتيدات، واكتب أسماءها.
2.  ارسم الصيغة البنائية للرايبوز والرايبوز المنقوص الأكسجين. ما الفرق بين هذين السكرين؟
3.  سمّ القواعد النيتروجينية الأربع، وصنّفها على أنها إما بيورين أو بيريميدين، ثم اشرح سبب ارتباط بعض القواعد الخاصة فقط ببعض.
4.  صف الفرق بين هذه المصطلحات الثلاثة: الحمض النووي، النيوكليوتيد، القاعدة النيتروجينية.
5.  ميّز بين طرفي 3' و 5' من جزيء DNA، وحدّد ثلاثة مواقع يكون فيها اتجاه السلسلة مهمًا.
6.  انسخ تسلسل DNA الخاص بالسلسلة القالب أدناه، وأنشئ سلسلة متممة لها ترتبط بها على خط ثان أسفل هذا التسلسل.
DNA 3' AATTACAAACTGGGGATATTCCGAATC 5'
7.  احسب النسبة المئوية للجوانين والسيتوسين والثايمين والبيريميدين والبيورين، إذا كانت النسبة المئوية للأدينين في قطعة DNA تساوي 15%.
8.  سمّ كل إنزيم له دور في تضاعف DNA، وشرح دوره.
9.  اشرح لماذا يستخدم DNA بوليمريز (إنزيم بلمرة DNA) RNA بادئ في أثناء تضاعف DNA.
10.  ما العلاقة بين البيورينات والبيريميدينات؟
11.  تعتمد كائنات الأرض جميعها اليوم على DNA بوصفه آلية لتخزين المعلومات الوراثية واستنساخها:
a. هل تعتقد أن DNA هو الخيار الوحيد الممكن لأدائه وظيفة تخزين المعلومات الوراثية واستنساخها؟ اشرح إجابتك.
b. تخيل طريقة مختلفة تستطيع بها الكائنات الحية تخزين المعلومات الوراثية لتكاثرها. وصف بإيجاز نوع الطريقة التي تتخيلها.

الدرس 2-6

RNA وبناء البروتين

RNA and protein synthesis



شكل 14-6 DNA في الخلايا يشبه المخططات لمشروع بناء.

يُنظر إلى DNA عادة على أنه «مُخطَّط للحياة»، تشبيهاً له بالرسوم المعمارية التي تُعدّ لبناء منزل أو أيّ بناء آخر. ومع ذلك فإنّ المخطّطات لا تبني شيئاً بذاتها، بل تحتاج إلى بنّائين يقرأونها، لكي يقوموا هم أنفسهم بعملية البناء. ينطبق الأمر على DNA؛ ذلك أن DNA لا يبني البروتينات، ولا يسيطر على وظائف الخلية سيطرة مباشرة. «البنّاءون» هم الحمض النووي RNA الذي يقرأ DNA ويُنفّذ التعليمات. وتماثلاً كما يفعل البنّاءون الذين يحوّلون المخطّطات إلى أبنية حقيقية، يأخذ RNA المخطّطات من DNA وينطلق لتنفيذها في أنحاء الخلية.

المفردات



Protein synthesis	بناء البروتين
Translation	الترجمة
Transcription	النسخ
mRNA	RNA الرسول
tRNA	RNA الناقل
rRNA	RNA الرايبوسومي
Codon	الكودون
RNA transcriptase	RNA ترانسكربتاز
Anticodon	الكودون المضاد

مخرجات التعلّم

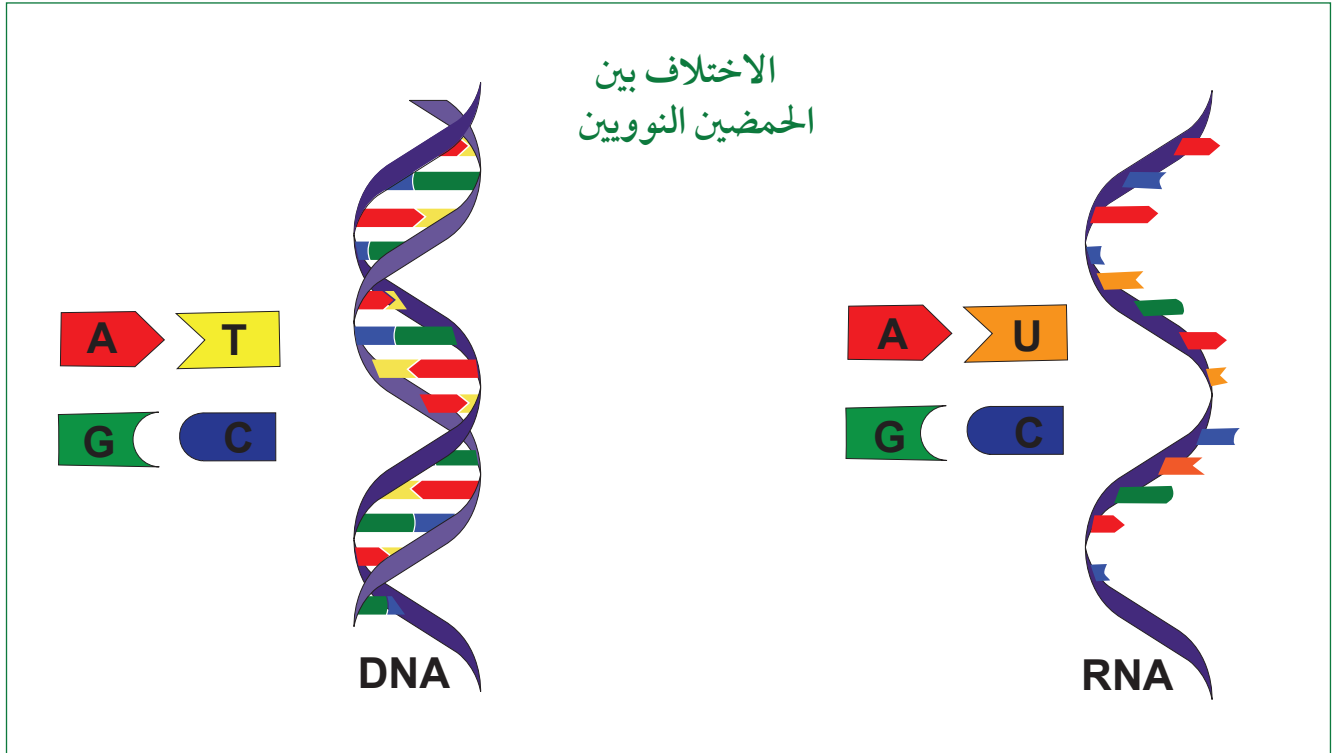
B1119.2 يصف التركيب الأساسي للحمض النووي الرايبوزي RNA بأنه رايبوز ومجموعة فوسفاتية وواحدة من القواعد النيتروجينية الأربع، (أدينين (A)، ويوراسيل (U)، وسيتوسين (C)، وجوانين (G)).

B1119.3 يتعرف إلى تركيب الحمض النووي الرايبوزي الناقل tRNA، والرسول mRNA، والرايبوسومي rRNA.

B1119.4 يصف أدوار الحمض النووي DNA، والحمض النووي الرايبوزي الناقل tRNA، والرسول mRNA، والناقل rRNA، والرايبوسومات في عملية بناء البروتين.

RNA يختلف عن DNA

- يختلف RNA كيميائياً عن DNA؛ ذلك أن السكر الذي يدخل في تركيب RNA هو سكر الرايبوز، بدلاً من الرايبوز المنقوص الأكسجين الذي يدخل في تركيب DNA.
- يتكوّن RNA عادة من سلسلة مفردة، وهو بذلك يختلف عن DNA الذي يتكوّن من سلسلتين.
- يحتوي RNA على القاعدة النيتروجينية اليوراسيل (U)، بدلاً من الثايمين في DNA.

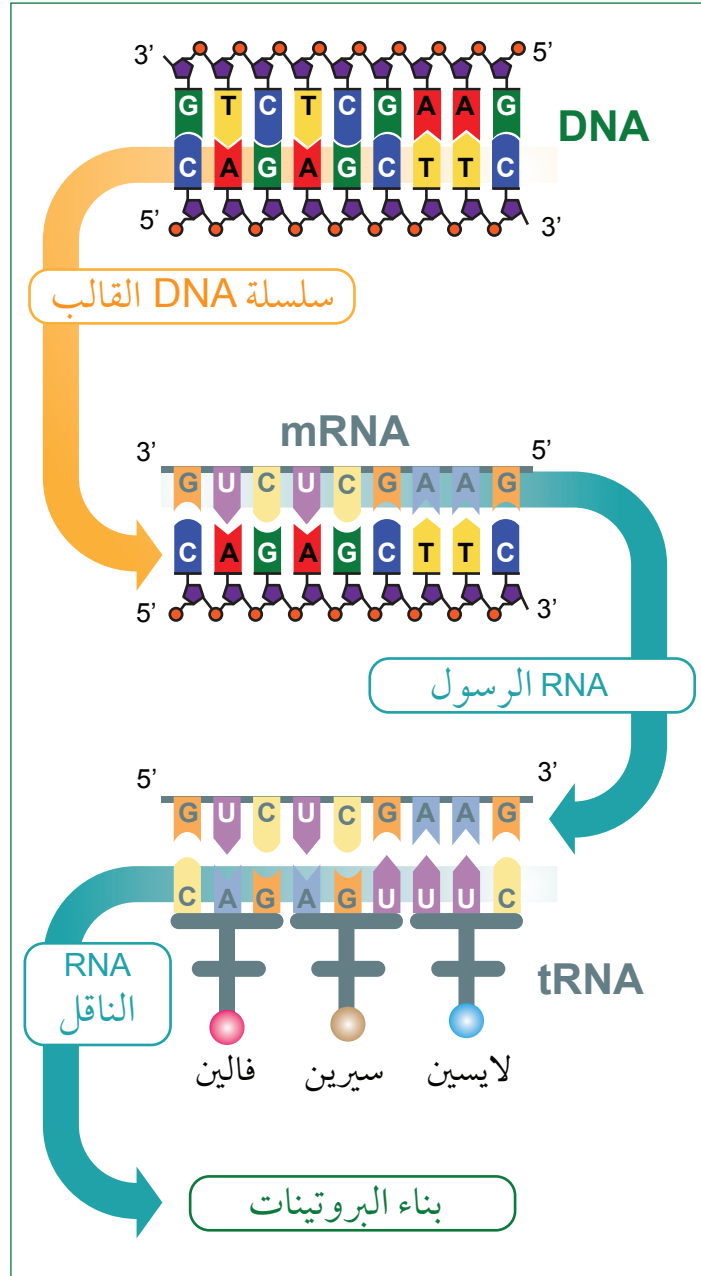


شكل 15-6 الاختلافات بين DNA و RNA.

- يختلف RNA وظيفياً عن DNA في جوانب عدة، هي:
- في الخلايا الحقيقية النواة يبقى DNA في النواة، لأنه جزيء كبير لا يستطيع مغادرتها؛ على عكس RNA الذي يعبر بحرية الغشاء النووي ناقلاً معه نسخة من المعلومات الوراثية إلى باقي أجزاء الخلية.
- تكون جزيئات RNA قصيرة جداً؛ ففي خلايا الإنسان مثلاً، تحتوي على أقل من 200 من القواعد النيتروجينية، مقارنة بحمض DNA الذي يحتوي على 250 مليون زوج من القواعد.
- يكون DNA موجوداً دائماً في الخلية، في حين أن RNA يُصنّع، أو لا يُصنّع، بحسب الحاجة.
- DNA له وظيفة واحدة رئيسة هي تخزين المعلومات الوراثية. أما RNA، فله وظائف عدة.

DNA و RNA يعملان معاً

يتبع بناء البروتين تسلسلاً خاصاً يبدأ بانتقال المعلومات التي يحملها DNA إلى RNA، الذي يستخدمها لاحقاً في بناء سلسلة عديد الببتيد. إن تسلسل خطوات بناء البروتين هو الفكرة الجوهرية



شكل 16-6 عملية بناء البروتين من معلومات DNA.

في علم الأحياء الحديث. تسمى عملية نقل المعلومات من DNA إلى RNA النسخ، وتسمى عملية تفسير معلومات RNA لبناء البروتين الترجمة. يوضح الشكل 16-6 العلاقات بين العمليتين وتسلسلهما.

النسخ: تُنسخ المعلومات الموجودة في سلسلة DNA القالب في النواة بشكل سلسلة RNA قصيرة تُسمى **RNA الرسول** (mRNA) Messenger RNA الذي يتكوّن في النواة. ويمرّ RNA الرسول الصغير من النواة إلى السيتوبلازم.

الترجمة: يصل RNA الرسول (mRNA) إلى الرايوسوم، حيث يجري تجميع البروتينات من الأحماض الأمينية. وينقل نوع آخر من RNA يُسمى **RNA الناقل** (tRNA) Transfer RNA، الأحماض الأمينية إلى الموقع الصحيح على الرايوسوم، بالاستناد إلى تسلسل القواعد في mRNA.

تحتوي الرايوسومات على نوع ثالث من RNA يُسمى **RNA الرايوسومي** (rRNA) Ribosomal RNA الذي يتم تكوينه في النواة ويدخل في تركيب

الرايوسوم. يساعد rRNA على مطابقة قواعد نيوكليوتيدات tRNA مع قواعد النيوكليوتيدات المتممة في mRNA.

ويعمل rRNA في الرايوسومات عمل الإنزيم، حيث يسهّل تكوين الرابطة الببتيدية بين الأحماض الأمينية.

الشيفرة الوراثية

الكودون Codon وحدة تتكوّن من ثلاث قواعد نيتروجينية متتابعة في mRNA. يبيّن الجدول 1-6 كودونات RNA الخاصة بالأحماض الأمينية الموجودة في الكائنات الحية على سطح الأرض. فعلى سبيل المثال، يرمز الكودون UUU إلى الحمض الأميني الفينيل ألانين؛ ويرمز الكودون UGU إلى الحمض الأميني السيستين.

لاحظ أن هناك أحماضاً أمينية عدّة لها أكثر من كودون واحد. كان يُعتقد أن ذلك قد تطوّر لجعل DNA مقاوماً للطفرات. أما الآن، فيُعتقد أن الكودونات المختلفة تساعد على ربط الأحماض الأمينية بمعدّلات مختلفة في الكائنات الحية المتنوعة، وقد يؤثّر هذا الأمر في كيفية التفاف البروتين، التي تسبّب اختلافاً في الوظيفة التي يؤديها.

الجدول 1-6 الشيفرة الوراثية لعشرين حمضاً أمينياً موجودة في الأحياء على الأرض.

		الحرف الثاني					
		U	C	A	G		
الحرف الأول	U	UUU] Phe UUC] UUA] Leu UUG]	UCU] UCC] Ser UCA] UCG]	UAU] Tyr UAC] UAA Stop UAG Stop	UGU] Cys UGC] UGA Stop UGG Trp	U C A G	Ala Alanine Arg Arginine Asn Asparagine Asp Aspartic acid Cys Cysteine Gln Glutamine Glu Glutamic acid Gly Glycine His Histidine Ile Isoleucine Leu Leucine Lys Lysine Met Methionine Phe Phenylalanine Pro Proline Ser Serine Thr Threonine Trp Tryptophan Tyr Tyrosine Val Valine
	C	CUU] CUC] Leu CUA] CUG]	CCU] CCC] Pro CCA] CCG]	CAU] His CAC] CAA] Gln CAG]	CGU] CGC] Arg CGA] CGG]	U C A G	
	A	AUU] AUC] Ile AUA] AUG] Met	ACU] ACC] Thr ACA] ACG]	AAU] Asn AAC] AAA] Lys AAG]	AGU] Ser AGC] AGA] Arg AGG]	U C A G	
	G	GUU] GUC] Val GUA] GUG]	GCU] GCC] Ala GCA] GCG]	GAU] Asp GAC] GAA] Glu GAG]	GGU] GGC] Gly GGA] GGG]	U C A G	

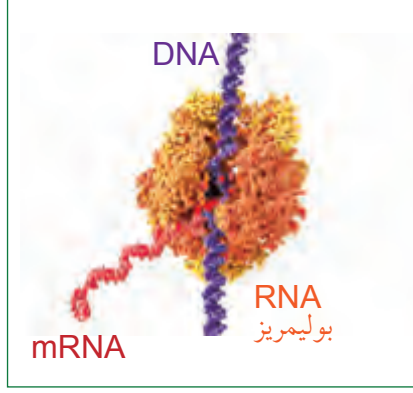
مسألة 1

ما تتابع الأحماض الأمينية الناتج من تسلسل mRNA الآتي؟
UUU UUC CCU CCG

الحل

من الجدول 1-6 لاحظ أن UUU و UUC كودونان خاصان بالحمض الأميني الفينيل ألانين (Phe). أمّا الكودونان CCU و CCG، فهما خاصان بالحمض الأميني البرولين (Pro). بناءً على ذلك، فإنّ تسلسل الأحماض الأمينية، هو: Phe – Phe – Pro – Pro

بناء البروتينات - أولاً: النسخ

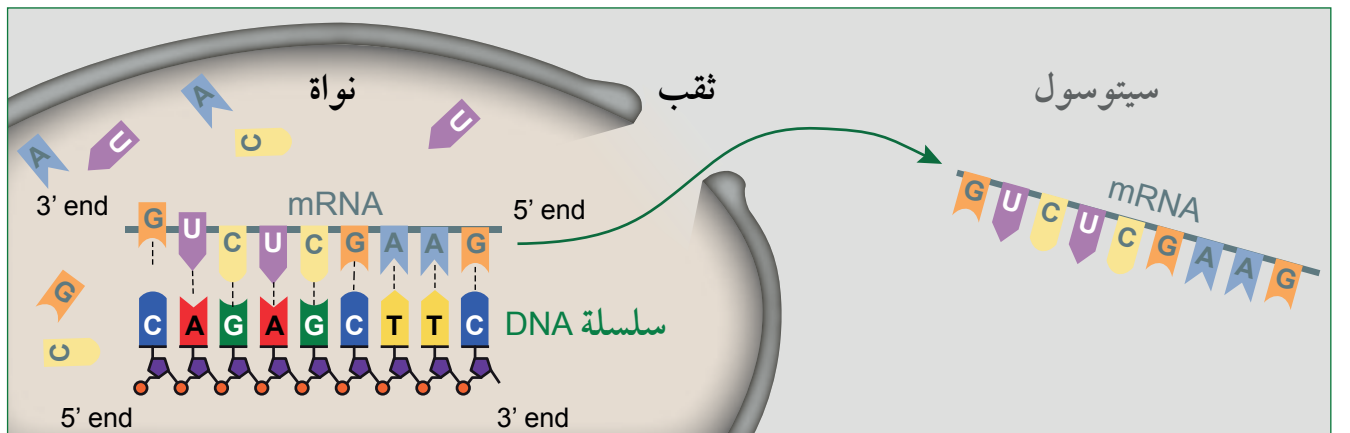


يحدث النسخ في نواة الخلية. ويبدأ عندما يفصل **RNA بوليميريز (RNA Polymerase)** سلسلتي DNA عند موقع يكون فيه تسلسل البداية ATG. ويستخدم mRNA خلال عملية النسخ سلسلة DNA 3' القالب، فيقوم بقراءتها من الطرف 3' إلى الطرف 5'؛ وبناء سلسلة RNA متممة إلى أن يصل إلى كودون التوقف.



شكل 17-6 عمل RNA بوليميريز (RNA polymerase).

- يتتابع ارتباط قواعد النيوكليوتيدات على سلسلة mRNA، لتتم سلسلة DNA المفتوحة (الشكل 17-6).
- ترتبط قواعد الأدينين باليوراسيل على mRNA.
- يستمر النسخ إلى أن يصل الإنزيم إلى تسلسل التوقف في سلسلة DNA.
- عندما يتعرّف الإنزيم RNA بوليميريز (RNA polymerase) أيًا من تسلسل القواعد الآتية: ATT، ATC، و ACT على سلسلة DNA، يتوقف ويحرّر جزيء mRNA المُتمّم.
- يمرّ جزيء mRNA من خلال ثقب في الغشاء النووي إلى السيتوسول.

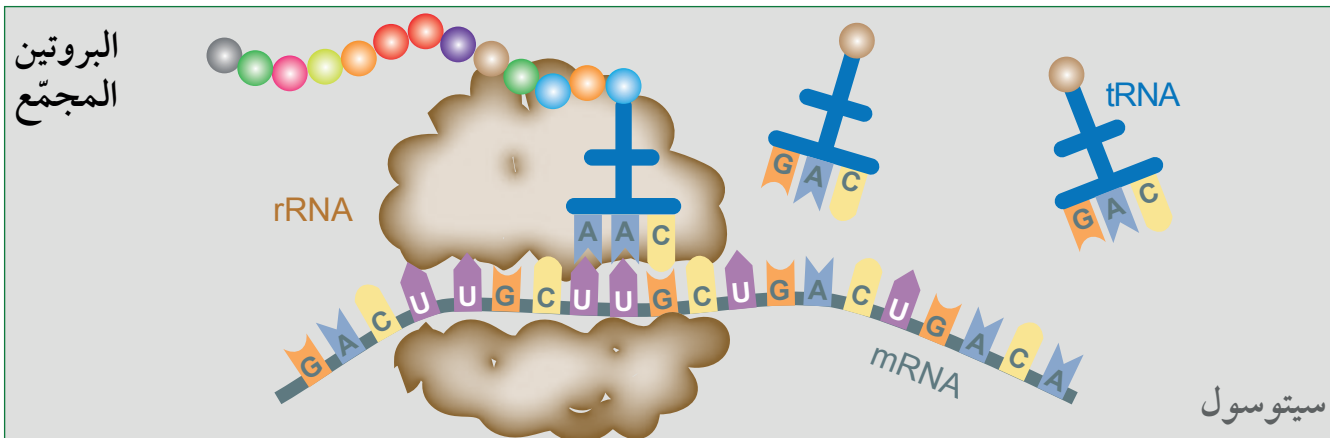


شكل 18-6 يحدث النسخ في النواة.

يبلغ طول سلاسل mRNA عادة بضع مئات من القواعد. ولما كانت الشيفرة الخاصة بكل حمض أميني تتضمن ثلاثة أزواج من القواعد، فإن 300 قاعدة تشكّل الشيفرة الوراثية لبروتين مكون من نحو 98 حمضًا أمينيًا، مع كودون للبدء وكودون للتوقف.

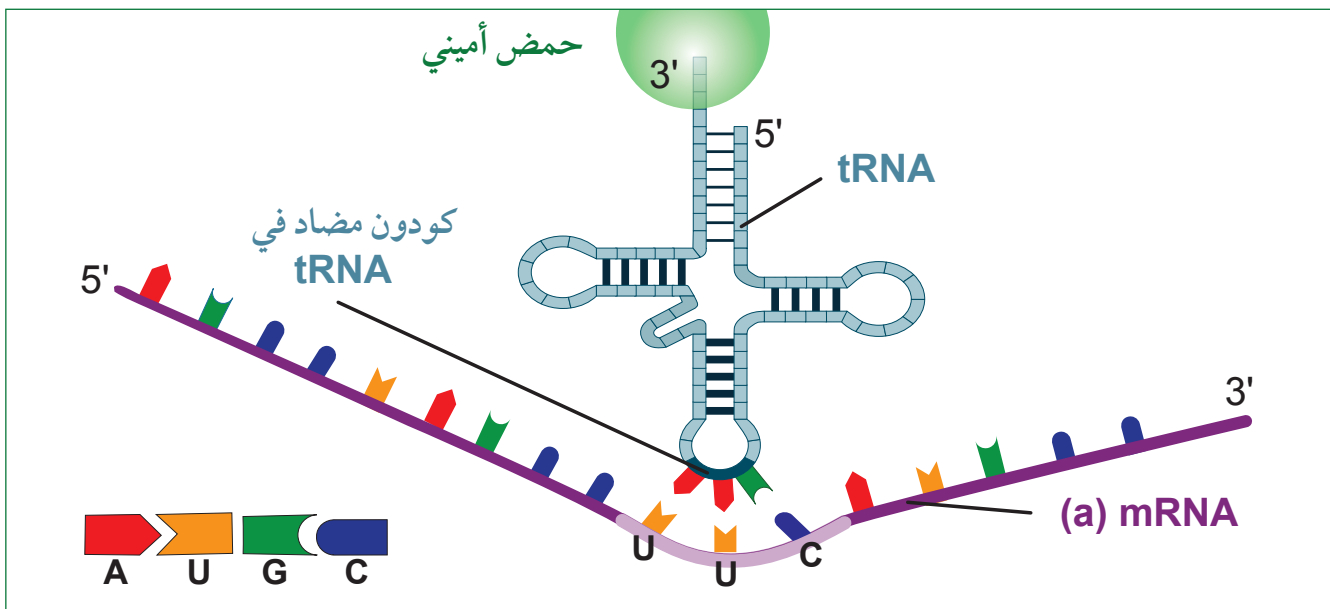
بناء البروتينات - ثانيًا: الترجمة

يغادر mRNA النواة بعد انتهاء عملية النسخ، ويدخل السيتوبلازم، ثم يرتبط بالرايوسوم لتبدأ عملية الترجمة. يتكوّن الرايوسوم من وحدتين إحداهما صغيرة والأخرى كبيرة (الشكل 6-19). يضع الرايوسوم mRNA على موقع التفاعل reaction site بين وحدة rRNA الكبرى (الجزء العلوي) والوحدة الصغرى (الجزء السفلي).



شكل 6-19 تجميع البروتينات في الرايوسومات.

يحتوي تركيب tRNA على موقع يرتبط به حمض أميني معيّن في الجزء العلوي، وموقع يحتوي على كودون مضاد anticodon في الجزء السفلي (الشكل 6-20). ولكل حمض أميني tRNA خاصّ به؛ وكما يقترن tRNA بالحمض الأمينيّ الموافق له في أعلاه، يقترن الكودون المضاد في أسفله بـحمض mRNA.



شکل 20-6 ترکیب tRNA.

يستمر الرايوسوم في التقدُّم على طول mRNA؛ ويربط بالترتيب كل كودون بالكودون المضاد على tRNA. وتستمر عملية الترجمة حتى يبلغ الرايوسوم أحد كودونات التوقف STOP الثلاثة. عندها تتحرَّر سلسلة الأحماض الأمينية في الخلية، لتكوِّن بروتينًا كاملاً، أو جزءاً من بروتين، يمكن أن ينضم إلى جزء آخر.

مسألة 2



انسخ شيفرة DNA الآتية إلى كودونات RNA، ثم اكتب سلسلة الأحماض الأمينية الصحيحة الناتجة من ترجمة تلك الكودونات.

a. 3' TACGCAATGACCCAGGATTATATT 5'

b. 3' TACATAGCTCCCGCGTTAGGAATC 5'

الحل

يميل حل مسائل النسخ إلى اتباع مهمات الاتصال نفسها بين DNA و RNA، والبروتينات. نفترض أن التسلسل هو على السلسلة القالب.

ننسخ DNA إلى mRNA على النحو الآتي:

A→U, T→A, G→C, C→G

ونعود إلى الجدول 1-6، لتحديد الأحماض الأمينية الخاصة بالكودونات المكوّنة من 3 أحرف.

(a)

DNA	T A C	G C A	A T G	A C C	C A G	G A T	T A T	A T T
RNA	A U G	C G U	U A C	U G G	G U C	C U A	A U A	U A A
الحمض الأميني	Met	Arg	Tyr	Trp	Val	Leu	Ile	توقف

(b)

DNA	T A C	A T A	G C T	C C C	G C G	T T A	G G A	A T C
RNA	A U G	U A U	C G A	G G G	C G C	A A U	C C U	U A G
الحمض الأميني	Met	Tyr	Arg	Gly	Arg	Asn	Pro	توقف

بناء البروتين

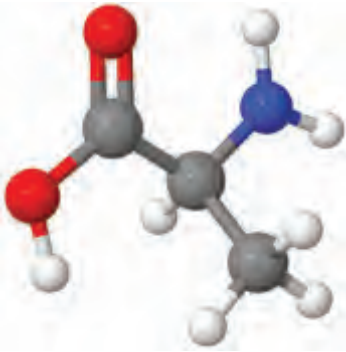
2-6

كيف يوجّه DNA بناء البروتين؟

سؤال الاستقصاء

علبة نماذج جُزيئية.

المواد المطلوبة



تتمثل مهمّة كل مجموعة من الطلاب في هذا النشاط بنسخ قطعة DNA إلى mRNA، ثم بناء أحد الأحماض الأمينية المعنية. سوف تؤدي كل مجموعة وظيفة tRNA بأن تُحضّر حمضها الأميني إلى الرايبوسوم (المعلم)، وتضيفه بوساطة تفاعل تكثيفي إلى سلسلة عديد الستد النامية.

الخطوات

لدينا قطعة من DNA تضم التسلسل الآتي:

[illegible]

1. انسخ سلسلة DNA إلى mRNA.
2. استخدم الجدول 1-6 لتحديد تسلسل الأحماض الأمينية.
3. سَيُعَيَّن لكل مجموعة حمض أمينيّ أو حمضان لتبنيهما.
4. عندما يتم تنفيذ ما سبق، يؤدي المعلّم دور الرايوسوم، ويقرأ سلسلة mRNA. تمثّل مجموعات tRNA وتحضر حمضها الأميني المناسب إلى المعلّم، ليضمّه إلى سلسلة عديد الببتيد التي يتم تجميعها.

الأُسْلة

- a.** افترض أنّ خطأً قد حدث في سلسلة mRNA، وذلك بتغيير الكودون GAC ليصبح GAU. هل تتأثر سلسلة البروتين؟
- b.** افترض أنّ خطأً حدث في سلسلة mRNA، وذلك بتغيير الكودون UGC ليصبح UGA. هل يتأثر البروتين؟
- c.** لماذا يُطلق على التفاعل الذي يؤدي إلى ربط الأحماض الأمينية اسم تفاعل تكثيفي؟
- d.** ما أهمية أن يكون للأحماض الأمينية جميعها التركيب العام نفسه؟

مراجعة بناء البروتين

يبدأ تدفق التعبير الجيني بحمض DNA، ثم ينتقل إلى RNA الذي يدير إنتاج البروتينات. يخزن DNA الشيفرة الوراثية، بينما يقرأ RNA هذه الشيفرة، ويصدرها إلى خارج نواة الخلية.

1. تُنسخ سلسلة DNA القالب إلى mRNA، ويتم وضع القاعدة النيتروجينية اليوراسيل (U) مقابل الأدينين بدلاً من الثايمين (T).

2. تُغادر جزيئات mRNA النواة حاملة الشيفرة الجديدة التي نُسخت حديثاً.

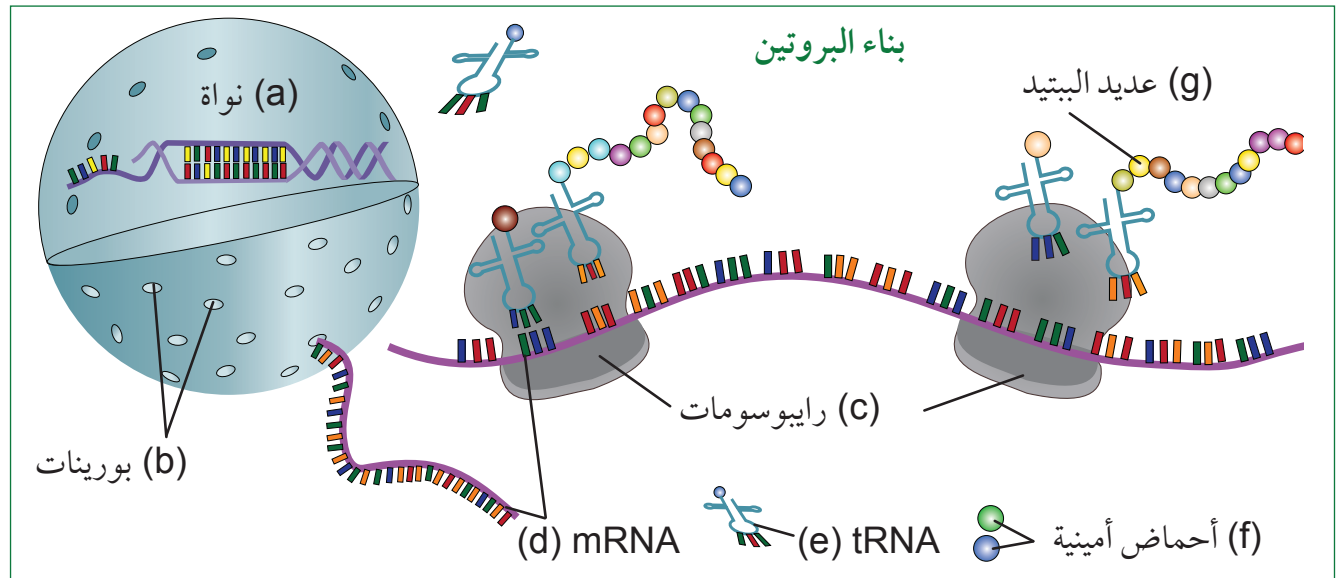
3. ينتقل mRNA إلى رايبوسوم في سيتوسول الخلية.

4. لكل حمض أميني tRNA خاص به يرتبط بالحمض الأميني من أحد طرفيه وبكودون RNA المُتمم في الطرف الآخر.

5. يسهل rRNA في الرايبوسومات ارتباط الكودون المضاد الموجود في tRNA بالكودون الملائم على mRNA.

6. يعمل rRNA عمل الإنزيم، فيجمع الأحماض الأمينية لتكوين بروتين، من خلال تحفيز تكوين رابطة ببتيدية عند إضافة كل حمض أميني جديد إلى سلسلة عديد الببتيد في الرايبوسوم.

7. يستمر mRNA بالتقدم عبر الرايبوسوم، مضيفاً الأحماض الأمينية حتى يصل إلى كودون توقف الترجمة، فينطلق البروتين في الخلية.



شكل 21-6 نظرة شاملة إلى بناء البروتين تظهر (a) تضاعف DNA في النواة، (b) خروج mRNA المنسوخ عبر ثقب في النواة، (c) حركة mRNA إلى (d) الرايبوسومات، حيث (e) يترجم tRNA الكودونات الثلاثية إلى (f) تسلسلات من الأحماض الأمينية التي تتجمع في بروتينات.

تقويم الدرس 2-6

1. لماذا يُطلق على DNA اسم «مخطط الحياة»؟ 
2. وضح أربعة اختلافات رئيسة بين DNA و RNA. 
3. لكل نوع من أنواع RNA: 
 - a. اكتب الاسم والاسم المختصر.
 - b. ارسم نموذجاً مبسطاً، وعيّن عليه الأجزاء.
 - c. وضح الدور الذي يؤديه في بناء البروتين.
4. اكتب اسم الحمض الأميني أو صف الحدث الناتج من كل كودون من كودونات RNA الآتية: 
 - a. GUU
 - b. AUG
 - c. CAC
 - d. UAA
 - e. UGU
5. انسخ شيفرة DNA الآتية وترجمها: 

3' TACAAACTGGGGATATCCGAACT 5'
6. أيّ من خطوات بناء البروتين لن تتم إذا لم يكن هناك جزيئات tRNA في الخلية؟ 
7. عدد كودونات RNA التي لا تُعدّ شيفرة لأيّ حمض أميني. 
8. ارسم خلية تحدث فيها عمليتا النسخ والترجمة، موضّحاً على الرسم ما يأتي: 
 - a. الغشاء النووي.
 - b. الغشاء البلازمي.
 - c. الثقب
 - d. سيتوسول الخلية.
 - e. RNA بوليمريز وهو يعمل على سلسلة DNA القالب.
 - f. mRNA ينسخ قواعد DNA.
 - g. mRNA يتحرّك نحو وحدتي rRNA.
 - h. tRNA يربط الكودونات المضادة بالكودونات أثناء الترجمة.
 - i. tRNA يبني سلسلة عديد الببتيد من الأحماض الأمينية.

الدرس 3-6

الطفرات

Mutations



الشكل 22-6 DNA شيفرة تسلسل جيني فككها الكمبيوتر.

الطفرة تغيير في تسلسل قواعد DNA، يحدث في الكائنات الحية جميعها بمرور الوقت. تسبب بعض الطفرات تغييرات في الكائنات الحية. لكن غالبيتها العظمى لا تسبب أي تغييرات، في حين أن قليلاً منها يشكل خطراً. تؤدي الطفرات إلى التباين الذي من دونه لا يحدث أي تكيف في الجماعات الحيوية.

المفردات



Mutation	الطفرة
Excision	الاستئصال
Gene mutation	الطفرة الجينية
Silent mutation	الطفرة الصامتة
Missense mutation	الطفرة المغلوطة المعنى
Same sense mutation	الطفرة المطابقة المعنى
Frame shift mutation	طفرة الإزاحة
Sickle cell disease	مرض الخلايا المنجلية
Crossing-over	العبور
Chromosome mutation	الطفرة الكروموسومية
Inversion	الانقلاب
Translocation	الانتقال
Duplication	التضاعف
Deletion	الحذف
Addition	الإضافة
Somatic cell	الخلية الجسمية
Gamete	الجاميت (المشيج)
Non-disjunction	عدم انفصال الكروموسومات
Down syndrome	متلازمة داون
Trisomy	الثلاث الصبغي

مخرجات التعلم

B1120.1 يعرف مصطلح الطفرة الجينية.

B1120.2 يشرح كيف أن طفرات الاستبدال، والإضافة، والحذف في الحمض النووي (DNA) يمكن أن تغير تسلسل الأحماض الأمينية، على سبيل المثال في مرض الخلايا المنجلية.

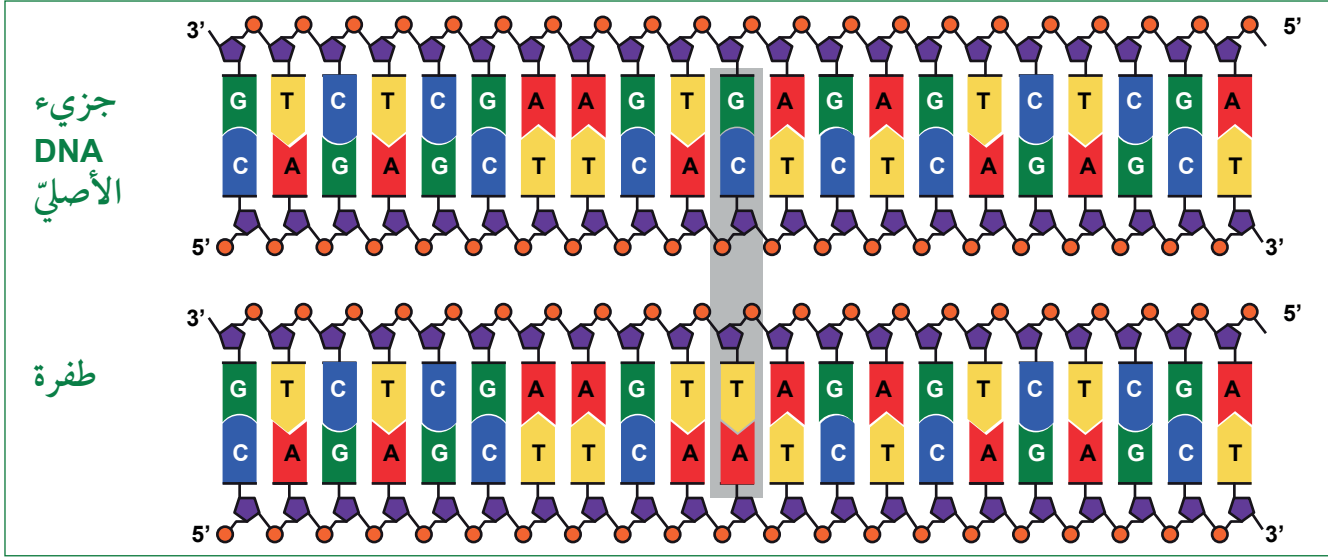
B1121.1 يعرف مصطلح الطفرة الكروموسومية.

B1121.2 يشرح ما يحدث في الطفرات العددية للكروموسومات، عندما تتكون الخلايا الجنسية في أثناء الانقسام الاختزالي (الميوذي)، وكيف يمكن أن يؤدي ذلك إلى انحرافات عددية، مثل الثلاث الصبغي 21 الذي يسبب متلازمة داون.

B1121.3 يصف ما يحدث في الطفرات التركيبية للكروموسومات، بما في ذلك: الانتقال، والتضاعف، والانقلاب، والحذف، ويشرح تأثيراتها في الفرد.

ما الطفرة؟

يتعرّض DNA في الخلايا جميعها لتغيّر كيميائيّ مستمر، وبخاصّة عند تضاعفه. يتم إصلاح معظم هذه التغيّرات بسرعة. وما لا يتمّ إصلاحه يصبح ثابتاً، ويمثل إخفاقاً في إصلاح DNA تكون نتيجته طفرة. **الطفرة الجينية Gene mutation** تغيّر في DNA، كحلول زوج القواعد C-G محلّ الزوج A-T. والطفرات مسؤولة عن التنوع في الكائنات الحيّة بمرور الوقت، ومسؤولة أيضاً عن تكيف الكائنات الحيّة مع التغيّرات في بيئتها.



شكل 23-6 الطفرة هي أيّ تغيّر في DNA، مثل حلول زوج من القواعد محل زوج آخر مختلف.

من أسباب حدوث الطفرات المواد الكيميائية السامة أو حتى التعرض للإشعاع. فقد تتفاعل أشعة جاما، والأشعة السينية، أو الأشعة فوق البنفسجية، مع جزيئات DNA، وتزيل بعض الإلكترونات، فتغيّر شحنة المجموعات الوظيفية.

يعتقد معظم الناس خطأً أنّ نتائج الطفرات جميعها سيئة جداً. حقيقة الأمر، أن الغالبية العظمى من الطفرات ليس لها أي تأثير على الإطلاق. ولما كانت نسبة 98% من DNA في أجسامنا غير فاعلة، فإنّ أيّ طفرة في هذا الجزء لن يكون لها أيّ تأثير. وتكون معظم الطفرات القليلة التي تحدث تأثيراً بيولوجياً، بلا تأثير مهم؛ ويكون بعضها مفيداً، وبعضها الآخر مُضراً.

غالباً ما تحدث الطفرات أثناء تكاثر الخلايا. لكن أجسامنا تحتوي على أجهزة تفحص DNA، وتصلح أية أجزاء تالفة فيه تلقائياً. يتمّ إصلاح التلف بواسطة عملية **الاستئصال Excision**، وفيها تقوم الإنزيمات بما يأتي:

- تحديد الأماكن المتضرّرة.
- إزالة جزء DNA الذي يتضمّن الخطأ.
- ملء الفجوات بمساعدة DNA بوليمريز.
- إعادة ربط أجزاء DNA التي تمّ إصلاحها بالقسم الصحيح، باستخدام DNA ليغيز، أو بروتين مماثل.

أنواع الطفرات

تحدث الطفرات في DNA عادة بطرائق ثلاث:

- **طفرة الاستبدال Substitution**، وفيها يحل زوج من القواعد محل زوج آخر. ويمكن أن يكون زوج القواعد المُستبدَل معاكسًا للزوج الأصلي، مثل حلول الزوج C-G محل زوج A-T، كما هو موضح في الشكل 6-24.
- **طفرة الحذف Deletion** تحذف زوجًا من القواعد.
- **طفرة الإضافة Addition** تضيف زوجًا من القواعد.



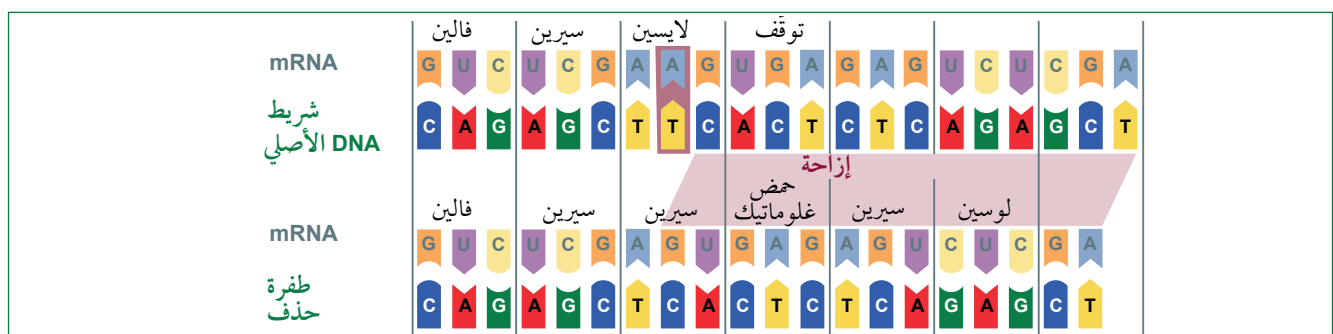
شكل 6-24 أنواع طفرات DNA الثلاثة.

و تشمل طفرة الاستبدال كل من :

الطفرة الصامتة Silent mutation هي تغيير في DNA لا تأثير له في خصائص البروتين ووظائفه. أما **الطفرة المغلوطة المعنى Missense** فهي تغيير زوج القواعد لتحديد حمضًا أمينيًا مختلفًا. في حين أن **الطفرة المطابقة المعنى Same sense** تغيير زوج القواعد، لكنها تظل تحدد الحمض الأميني نفسه، من دون أي تغيير في البروتين الناتج.

الطفرة فاقدة المعنى Nonsense إذا تم استبدال زوج من القواعد النيتروجينية وظهر كودون توقف، سوف تتوقف عملية الترجمة و لن يتم إنتاج البروتين المطلوب.

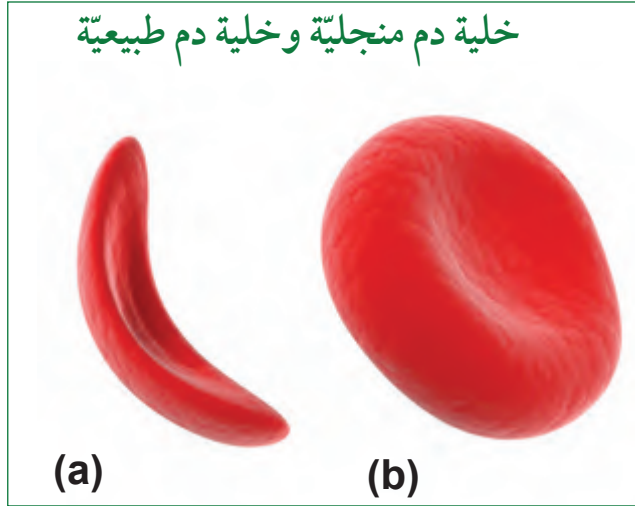
يُنسخ DNA إلى كودونات RNA ثلاثية. ولهذا السبب تكون طفرات الحذف وطفرات الإضافة أكثر أهمية من طفرات الاستبدال، لأنهما تُسببان **إزاحة Frame shift** أيضًا. يبين الشكل 6-25 أن الحذف يؤثر في الطريقة التي يُنسخ فيها التسلسل المتبقي إلى mRNA. ويمكن أن يغير ذلك من تسلسل كثير من الأحماض الأمينية.



شكل 6-25 تسبب طفرات الإضافة وطفرات الحذف إزاحة.

استبدال قاعدة واحدة ومرض الخلايا المنجلية

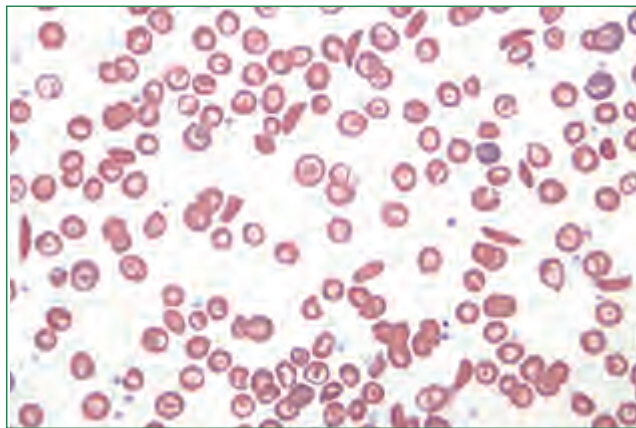
تنتج لدى الأشخاص الذين يعيشون في جنوب الصحراء الكبرى الإفريقية، أو الذين تعود أصولهم إليها، خلايا دم مقوَّسة أو هلالية في مرض يُسمَّى **مرض الخلايا المنجلية Sickle cell disease**. توجد الخلايا المنجلية في أنسجة دم الأفراد المصابين ومجراه. وبما أن مساحة سطح الخلية تقل إلى حدٍّ كبير، فإنَّها تحمل أكسجيناً أقلَّ من خلايا الدم الطبيعيَّة.



شكل 6-26 (a) خلية منجلية و (b) خلية دم حمراء طبيعية.

يشفَّر جين يوجد على الكروموسوم 11 لبروتين في جُزيء **الهيموجلوبين Hemoglobin** الحامل للأكسجين في خلايا الدم. يتكوَّن جين الهيموجلوبين من 438 زوجاً من القواعد ويحدث في طفرة الخلية المنجلية استبدال قاعدة واحدة من قواعد DNA، حيث تحل CAT محل CTT. عندما يُنسخ كودون mRNA ويُترجم فإنَّه يشفَّر للحمض الأميني الفالين بدلاً من حمض الجلوتاميك، فيتغيَّر تركيب بروتين الهيموجلوبين.

الفالين حمض أميني غير قطبي متعادل. أمَّا حمض الجلوتاميك، فهو حمض أميني قطبي وحمضي. هذا التغيُّر الطارئ يُحدث تغيُّراً في التركيب الثلاثي للبروتين. عندما يرتبط الهيموجلوبين بالأكسجين، يكون شكله الطبيعي مثل طبق مُقَعَّر. وعندما ينفصل الأكسجين عن الهيموجلوبين الناتج من الطفرة، عند الخلايا والأنسجة، يتغيَّر شكل البروتين إلى شكل منجلي أقلَّ ذائبية ويصبح لزجاً وليفياً، وتصبح الخلايا دقيقة وتنفجر بسهولة. وتكون النتيجة انسداد الأوعية الدموية، أو انخفاض عدد خلايا الدم الحمراء. وتُسمَّى هذه الحالة **فقر الدم المنجلي Sickle cell anemia**.

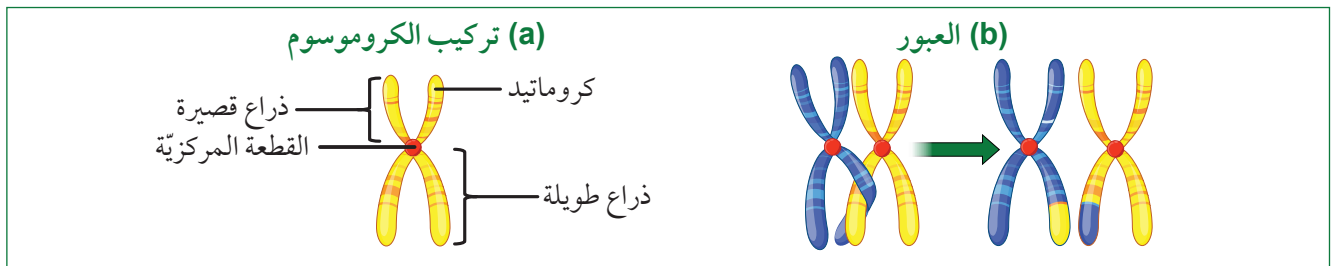


شكل 6-27 خلايا الدم مكبرة 400 مرّة تظهر بينها خلايا منجلية.

انتشرت طفرة الخلايا المنجلية في بعض الجماعات، لأنَّها تمنح مقاومة للملاريا. ففي المناطق التي تكون فيها الملاريا سبباً شائعاً للموت، أتاحت مقاومة الملاريا للكثيرين من حاملي الطفرة التكاثر قبل أن يصبحوا أكبر سناً، لكنهم كانوا أكثر عرضة للمشكلات التي يسببها مرض الخلايا المنجلية.

الطفرات الكروموسومية

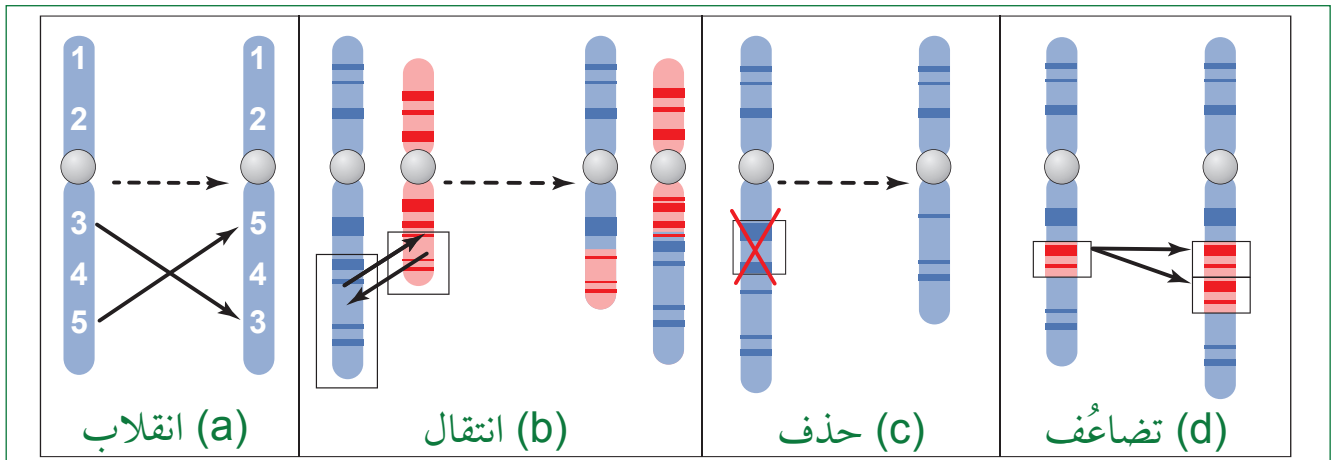
- تطوّرت الكروموسومات لتحمل المادّة الوراثيّة وتفرزها في أثناء التكاثرين: الجنسيّ واللاجنسيّ، بحيث تتلقّى الخلايا الجديدة كلّ DNA المطلوب. وهناك نوعان من التضاعف الكروموسوميّ، هما:
- **الانقسام غير المباشر (الميتوزي) Mitosis**: به تتكاثر خلايا الجسم، وتتلقّى كلّ خلية العدد نفسه من الكروموسومات، ومعلومات وراثيّة متماثلة.
 - **الانقسام الاختزاليّ (الميوزي) Meiosis**: في أثناءه تجتمع كروموسومات الأبوين ثم تنفصل عشوائيّاً فتحصل كلّ خلية جديدة على نصف عدد الكروموسومات ومعلومات وراثيّة فريدة.
- خلال كلا النوعين من انقسام الخلايا، يمكن أن تتصل الكروموسومات بعضها ببعض، أو تتراكم مع كروموسومات أخرى؛ فتكوّن أجزاء ملتصقة. وعندما تكون على اتصال بعضها مع بعض، يمكن أن تتبادل الجينات أماكنها. يسمّى تراكم الكروموسومات الذي تنتقل الجينات من خلاله **العبور Crossing-over** (الشكل 6-28).



شكل 6-28 (a) كروموسوم ذراعاه ملتصقتان (b) العبور.

الطفرة الكروموسومية هي تغيير في الكروموسومات. وهي عموماً، تتخذ واحداً من أربعة أشكال (الشكل 6-29):

1. تتبادل ذراعا الكروموسوم بأكملهما الأماكن، وينعكس ترتيب الجينات في أثناء **الانقلاب Inversion**.
2. يتبادل جزءان من الكروماتيدين مكانيهما في **الانتقال Translocation**.
3. تُزال قطع كاملة تضم عدداً من الجينات، وتتلاشى في أثناء **الحذف Deletion**.
4. تُضاف قطع كاملة متماثلة تضم عدداً من الجينات إلى الكروماتيد مسببة **التضاعف Duplication**.

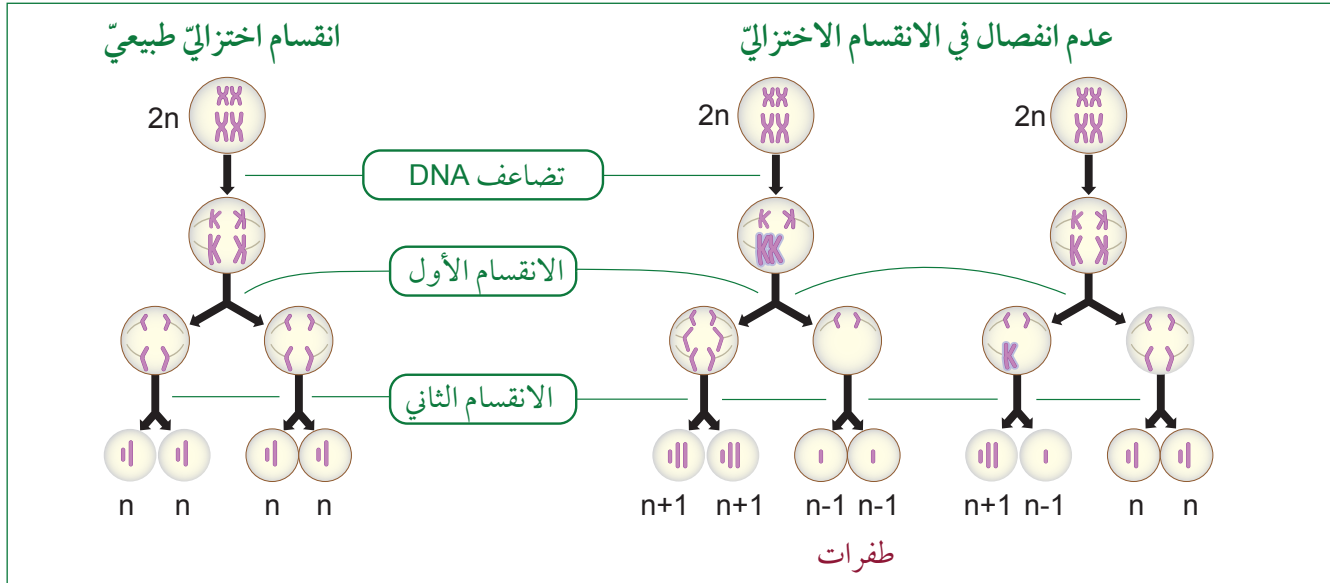


شكل 6-29 أربع طفرات كروموسومية شائعة.

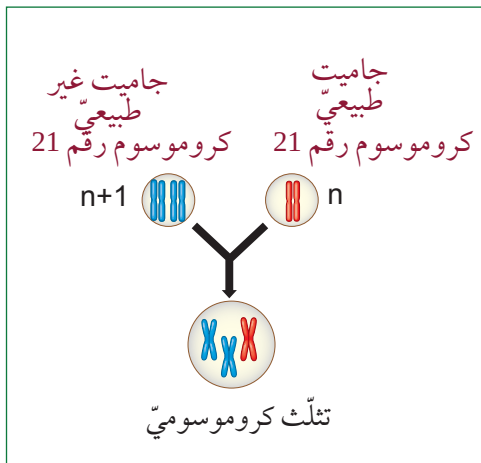
الطفرات في أثناء الانقسام الاختزالي

تؤثر الطفرات التي تحدث خلال الانقسام الاختزالي في الحيوانات المنوية والبويضات (الجاميتات)، وهي تُورث للجيل اللاحق. يبين الشكل 30-6 انقسامًا اختزاليًا طبيعيًا، ونوعين من الطفرات الكروموسومية. في الانقسام النووي الأول، يمر DNA في عملية تضاعف. وفي الانقسام الثاني، لا يتضاعف DNA، وبالتالي فإن كل خلية تحصل على نصف عدد كروموسومات الخلية الأصلية.

عندما يُخفق زوج أو أكثر من الكروموسومات في الانفصال على نحو طبيعي خلال الانقسام النووي، تكون النتيجة توزيعًا غير طبيعي للكروموسومات. يُسمى الإخفاق في الانفصال **عدم الانفصال** **Non-disjunction**. يبين الشكل 30-6 الأمر الآتي: إذا حدث عدم الانفصال في الانقسام الأول، تنتج أربعة جاميتات غير طبيعية. لكن إذا حدث عدم الانفصال في الانقسام الثاني، فينتج جاميتان طبيعيان، وجاميتان غير طبيعيين.



شكل 30-6 يحدث عدم الانفصال عندما تخفق الكروماتيدات، أو الكروموسومات في الانفصال بشكل صحيح خلال الانقسام الاختزالي.



شكل 31-6 تثلث كروموسومي ناجم عن طفرة عدم انفصال.

تسبب طفرة عدم الانفصال في الكروموسوم رقم 21 **متلازمة داون Down syndrome**، حيث تتلقى كل خلية في الشكل الأكثر شيوعًا من هذا الاختلال ثلاث نسخ من الكروموسوم 21 بدلاً من نسختين. الجاميت من أحد الوالدين يتصف بطفرة n+1 الظاهرة في الشكل 31-6. والجاميت من الأب الآخر يتصف بشكل طبيعي n. تعرف الحالة الثلاثية النسخ الكروموسومية باسم **التثلث الصبغي (الكروموسومي) Trisomy**. يسبب هذا الاختلال تغيرات في الملامح، وتأخرًا عقليًا، وتأخرًا في النمو البدني، وقصرًا في العمر.

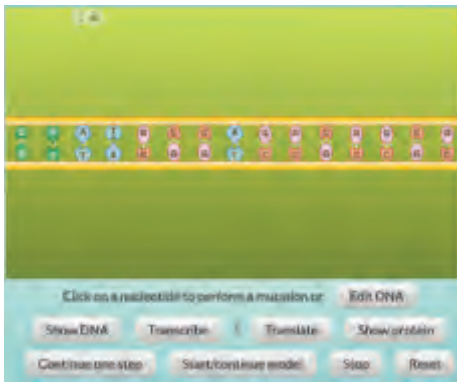
الطفرات

3-6

سؤال الاستقصاء	كيف تؤثر الطفرة في البروتين؟
المواد المطلوبة	محاكاة تفاعلية.

تستطيع في هذا النشاط أن تصحّح مقطعاً من DNA وتكتشف ما يحدث أثناء النسخ DNA إلى mRNA وتالياً ترجمته إلى بروتين عبر المحاكاة على العنوان الآتي:

<https://learn.concord.org/resources/779/mutations>



أرشف
Concord
Consortium

الخطوات

1. شغل المحاكاة لترى كيف تعمل. انقر «Show DNA» لترى تسلسل DNA. انقر «translate» و«transcribe» لتبني البروتين.
2. انقر «Edit DNA» وأحدث طفرة استبدال بواسطة طباعة حرف مختلف لأي قاعدة.
3. أحدث طفرة حذف بواسطة حذف حرف. أحدث طفرة إضافة عن طريق إضافة حرف.
4. على ورقة العمل، سجّل تسلسل DNA والتغير الذي أحدثته.
5. انقر وانظر التأثير في ترجمة البروتين.

الأسئلة

1. ما كانت تأثير طفرة استبدال نقطية؟ هل غيرت تسلسل الأحماض الأمينية؟ كيف؟
2. ما كان تأثير طفرة الحذف؟ هل غيرت تسلسل الأحماض الأمينية؟ كيف؟
3. ما كان تأثير طفرة الإضافة؟ هل غيرت تسلسل الأحماض الأمينية؟ كيف؟
4. هل تستطيع إحداث طفرة لا تغير تسلسل الأحماض الأمينية؟ صفها، واختبرها بواسطة المحاكاة؟

الطفرات في الانقسام غير المباشر

تتكاثر الخلايا العادية المُسمَّاة **الخلايا الجسمية Somatic cells** في جسمك عن طريق الانقسام غير المباشر. وتُتصف الطفرات الصغيرة التي تحدث في أثناء الانقسام غير المباشر بأنها طفرات شائعة، بالنظر إلى أن ثلاثين تريليون خلية في جسمك يكون معدل استبدالها مرة كل 7-10 سنوات. عندما تتكاثر الخلايا الجسمية، تنتشر الطفرة في الأنسجة، لكنها لا تنتقل إلى الأبناء.

السرطان مرض تسببه طفرات جينية تحدث عادة في أثناء الحياة، ولا تورث. ويعتقد العلماء أن معظم أنواع السرطان ترتبط بعوامل بيئية، مثل التدخين، والتعرض للأشعة فوق البنفسجية. وبما أن السرطان جيني المنشأ، فإنه عموماً ليس معدياً للبشر، على الرغم من أن بعض أنواعه يمكن أن تسببه فيروسات الأورام، وبعض البكتيريا.

وكمثال على الطفرة الخلوية الجسمية الشائعة في الإنسان، نوع من سرطان الجلد اسمه سرطان الخلية القاعدية carcinoma. يتسبب بهذا السرطان التعرض المفرط للأشعة فوق البنفسجية من أشعة الشمس. فهي تحدث ضرراً في DNA يؤدي إلى طفرة. يمثل الجزء العلوي من فروة الرأس، والأذنان، أو الجزء الخلفي من العنق، الأماكن التي يكون فيها هذا السرطان شائعاً. يحقق علاج هذا النوع من السرطان نجاحاً نسبته 100% إذا اكتُشف في وقت مبكر.



شكل 32-6 سرطان الخلية القاعدية سرطان جلد شائع جداً، ويمكن علاجه.



شكل 33-6 برتقال عديم البذور.

ومن طفرات الخلية الجسمية النباتية التي تنتشر فقط في الأنسجة طفرة البرتقال ذي السرة، وهو فاكهة عديمة البذور يعود أصلها إلى البرازيل. من أول شجرة وُجدت، أخذت أغصان إلى بلدان أخرى، وطُعمت بها الأشجار هناك، من أجل إنتاج فاكهة عديمة البذور. لا تحتوي أي من خلايا الشجرة على طفرة، باستثناء خلايا الأجزاء المُطعمَة. وبالنظر إلى عدم وجود البذور، فإن أشجار البرتقال هذه لا تتكاثر جنسياً.

الطفرات والتباين



شكل 34-6 المَهَقُّ في النمر.

تؤدي الطفرات دورًا أساسيًا في تطوُّر الكائنات الحيّة وتكيّفها، لأنّها مصدر التباين في الأنواع. التباين هو اختلافات وراثية صغيرة، كاللون الأبيض للنمر في الشكل 34-6. سوف نرى في الوحدة الثامنة أنّ التباين بين الأفراد يتيح إمكانية بقاء أطول لبعضهم. ويؤدي مع مرور الوقت إلى ظهور أنواع جديدة. إذا كانت الأفراد جميعها متطابقة، فإنّ مرضًا جديدًا قد يقتل الجميع، ولا يبقى أي أفراد للتكاثر. لحسن الحظ، يفيد التباين في بقاء بعض الأفراد على قيد الحياة، ويكون بإمكان تلك الأفراد نقل جيناتها إلى أبنائها.



شكل 35-6 تباين اللون في الطماطم.

والتباين مهمّ بالقدر نفسه للنباتات وللحيوانات. فواقع الحال أنّ كثيرًا من المزارعين يختارون النباتات المميزة لتشجيع تباينات محدّدة يعتقدون أنّها أكثر جاذبيّة، مثل الطماطم في الشكل 35-6.

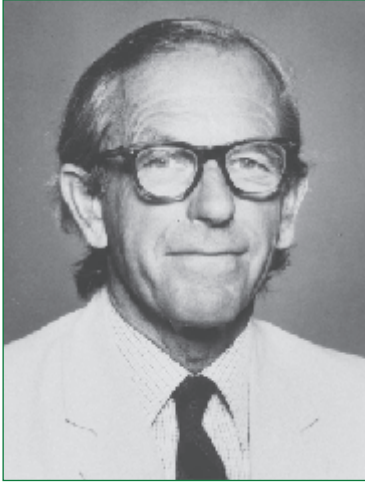
نرى التباين في الكائنات الحيّة كلّها: كبيرها وصغيرها. يكثر التباين خصوصًا في الحيوانات الأليفة، بالنظر إلى أنّ البشر قد بذلوا جهودًا كبيرة لتشجيع انتشار طفرات محدّدة تشمل الحجم، واللون، وشكل الجسم، والسلوك، وخصائص سواها. تنتمي كل القطط البالغة الظاهرة في الشكل 36-6 إلى النوع نفسه. أمّا الاختلافات فهي تباينات.



شكل 36-6 تنتمي هذه القطط جميعها إلى النوع نفسه *Felis catus*، لكن تمّ اصطفائها لإظهار التباين الوراثي الكبير.

1. عرّف الطفرة. 
 2. ما الأنواع الثلاثة للطفرات الجينية (DNA)؟ وأي منها يسبب إزاحة؟ 
 3. فيم تختلف الطفرة الجينية عن الطفرة الكروموسومية؟ 
 4. حدثت طفرة حذف في تسلسل CATTTCACATA ضمن DNA، وأصبح CATTCACTA. صِف كيف تتغير الطفرة عندما يتغير تسلسل DNA. 
 - a. افترض أن هذا هو السلسلة القالب. أي تسلسل القواعد يُنسخ إلى mRNA على كل من سلسلتي DNA الطبيعية والمتغيرة؟ 
 - b. فسّر كودونات RNA لكل من السلسلتين من حيث الأحماض الأمينية، والتعليمات التي تحددها كل منهما. 
 5. ما السبب في أن طفرات الخلايا الجسميّة لا تورث؟ استخدم مثالاً. 
 6. اذكر اختلاين كروموسوميين يسببهما عدم الانفصال. 
 7. لماذا يصيرّ عالم الأحياء على أن الطفرات ضرورية لاستمرار الحياة على المدى الطويل مع أن معظم الطفرات لا تأثير لها، أو هي ضارة، أو مميتة؟ 
 8. صنّف أنواع الطفرات المُدرّجة أدناه إلى: 
 - a. تلقائيّة 
 - b. مستحثّة 
- بخصوص الطفرات التلقائيّة، حدّد إن كانت الطفرة تحدث في جين واحد، أو أنها تشمل كروموسوماً. قد تحتاج إلى البحث في الإنترنت، أو الرجوع إلى المكتبة. لبعض الطفرات المُدرّجة تُعتبر قاعدة البيانات OMIM (Online Mendelian Inheritance In Man) مصدرًا جيدًا:
- a. مُتلازمة كلينفلتر.
 - b. مُتلازمة داون.
 - c. التلاسيميا
 - d. مرض القلب الخلقي.
 - e. التليف الكيسي.
 - f. الهيموفيليا (نزف الدم الوراثي).
 - g. مرض الخلايا المنجلية.
 - h. سرطان الرئة.

فردريك سانجر (1918-2013)



فردريك سانجر عالم كيمياء حيوية إنجليزي، فاز مرتين بجائزة نوبل في الكيمياء. توفي والداه بالسرطان خلال أول عامين له في جامعة كامبريدج. بدأ سانجر دراسته للحصول على الدكتوراة سنة 1940. وكان أول مشروع له استقصاء ما إذا كان بالإمكان استخلاص بروتين قابل للأكل من العشب. وعندما ترك المشرف على سانجر كامبريدج، غير مشروعه إلى مسألة أكثر عملية تتناول محصول البطاطا، ودرس الحمض الأميني اللايسين.

شكل 6-37 فردريك سانجر.

قد يكون ذلك بداية شغفه بالأحماض الأمينية ووظائفها. فاز سانجر بجائزة نوبل سنة 1958، لتحديده تسلسل الأحماض الأمينية جميعها في جزيء أنسولين الماشية. وبعد أن سبقه عالم آخر في تعرف تسلسل جزيء tRNA في الخميرة، حوّل سانجر اهتمامه إلى دراسة DNA.

ابتكر سانجر وفريقه تقنية لاستخدام إنزيم DNA بوليميريز، لتكسير النيوكليوتيدات. وباستخدام الكهرباء في وسط هلامي خاص، استطاعوا فصل نيوكليوتيدات الحمض الأميني وفرزه بحسب الحجم. وقد أنجز حل أول تسلسل كامل لجينوم DNA فيروس 4-T ذي السلسلة المنفردة، في مختبر سانجر سنة 1975. وقد احتوى جزيء DNA هذا على أكثر من 5,400 نيوكليوتيد.

سنة 1980، تقاسم سانجر وولتر غيلبرت مع بول بيرغ جائزة نوبل في الكيمياء، لمساهمتهما في تحديد تسلسل القواعد في الأحماض النووية. درس بيرغ الكيمياء الحيوية للأحماض النووية، وبخاصة DNA المعد تركيبه. وأشرف سانجر طوال حياته المهنية على كثير من طلاب الدكتوراة. وقد واصل اثنان منهما البحث ليفوزا بجوائز نوبل.

استمرّ سانجر في العمل على نحو جيد إلى أن جاوز التسعين من عمره، حتى أنه عمل مديراً لمشروع الجينوم البشري. وقد توفي في كامبريدج سنة 2013. وصف سانجر نفسه وصفاً موجزاً أرفق بنعيه فحواه أنه لم يكن «لامعاً أكاديمياً»، بل «مجرد فتى أثار فوضى في مختبر».

الوحدة 6

مراجعة الوحدة

الدرس 6-1: تركيب DNA ووظيفته

- DNA و RNA **حمضان نوويّان Nucleic acids**، وهما سلسلتان طويلتان من بوليمرات النيوكليوتيدات **Nucleotides**، التي تمثّل جُزيئات تشمل السكّر، وحمض الفسفوريك، وقاعدة نيتروجينية **Nitrogenous base**.
- هناك خمس قواعد نيتروجينية فيها يرتبط **الجوانين (G) Guanine** مع **السيتوسين (C) Cytosine**، ويرتبط **الأدينين (A) Adenine** مع **الثايمين (T) Thymine** في DNA ومع **اليوراسيل (U) Uracil** في RNA.
- تترتّب **أزواج القواعد Base pairs** ضمن DNA وسط تركيب لولبي مزدوج. وترتبط قاعدتا كل زوج إحداهما مع الأخرى بروابط هيدروجينية، تتكسر عندما يتضاعف DNA.
- يخزّن DNA المعلومات الوراثية في تسلسل قواعده.
- يبدأ **تضاعف DNA DNA replication** عندما يعمل إنزيم **DNA هليكيز DNA helicase** على انفكاك اللولب، وانفصال سلسلتيه إحداهما عن الأخرى على امتداد خطّ المُتَصَف. يضيف إنزيم **DNA بوليمريز DNA polymerase** قواعد جديدة، ليعيد بناء كلّ من السلسلتين المنفصلتين إلى جُزء DNA كامل في عملية تضاعف شبه **محافظ Semi-conservative**.
- يشكّل DNA في الخلايا الحقيقية النواة **كروموسومات Chromosomes** تبقى في نواة الخلية. تحتوي خلايا جسم الإنسان على 46 كروموسومًا.
- DNA جُزء قديم، ويقدر أنّ 98% من الثلاثة مليارات من أزواج القواعد في الجينوم البشري لم تعد تُستخدم.

الدرس 6-2: RNA وبناء البروتين

- يختلف RNA عن DNA كيميائيًا في السكّر (الرايبوز بدلًا من الرايبوز المنقوص الأكسجين)، و RNA جُزء من سلسلة مفردة، يرتبط اليوراسيل فيه بالأدينين بدلًا من الثايمين.
- يخزّن DNA المعلومات ويبقى في النواة، في حين يقرأ RNA المعلومات، وينسخها وينقلها خارج النواة إلى الخلية.

الوحدة 6

مراجعة الوحدة

- RNA قصير عادة أقل من 300 من القواعد، ويمكن إعادة تدويره إلى RNA جديد، في حين أن DNA طويل، ويتكوّن من ملايين بل مليارات أزواج القواعد، وهو دائم.
- **النسخ Transcription**: العملية التي ينسخ فيها RNA ترانسكربتاز RNA Transcriptase قسمًا من DNA إلى RNA الرسول (mRNA) Messenger RNA.
- **الكودونات Codons** سلاسل من ثلاث قواعد على RNA تمثل الأحماض الأمينية، أو التعليمات؛ مثل البدء أو التوقف.
- **الترجمة Translation** عملية استخدام المعلومات على mRNA لبناء بروتين.
- تحدث الترجمة في الرايوسومات في السيتوبلازم. وتحتوي الرايوسومات على RNA الرايوسومي (rRNA) Ribosomal RNA.
- **RNA الناقل (tRNA) Transfer RNA** ينقل الأحماض الأمينية المفردة إلى البروتين الذي يجري بناؤه في الرايوسوم.

الدرس 3-6: الطفرات

- **الطفرة Mutation** تغيير في DNA. يمكن أن تكون الطفرة استبدالاً، أو حذفاً، أو إضافةً في تسلسل DNA.
- تغيير طفرة الإزاحة المعلومات جميعها الواقعة بعد موقع حدوثها، ويمكن أن يكون لها تأثير كبير في أي بروتين يتكوّن.
- تنجم بعض الأمراض الوراثية، مثل الخلايا المنجلية، عن طفرات جينية.
- تستهدف **الطفرة الكروموسومية Chromosome mutation** أجزاء كبيرة من DNA على الكروموسوم من خلال: **الانقلاب Inversion**، **والانتقال Translocation**، **والحذف Deletion**، **والتضاعف Duplication**.
- تشمل الطفرات الكروموسومية خلال الانقسام الاختزالي عدم الانفصال الذي هو سبب متلازمة داون.
- تشكّل الطفرات الكروموسومية خلال الانقسام غير المباشر في **الخلايا الجسمية Somatic cells** مصدر السرطان، وتنشأ غالباً بتأثير عوامل بيئية، مثل التعرّض الإشعاعي أو الكيميائي.

تحضير للاختبار

1. ما الجزيئات المتعاقبان اللذان يكونان جانبي سَلَم DNA؟

- a. بروتين وفوسفات.
- b. بروتين وسكّر.
- c. سكّر وفوسفات.
- d. بروتين ونيوكليوتيد.

2. ما الاختلاف الرئيس بين RNA و DNA؟

- a. RNA مجرد سلسلة مفردة.
- b. RNA يوجد في الخلايا الحقيقية النواة فقط.
- c. RNA يحتوي على الثايمين بدلاً من اليوراسيل.
- d. كل ما ذكر.

3. ما أهمية ترتيب أزواج القواعد على امتداد DNA؟

- a. DNA هو نفسه في كل كائن حي.
- b. DNA يشفر 20 حمضاً أمينياً.
- c. DNA يخزن شيفرة لنمو الخلية، وإصلاحها، وتكاثرها.
- d. أزواج القواعد تشكّل الكودونات المستخدمة في تضاعف DNA.

4. أي ممّا يأتي صحيح عن سلسلتي DNA في نهاية تضاعف DNA؟

- a. تضاعفتا ثلاث مرّات.
- b. تمّ تغييرهما.
- c. متماثلتان.
- d. لا شيء ممّا ذكر.

5. ما الخطوة الأولى في تضاعف DNA؟

- a. ارتباط 5-10 قواعد RNA تسمّى البادئ.
- b. تحرّر سلسلتين جديدتين من DNA.
- c. الانفكاك بفعل DNA هليكيز.
- d. تحفيز DNA بوليميريز لبناء سلسلة جديدة.

6. ما القواعد الأربع في RNA؟

- a. AGTC
b. AGUC
c. AUTC
d. AGTU

7. ماذا يحدث إذا فقدت الخلايا الرايبوسومات؟

- a. لا يمكن تشفير تسلسل القواعد من النواة.
b. لا يمكن تجميع البروتينات.
c. لا تُنقل المعلومات من DNA إلى السيتوبلازم.
d. لا يحدث التكاثر.

8. في أثناء بناء البروتين، من المسؤول عن حمل المعلومات إلى خارج النواة؟

- a. DNA
b. tRNA
c. rRNA
d. mRNA

9. ما أهمية ترتيب أزواج القواعد على امتداد الجين؟

- a. سكر الهيكل الأساسي هو الرايبوز المنقوص الأكسجين بدلاً من الرايبوز.
b. الجوانين والأدينين بيورينات في حين أن السايتوسين والثايمين بيريميدينات.
c. تسلسل أزواج القواعد يحدد تسلسل الأحماض الأمينية في البروتين.
d. القواعد يجب أن تكون بالترتيب الكيميائي: أدينوسين، ثايمين، جوانين، سايتوسين.

10. أي مما يأتي غير صحيح عن الطفرة؟

- a. تغير عدد الكروموسومات في الخلية.
b. تلحق ضرراً بالكائن الحي دائماً.
c. تتضمن تغييراً في تسلسل القواعد في الجين.
d. تغير في المادة الوراثية للكائن الحي.

11. بآية عملية يتركب RNA بناءً على DNA؟

- a. الترجمة
b. النسخ
c. التضاعف
d. الطفرة

12. تحتوي خلية جلد: على تسلسل القواعد ACTCCTGAAGAA. بعد تكاثر لاجنسي، تحتوي الخلية الجديدة على تسلسل القواعد التي تقرأ ACTCCTGATGAA. ما حالة الخلية الناتجة؟

- a. تعرّضت لطفرة انتقال.
- b. لم تتأثر بالتغيير.
- c. لديها تسلسل أحماض أمينية غير صحيح.
- d. تنتج البروتين الخطأ.

13. ما الاختلال الناتج من زيادة كروموسوم إلى الزوج الكروموسومي رقم 21؟

- a. التليف الكيسي.
- b. الإنفلونزا
- c. فقر دم الخلايا المنجلية.
- d. متلازمة داون.

14. ما تسلسل mRNA الذي يُنسخ إليه تسلسل ACT في DNA؟

- a. UCT
- b. ACU
- c. UGA
- d. AGU

أسئلة الإجابات القصيرة

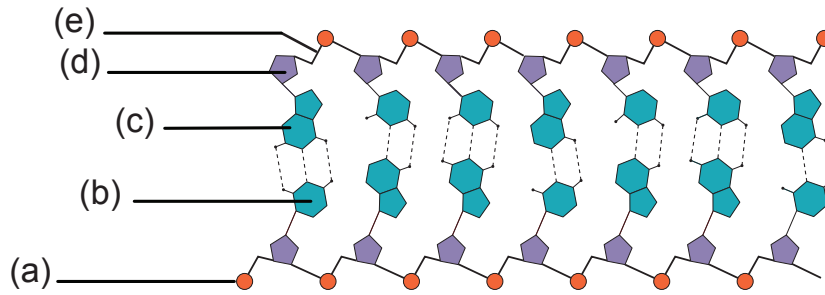
الدرس 1-6: تركيب DNA ووظيفته

15. تحتوي السلسلة القالب في قطعة من DNA على القواعد النيتروجينية بالترتيب الآتي: 3' ATCGGTTCCAGA 5'

- a. كيف تعرف أنّ تلك القطعة لا يمكن أن تكون سلسلة RNA؟
- b. ما ترتيب أزواج القواعد على الجانب الآخر من سُلّم DNA؟

16. كشف تحليل كيميائي أن عينة DNA تحتوي على 19 % ثايمين بوحدة المول. طبق قواعد تشارغاف. ما النسب المئوية للقواعد الأخرى؟

17. حدّد اسم كلّ تركيب مؤشّر عليه بحرف في الشكل أدناه.



18. ميّز بين النهايتين 3' و 5' في جزيء DNA. حدّد ثلاثة أماكن يكون فيها اتّجاه تحرّك السلسلة مهمّاً في تضاعف DNA.



19. اذكر وظيفة كلّ إنزيم أدناه في تضاعف DNA:



a. DNA بوليمريز.

b. DNA هليكيز.

c. DNA ليغيز.

الدرس 2-6: RNA وبناء البروتين

20. عرّف المصطلحات أدناه في سياق RNA و DNA:



a. النسخ.

b. الترجمة.

c. الكودون.

21. حدّد ثلاثة أحماض أمينية يشفر للواحد منها بأربعة كودونات مختلفة.



22. ما تفسير الكودون UAG؟



23. لماذا يستطيع mRNA مغادرة النواة، في حين لا يستطيع DNA ذلك؟



24. كيف تشبه وظيفة rRNA عمل الإنزيم في بناء البروتين؟



25. ما عدد سلاسل mRNA المحتملة لسلسلة الأحماض الأمينية Leu-Gly-Ala-Lys-Glu؟



26. السلسلة القالب لقطعة DNA تحتوي على أزواج قواعد بالترتيب الآتي:

3' ATCGGTTCCAGA 5'

- اكتب السلسلة القالب في mRNA مع مسافات لتشير إلى الكودونات.
- ما اسم أول حمض أميني في التسلسل؟ وما أهميته؟
- ما اسم آخر حمض أميني في التسلسل؟ وما أهميته؟
- ترجم السلسلة القالب، وبين كل كودون مضاد.
- اكتب تسلسل الأحماض الأمينية التي ستنتج.

الدرس 3-6: الطفرات

27. ما الفرق بين الطفرة والمرض الوراثي؟

28. صف كل نوع من أنواع الطفرات الجينية الرئيسية الثلاث، وأعط مثالاً مستخدماً تسلسل CGACGACGA في DNA.

29. صف ثلاثة عوامل بيئية يمكن أن تسبب طفرات.

30. لماذا تُعد طفرات الحذف والإضافة أكثر أهمية من طفرات الاستبدال؟

31. ابحث، وسم مرضين تسببهما طفرات جينية لم تذكر في هذه الوحدة. اذكر اسم الجين المتأثر.

32. ما العلاقة بين DNA والكروموسومات؟

33. قد تؤثر الطفرة الكروموسومية في أكثر من زوج واحد من القواعد على DNA، علّل ذلك.

34. افترض أن طفرة كروموسومية تؤثر في 10% من الجاميتات في شخص ما. هل يعني هذا أن ابنه سيرث الطفرة؟ اشرح، سواء أكان الجواب بالنفي أم بالإيجاب.

35. لماذا يُحتمل أن تكون طفرة الخلية الجسمية أقل خطورة من الطفرة خلال الانقسام الاختزالي؟

رابط مع الرياضيات



استخدم الرسم البيانيّ للإجابة عن الأسئلة أدناه:

36. من كلّ ألف ولادة، ما عدد الأطفال الذين وُلِدوا لأمّهات في عُمر الأربعين؟



37. احسب النسبة المئوية لولادات متلازمة داون.



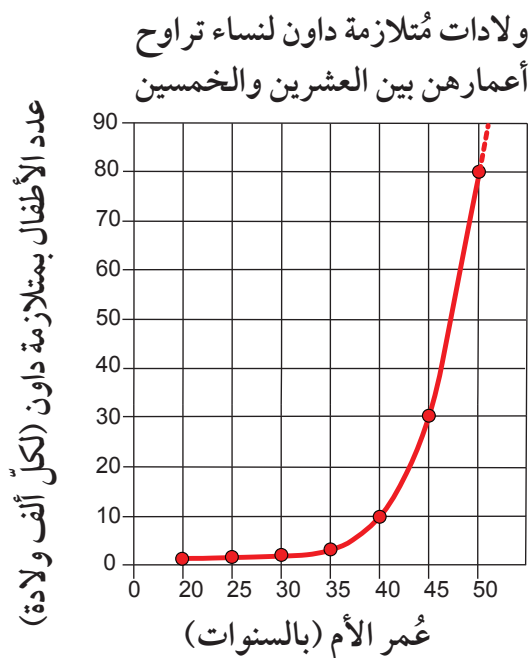
38. من كلّ ألف ولادة، ما عدد الأطفال الذين وُلِدوا لأمّهات في عُمر الخمسين؟



39. ما النسبة المئوية التي يمثلها ذلك؟



40. ما نسبة الزيادة في الولادات لأمّهات تراوح أعمارهنّ بين الأربعين والخمسين؟





تنشأ الاختلالات والأمراض البشريّة من طفرات في شيفرة DNA.

1. اختر اختلالاً أو مرضاً وراثياً لتبحث فيه، واحصل على موافقة معلّمك على الموضوع.
2. حدّد إن كان المرض طفرة جينيّة أو كروموسوميّة، وكيف يؤثّر في الفرد.
3. اشرح كيف تؤثّر الطفرة في الخليّة على المستوى الجزيئيّ موضّحاً على سبيل المثال مسبّب المشكلة: أهو حمض أمينيّ، أم عديد بيتيد، أم بروتين؟
4. اذكر بعض أعراض الاختلال أو المرض وعلاجاته.
5. ما الجماعات السكانيّة الأكثر عرضة للإصابة بالمرض؟ وكم عدد الأفراد الذين يتأثرون به؟
6. تأكّد من دراسة نموذج تقييم المشروع المُقدّم لتحصل على أفضل تقييم لمشروعك.



B1122
B1123

الوحدة 7

التكاثر في النباتات

Plant Propagation

في هذه الوحدة

الدرس 1-7: التكاثر اللاجنسي في النباتات
الدرس 2-7: زراعة الأنسجة النباتية

مقدمة الوحدة

إذا أخذنا في الحُساب التاريخ الكلي للأرض، نجد أن النباتات لم تكن موجودة من مدة طويلة. وكان لا بُدَّ من توافر كمية كافية من الأكسجين في الجو، ووجود مواد عضوية مع مواد غذائية في التربة، وتطوُّر الأنسجة النباتية، كي تصبح أنواع مختلفة من النباتات قادرة على التطور والتكيف. توفر النباتات للإنسان الغذاء، والمأوى، والملبس، والدواء. وكان لتنوع التراكيب والطرائق المُستخدمة في تكاثر النباتات على النطاقين الواسع والضيِّق دورٌ مهمٌّ في تنوع الأغذية والثقافات. سنركّز في هذه الوحدة على أسباب تكاثر النباتات لاجنسيًا في الطبيعة وكيفيته، وكيفية جعلها تتكاثر اصطناعيًا.

الأنشطة والتجارب

1-7	التكاثر الخُصريّ
2-7	ملاحظة الخلايا الكاملة الفاعلية

الدرس 1-7

التكاثر اللاجنسي في النباتات

Asexual Reproduction in Plants

النباتات مجموعة متنوعة من الكائنات الحيّة، تتراوح بين أنواع نباتية ذات حجم صغير مثل عدس الماء duckweed حجمه بحجم حبة الأرز، و أنواع حجمها كبير مثل أشجار السكوايا (الخشب الأحمر) الشاهقة الارتفاع التي يصل طولها إلى 115 متراً. تتكاثر النباتات بطرائق عدّة، لكن معظمها يتكاثر جنسياً. تتكاثر بعض النباتات جنسياً ولا جنسياً، كما هي حال شجيرات العليق الأسود (التوت البري) الناضج، انظر الشكل 1-7. وللتكاثر اللاجنسي ميزات لا تتوافر في التكاثر الجنسي. درس الإنسان على مدى آلاف السنين النباتات، وحسن طرائق للتكاثر اللاجنسي للنباتات، لأنّه أسرع، ولأنّ النباتات تحتفظ خلاله بالخصائص المرغوبة نفسها التي في النبات الأصل.

المفردات



Bryophytes	الحزازيات
Ferns	السرخسيات
Gymnosperms	مُعَرَّة البذور
Angiosperms	مُعَطَّة البذور
Clone	المُسْتَنْسَخ
Vegetative propagation	التكاثر الخُصْرِيّ
Fragmentation	التجزؤ
Stolon or Runner	الساق الجارية
Tuber	الدُرنة
Node	العُقْدة
Bulb	البصلة
Corm	الكورمة
Rhizome	الرايزوم
Native	المحلّي
Cutting	التعقيل
Grafting	التطعيم
Budding	التبرعم
Scion	الطعم
Root stock	الجدل
Ground layering	الترقيد الأرضي
Air layering	الترقيد هوائي



شكل 1-7 تتكاثر نباتات العليق الأسود البرية جنسياً ولا جنسياً

مخرجات التعلّم

B1122.1 يراجع الطّرق الطبيعيّة للتكاثر

الخُصْرِيّ (اللاجنسيّ) التي درس عنها في الصفّ التاسع.

B1122.2 يلاحظ طرقاً مختلفة للتكاثر

الخُصْرِيّ ويصفها (التطعيم، والعُقْلة، والترقيد، والترقيد الهوائي).

تكاثر مجموعات النبات

النباتات كائنات حيّة حقيقيّة النواة، تتكاثر بطرائق عدّة مختلفة. وعلى الرغم من أن النباتات جميعها قادرة على التكاثر الجنسي، فإنّ كثيرًا منها تتكاثر - على نحو ورتيني - تكاثرًا لاجنسيًا، أو تقوم بذلك عندما تتغيّر ظروف البيئة.

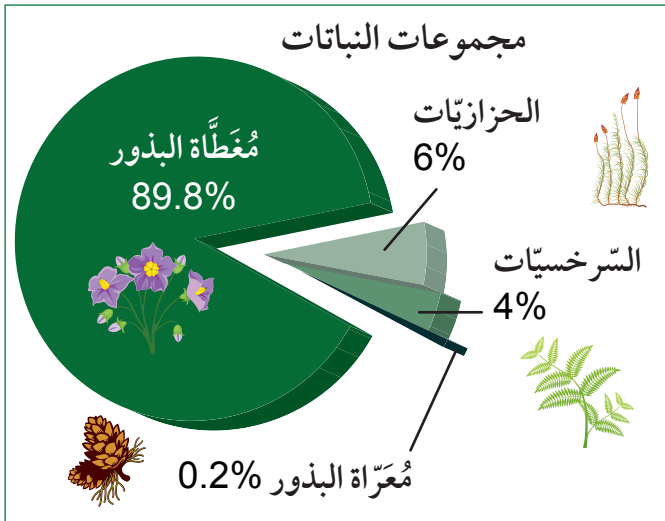
يعتمد علماء النبات حاليًا على دراسة تتابع DNA لتقسيم المملكة النباتيّة إلى أربعة أقسام، توصف بالاعتماد على الخلايا الجنسيّة المُستخدمة في التكاثر الجنسي (الشكل 7-2).

1. **الحزازيّات Bryophytes** نباتات لاوعائية تستخدم الأبواغ والأمشاج للتكاثر.

2. **السرخسيّات Ferns** تستخدم الأبواغ أيضًا للتكاثر بالإضافة لاستخدام الأمشاج.

3. **النباتات المخروطيّة، أو المُعرّاة البذور Gymnosperms** تُنتج بذورًا مُعرّاة.

4. **النباتات الزهريّة، أو المُغطّاة البذور Angiosperms** تُنتج بذورًا مُغطّاة.



شكل 7-2 العدد المُقدّر لأنواع النباتيّة في المجموعات الأربع الرئيسيّة.

تضمّ النباتات المُغطّاة البذور أكبر عدد من الأنواع، وجميعها تُنتج الثمار **Fruits**. ويُشار إلى أنّ مفهوم الثمرة في علم النبات يختلف عمّا هو عليه في المحالّ التجاريّة. فالثمار هي أجزاء النبات التي تحتوي على البذور، وهي إمّا جافّة جدًّا مثل قرنّ الفول، وإمّا لحميّة مثل التفاح والكمثرى. تكون النباتات الثمار كي تسهم في التكاثر.

تشمل مُغطّاة البذور أعشابًا، وأشجارًا، وشجيرات، والأزهار البرية والنباتات الزهريّة المنزليّة، وكلها لديها القدرة على تكوين الأزهار وإنتاج الثمار بواسطة التكاثر الجنسي. يسهم الجمع بين



شكل 7-3 يزيد التكاثر الجنسي من التباين في النباتات.

الوراثي. ومن شأن التباين بين أفراد النوع الواحد أن:

- يعين على التكيف مع التغيّر المُناخيّ والفصليّ.

- يعطي ميزة البقاء للأفراد ذات الصفات الأكثر ملاءمة.

مميزات التكاثر اللاجنسي في الطبيعة



شكل 4-7 تخزين الخضراوات والفواكه الطاقة لأجنة النبات النامية.

توفّر سيقان النباتات وثمارها جزءاً كبيراً من غذائنا. وتعتبر الثمرة في النبات نسيجاً خاصاً لتخزين الغذاء حول البذور. ومن أمثلة الثمار، الخضراوات والمُكسّرات. ويُعدّ مخزون الطاقة المؤقّت بداخل البذور ضرورياً لأجنة النبات النامية. تستهلك البذور ذلك الغذاء المُخزّن، فضلاً عن الماء والمواد الغذائية المأخوذة من التربة، إلى حين نمو الأوراق التي تمتصّ الطاقة من الشمس. ورغم أهمية البذور للنبات إلا أن كثيراً من النباتات قادرة أيضاً على التكاثر اللاجنسي.

تتكاثر النباتات لا جنسياً بواسطة الانقسام غير المباشر (الميتوزي) مما يكسبها مميزات كثيرة على المدى القصير:

- لا يتضمن هدراً للطاقة على تراكيب التكاثر الجاذبة للملقّحات. وبدلاً من ذلك، يستخدم النبات الطاقة في انقسام الخلايا بسرعة أكبر.
- يُستغنى فيه عن الملقّحات.
- تجنب المخاطر التي تتعرض لها البذور الناتجة عن التكاثر الجنسي مثل الظروف القاسية كما هو الحال في المناطق ذات فصول النمو القصيرة أو المنافسة الكبيرة بين البذور على الغذاء أو كما يحدث حال تجدد المواد الغذائية في التربة موسمياً كما أن البذور يمكن التهامها بواسطة الحيوانات.
- قد لا يكون لدى النبات الوقت الكافي لنمو الأزهار، أو نشر البذور، وبذلك يعتبر التكاثر اللاجنسي موفراً للوقت.

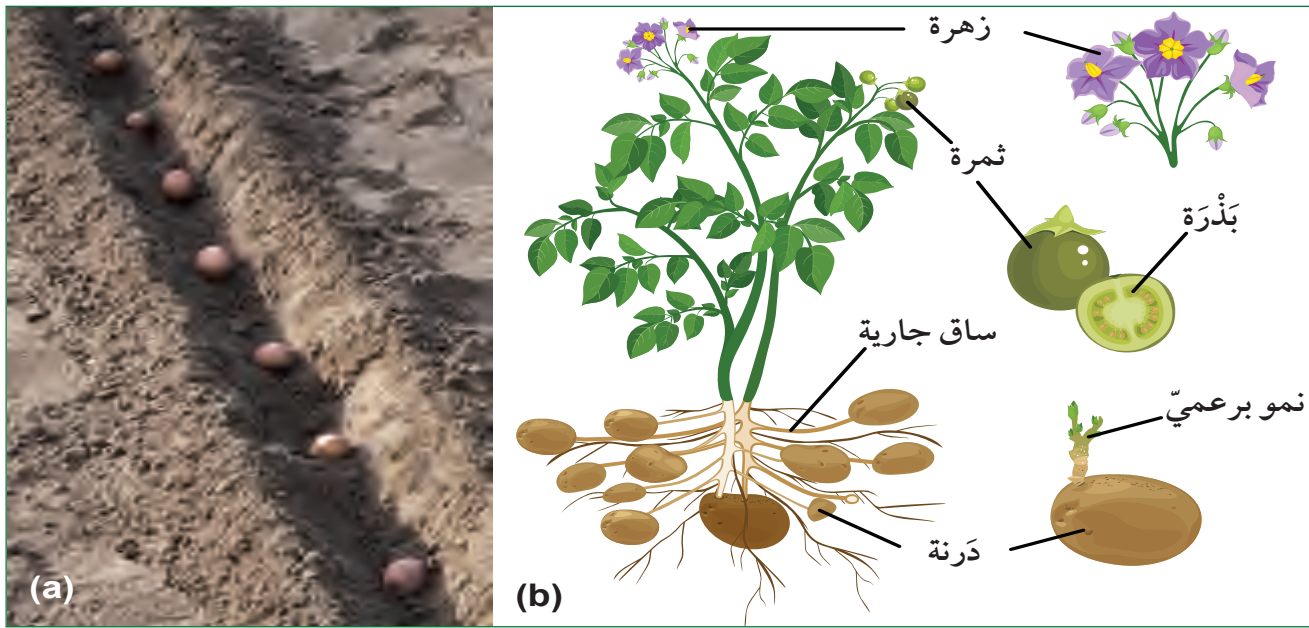
ينتج التكاثر اللاجنسي أيضاً نباتاً مطابقاً وراثياً للأصل، يُسمّى **المُسْتَنْسَخ Clone**، خاصة عندما يكون ليس هناك حاجة للتباين الوراثي. مثال جيد على ذلك عشب الكثبان الرملية؛ فهذا النبات يتكاثر باستخدام ساق أفقية متحوّرة تُسمّى **الساق الجارية Runner** (الشكل 5-7). تنمو نباتات كثيرة من نباتات الساحل أو الصحراء قرب سطح التربة، وتتكاثر لاجنسياً لتجد الماء بسرعة، وتخزّنه، ثمّ تعيد توزيعه. تكون السيقان الجارية المُسْتَنْسَخَة أكثر قدرة على التحمّل مقارنةً بالشتلات النامية من البذور. ويمكن أن تنضج بسرعة أكبر. ومع ذلك، إذا لم يكن هناك جمع للجينات من النباتات الذكورية والنباتات الأنثوية، فإنّ النباتات المُسْتَنْسَخَة سوف تبقى حية فقط إذا بقيت الظروف مستقرّة، أو إذا لم يكن هناك منافسة على الموارد.



شكل 5-7 السيقان الجارية العشبية مُسْتَنْسَخَات من النبات الأصل.

التكاثر الخُصريّ في الطبيعة

التكاثر الخُصريّ Vegetative propagation هو استخدام أنسجة جذر، أو ساق، أو ورقة، من نبات أصل واحد، لتكوين نباتات جديدة. وقد طوّرت أنواع نباتية في الطبيعة تراكيب وطرائق مختلفة من التكاثر الخُصريّ. تحدث بعض تلك الطرائق على نحو طبيعي؛ فإذا سقطت قطعة من النبات الأصل، أو انقسمت إلى أجزاء بعملية **تَجَزُّؤ Fragmentation**، فقد ينمو بعضها أو جميعها إلى نباتات جديدة مستقلة. وهناك طريقة أخرى تحدث عندما تموت الأوراق والسيقان، وتبقى بعض الأجزاء الأخرى تحت سطح الأرض مكانها، وهكذا تظل في حالة كمون حتى الموسم التالي، كما في البطاطس (الشكل 6-7).



شكل 6-7 (a) يغرس المزارعون البطاطس التي نعرفها بدلاً من البذور. (b) ينمو نبات البطاطس من برعم على الدرنة في الموسم التالي.

يغرس المزارعون درنات البطاطا بدلاً من بذورها، لأنها تحتفظ بخصائص مطابقة للنبات الأصل (الشكل 6-7a). وقد يتكوّن نبات البطاطس الجديد من برعم على درنة البطاطس نفسها، أو من ساق جارية أفقية متصلة (الشكل 6-7b). ليست البطاطس التي نعرفها جذورًا، بل هي سيقان جارية منتفخة تحوّرت لتخزين النشا الناتج من عملية البناء الضوئي. تُسمّى الساق الجارية التي تقع تحت سطح الأرض، وتستخدم في تخزين الغذاء، **دُرنة Tuber**.

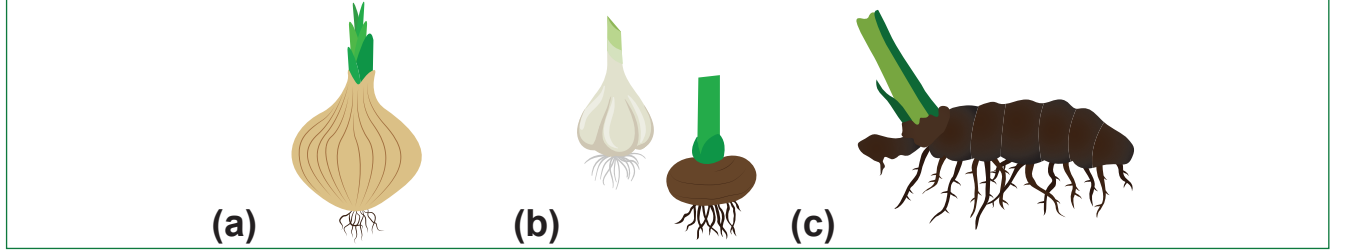


شكل 7-7 نبات العنكبوت.

ومن النباتات الأخرى التي تستخدم السيقان الجارية للتكاثر الخُصريّ، الفراولة، ونبته العنكبوت، والأعشاب. والساق الجارية العُشبية هي في الواقع ساق فوق أرضية. ويمكن أن تنمو على الساق الجارية **عُقَد Nodes** تحدّد اتجاه النمو. وكلّما أمكن ذلك، ينمو عند العقدة برعم جديد نحو الأعلى، وجذور نحو الأسفل.

التكاثر الخُصريّ يُطوّر تراكيب خاصّة

تتطور تراكيب خاصة بفعل التكاثر الخُصري. هذه التراكيب يمكن إعادة زراعتها وإنتاج مستنسخات من النبات الأصل. ومن الأمثلة على ذلك: أبصال نبات البصل، وكورمات الثوم، ورايزومات الزنجبيل (الشكل 8-7). هذه الأجزاء تبقى تحت سطح الأرض في حالة كمون أوقات البرد أو الجفاف، إلى أن تتغيّر الظروف البيئية. وعندها تخرج السيقان تحت الأرضية من حالة الكمون، تستخدم الطاقة المُخزّنة فيها لحفز نموّ جديد. فإذا مات النبات الأصل، ينمو مكانه نبات جديد كما في نبات البطاطس.



شكل 8-7 (a) الأبصال، و (b) الكورمات، و (c) الرايزومات، يمكن أن تتكاثر خُصريًا على نحو طبيعيّ.

تتكون **أبصال Bulbs** نبات البصل من أوراق متحوّرة تخزن الغذاء ملتفة في طبقات بعضها فوق بعض (الشكل 8-7 a). تجفّ الأوراق الخارجيّة لتحمي الأنسجة الداخليّة التي تحتوي على مركّب كيميائيّ يوفر لها حماية من الالتهام بواسطة الحيوانات. أضف إلى ذلك، الكُرّاث، والثوم المعمّر، هما من النباتات الغذائية التي تكوّن أبصالاً أيضًا. وتحتوي **الكورمات Corms** على طبقات ورقية، ونسيج ساق صلب معًا (الشكل 8-7 b). وإلى جانب الثوم، توجد الكورمات غالبًا في نباتات الحدائق كالزعفران والسوسن. أمّا **الرايزومات rhizomes** فتمتدّ أفقيًا في التربة ويتم فيها تخزين الغذاء بدلًا من تخزين الغذاء في طبقات، ونجدها في نباتات، مثل الكرّكم والخيزران (الشكل 8-7 c).

من الأمثلة على الجذور المتحوّرة من أجل تخزين الغذاء، والتي يمكنها أن تتكاثر لاجنسيًا، الجَزَر، والفُجَل، والبنجر (الشكل 9-7). وإذا حفر حيوان في التربة وصولًا إلى الجذر لأكل الغذاء المُخزّن فيه، قد يترك الجزء العلويّ المُورق فوق سطح الأرض المتخلخل. وما دام الجزء العلويّ متّصلًا ببعض الغذاء المُخزّن، فإنه يظلّ قادرًا على البقاء وإعادة تنمية الجذر بعد سقوط المطر.



شكل 9-7 (a) الجَزَر، (b) والبنجر، (c) والفُجَل، جذور متحوّرة يمكن أن تتكاثر خُصريًا عن طريق تَجزُّؤ الجذر، مع جزء من الساق.

يمكن استخدام الأوراق أيضًا في عملية التكاثر الخُصريّ، كما في نبات الثُعبان، والبنفسج الإفريقيّ، والنباتات الخازنة للماء، كالصَّبّار. وبما أنّ تلك النباتات نباتات منزليّة، وليست مصدرًا للغذاء، فإنّها تُكثّر عادة في المشاتل، أو لاستعادة المواطن المدمّرة.

طرائق التكاثر الخُصريّ الاصطناعيّ

بدأ الإنسان بتحسين الأنواع النباتيّة منذ عشرة آلاف سنة بل أكثر، مع تحول المجتمعات عن الصيد وجمع الخضراوات والفواكه. وتشير الأدلّة الوراثيّة إلى أن زراعة القمح تعود إلى 9600 سنة قبل الميلاد، فأدّت إلى ظهور واحدة من الحضارات المبكرة في الشرق الأوسط. ومع مرور الوقت، اختار الإنسان النباتات المحليّة وجمع أجزاءها وقام بدراستها. ومن خلال الملاحظة والتجربة والخطأ، تعلّم كيف يجري التكاثر الخُصريّ لتحسين النباتات البريّة أو المحليّة **Native**. وقد جُمعت البذور في البداية وخُزنت لزراعة المحاصيل. لكن سرعان ما تعلّم المزارعون الأذكى كيف يستخدمون التكاثر الخُصريّ.

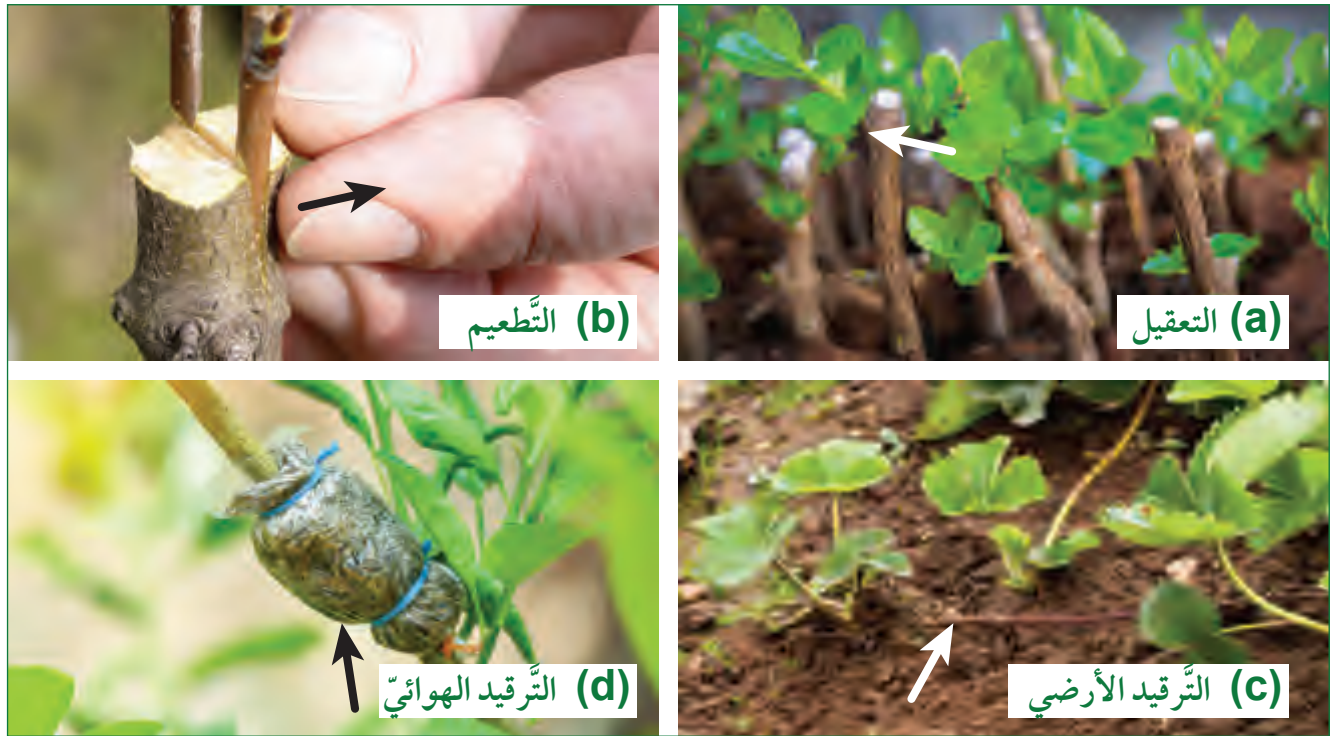
وفي الوقت الحاضر، عندما يريد المزارع إنتاج مُستنسخات من نبات معيّن بسرعة، يلجأ إلى أربع طرائق نموذجيّة، هي:

a. التعقيل

c. الترقيد الأرضي.

b. التطعيم

d. الترقيد الهوائي.



شكل 7-10 (a) التعقيل، و (b) التطعيم، و (c) الترقيد الأرضي، و (d) الترقيد الهوائي طرائق مُصمّمة لتكاثر المُستنسخات بسرعة.

وقد طُوّرت هذه الطرائق الأربع من التكاثر الخُصريّ لتكاثر النباتات من دون استخدام البذور. ويجري اختيار إحداها مع نبات مُعيّن بالنظر إلى مدى نجاحها معه. ويتركز الانتباه كثيرًا على تقنيّة التكاثر الخُصريّ المستخدمة، خصوصًا إن كان هدف المزارع طلب الربح، فقد تفضي زراعة المحصول إلى كارثة ماليّة، إذا تفشّى مرض ما، أو إذا استُخدمت تقنيّة خطأ.

تنمية النباتات من العقل

أبسط طرائق التكاثر الخُصريّ وأسرعها يعدّ **التعقيل Cutting**. في هذه الطريقة، يقطع المزارع جزءًا من النبات فيه براعم، ويغرسه جُزئيًا في التربة، أو في خليط غذائي معدّ لتحفيز نموّ الجذور. تنتج بعض العُقل ببساطة جذورًا في الماء العاديّ، أو عند غرسها باستقامة في تربة رطبة وخصبة (الشكل 7-11)، في حين تتطلّب أنواع أخرى من النباتات ظروف تربة وإجراءات أكثر دقة. ومن النباتات التي تنمو جيّدًا من العُقل، النباتات المنزليّة، وذوات السيقان الخشبيّة كالورد، والأعشاب، وأشجار الزيتون، وأشجار الزينة.



شكل 7-11 يكون التكاثر الخُصريّ بالتعقيل ناجحًا عادة في (a) السيقان العشبية اللينة الخضراء كاللّبلاب، أو في سيقان الأعشاب الخشبيّة (b) كإكليل الجبل.

يعتمد نجاح التكاثر الخُصريّ بالتعقيل على نظافة الأدوات، والتقنيّة المناسبة، وضبط المُتغيّرات. ومما يحسّن الإنتاج الحرص على منع انتشار الأمراض النباتيّة، وتثبيت pH، والرطوبة، ودرجة الحرارة، والإضاءة.



شكل 7-12 الورد والعنب يتكاثران خُصريًا بالتعقيل.

وسواء كانت الساق حوليّة أو مُعمّرة، أو كانت لينة، أو خضراء، أو دائمة الخضرة، أو خشبيّة صلبة، فمن المهم تحديد نوع العُقلة المأخوذة، ومتى يجري أخذها، وأي وسط هو الأفضل للتجذير. ففي الأخشاب الصلبة مثلًا، لا تُؤخذ عُقْلَة من قِمّة الساق؛ لأنّها قد تتطلّب منشّطات لهرمونات الجذور. كذلك تتلف بسهولة السيقان العشبيّة اللينة الخضراء عند القطع. وفي حين أن بعض الأصناف النباتيّة تتّصف بقدرة تحمّل عالية، ولا تتعرّض للمرض، نجد أصنافًا أخرى أكثر عرضة للمرض عند قطعها.

تتطلّب عمليّة التجذير تربة جيدة التهوية، وتصريفًا جيّدًا للمياه. ويمثّل رمل البناء وسطًا تقليديًا عندما يزوّد بالمعادن الطّبيعيّة، والمواد العضوية التي تحافظ على الرطوبة وتغيّر pH قليلًا. وفي العادة يُرش الرّذاذ المضادّ للفطريّات، حيث تسبّب التربة الرطبة تلوث الجذور بسهولة. ولا ينبغي تعريض عمليّة تجذير السيقان لأيّ تدخّل خلال أسبوعين على الأقلّ، لأنّ رفعها من الأرض سيضرّ غالبًا بالجذور الجديدة.

التطعيم والتبرعم والترقيد



شكل 7-13 تطلبت الشجرة ذات الأربعين نوعاً من الفاكهة خمس سنوات لتطعيمها.

التطعيم Grafting تقنية يتم فيها إدخال عُقْلَة من نبات في ساق نبات آخر، قد يكون من نوع مختلف. وهي تُستعمل مع أشجار الفواكه أو المكسرات. يوضح الشكل 7-13 حالة قصوى لشجرة طُعِّمت بأربعين نوعاً مختلفاً على الجذ (stock) نفسه، فأصبحت الشجرة تنتج أربعين نوعاً مختلفاً من الثمار.

يمكن تطعيم شجرة جوز واحدة بكثير من الفروع لزيادة إنتاجها. وفي كثير من الحالات، تُطعم الشجرة نفسها بفروع لإنتاج أصناف مختلفة من الجوز، وزيادة احتمال جني محصول ناجح.



شكل 7-14 تُقطع شتلات الجوز إلى طُعوم لتطعم على حامل.

تسمى القطعة التي يتم وصلها **الطعم Scion**، والنبات الذي يتلقى الطعم **الجذ Stock**. يقطع الجذ أيضاً لكشف النسيج الوعائي حيث يتم وصل الطعم. ويكون التطعيم أكثر نجاحاً عندما تكون نباتات الجذ في حالة كُمون، حيث يمكن أن يلتئم جرح النبات البالغ الذي يفتح التطعيم في مكان ارتباط النسيجين.

التبرعم Budding هو العملية التي تستخدم فيها قِمة ساق واحدة تحتوي على برعم طُعماً، يكون التبرعم ناجحاً جداً في الأشجار المثمرة على فرع ناضج تضرر في أثناء الحصاد، كما يستخدم التبرعم لزيادة أعداد الفاكهة على كل فرع.

الترقيد الأرضي Ground Layering يستخدم الساق النباتية الجارية حيث تحنى وتثبت تحت الأرض. النباتات ذات السيقان الجارية، مثل الفراولة، يمكن ترقيدها تحت سطح الأرض. حينئذٍ، ستكون المنطقة جذوراً، ثم ساقاً باتجاه الأعلى، ما دامت تحصل على ماء ومواد غذائية.

الترقيد الهوائي Air layering يكون منطقة جذور اصطناعية في الهواء مباشرة على النبات البالغ. تُحَفِّز المنطقة حول عقدة نباتية على الساق أو الفرع، لتكوين الجذور قبل قطع الساق وغرسها. ويتضمن ذلك حَزَّ الساق تحت العقدة مباشرة على شكل وتد، ويُحاط بحزاز إسفاجنوم رطب، يلف بدوره بالبلاستيك أو برقاقة ألومنيوم. تنمو كرة جذرية جديدة داخل الحزاز. بعد ذلك، يُفصل النبات الجديد مع كرة الجذور الجديدة فيه.

التكاثر الخُصريّ

1-7

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن لأوكسينات الجذور تحسين نواتج التكاثر الخُصريّ؟
الموادّ المطلوبة	نباتات كولوس (بيدة)، كحول أيزوبروبيليّ، إبرة نسيجيّة، مشرط، قفّازات، مسحوق هرمون أوكسين الجذور، أكواب ورقية، مسطرة مترية، تربة زراعية، عيدان أسنان مسطّحة، مستشعر درجة الحرارة، ورقة أو مقياس pH، مكبال أو مرشّ مائيّ، كاميرا رقمية.

الخطوات

1. يمكن أن تحسّن العناية بالتحضير من فرص تكوين نباتك للجذور.
2. عقم الإبرة والمشرط اللذين ستستخدمهما لتكوين العقلة أو الطعم بالكحول.
3. اتّبع الإرشادات في ورقة العمل لتعرف أين تقطع، وأيّ أجزاء تزيل. قسّ مرتين قبل القطع كي لا تتضرّر الفروع، التي ربما احتاجت إليها مجموعات أخرى من الطلاب.
4. بمجرد قطع السيقان، ضع القفّازات لوضع مسحوق التجذير حسب الإرشادات.
5. املاّ كلّ كوب بالتربة الزراعية، وعنّون الأكواب: (مُعالَجة) و (غير مُعالَجة). ثم ادفع كلّ عقلة بلطف نحو الأسفل. حيث تُغمر العقد السفلية.
6. ضع الأكواب تحت ضوء طبيعيّ أو على مسافة 0.5 متر من تجهيزات ضوئية، بعيداً عن مجرى الهواء البارد، ودعها 24 ساعة.
7. راقب يومياً، وابق على الجذور رطبة. تأكد من أن الأكواب تصرّف الماء. لا تحرك السيقان لمدة أسبوعين على الأقلّ.
8. احتفظ بسجلّ للمتغيّرات المضبوطة، مثل: درجة الحرارة، و pH، والماء المُضاف.
9. إذا بدأت الجذور تظهر في التربة، فانتظر على الأقلّ مدّة أسبوعين قبل تحريك العقلة. أخرج كلّ ساق، وقسّ نموّ الجذور المرئية باستخدام مسطرة مترية، وسجلّ القياس، والتقط صوراً بالكاميرا الرقمية.

أسئلة

- a. ما الاختلافات التي لاحظتها في التجذير بين عُقلتي الساق المُعالَجة وغير المُعالَجة؟
- b. ادمج نتائجك مع بيانات الصفّ، واحسب معدّل نجاح التجذير بين العُقل المُعالَجة و العُقل غير المُعالَجة.

ملخص تقنيات التكاثر الخُصري في النبات

يوضح الجدول 1-7 مختلف أنماط التكاثر اللاجنسي مع الأنواع النباتية المُمثلة لها.

الجدول 1-7 ملخص أنماط التكاثر اللاجنسي.

النمط	الخصائص	أمثلة
الساق الجارية	تنمو النباتات عند عُقد الساق الأرضية الأفقية.	الفراولة
الرايزوم	تنمو النباتات عند عُقد الساق الأفقية تحت سطح الأرض.	العُشب الحبلي
الكورمة	تنمو النباتات من براعم على سيقان قصيرة تخزن الكربوهيدرات تحت سطح الأرض.	السوسن
الدرنة	تنمو النباتات من البراعم على الدرنات. والدرنات هي القمم المتضخمة للرايزومات تحت سطح الأرض.	البطاطس
البصل	تنمو الأبصال من براعم على سيقان قصيرة تحت الأرض.	البصل
النمو الخُصري	ينمو نبات جديد من أنسجة ورقة أو ساق انفصلت عن النبات الأم.	الكرسول البيضوي
التكاثر الخُصري بزراعة الأنسجة	يستحثّ نبات جديد لينمو من خلية نباتية أمّ لم يتمّ تمايزها بطريقة غير منعكسة.	القمح

تقويم الدرس 1-7

1. اذكر مجموعات النبات الأربع، وطرائق تكاثرها. 
2. ميز بين مصطلح الثمرة في علم النبات، والمصطلح نفسه في المحال التجارية، مستخدماً الأمثلة. 
3. ما ميزتا التكاثر الجنسي؟ دعم إجابتك بأمثلة. 
4. ما وظيفة أو وظائف الساق الجارية في نباتات مثل الأعشاب؟ 
5. في ظل أي ظروف يُكوّن النبات بذوراً، بدلاً من استخدام التكاثر الخُصري؟ 
6. لم يختار المزارعون التكاثر الخُصري للمحاصيل بدلاً من تنميتها من البذور؟ 
7. ما العوامل التي يمكن أن تؤثر في معدلات نجاح التكاثر الخُصري؟ 
8. اذكر الطرائق الأربع للتكاثر الاصطناعي. ما أهميّة وجود أربع طرائق مختلفة؟ وضح إجابتك. 
9. غير المصطلحات المبرزة لتكون كلّ عبارة صحيحة: 
 - a. كورمات البصل غذاء مُخزّن في سيقان متحوّرة.
 - b. يُستخدم الكرّم والثوم الأبصال التي تتمدّد وتخزّن الغذاء أفقيّاً.
 - c. يمكن للطّعم أن يُقطع من قَمّة الجذر أو يتضمّن ورقة جانبية للتطعيم.
 - d. يمكن تجذير الأشجار بسهولة في الماء، أو التربة، بإضافة الرطوبة.
- اختر للعمليات 10-15 حرف طريقة التكاثر الخُصري المذكورة أدناه. يمكن اختيار أكثر من إجابة. 

(a) التعقيل	(b) التطعيم	(c) الترقيد
-------------	-------------	-------------

 10. يتطلّب تصريف مياه جيداً وتربة جيدة التهوية.
 11. طريقة التكاثر الخُصري للأشجار الخشبية، كالأشجار المثمرة وأشجار المكسرات.
 12. يتطلّب أدوات نظيفة.
 13. هو الأفضل للسيقان الخضراء اللينة.
 14. هو أسرع طريقة وأبسط طريقة لكثير من النباتات.
 15. تطمّر السيقان أو تقطع وتلف لإنشاء منطقة جديدة للجذور.

الدرس 2-7

زراعة الأنسجة النباتية

Plant Tissue Culture



شكل 7-15 الموز البري يحتوي على بذور.

منذ نحو 10,000 سنة، وتكثير الموز وزراعته يتمّان من دون استخدام البذور. بقي الموز البري هو الوحيد الذي لا تزال لديه بذور يمكن أن تنتج ذرية. ويُحتمل أن يكون البشر قد اكتشفوا نسخة متحوّلة من دون بذور، ثم وجدوا طرقاً لتنميتها وتحسينها بغية تجنّب انتزاع البذور الصغيرة. تمكّننا اليوم زراعة الأنسجة النباتية والتكنولوجيا الحيوية على المستوى الخلوي من هندسة نباتات جديدة، وتكثير سلالات نادرة، خُصراً. وعلى الرغم من أن تلك العملية لا تزال باهظة الثمن، فإن التكاثر الدقيق micropropagation قد يشكل المفتاح لكيفية تكثير أصناف نباتية مُهمّة وتخزينها. وستكون هناك حاجة إلى أصناف وحلول جديدة، لإطعام سُكّان كوكب الأرض الذي لم تُعدّ تربته ومُناخه فعّالين في انتشار الزراعة انتشاراً ناجحاً.

المفردات



Variety	الصف
Cultivar	الصف المستنبت
Meristem	النسيج المولد (المرستيمي)
Totipotent	كاملة الفاعلية
Differentiation	التمايز
Tissue culture	زراعة الأنسجة
Growth medium	وسط للنمو
Callus	الكالوس
Protoplast	البروتوبلاست
Auxin	الأوكسين
Gene transfer	نقل الجينات
كائن حيّ معدّل وراثياً	
Genetically Modified organism (GMO)	
Micropropagation	التكاثر الدقيق
In vitro	في المختبر
Explant	الغرز الخارجي
Plantlet	الشتلة
Multiplication	التضاعف
Hardening	التصلب

مخرجات التعلّم

B1123.1 يحدّد الخلايا المولّدة (المرستيمية)

كاملة الفاعلية في جذر وسيقان النباتات ويصفها.

B1123.2 يشرح ويعرض كيفية استخدام الأنسجة

المولّدة (المرستيمية) في التكاثر الدقيق لإنتاج أعداد كبيرة من النباتات المتطابقة للزراعة.

الزراعة الحديثة في مُناخ مُتغيّر

أسهمت الحاجة إلى إنتاج الغذاء على نطاق واسع لإطعام سكّان الأرض الذين تتزايد أعدادهم، في حدوث التقدّم التكنولوجي على صعيد تكثير النباتات وزراعتها. فالبطاطس، مثلاً، لم تكن معروفة في النظام الغذائي للعائلات العربية والأوروبية قبل أن يشهد القرن السابع عشر الميلادي على اكتشافها في أمريكا. أصبح التكاثُر الخُصريّ يُستخدم حالياً على نطاق واسع في تكثير الأشجار المثمرة، وأشجار المُكسّرات في مناطق معيّنة من العالم، وتوزيعها على بلدان أخرى، وقد عني ذلك اعتماد البلدان بعضها على بعض في بناء اقتصادها، وتوفير الغذاء لسكّانها.

تسبّب تغيّر المُناخ في تكوّن المزيد من أحوال الطقس القاسية. وقد بات الصقيع غير المتوقع يُدمّر المحاصيل، وغدت موجات الحرارة القياسية تسبّب آثاراً مُدمّرة مماثلة. وجعلت درجات الحرارة المرتفعة الأعاصير المتكوّنة في المحيط أكثر حدّة؛ وأصبح التنبؤ بحدوثها أمراً صعباً للغاية. ومن المهم جداً للزراعة الناجحة أن يعرف المزارعون أين تسقط الأمطار ومتى، وما كمّيّتها، حيث أصبح توقع تلك الأمور صعباً. وما دام المناخ يتغيّر، سوف يتغيّر أيضاً إنتاج الأشجار المثمرة والمحاصيل النباتيّة في العالم.



شكل 7-16 ثمار الزيتون.

فقد ارتفعت صيف 2017 درجة الحرارة بمقدار 2.5°C عن مُعدّلها للسنوات السابقة. وفي تلك السنة، انخفض إنتاج الزيتون في العالم بنسبة 20% (الشكل 7-16)، والزيتون شجرة مباركة، ولها مكانة خاصة عند كثير من الشعوب. لكنّ تغيّر المُناخ قد أدّى إلى تكوّن الصقيع خارج موسمهِ، وسقوط الأمطار الغزيرة غير المسبوقه، اللذين أدّيا إلى انخفاض إنتاج الزيتون في العالم، وجعل بعض المناطق غير مناسبة لزراعته.

ويتوقع الباحثون أن تكون زراعة الزيتون بحلول العام 2040 غير متاحة في منطقة كاتالونيا في إسبانيا. وسوف تعاني منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط كلها، التي تنتج نحو 90% من زيت الزيتون في العالم، المزيد من الخسائر في الإنتاج، نتيجة لارتفاع درجات الحرارة.



شكل 7-17 بذور البن.

قد ينخفض إنتاج البنّ (الشكل 7-17) أكثر من 50% بحلول العام 2050، نتيجة للاحترار العالمي. وقد أدّت أحوال الطقس القاسية سنة 2015، إلى نقص في إنتاج محصول البنّ العربي ومضاعفة سعره. والبنّ العربي هو الأفضل والأكثر رغبة في العالم. وتقتصر زراعته على مناطق في البرازيل وأمريكا الوسطى وشرق إفريقيا. ولقد تأثر إنتاج البنّ بارتفاع درجات حرارة الأرض، وفقدان الحشرات الملقحة، وإصابة أشجاره

بمجموعة كبيرة من الأمراض، مثل فطر صدأ الأوراق. يعتمد مُنتجو البنّ على البنّ العربي البرّي لتطوير أنواع جديدة منه. والجدير بالذكر أن فقدان احتياطي النبات سوف يؤثر في توافره، وفي المحافظة على سعره في مختلف أنحاء العالم. والسؤال الذي يطرح نفسه الآن. كيف يمكن استخدام التكاثُر الخُصريّ للحفاظ على البنّ، أو تطوير أنواع جديدة منه؟

الأصناف والأصناف المُستنبتة

كما يوجد في الحيوانات قدرٌ كبير من التباين، كذلك في النباتات. وغالبًا ما تستخدم طرق التكاثر اللاجنسي في إنتاج مستنسخات مماثلة لنباتات محدّدة ذات خصائص مرغوبة فيها. فعلى سبيل المثال، قد ينتج نبات بطيخ واحد ثمار بطيخ أكثر من عشرة أمثال الثمار التي ينتجها نبات آخر من النوع نفسه. ولا ينتج نباتان من العنب ثمار عنب متماثلة أبدًا، إذا نُمّيَا من البذور نفسها. حقيقة الأمر أن كل البطيخ أو العنب اللذين نشتريهما من الأسواق، مصدرهما نسخ مستنسخة من نبات واحد مفرد.

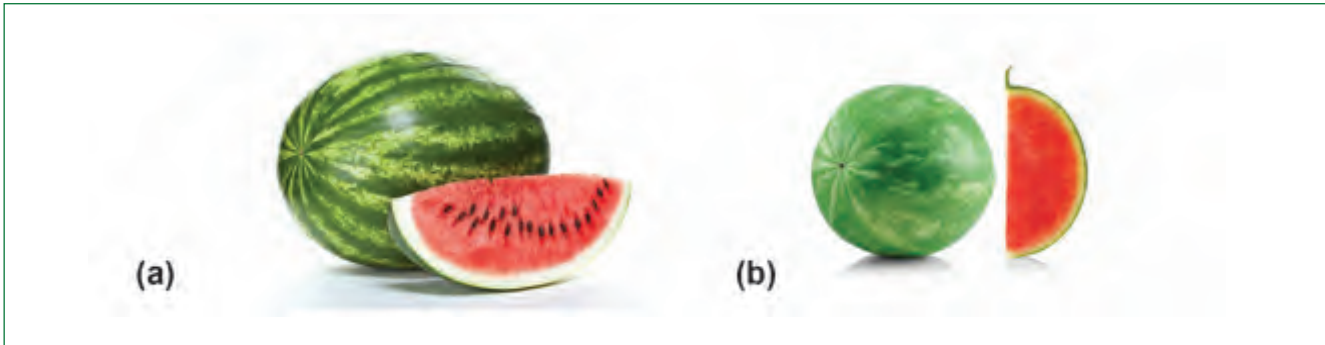
• **الصنف Variety** هو نبات من النوع نفسه، ولكنه يُظهر خصائص مختلفة قليلًا.

• **الصنف المُستنبت Cultivar** صنف اختاره الإنسان وزرعه. تنشأ بعض الأصناف المُستنبتة بوصفها طفرات لنباتات. وهناك أصناف مُستنبتة أخرى هجينة من نباتين. ولتكاثر المستنسخات، يجب تكثير العديد من الأصناف المُستنبتة خُصريًا، عن طريق التعقيل أو التطعيم، أو زراعة الأنسجة.



شكل 18-7 أصناف مختلفة من *Citrullus lanatus*.

البطيخ مثالٌ جيد على أهميّة التكاثر والأصناف المستنسخة في الزراعة. كل أنواع البطيخ جميعها مصدرها النوع *Citrullus lanatus*. ومع ذلك، فإن هناك أصنافًا كثيرة في *Citrullus lanatus*، كما هو مبين في (الشكل 18-7). فالبطيخ القُرْمزي الحلو هو صنف مُفضّل، بسبب حلاوته ولونه (الشكل 19-7a). يضيف علماء النبات الاختصار var إلى الاسم العلمي للنوع، كلما تمّ تكثير أصناف جديدة. وقد تمّ تكثير صنف من البطيخ بلا بذور، يُعرف باسم علبة الثلج icebox، ليتناسب حجمه ورفوف الثلاجة، وسُمّي (*Citrullus lanatus var.icebox*). (الشكل 19-7b).

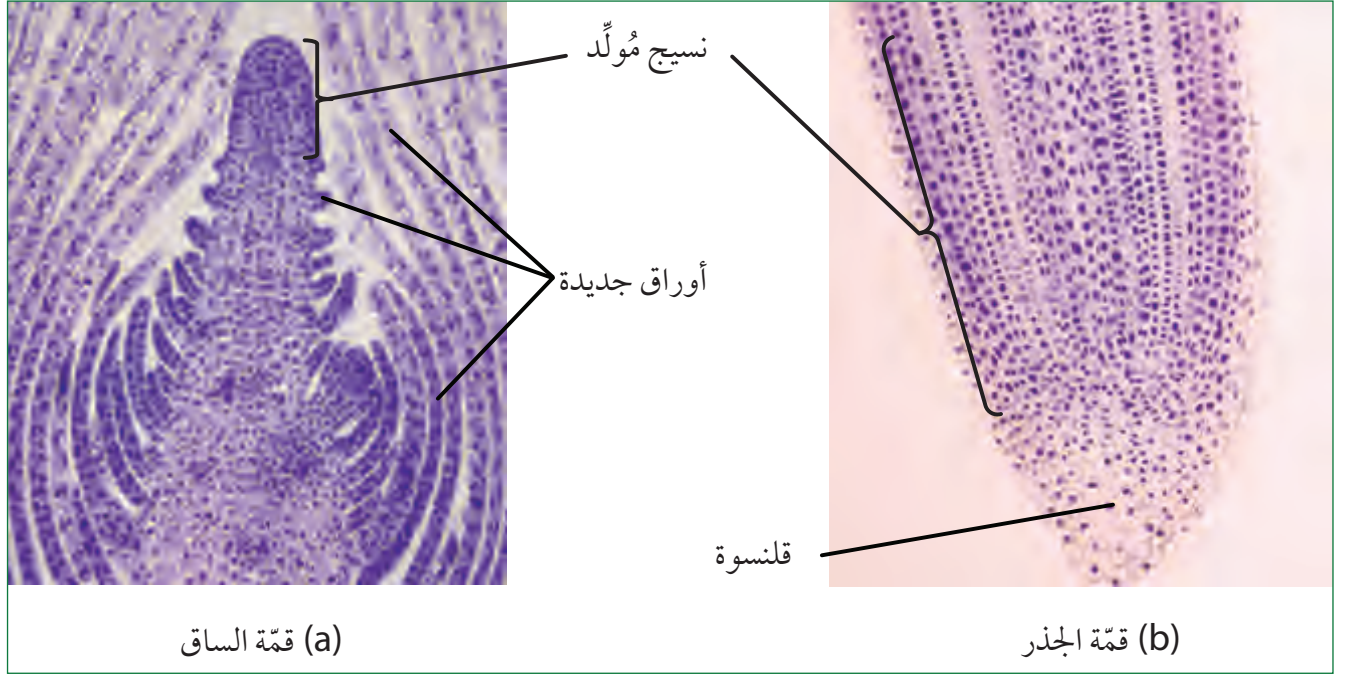


شكل 19-7 أصناف مختلفة من البطيخ تمّ تكثيرها، لطعمها وحجمها وخلوّه من البذور.

يُنتج التكاثر الاصطناعي للبطيخ القُرْمزي الحلو مع صنف علبة الثلج، هجينًا اصطناعيًا له صفات صنفَي البطيخ. ولإعادة إنتاج البطيخ الهجين، يمكن استنساخ نبات أم واحد مئات الآلاف من المرات.

نموُّ النباتات من الأنسجة المُولَّدة

أسهم تحديد المناطق الموجودة على حواف الأوراق وقمم الجذور والسيقان التي يمكن أن تنمو منها نباتات جديدة في تغيير الزراعة بسرعة كبيرة. تُسمَّى مجموعة الخلايا غير المتخصصة التي تنقسم بسرعة لتشكيل تراكيب جديدة، **النسيج المُولَّد Meristem**. تظهر مناطق الأنسجة المُولَّدة في الشكل 20-7 عند قَمَّة الساق وتلي قَلنسوة الجذر الواقية. وقد عُثِر على نسيج مولَّد أيضًا في السيقان الخشبية المكتملة النمو، وحيث تتصل الأوراق بالسيقان، وفي عُقد السيقان الجارية أيضًا.



شكل 20-7 توجد الأنسجة المُولَّدة في كلٍّ من a قمة الساق و b قمة الجذر.

يتركز وجود الأنسجة المُولَّدة في تلك المناطق؛ لأنها تمثل موقع النمو السريع في النبات بفعل الانقسام غير المباشر (الميتوزي). تكون هذه المناطق في العادة محمية في أثناء نمو النبات. ويظهر الشكل 20-7a الأوراق الجديدة محيطة بالنسيج المُولَّد أثناء تكونها عند قَمَّة الشتلة التي ستصبح ساقًا. وتوجد على قمم الجذور قَلنسوات من الخلايا تحمي الأنسجة المُولَّدة التي تقع خلفها من التلف خلال اندفاع قَمَّة الجذر عميقًا في التربة الرملية أو الصخرية (الشكل 20-7b). تبدو الخلايا الموجودة في الأنسجة المُولَّدة متشابهة. ولم تُحدّد لها بعد أيّ وظيفة أو صفات مميزة. غير أنها جميعًا تستطيع أن تنقسم انقسامًا غير مباشر، وسريعًا. تُسمَّى الخلايا، التي تحتوي على كل المعلومات اللازمة لتكوين نباتات جديدة كاملة، الخلايا **الكاملة الفاعلية Totipotent**. لكن ليس لدى الخلايا كلها في الكائنات الحيّة تلك المقدرة. ذلك أن الخلايا النباتيّة الكاملة الفاعلية موجودة فقط في الأنسجة المُولَّدة.

وفي النهاية، تنضج تلك الخلايا الكاملة الفاعلية، وتنمو لتصبح واحدًا من ثلاثة أنواع من الأنسجة النباتيّة في عملية تُعرف باسم **التمايز Differentiation**. تشمل الأنسجة المتميزة في النباتات، البشرة ووظيفتها الحماية، والأنسجة الداخلية ووظيفتها التخزين، والحُزم الوعائية التي تحتوي على أنابيب من خلايا طويلة تستخدم في نقل السكر والماء إلى أجزاء النبات جميعها.

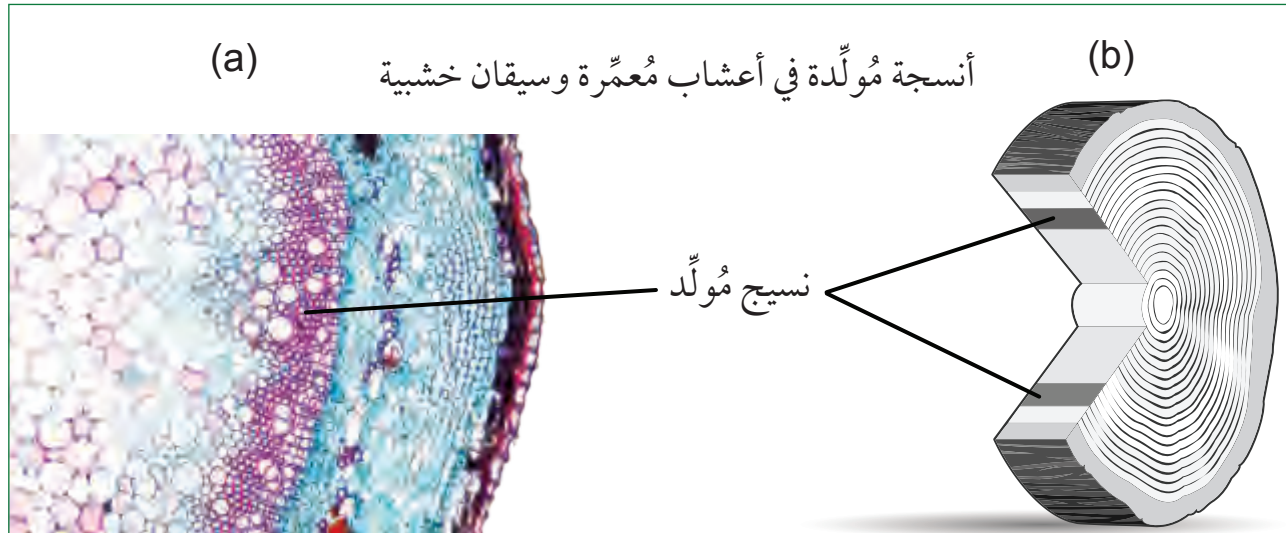
ملاحظة الخلايا الكاملة الفاعلية

2-7

سؤال الاستقصاء	أين توجد الأنسجة المُولدة في النباتات؟
المواد المطلوبة	مجهر ضوئي، شرائح محضرة لساق وبادرة وجذر، قلم رصاص، أقلام ملونة

الخطوات

1. يمكنك العمل في فريق، بناءً على عدد المجاهر المتوفرة في المختبر.
2. استخدم ورقة العمل التي أعطيت لك، أو كتاب الطالب، أو الإنترنت، أو أيّ مصادر أخرى، في تحديد الأنسجة النباتية والتراكيب الموجودة على الشرائح التي زودك بها معلّمك.
3. اكتب اسم كل تركيب.



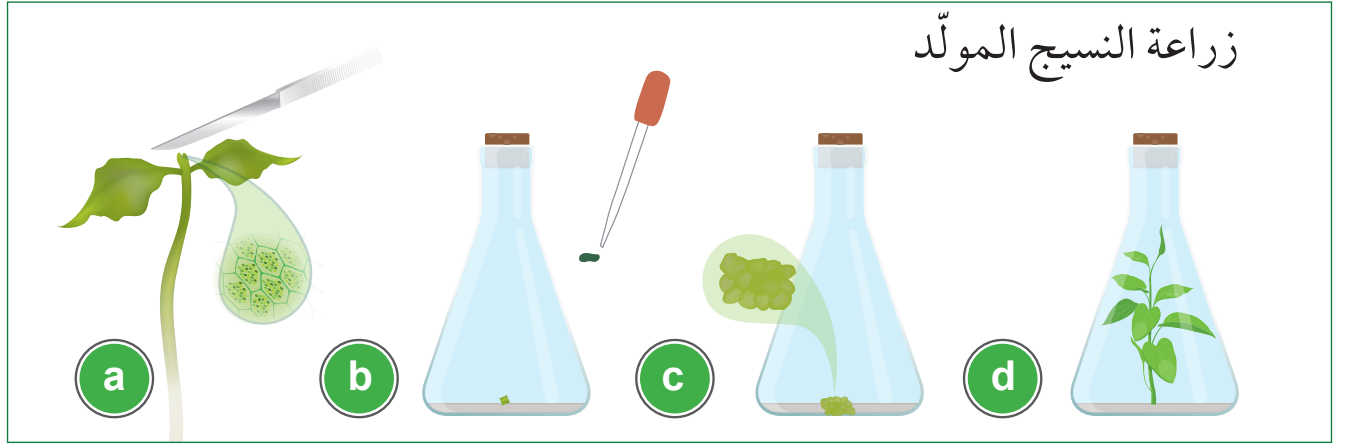
4. صحّح مع معلّمك أو المجموعات الأخرى اسم كل تركيب وثبّته، قبل إكمال المهمات الآتية.

التحليل والاستنتاجات

- لوّن باستخدام ظلال لون خفيفة الأنسجة الآتية على ورقة العمل الخاصة بك:
 - اللون الأحمر للنسيج المُولد
 - اللون الأزرق للنسيج الوعائي
 - اللون البني للبشرة
- ارسم سهامًا تدلّ على اتجاهات نموّ النسيج المُولد.
- اشرح لماذا يقوم المزارعون بجمع النسيج المُولد من النباتات واستخدامه لتكثيرها خُصريًا.
- ابحث في استخدام كلّ من المصطلحين: نبات حولي ونبات مُعمّر، مع إعطاء أمثلة على كلّ منهما. أيّ من هذين النباتين يمكن تكثيره عن طريق التعقيل، أو التطعيم، أو الترقيد؟

زراعة النسيج المُولد

عندما تُحفز الخلايا، أو طبقات منها، لتنمو وتنتج أنسجة وأعضاء جديدة في وسط اصطناعي، يطلق على تلك العملية المستخدمة تسمية **زراعة الأنسجة Tissue culture**. أُجريت أول زراعة لأنسجة مُولدة في أوائل الخمسينات من القرن العشرين، لعلاج فيروس يقضي على النباتات. أزال العلماء قمة ساق نبات أضاليا (Dahlia)، ووضعوا هذا النسيج في دورق معقم بدلاً من التربة وقد احتوى الدورق على مادة جيلاتينية، وماء ومواد غذائية بالإضافة إلى الأوكسين لتحفيز نمو النبات، وأطلق على بيئة النمو المصغرة هذه اسم **وسط النمو Growth medium** (الشكل 21-7).



شكل 21-7 (a) أزيل النسيج من قمة الساق و (b) وضع في دورق معقم مع مواد كيميائية، وأضيف إليه الأوكسين. (c) تشكّل الكالوس، وتضاعفت الخلايا لإنتاج (d) نبات كامل.

لاحظ العلماء أن بعض الخلايا غير المتميزة التي تم استخلاصها من قمة الساق قد انقسمت لتشكّل طبقة جديدة من الخلايا، تُسمى **الكالوس Callus**، ووضعت المواد المُستخدمة في علاج مرض النبات على الكالوس، أو في وسط النمو، وكان لها آثار مختلفة. وفي حال ضبط المتغيرات، فإن إضافة مواد كيميائية مُعيّنة إلى الوسط، فهي إما تحفز النمو أو تُثبّطه. وقد لاحظ العلماء أن إضافة الأوكسين، وهو هرمون نباتي، إلى وسط المواد الغذائية في التجربة، قد حفّز استطالة الخلية وانقسامها.

أسهم نموّ النباتات بسرعة في دوارق صغيرة، مع توفير رطوبة مناسبة وأوساط نموّ مضبوطة بإحكام، في جعل العلماء يفكّرون في تجربة استخدام مواد كيميائية لقتل الفيروسات والبكتيريا. وسرعان ما تعلّم العلماء كيف ومتى تطبق الحلول لتعقيم الأنسجة من دون قتل الخلايا. وقد أُضيفت هرمونات جديدة إلى وسط النموّ، فحالت دون انتشار الأمراض النباتية.

وبعد إجراء وملاحظة نتائج العديد من التجارب أدرك العلماء متى تُكوّن الخلايا الجذور. وعندما استخدمت بادرة واحدة على الأقل في التجارب، لوحظ أن الهرمونات قد حفّزت نموّ كثير من الأفرع التي نمت عند قمة البادرة. وأظهرت تجارب إضافية أن الهرمونات يمكن أن تستخدم في تعقيم الأنسجة المُولدة أيضاً. وشجّعت الهرمونات المُكتشفة حديثاً على التطوّر السريع في إنتاجها. وسرعان ما تعلّم العلماء كيفية التحكم في نمو النبات جيداً، بما يكفي لإنتاج نبات كامل مكتمل النموّ من عدد قليل من خلايا الأنسجة المُولدة غير المتميزة. لكن معظم النباتات لم تبقى على قيد الحياة، عندما تعرّضت للهواء والأوساخ.

التباين الناتج من التكنولوجيا الحيوية

يسافر المزارعون، والعاملون على تحسين النباتات، إلى جميع أنحاء العالم بحثًا عن أصناف جديدة من النباتات أو أصولها المحلية البرية في الحقول والغابات البرية، حيث تنشأ الصفات الجديدة في البرية تلقائيًا من خلال الطفرات. لكن المعدلات الطبيعية لحدوث الطفرات تكون عشوائية وبطيئة؛ فلا يمكنها أن تُساعد المزارعين. غير أن محاولات تحسين النباتات لا تعطي دائمًا نتائج موثوقة، أو يمكن تكرار الحصول عليها، بالنظر إلى وجود خلط عشوائي للجينات عند حدوث التكاثر الجنسي. وحاليًا، يستطيع المزارعون العثور على العديد من المعلومات عن الأصناف المُستنسخة على الإنترنت.



شكل 22-7 يمكن لنقل الجينات قبل زراعة الأنسجة أن ينتج تباينًا.

تُعدّ تقنيات التكاثر الاصطناعي التي تُغيّر التركيب الوراثي للنبات، وتوفّر صفة مرغوبة على المستوى الجزيئي، شكلًا من أشكال التكاثر الجنسي. ويتم ذلك باستخدام طرق طُوّرت من خلال التكنولوجيا الحيوية التي تولّد **كائنًا مُعدّلًا وراثيًا (Genetically modified organism (GMO)**. ويُسهّم إدخال جينات جديدة تُنقل إلى النسل لتصبح أصلًا جديدًا في زيادة تباين الكائنات الحية. ويطلق على العملية التي يستخدمها عالم الوراثة في نقل جين واحد أو أكثر من النوع نفسه، أو يغرّز جينًا من نوع معيّن في نوع آخر من الكائنات الحية، تسمية **نقل الجينات Gene transfer**.

يتم نقل الجينات المستخدم في إنتاج الكائنات المعدّلة وراثيًا عن طريق:

1. أخذ النسيج المُولّد من النبات وتعقيمه.
2. استخلاص DNA، وقص قطعة DNA تحتوي على جين واحد وتكثيرها، لإنتاج آلاف النسخ من الجين المعني.
3. غرز الجينات مرّة أخرى في فيروس، أو بكتيريا آمنة تغزو خلية الكائن الحي وتغرّز DNA فيها.
4. زراعة النسيج في أنبوب، أو في طبق بتري، إلى أن يصبح نقله إلى ظروف النمو الطبيعي له مُمكنًا.

التكاثر الدقيق يُستخدم نقل الجين وزراعة الأنسجة

تمكّن الباحثون، في الوقت الحاضر، من إيجاد حلٍّ لمشكلة بقاء النبات على قيد الحياة. ذلك أن علماء النبات قادرون حاليًا على انتقاء صفات خاصة مرغوبة، وتكثير أصناف معيَّنة في ظروف مخبرية معقّمة متحكّم بها تحكّمًا شديدًا لجعلها تبقى على قيد الحياة. وفي الغالب يحصل التقنيون على كمّيات صغيرة من النسيج المُولّد، وحتى حبوب اللقاح من النبات الأصلي، من أجل استنساخ أصناف نباتية جديدة تمامًا. تُسمّى تلك التقنيات الجديدة، التي طُبِّقت على الأنسجة الدقيقة في أنابيب اختبار، **التكاثر الدقيق Micropropagation**.



شكل 23-7 قد يكون التكاثر الدقيق لأنسجة التوت البري شتلة صغيرة في المختبر، وفي بيئة معقّمة واصطناعية مُتحكّم بها.

يمكن أن يجمع التكاثر الدقيق بين نقل الجينات وزراعة الأنسجة لإيجاد شتلات جديدة، أو استنساخ النبات الأم المرغوب لإنماء شتلات متماثلة. تتطلّب زراعة نباتات سليمة تمامًا التدريب على ذلك، وتوفير أوساط نموّ خاصّة إلى حدّ بعيد. تُنقل الأنسجة تحت ظروف معقّمة، وفي هواء متدفّق باستمرار، لتقليل خطر الإصابة بعدوى الأبواغ البكتيرية أو الفطرية. وعندما تُزرع الخلايا ويحتفظ بها في بيئة اصطناعية خاضعة لتحكّم شديد، يقال إن هذا النموّ يتمّ في المختبر **In vitro** (الشكل 23-7).

يعتمد إنتاج العديد من المستحضرات الصيدلانية الحديثة على المُركّبات المُشتقّة من النباتات (الشكل 24-7). وغالبًا ما كان توفير مخزون نباتات ثابت ودائم وخالٍ من الملوثات، يمثل مشكلة لصناعة المُستحضرات الصيدلانية. لقد أصبح التكاثر الدقيق عملية أساسية في تصنيع الأدوية المشتقّة من النباتات. وتؤكد تنمية النباتات المُعقّمة من زراعة الأنسجة في المختبر عدم الاعتماد على الظروف الجغرافية. ويقلّل عدم الاعتماد على النباتات البرية من خطر التلوّث، ويتيح المزيد من استخدام النباتات في تحضير المُركّبات المهندسة وراثيًا، مثل اللقاحات والمُستحضرات الدوائية.



شكل 24-7 Digitalis purpurea نبات يستخرج منه العديد من أدوية القلب.

تقنيات التكاثر الدقيق

تختلف الإجراءات المُتبَّعة في التكاثر الدقيق للأنسجة بحسب نوع النبات. ولكن بوجه عام، تتخذ أربع خطوات لتحقيق استنساخها بنجاح في المختبر.

1. يُختار النبات الأم أو الصنف المُستنبَت الأمٌ لصفاته المرغوبة. وفي ظروف مُعقَّمة، يُنقل جزء صغير من النبات، أو **الغرز الخارجي** **Explant** إلى أوعية أخرى، عُقِّمت مُسبقاً، وتحتوي على وسط نموّ مُعالَج.

2. **البروتوبلاست Protoplast** خلية نباتية أُزيل جدار الخلية عنها. يزرع البروتوبلاست ليكوّن تكتُّلاً من الخلايا. ثم ينمو تكتُّل الخلايا ليشكّل كتلة من الخلايا النباتية غير المتميزة، تُسمى **الكالوس Callus**. يشكّل الكالوس بدوره أجنةً جسمية من النباتات الجديدة (الشكل 26-7).

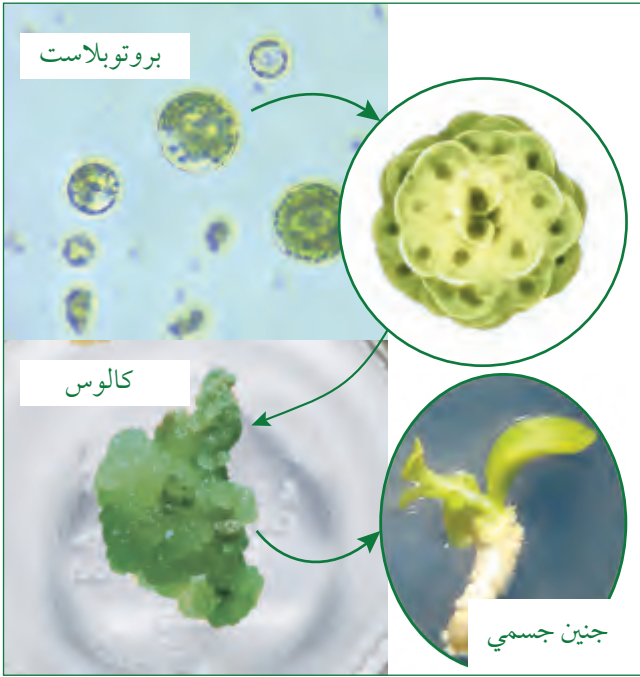
3. بالنظر إلى أخذ عدد قليل فقط من الخلايا، أو طبقة رقيقة منها، يُعرّف **التضاعف Multiplication** بأنه عملية تُحفّز فيها الخلايا بواسطة الهرمونات لتتكاثر بسرعة، وتنتج أنسجة وأعضاء نباتية جديدة. يسمى النبات في هذه المرحلة **بالشتلة Plantlet** (الشكل 27-7).

4. ولتحضير بيئة طبيعية، يخضع النبات لعملية تُسمّى **التصلّب** أو **التأقلم** في المناخ، حيث يُعرّض ببطء لظروف طبيعية أكثر حتى تتكوّن طبقات خارجية من الأنسجة السطحية الواقية.

5. يُزرع النبات الصغير في التربة، لينمو نموّاً طبيعياً.



شكل 25-7 اختيار النسيج النباتي.



شكل 26-7 زراعة النبات في المختبر.



شكل 27-7 شتلات (أعلى) وأخرى متصلّبة (أسفل).

مزايا التكاثر الدقيق وعيوبه

- يتّصف التكاثر الدقيق بعدد من المزايا مقارنة بتقنيات التكاثر الخُصريّ أو التكاثر الاصطناعي التقليدي.
- التكاثر الدقيق هو إنتاج العديد من النباتات المستنسخة بعضها من بعض، وتكون نتائجه موثوقة إلى أقصى حد.
- يفيد التكاثر الدقيق في تكاثر النباتات البذرية، ولا سيما عندما تكون النباتات النادرة عقيمة، ولم تعد قادرة على إنتاج البذور، أو تنتج بذوراً صغيرة، أو يتعذّر تخزين بذورها لإعادة توزيعها.
- يمكن استخدام التكاثر الدقيق في إنتاج نباتات خالية من الأمراض.
- يعتبر التكاثر الدقيق الطريقة الوحيدة القابلة للتطبيق من أجل تجديد الخلايا المُعدّلة وراثيًا أي الخلايا الناتجة على إثر نقل الجينات.
- يمكن إنتاج عدد أكبر من النباتات في المتر المربع الواحد، ويمكن تخزين النباتات الصغيرة فترة أطول، وفي مساحة أصغر.



شكل 7-28 تخزين مخزون النباتات.

وبالمقابل، هناك عيوب لاستخدام التكاثر الدقيق أو نقل الجينات. حيث يمكن أن يزيد تكاثر النبات اصطناعياً من تكاليف الإنتاج بنسبة تصل إلى 70%. وتتطلب تلك العملية أشخاصاً قادرين على تطبيقها، وهي لا تزال تنتظر التطوير لخفض التكاليف.

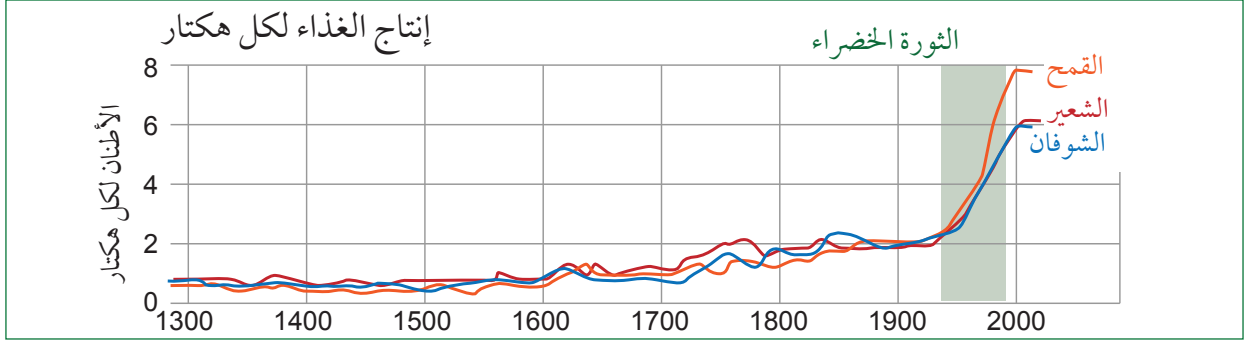
أضف إلى ذلك أن أي مرض لا يُعالج في أثناء التكاثر الدقيق، فسوف يؤثر في كل استنساخ ينتج. وبالنظر إلى أن مقاومة الأمراض يبدو أنها تنخفض لدى المخزون الأم، فإن ذلك يجعل الأجيال الجديدة من النباتات أكثر عرضة للخطر.

ولمّا كانت الكائنات المعدّلة وراثيًا (GMOs) غالباً ما تشتمل على نباتات تمّ تصميمها وتكثيرها للحصول على الغذاء، فإن العديد من الدول وضعت قواعد أو لوائح تنظيمية بشأن وسمها بإشارات خاصة أو استخدامها. ذلك أن إدخال الجينات التي تنتج بروتينات مختلفة قد يسبّب حساسية للغذاء الجديد عند الإنسان. ويمكن للنباتات الجديدة التي تُزرع لغايات إنتاج البذور، أن تطلق حبوب لقاحها إلى مناطق فيها نباتات محلية. وعندما تتحد حبوب اللقاح مع بويضات نباتات أخرى في البرية، فإنها تنقل الجين الجديد إلى تلك النباتات، الأمر الذي يفضي إلى عواقب غير مقصودة. يمكن للنباتات الجديدة تطوير مقاومة للعلاجات المستخدمة حالياً. ويمكن للنباتات المستنسخة أن تزيد التنافس بين الأنواع، مسببة انقراض الأنواع المحلية في البرية، مما يؤثر في النظم البيئية.

1. كيف ترتبط دولة قطر بالدول الأخرى، عندما يتعلق الأمر بإنتاج الأغذية أو المشروبات وتوزيعها؟ ابحث في مثالين لم يردا في هذا الدرس. 
2. ميّز بين النوع النباتي، والصنف النباتي، والصنف المُستنبَت. 
3. اذكر المواقع الخمسة التي يوجد فيها النسيج المُولّد المستخدم في تكاثر النباتات. 
4. ما الخلية الكاملة الفاعلية؟ وأين توجد؟ ولم يتم اختيارها لزراعة الأنسجة؟ 
5. لم تم القيام بزراعة الأنسجة النباتية في الأصل؟ 
6. صف وظيفة الأشياء الآتية، أو مدى ارتباطها بزراعة الأنسجة.
 - a. وسط النمو
 - b. الكالوس
 - c. الأوكسين
 - d. المخزون
 - e. الغرس الخارجي
 - f. نبتة نامية
7. لم يُعدّ نقل الجينات شكلاً من أشكال التكاثر الجنسي، على الرغم من عدم دمج كروموسومات من ذكور وإناث معاً؟ 
8. قارن بين نقل الجين والتكاثر الدقيق في فقرة. 
9. لم يكن مُعدّل بقاء نباتات الغرز الخارجي التي تنمو في أنابيب أو دوارق ضعيفاً؟ كيف حلّ التكاثر الدقيق تلك المشكلة؟ 
10. متى يكون التكاثر الدقيق عملاً مقبولاً؟ اختر نباتاً، وادعم تفكيرك بأمثلة. 

الثورة الخضراء

بقيت كمية الطعام، التي يمكن إنتاجها من نباتات مزروعة على مساحة مُعيَّنة من الأرض، كما هي لآلاف السنين. بالمقابل، ازداد عدد سكان العالم بين العامين 1800 و2015 من ممّا دون المليار نسمة، إلى 7.7 مليارات نسمة. فكيف تمكّنا من إطعام السكان جميعهم؟



شكل 29-7 إنتاج الحبوب لكل هكتار للأعوام 1300-2015.

لم يتعرّض سكّان العالم في معظمهم لمجاعة، لأن التكنولوجيا الجديدة زادت الإنتاج الزراعي بنسبة 800% تقريباً بين العامين 1940 و1990. فقد أدخلت «الثورة الخضراء» محاصيل هجينة ذات إنتاجية عالية، واستخدمت الأسمدة، والزراعة الآلية، والمبيدات الحشرية، والريّ بالطاقة، واعتمدت على علم أفضل. وارتفع إنتاج الحبوب، كالشعير والقمح 6-8 أطنان لكل هكتار، بحلول العام 2000.



شكل 30-7 د. نورمان بورلونغ في حقل قمح.

كان نورمان إرنست بورلونغ (1914 - 2009) الأمريكي مهندساً زراعياً. قاد مبادرات عالمية لمساعدة المزارعين على إنتاج المزيد من الغذاء. وغالباً ما يطلق على بورلونغ «أبو الثورة الخضراء». ويعود الفضل إليه في إنقاذ أكثر من مليار شخص من الجوع. وقد حصل بورلونغ على جائزة نوبل للسلام عام 1970، تقديراً لمساهماته في السلام العالمي عبر زيادة الإمدادات الغذائية في العالم.

درس نورمان الغابات في كلية جامعية، وحصل عام 1942 على درجة الدكتوراه في علم أمراض النبات وعلم الوراثة. ثم انتقل إلى المكسيك، وطوّر أنواعاً عالية الإنتاج من القمح، مقاومة للأمراض. وفي منتصف القرن العشرين، قدّم بورلونغ محاصيل عالية الإنتاج، وتقنيات إنتاج زراعي حديثة، إلى المكسيك وباكستان والهند. وبين العامين 1965 و1970، تضاعفت عائدات القمح تقريباً في باكستان والهند.

الدرس 7-1 التكاثر اللاجنسي في النباتات

- النباتات كائنات حقيقية النواة، تشكّل **مغطاة البذور Angiosperms** المجموعة الكبرى فيها. وتتكاثر مغطاة البذور جنسياً أولاً جنسياً.
- ينتج من التكاثر اللاجنسي الطبيعي **مستنسخات Clones** من النبات الأصلي، عن طريق السيقان الجارية **Runners**، والكورمات **Corms**، والأبصال **Bulbs**، والرايزومات **Rhizomes**.
- التكاثر اللاجنسي الاصطناعي يتم عادة في الزراعة. وهو يتوسّل تقنيات التعقيل **Cutting**، والتطعيم **Grafting**، والترقيد الأرضي **Ground layering**، والترقيد الهوائي **Air layering**.
- تتضمن عملية تكاثر النباتات بالتعقيل تجذير ساق نبات له براعم. أمّا عملية التطعيم، فتتضمّن غرز طعم من نبات في ساق نبات آخر.
- التكاثر بالبذور شكل من أشكال **التكاثر الخُصري Vegetative propagation**.

الدرس 7-2 زراعة الأنسجة النباتية

- تزايدت الضغوط في مجال الزراعة جرّاء التغيّر المناخي.
- توجد ضمن النوع النباتي الواحد تباينات كثيرة تُسمّى **الأصناف Varieties**، ومن بينها الأصناف **المُستنبَطة Cultivars**، وهي أصناف خاصّة أنتجها الإنسان، وحافظ عليها.
- يحتوي **النسيج المرستيمي (المُولد Meristem)** على خلايا نباتية غير متميزة كاملة الفاعلية **Totipotent** تنمو على نحوٍ سريع إلى أنواع مختلفة من الأنسجة النباتية.
- **الزراعة النسيجية Tissue culture** هي تنمية النبات صناعياً في وسط نموّ **Growth medium** مناسب، من خلايا نباتية غير متميزة متكثّلة في **كالوس Callus**.
- **الكائنات المُعدّلة جينياً Genetically modified organisms** تضمّ النباتات التي حصلت على جينات من نباتات أخرى، تم غرزها في المُختبر، أو بواسطة نقل الجينات **Gene transfer**.
- يمكن تنمية مستنسخات متماثلة من نبات أصلي سريعاً بواسطة **التكاثر الدقيق Micropropagation**. تؤخذ قطعة كاملة الفاعلية من النبات، أو **غرز خارجي Explant**، وتوضع في وسط معقّم مع مواد غذائية، لتنمو إلى كالوس.

الوحدة 7

مراجعة الوحدة

- تُحَفِّز كتلة الخلايا بالهرمونات لتنمو منها أجنة عدّة، تكون فيما بعد شتلات. وعندما تكبر الشتلات قليلاً تُصَلَّب **Hardened** وتُنقل **Transplanted** إلى التربة لتنمو على نحوٍ طبيعي فيها.
- يمكن أن تُنتج عن عملية التكاثر الدقيق **Micropropagation** آلاف النباتات المتماثلة في مساحة صغيرة. غير أنّ هذه العملية مكلفة، وتُعدّ باهظة الثمن، مقارنة بالزراعة التقليدية.

تحضير للاختبار

1. أيّ مجموعات النبات الآتية أكثر تبايناً، وفيها أكبر عدد من الأنواع؟

a. السرخسيات

b. الحزازيات

c. معرّاة البذور

d. مغطّاة البذور

2. لم يتكاثر العديد من النباتات الزهرية لاجنسياً؟

a. تحتاج مغطّاة البذور إلى وقت أطول لإنتاج الكورمات والأبصال.

b. لا تحتاج إلى طاقة إضافية لإنتاج الأزهار أو البذور أو الثمار.

c. التكاثر اللاجنسي أبطأ، غير أنّه أكثر فاعلية.

d. الأصناف مُهمّة للبقاء على قيد الحياة.

3. أيّ نوع من أجزاء النبات هي البطاطس؟

a. جذر متحوّر يحتوي على النشا.

b. سيقان أفقية تنتفخ خلال عملية البناء الضوئي.

c. براعم

d. درنات تنمو فوق الأرض.

4. أيّ التقنيات الآتية تزيد الأصناف على شجرة مثمرة أو شجرة جوز؟

a. الترقيد الهوائي.

b. الترقيد الأرضي

c. التطعيم

d. التعقيل

5. أيّ نبات يتكاثر لاجنسيًا بالرايزومات؟
- البصل
 - الخيزران
 - البطاطس
 - البنفسج الإفريقي.
6. أيّ ممّا يأتي صحيح بخصوص العقدة؟
- تكون على الساق الجارية.
 - يمكن أن تنمو منها شتلة إلى الأعلى.
 - يمكن أن تُكوّن جذرًا.
 - كل ما ذكر.
7. أيّ من الآتي طريقة للتكاثر الخُصريّ الأبسط والأسرع؟
- الترقيد الهوائي.
 - الترقيد الأرضي.
 - التعقيل
 - التطعيم
8. لمَ يجب إحداث تغييرات على طريقة زراعة المحاصيل المستخدمة حاليًا؟
- لأن علينا زيادة الأصناف.
 - لأن التغيّر المناخي يهدّد الإنتاجية.
 - لعدم توافر أراضٍ كافية لإنتاج الغذاء حاليًا.
 - لضرورة أن تكون مصادر الغذاء أكثر تنوعًا.
9. بمَ تمتاز الأصناف المُستنبَته على الأصناف؟
- الأصناف نموّها أصعب من الأصناف المُستنبَته.
 - الأصناف المُستنبَته أكثر من الأصناف.
 - يمكن تكثير الأصناف المُستنبَته على نحوٍ أسرع من الأصناف.
 - جميع ما سبق إيجابيات تمتاز بها الأصناف المُستنبَته.

10. أي مما يأتي يصح على الخلايا المتميزة.

- a. جميع الخلايا متماثلة.
 - b. ينتج من الخلايا أصناف في نسلها.
 - c. تستمر الخلايا بالنمو طبيعياً.
 - d. تكون الخلايا متخصصة لأداء مهمات مختلفة.
11. لم نحتاج إلى النسيج المرستيمي في زراعة أنسجة النبات؟
- a. لأن النسيج المرستيمي يقع في قمم الساق والجذر.
 - b. النسيج المرستيمي كامل الفاعلية.
 - c. النسيج المرستيمي نسيج متميز.
 - d. الجذر الخلوية لخلايا النسيج المرستيمي رقيقة.
12. أين توجد الخلايا الكاملة الفاعلية؟

- a. أمام قلنسوة الجذر.
- b. في النسيج الوعائي في السيقان الخشبية.
- c. في عقد الساق الجارية وأماكن اتصال الأوراق بالسيقان.
- d. كل ما ذكر.

13. ما أهمية الهرمونات للنباتات؟

- a. تتحكم بسماكة الجذر الخلوية.
- b. تخضع لفيزياء حركة الجسيمات.
- c. تسرع طريقة إنتاج الفضلات.
- d. تؤثر في معدلات النمو في الخلايا النباتية.

14. أي مما يأتي يُعد من سلبيات التكثير الدقيق؟

- a. إنه أقل تكلفة.
- b. النسيج المرستيمي المصاب بعدوى سيتكاثر في كل الشتلات.
- c. الآلات المستخدمة في العملية يمكنها تدمير الأنسجة.
- d. النباتات الجديدة مقاومة للأمراض بشدة.

أسئلة الإجابات القصيرة

الدرس 7-1: التكاثر اللاجنسي في النباتات

15. كيف غيّرت الزراعة وتوزيع الغذاء النظام الغذائي والثقافة في قطر؟ 

- a. اختر غذاءً للبحث.
- b. وضح أصل الغذاء.
- c. وضح كيف غيّر الغذاء النظام الغذائي المحلي: هل أفاد الناس وثقافتهم، أم أدى إلى مشكلة في قطر.

16. اذكر نباتًا يتكاثر خضريًا بكلّ من التراكيب الآتية: 

- a. الرايزوم
- b. الدرنة
- c. البصلة
- d. الكورمة
- e. الساق الجارية.

17. ارسم مخططًا لنبات بطاطس، ثم اكتب أسماء تراكيب التكاثر الجنسي باللون الأحمر، وتراكيب التكاثر اللاجنسي باللون الأزرق. 

18. تتكاثر النباتات طبيعيًا من سيقانها، أو أوراقها، أو جذورها. ابحث في مثال على نبات لم يُذكر في النص، واستخدم إحدى التقنيات المذكورة، لتوضح كيف يمكن إنتاج مستنسخه اصطناعيًا. ووثق المعلومات التي حصلت عليها. 

19. صف طريقة تكاثر النباتات الآتية طبيعيًا: 

- a. الجَزَر
- b. الكُرّاث
- c. الفراولة

20. يختلف التكاثر الخُصري باختلاف النبات. 

- a. اذكر إجراءين يزيدان من فرص نجاح التكاثر الخُصري الاصطناعي في النباتات.
- b. اذكر متغيرين على الأقل يجب ضبطهما.

21. قارن بين التكاثر الطبيعي والتكاثر الاصطناعي بفقرة مكتوبة، على أن تتضمن المفردات الآتية: إيجابيات، بصلة، مستنسخ، تعقيل، سلبيات، تطعيم، ترقيد، ساق جارية، مخزون. 

الدرس 7-2: زراعة الأنسجة النباتية

22.  وضح الفرق بين الصنف والصنف المُستنبَت، مُستخدمًا نباتًا يختلف عن نبات البُطيخ الذي ذُكر في الدرس.

23.  ما أنواع الأنسجة الثلاثة التي تنشأ من الخلايا الكاملة الفاعلية؟
a. استخدم الإنترنت، أو أيّ مصادر أخرى، للعثور على أسماء تلك الأنسجة.
b. اذكر مثالاً على خلية متخصصة تمتاز من كل من الأنسجة الثلاثة.
c. تتوزع تلك الأنسجة على نحوٍ مختلف في النباتات، بالاعتماد على وجود ورقة جنينية واحدة في البذرة أو ورقتين. وبناءً على ذلك، صنّف علماء النبات النباتات المغطاة البذور إلى قسمين، اذكر اسميهما.

24.  استخدم النسيج المرستيمي في زراعة الأنسجة أول مرة في خمسينات القرن العشرين. وضح ما يأتي:
a. سبب إجراء التجارب الأولى.
b. الخطوات التي استخدمها العلماء في زراعتها.
c. الهدف من استخدام الأوكسين.

25.  غيرت الكائنات الحية المعدلة وراثيًا كلاً من الزراعة والطب.
a. عدّد خطوات نقل الجينات.
b. هل هي تكاثر جنسي أم تكاثر لا جنسي؟ وضح إجابتك.

26.  ارسم مخططاً تدفقياً ينظّم خطوات التكثير الدقيق micropropagation الأربع. مضمناً المخطط المفردات، ووصفاً قصيراً، ورسمًا في كل خطوة.

27.  لم يُعدّ نقل الجينات سبباً مثيراً للقلق، إذا استُخدم في النباتات التي تزرع لتؤكل؟ اذكر ثلاثة أسباب على الأقل.

28.  اختر جانباً للمناقشة في مقال قصير. التكثير الدقيق طريقة آمنة يمكن الاعتماد عليها في تربية النباتات وتخزينها. والتكثير الدقيق هدر وذو كلفة ويشكّل خطراً. نظّم قائمة بالنقاط التي تدعم موقفك وحضّر دفاعك في أوجه الذين لا يوافقونك الرأي. وكن مستعداً لمناقشة ذلك الموضوع شفهيّاً داخل الصف.



الوحدة 8

التنوع والانتخاب الطبيعي

Diversity and Natural Selection

في هذه الوحدة

B1128

B1129

B1130

الدرس 1-8: التباين

الدرس 2-8: الانتخاب الطبيعي

مقدمة الوحدة

تشير التقديرات إلى وجود تسعة ملايين نوع تقريباً من الكائنات الحيّة على كوكبنا اليوم؛ سُجِّل منها 1.3 مليون فقط ودُرس منها أقلّ من ذلك العدد، حتى الآن، في أعماق مختلفة. ويُقدَّر أيضاً انقراض ألف نوع مقابل كلّ نوع على قيد الحياة اليوم. تناقش هذه الوحدة كيف تتطوّر الأنواع الجديدة من خلال عمليّة الانتخاب الطبيعيّ التي تعمل على التباينات في كلّ كائن حيّ.

التباينات اختلافات وراثية قابلة للانتقال بين أجيال النّوع الواحد. ومن الأمثلة على التباينات الواضحة لون الشعر، ولون الجلد، والطول عند الإنسان. ومن الأمثلة الأقلّ وضوحاً التباينات الداخليّة، كسعة الرئتين، وتركيب العظام، ومعدّل الأيض.

تتغيّر الأرض باستمرار على مقياس المليون سنة الزمنيّ. ويمثّل الانتخاب الطبيعيّ العمليّة البطيئة التي توفّر فيها عوامل البيئة ميزة البقاء لبعض التباينات مقارنة بتباينات أخرى، ويميل كل جيل جديد إلى اكتساب المزيد من التباينات النافعة. بمرور الوقت، تتغيّر الأنواع إلى أنواع مختلفة نتيجة تراكم التباينات المختلفة في الجماعات الحيوية المختلفة.

الأنشطة والتّجارب

ملاحظة التباين في الشتلات	a1-8
الجماعات الحيوية والتباين	b1-8
أمثلة على التكيّف	2-8

الدرس 1-8

التباين

Variation



شكل 1-8 التباين.

لا يوجد شخصان متشابهان تمامًا، ما لم يكونا توأمين متماثلين. ومع ذلك يتشابه البشر جميعهم تشابهًا كبيرًا؛ ذلك أن كل فرد منا لديه التركيب العظمي نفسه، والأعضاء الداخلية نفسها. لكننا نختلف بآلاف الخصائص الصغيرة، كالطول، وحجم اليد، وشكل الأذن، وشكل الأنف، وسواها. إن لون العينين، مثلًا، هو تباين وراثي (الشكل 1-8).

المفردات



Variation	التباين
Trait	الصفة
Population	الجماعة الحيوية
Fitness	اللياقة
Abiotic factor	العامل غير الحيوي
Biotic factor	العامل الحيوي
Allele	الأليل
Dominant allele	الأليل السائد
Recessive allele	الأليل المتنحي
Polygenic trait	الصفة المتعددة الجينات
Genotype	الطراز الجيني
Phenotype	الطراز المظهري
Gene pool	مجمع الجينات
Discontinuous variation	التباين غير المستمر
Continuous variation	التباين المستمر

مخرجات التعلم

- B1128.1** يصف الأسباب الوراثية للتنوع، بما في ذلك الطفرة، والتوزيع العشوائي، والعبور خلال الانقسام الاختزالي (الميوزي)، والإخصاب العشوائي في أثناء التكاثر الجنسي.
- B1128.2** يصف الأسباب البيئية للتنوع، بما في ذلك العوامل الحيوية وغير الحيوية.
- B1129.1** يميز بين التنوع المستمر، والتنوع غير المستمر بين السكّان، ويعطي أمثلة على كلّ منهما.
- B1129.2** يعرف الصفات متعددة الجينات.
- B1129.3** يوضح لماذا تميل خصائص الطرز المظهرية للصفات متعددة الجينات، والصفات التي تتأثر بشدة بالتغير البيئي، إلى إظهار تنوع مستمر.

الجينات والبيئة مصدرا التباين

يُتَّصَف أفراد النوع الواحد بخصائص متشابهة، لكنهم نادراً ما يكونون متماثلين تماماً. تسمى الاختلافات الوراثية بين أفراد النوع الواحد **التباين Variation**. يحدث التباين الوراثي نتيجة اختلافات صغيرة في DNA. ولا تعدّ الاختلافات الناتجة من تأثيرات بيئية، مثل الإصابات أو التغذية، جزءاً من التباين الوراثي.



شكل 8-2 التباين في لون أجنحة الفراشات، ولون أزهار الزنبق.

يعبر عن التباين باختلافات في الصفات. **والصفة Trait** خاصية من خصائص الكائن الحي يحددها DNA، مثل الشعر الأحمر، أو القرون الطويلة، أو لون الفراء. تمتلك الفراشات والأزهار الظاهرة في الشكل 8-2 سمات لونية مختلفة، هي بمثابة تباينات ضمن النوع نفسه. معلوم أن الصفات وراثية، وهي تنتقل من الآباء إلى الأبناء، ما يجعلها مختلفة عن التغيرات التي قد تحدث في مراحل الحياة. فطول القرون عند ظبي المها صفة وراثية لها سمتان، فقد تكون طويلة أو قصيرة. لكن القرون القصيرة بسبب الكسر لا تعدّ صفة.

يحدث التباين بطريقتين رئيسيتين، تنشأ فيهما اختلافات وراثية بين أفراد النوع الواحد، هما:

1. حدوث طفرات في DNA، وانتقالها، إذا حدثت في الخلايا الجنسية.
2. التوزع العشوائي للكروموسومات وحركتها في أثناء التكاثر الجنسي يؤدي غالباً إلى تباينات جديدة في النسل.



شكل 8-3 طول القرن صفة وراثية تتأثر بكل من الجينات والبيئة.

يهمنا أن نعرف أن التباين الوراثي يحدث عند عدة مستويات في الكائنات الحية جميعها. ويبدو طول القرون عند المها (الشكل 8-3) تبايناً واضحاً لأنه خارجي، وتسهل رؤيته. ولكن هناك كثيراً من التغيرات الداخلية، مثل التوازن الإنزيمي، أو معدل الهضم، وهما أيضاً تباينات، ولكن يصعب تحديدها. ويجدر بالذكر أن أكثر التباينات هي تباينات كيميائية حيوية، ولا تتضح من الخارج.



ملاحظة التباين في الشتلات

a1-8

سؤال الاستقصاء	هل نباتات النوع نفسه كلها متشابهة؟
المواد المطلوبة	بذور نباتات من النوع نفسه، 12-16 أصيصًا (وعاء) صغيرًا، مخبر مدرّج، ماء، بذور خس ولفت وفجل تنبت بسرعة، مستشعر حرارة.

الخطوات



اليوم	0	1	2	3	4	5	6
الوقت	12:30 pm	12:40 pm	12:34 pm	12:38 pm	12:45 pm	12:19 pm	12:40 pm

1. املا 12 أصيصًا بمقادير متساوية من التربة، وأضف 1 mL من الماء إلى كل 5 mL من التربة.
2. ضع ثلاث بذور في كل أصيص على عمق 1 cm تقريبًا تحت السطح، ويمكن أن يختلف ذلك تبعًا لنوع النبات.
3. عرّض الأصص كلها لضوء الشمس نفسه، واروها بكمية متساوية من الماء كل يوم في الوقت نفسه تقريبًا. قس درجة حرارة التربة كل يوم. سجّل مقدار الماء المضاف، ودرجة حرارة التربة، والوقت من اليوم. يكون الإنبات أسرع عندما تكون درجة حرارة التربة فوق $22^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$.
4. سجّل الملاحظات جميعها في أثناء نمو النباتات. قد ترى تباينًا في الطول، وحجم الأوراق، وشكل الأوراق، ومعدّل النمو، واللون، وشعيرات الأوراق. قد ترغب في إعداد جدول بيانات تسجّل فيه ملاحظاتك على نوع النبات الذي تعمل عليه.

أسئلة تلخيص

- a. ما الخصائص التي تصف نباتاتك؟ وهي قد تكون: عدد الأوراق، شكل الورقة، شعيرات الورقة، شكل الساق، اللون، أو سوى ذلك من الخصائص.
- b. ما التباين الذي تجده في الخصائص؟ أنجز لوحة مقارنة بين عينات النبات الاثنتي عشرة. صف الخصائص المتشابهة والخصائص المختلفة.
- c. ناقش لكل خاصية ظهر فيها تباين إن كنت ترى أن التباين قد سببته عوامل وراثية أو عوامل غير وراثية.

الجينات والكروموسومات

الصفات تتحكم فيها الجينات، والجين **Gene** وحدة الوراثة. إنه ينتقل من الآباء إلى الأبناء ويتحكم في إحدى الصفات. وقد تم اكتشاف هذا الأمر قبل زمن طويل من معرفتنا DNA. نعرف اليوم أن الجين هو تسلسل من النيوكليوتيدات في DNA، ويشكل جزءاً من أحد الكروموسومات؛ ويمكن أن يتضمن الجين الواحد عشرات الآلاف من أزواج القواعد.

تقع الجينات على الكروموسومات الموجودة في أنوية الخلايا الجسدية على شكل أزواج متماثلة (homologous chromosomes) $(2n)$ ، أحد كروموسومي كل زوج يكون من الأم والآخر من الأب. والكروموسوم الواحد قد يحمل مئات الجينات. ويحتوي الكروموسومان المتماثلان على الجينات نفسها بالتسلسل نفسه وعلى المواقع نفسها. وغالباً ما تمثل الجينات المنفردة بشكل حزم على الكروموسوم، كما يظهر في الشكل 4-8، كما توجد جينات محمولة على الكروموسومات الجنسية.



شكل 4-8 توجد جينات كثيرة في كل كروموسوم.

للجين الواحد أكثر من شكل مختلف، فالجين الذي يتحكم في لون الشعر مثلاً، له أشكال مختلفة تسهم في إعطاء ألوان مختلفة للشعر لدى الأفراد. تسمى الأشكال المختلفة للجين الواحد **الأليلات Alleles**. هناك احتمالان:

- الأليل نفسه يمكن أن يظهر على كلا الكروموسومين المتماثلين.
- أليلان مختلفان يمكن أن يظهر على الكروموسومين المتماثلين.

يتكوّن **الطراز الجيني Genotype** للصفة من تركيبة الأليلات على كلا الكروموسومين المتماثلين.

لا يتكوّن كل الكروموسوم من جينات يستطيع الكائن استخدامها. وقد حدد العلماء أن % 1.2 تقريباً فقط من DNA كروموسومات الإنسان يضم كل الجينات البشرية المعروفة، وأن % 98.8 تقريباً لم تعد تحتوي على جينات فاعلة. ليس لدى معظم الطفرات تأثير ظاهر لأن هذه الطفرات تحدث في الـ 98.8 % من DNA غير المستخدم. وتهتم الأبحاث الناشطة اليوم بتحديد دور الـ DNA غير المستخدم في بعض الوظائف الإضافية، إلى جانب الجينات الفاعلة.

الأليلات



شكل 5-8 أرانب تظهر اختلافاً في لون الفرو وأنماطه.

الأليل Allele أشكال مختلفة للجين نفسه على مستوى الجماعة الحيوية، وهو جزء من DNA يتحكم في صفة محددة، كلون الفراء. إن أي جماعة حيوية تتكوّن من أفراد تحتوي على خليط من أليلات مختلفة. ويحدث التباين نتيجة اختلاط أليلين أو أكثر. ومن الأمثلة على اختلاط الأليلات لون الفراء ونمطه عند الأرانب (الشكل 5-8).

يحدّد الصفة الواحدة لدى الفرد في العادة أليلان، واحد من الأب والآخر من الأم. ويتحدّد **الطراز المظهري Phenotype**، أو الصفة، باجتماع الأليلين. فمثلاً يتحكم جين مفرد في لون دهن الجسم في الأرانب. ونتيجة طفرة، تفتقر الأرانب التي تحتوي على جين الدهن الأصفر إلى الإنزيم الذي يغيّر صبغات الزانثوفيل إلى ناتج عديم اللون. عملت الطفرة في هذه الحالة على إنتاج أليل جديد لصفة لون الفراء بالإضافة للأليل الطبيعي. مما يزيد في ألوان الفراء المحتملة، وبالتالي سيتحدد لون الفراء بحسب أي الأليلات سيرث.

الأليل أشكال مختلفة للجين نفسه، وهي تحدد الطراز المظهري للكائن الحي. يرث الأبناء 1/2 أليلاتهم من كل من الوالدين.



تعكس زيادة التباين بين أفراد الجماعات الحيوية ضمن النوع الواحد تنوعاً في الأليلات المختلفة، ويستخدم علماء الأحياء عدد الأليلات المختلفة وعدد مرات تكرارها مقياساً لسلامة النوع ومقدرته على البقاء. ويرمزون إلى الأليلات بحروف للتواصل بشأن العلاقات وحساب احتمالاتها.

دائماً ما يستطيع **الأليل السائد Dominant allele** التعبير عن نفسه بتكوين ناتج ما يخصه كالبروتين، حتى بوجود أليلات أخرى. فالدهن الأبيض الطبيعي (F)، مثلاً، هو الأليل السائد. أما **الأليل المتنحي Recessive allele** فيستطيع التعبير عن نفسه فقط عند غياب الأليل السائد. وفي حالة الأرانب، تزيد وراثته أليل متنحٍ من احتمالات وراثته طفرة للدهن الأصفر (f).

مسألة 1



أرنب ذكر دهنه أبيض، يحمل أليل الدهن الأصفر (Ff)، تزواج مع أنثى دهنها أصفر (ff). ما نسبة الأفراد التي تحمل أليل الطفرة؟

الحل:

f	f	الأباء
Ff	Ff	F
ff	ff	f

f = أليل الدهن الأصفر

F = أليل الدهن الأبيض

$Ff \times ff$

النسل = 100 % تحمل الأليل الطافر.

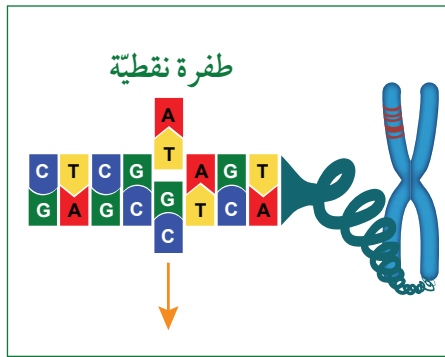
50 % لديها دهن أبيض، 50 % لديها دهن أصفر.

التباين من خلال طفرات DNA

هناك أشياء تُغيّر في DNA الكائن الحيّ وتركيبه الجينيّ، كلّ من تلك الأشياء يسهم في التباين، ويعود ذلك إلى عاملين، هما:

1. أن الطّراز الجيني لكلّ فرد من الأبناء هو خلط للطراز الجيني لِكِلَا الأبوين في الكائنات الحيّة التي تتكاثر جنسيّاً.

2. أن الحدوث المستمرّ للطفرات الصغيرة في الكائنات الحيّة جميعها يغيّر، مع مرور الوقت، الطّراز الجيني. ويكون معدّل الطفرات أعلى في الكائنات الحيّة التي تتكاثر جنسيّاً.

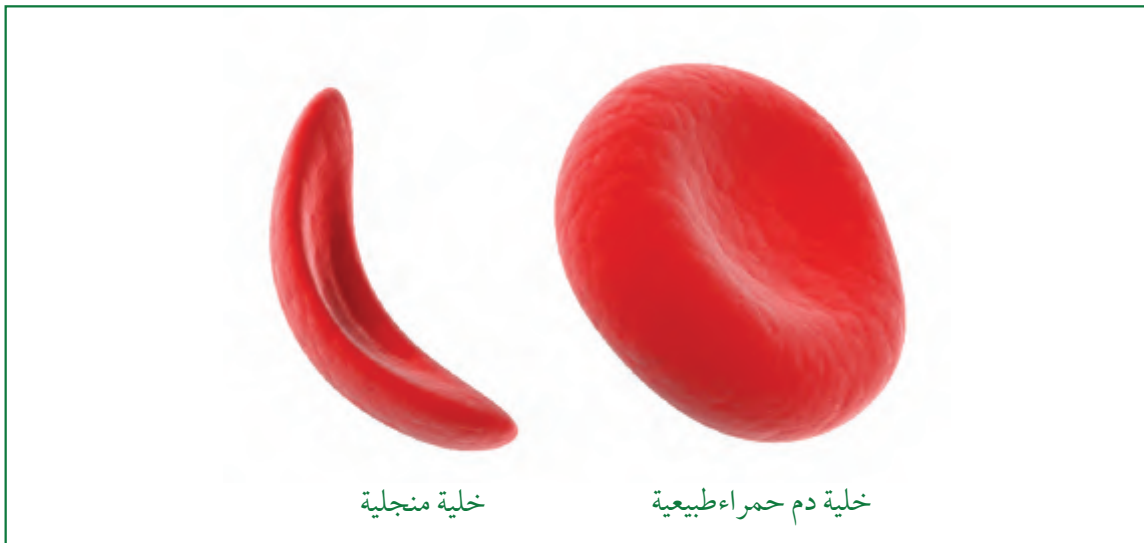


شكل 6-8 طفرة نقطية في الـ DNA

في كلّ مرّة يتضاعف DNA عند الإنسان، يُنسَخ أكثر من ثلاثة مليارات زوج من القواعد. وعلى الرغم من آليات الإصلاح التي تحدث في الخليّة، فإنّ تغيّرات طفيفة في DNA تطرأ في كلّ مرّة تنقسم الخليّة فيها. ويمكن أن تؤثر الطفرة في نيوكليوتيد واحد، وإذا لم يتم إصلاحه، فإن الطفرة تُسمّى عندئذ **طفرة نقطية** Point mutation (الشكل 6-8).

يكون تأثير كثير من الطفرات النقطيّة تأثيراً ضئيلاً أو معدوماً، بالنظر إلى تعدد الشيفرات الوراثيّة لكثير من الأحماض الأمينيّة. ولذلك، فقد ينتج من تغيير قاعدة واحدة في سلسلة DNA الحمض الأميني نفسه، فلا يكون هناك حينئذٍ تأثير في البروتينات.

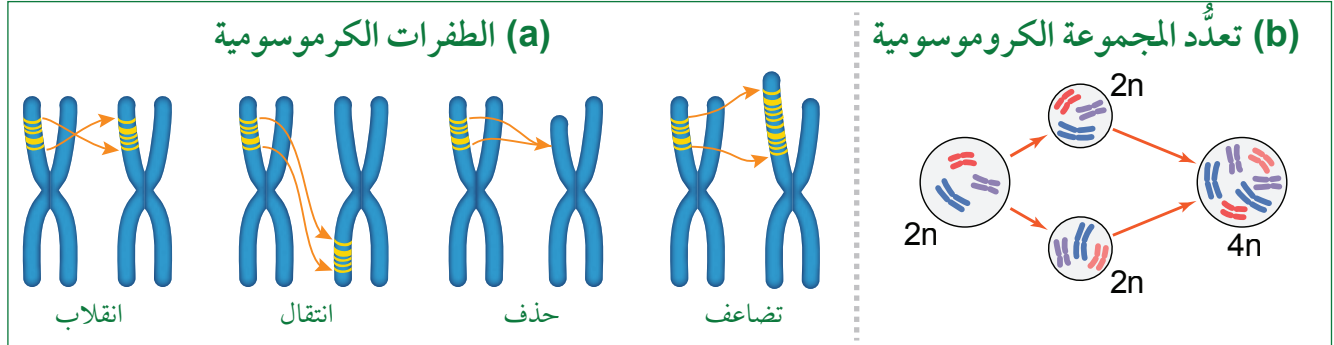
و من الطفرات الموروثة التي درستها طفرة الاستبدال التي تؤدي إلى الإصابة بمرض فقر الدم المنجلي كما في الشكل (الشكل 7-8)



شكل 7-8 خلايا منجلية.

التباين من خلال الطفرات الكروموسومية

لا تتضاعف الكروموسومات دائماً على نحو مثالي. فالطفرة الكروموسومية تحدث عندما ينتقل قسم كامل من DNA أحد الكروموسومات إلى كروموسوم آخر، أو يُحذف، أو يتضاعف (الشكل 8-8a). يحتوي كل كروموسوم في العادة على آلاف الجينات التي تنتشر في عدة ملايين من أزواج القواعد في DNA. وتؤثر الطفرات الكروموسومية في كثير من الجينات في الوقت نفسه، لأنها تصل إلى أقسام كبيرة من DNA. ومن المرجح أن تنتقل تلك الطفرات إلى الجيل اللاحق، إذا حدثت في الخلايا الجنسية.



شكل 8-8 تتضمن الطفرات الكروموسومية (a) أقساماً كبيرة من DNA على الكروموسوم، أو (b) مضاعفة النسخ في الخلايا نتيجة إخفاق الانفصال.

ويشكّل تعدد المجموعة الكروموسومية (تعدد الصيغ الصبغية) polyploidy مثلاً على الطفرات الكروموسومية، حيث تحتوي الكائنات الحية على ثلاث مجموعات كروموسومية أو أكثر. وينشأ تعدد المجموعة الكروموسومية من الكروموسومات التي تخفق في الانفصال على نحو طبيعي في أثناء الانقسام الاختزالي (الشكل 8-8b).



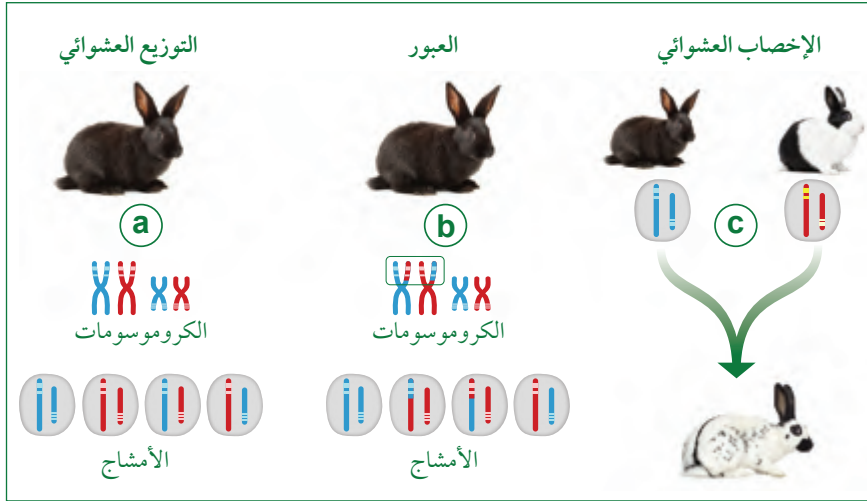
شكل 8-9 الزعفران السوسني.

يشيع تعدد المجموعة الكروموسومية في النباتات. وتشير التقديرات إلى أن 60 % من مغطاة البذور، و 99 % من السرخسيات، و 80 % من أنواع الأعشاب متعددة المجموعة الكروموسومية. ويؤدي تعدد المجموعة الكروموسومية إلى عزل النباتات تكاثرياً عن سواها من ثنائيات الصيغة الصبغية من النوع نفسه. ويُعدّ الزعفران السوسني

Crocus sativus مثلاً على نباتات ثلاثية المجموعة الكروموسومية التي لم تعد تتكاثر جنسياً (الشكل 8-9). تمثل الحياة، من منظور علم الوراثة، اتحادات جديدة من الجينات على مدى ملايين الأجيال يتم تحديدها في ظروف متغيرة. ويمكن إجمال تأثير الطفرات على التباين في النقاط الثلاث الآتية:

1. تحدث الطفرات العشوائية على نحو مستمر.
2. ليس لمعظم الطفرات تأثير في النسل، أما القليل من الطفرات التي لها تأثير فتكون في أغلب الأحيان مُضرة أو مميتة، ولا تعيش الأفراد التي تحملها لتبلغ مرحلة التكاثر.
3. من وقت طويل إلى آخر، تُنتج طفرة عشوائية تبايناً يمنحها تكيّفاً إضافياً وميزة تكاثرية يمكن انتقالها إلى الجيل اللاحق. ويمثل هذا الجزء البسيط من الطفرات المفيدة المنتقلة أساس عملية التطور البطيئة.

التباين يزداد في التكاثر الجنسي



شكل 8-10 اختلاط الجينات في التكاثر الجنسي.

المشيج Gamete حيوان
منويّ أو بويضة، وهو يحتوي على نصف عدد كروموسومات الخلية التامة. في أثناء الانقسام الاختزالي (الميوزي) لتكوين الجاميتات تنفصل الكروموسومات المتماثلة، حيث يتصرف كل زوج من تلك الكروموسومات مستقلاً عن الكروموسومات

الأخرى. ثم تتحد الكروموسومات من جديد من خلال الإخصاب الذي يعيد تكوين العدد الثنائي ($2n$). وهذا يعني أن الصفات تورث مستقلة بعضها عن بعض ما لم تكن محمولة على الكروموسوم نفسه، وأن الصفات التي يرثها الفرد تحددها الكروموسومات التي يرثها من كلا الوالدين. يبين الشكل 8-10 ثلاث وسائل رئيسة يُنتج التكاثر الجنسي بواسطتها تبايناً.

a. التوزيع العشوائي Random assortment: هو اصطاف أزواج الكروموسومات في أثناء الانقسام الميوزي على شكل ثنائيات، وتوزعها فيما بعد على الجاميتات بشكل مستقل بعضها عن بعض. يمتلك الإنسان 23 زوجاً من الكروموسومات، ما يعني أنه يوجد أكثر من 8 ملايين طريقة يمكن أن تصطف فيها هذه الكروموسومات مشكّلةً بذلك عدداً أكبر من الجاميتات المختلفة المحتملة.

b. العبور Crossing - over: هو تبادل الكروموسومات المتماثلة قطعاً من الكروماتيدات في أثناء الانقسام الاختزالي. تعمل عملية العبور على خلط المادة الوراثية للأُم بالمادة الوراثية للأب منتجة بذلك تراكيب كروموسومية جديدة، ما يزيد التباين بين أفراد النوع الواحد.

c. الإخصاب العشوائي Random fertilization: في التكاثر الجنسي، يُكوّن الذكر ملايين الحيوانات المنوية المختلفة، وكل منها يمتلك احتمال أن يخصب البويضة، ما يؤدي في النهاية إلى مزج الجينات التي اختيرت عشوائياً من فردين، في فرد جديد.

ننطلق من نموذجنا البسيط لكروموسومين ينتجان أربعة أمشاج فريدة: فإذا خُصبت تلك الخلايا بأربع خلايا فريدة أخرى، فسوف يتم الحصول على 16 نتيجة محتملة فقط. واقع الأمر، أن إناث الثدييات يمكنها أن تُنتج من بويضة إلى عشر بويضات فريدة، لا يتم إخصابها كلها أو لا تتطور طبيعياً. وتنتج الذكور آلاف الحيوانات المنوية وتخزنها. وتبدأ كل أربعة حيوانات منوية ناتجة بالـ DNA نفسه، لكنها تتأثر في أثناء مسار تكونها بتوزعات عشوائية وطفرات محتملة. لذا، يكون عدد التراكيب الجينية المحتملة كبيراً، ويكون احتمال التباين كبيراً جداً. وهذا هو السبب في تطور التكاثر الجنسي.

الجماعات الحيوية والعوامل البيئية

أي التباينات الشائعة تعتمد في العادة على عوامل بيئية كثيرة؟ لون الفراء مثال جيد على التباين الذي يتأثر بالبيئة. مع اقتراب الشتاء والثلج الكثيف في المناطق الجبلية، تغير الأرانب البرية لون فرائها (الشكل 8-11). تميل جماعات الحيوانات التي تعيش في الجزر الصغيرة إلى أن يكون حجمها صغيراً، وهذا التباين يتطلب غذاءً أقل ومساحة عيش أصغر.



شكل 8-11 تغير الأرانب القطبية ألوانها موسميًا.

يطلق على الأجزاء غير الحية في النظام البيئي، والتي يمكن أن تؤثر في التباين، تسمية **العوامل غير الحيوية Abiotic factors**، وهي تشمل درجة الحرارة، وضوء الشمس، والتربة، والماء، والهواء. يتحكم أحد الجينات (C) في صبغات الفراء عند أرانب الهيمالايا، ويكون هذا الجين نشطاً عندما تكون درجات حرارة البيئة بين 15°C و 25°C. لذلك، يتصف الأرنب الذي ينشأ عند درجة الحرارة 20°C بلون داكن على الأذنين، والأنف، والأقدام، حيث يفقد جسمه أكبر كمية من الحرارة. أما الأرنب الذي ينشأ عند درجات حرارة أعلى من 30°C، فيفتقد صبغة الفراء، لأن الجين C لا يكون نشطاً عند درجات الحرارة المرتفعة. وبالمقابل، يمكن أن يؤثر اللون الفاتح أيضاً في الصفات. ففي سنة 1917، عرض عالم الأحياء توماس هانت مورغان يرقات فراشة لضوء أحمر، ويرقات لضوء أخضر، وأخرى لضوء أزرق، وفي الوقت نفسه، أبقى يرقات أخرى في الظلام. عندما تكونت الفراشات البالغة، أظهرت أجنحتها اختلافات مذهلة: أنتج التعرض للضوء الأحمر أجنحة زاهية اللون، وأنتج التعرض للضوء الأخضر ألواناً باهتة. أما اللون الأزرق والظلام فأنتجا ألواناً شاحبة جداً. بناء على ذلك، ربطت الاختلافات في النمو والمظهر بعوامل غير حيوية.



شكل 8-12 يمكن للافتراس أن يزيل صفات من الجماعات الحيوية.

العوامل الحيوية Biotic factors هي تفاعلات بين الأنواع، تؤثر في تباين الجماعات الحيوية. فالأفراد التي تبقى على قيد الحياة في الجماعات الحيوية، تنقل جيناتها إلى أبنائها. والعوامل الحيوية هي أشكال سلوك، مثل الهجرة، أو اختيار الشريك، وتشمل أيضاً الافتراس (الشكل 8-12). ويمكن للبكتيريا أو الفطريات التي تسبب المرض أو الموت، أن تغير من احتمالات ظهور الصفات أو اختفائها في أجيال الجماعات الحيوية المستقبلية.

الآليات المتعددة

يكشف التكاثر الاصطناعي للصفات المرغوبة أنماط الوراثة التي يمكن أن تكون أكثر تعقيداً. لدى الخيول والأرانب والطيور كثير من الآليات التي يُنتج اتّحادها مجموعة واسعة من الأنماط والألوان. تتحكم، على مستوى الجماعة الحيوية، أربعة آليات في مظهر واحد للون فراء الأرانب، ويُرمز إليها بالحروف: C , c^{ch} , c^h , c . الأليل (C) سائد ويعطي فراءً فيرانياً متعدد الألوان. الأليل c^{ch} متنحّ قياساً على الأليل C ، لكنّه سائد على الأليلين c^h و c . يأتي ترتيب سيادة الآليات الأربعة على النحو الآتي: $C > c^{ch} > c^h > c$. ويبيّن الشكل 13-8 تراكيب الآليات الأربعة.

						
الطراز الجيني الآليات	CC	Cc^h	$c^{ch}c^{ch}$	$c^{ch}c^h$	c^hc^h	cc
	Cc^{ch}	Cc	$c^{ch}c$		c^hc	
الطراز المظهري اللون	فيراني		رمادي		أبيض وأسود	أبيض

شكل 13-8 الآليات السائدة والآليات المتنحية للون فرو الأرنب.

الطراز الجيني Genotype هو تركيب أليلي للصفة. يمكن أن يكون للأرانب الفيرانية اللون، مثلاً، طراز من أربعة طرز جينية مختلفة، هي: CC, Cc^{ch}, Cc^h, Cc (الشكل 13-8). يشكّل **الطراز المظهري Phenotype** الصفة الملحوظة التي تعبّر عن الطراز الجيني. الطراز المظهري الأبيض له طراز جيني وحيد، cc .

إذا أسهم أب فيراني اللون بأليل « C » سائد، فسوف يكون الطراز المظهري للأبناء فيرانياً. وستكون الطريقة الوحيدة لإنتاج أرنب رماديّ من أبوين فيرانيين، أن ينقل كلا الأبوين أليلات متنحية، على أن يكون أحدها c^{ch} ، وإن لم يكن كذلك فقد يكون الأرنب فيراني اللون، أبيض وأسود، أو أبيض فقط.

مسألة 2

تزاوج ذكر فيراني اللون (CC) مع أنثى بيضاء وسوداء ($c^h c^h$). ما احتمال إنجاب أرنب رماديّ؟

الحل:

c	C	الأباء
$c^h c$	$C c^h$	c^h
$c^h c$	$C c^h$	c^h

$$CC \times c^h c^h$$

النسل = 50 % فيراني، 50 % أبيض وأسود، و 0 % احتمال اللون الرمادي.

أنواع التباينات

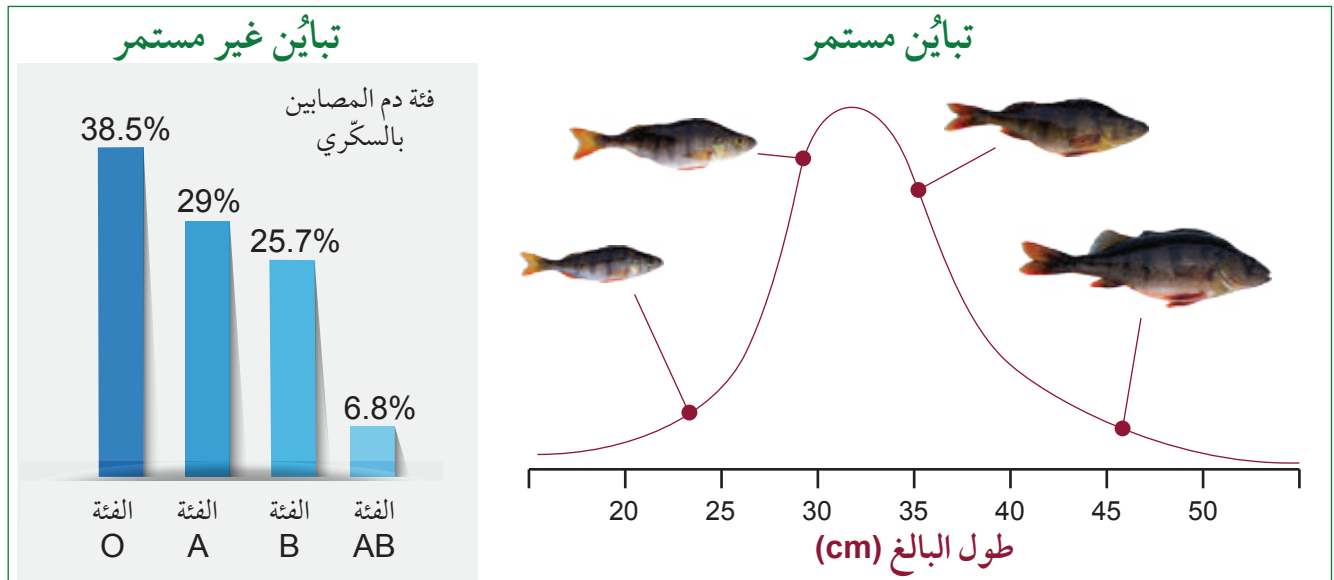
تكون التباينات على شكلين، لهما نماذج وراثية مختلفة، هما:

1. تباين غير مستمر **Discontinuous variation**.

2. تباين مستمر **Continuous variation**.

يحدث التباين غير المستمر عندما يتم التحكم في الصفة بعدد قليل من الأليلات، ويكون له عدد محدد من الطرز المظهرية، وتكون الصفات محددة جيداً من دون أي أشكال وسيطة. إن جين فئة الدم عند الإنسان له ثلاثة أليلات محتملة (I^A , I^B , i)، تُنتج أربع فئات ملحوظة من الدم (O, A, B, AB). وعندما تُرسم بيانياً، يكون لكل طراز مظهري قيمة واحدة (الشكل 8-14).

ينتج التباين غير المستمر من صفات يتحكم بها جين منفرد له بضعة أليلات.



شكل 8-14 نوعا التباين في المجموعات الحيوية.

يحدث التباين المستمر عندما تنتج الصفة من فعل عدة جينات (**متعددة الجينات Polygenic**)، وتتأثر عادة بالبيئة. يُعد الحجم مثالاً على التباين المستمر. تضم العوامل الوراثية التي تؤثر في الحجم هرمونات النمو، ومعدلات الأيض، وتركيب العظام. أما العوامل البيئية التي تؤثر في الحجم فتتضمن التغذية، ومواقع التزاوج، والافتراس.

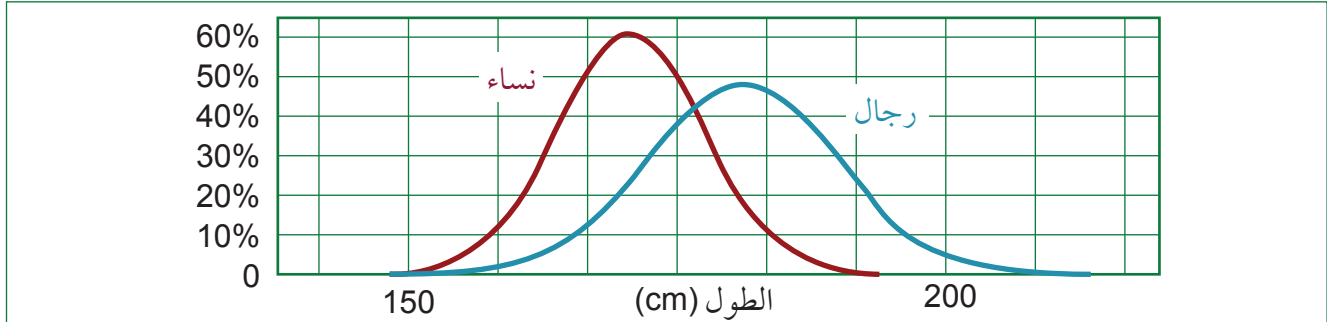
يمكن تمثيل التباينات المستمرة (متعددة الجينات) بيانياً بمنحنى توزيع طبيعي (منحنى الجرس). يبين الشكل 8-14 كيف يختلف طول الأسماك البالغة في الجماعة الحيوية، حيث يعرض الرسم البياني لمجموعة قياسات من الصغيرة جداً (20 cm) إلى الكبيرة جداً (50 cm). في الإنسان، تكون صفات الطول ولون الجلد متعددة الجينات. معظم الصفات متعددة الجينات لها قيمة متوسطة تكون معظم الأفراد قريبة منها، أما الأفراد البعيدة عنها فتكون أقل كثيراً.

التباين المستمر والصفات متعددة الجينات

ما الجينات التي تؤثر في صفتي وزن الإنسان وطوله؟ يبين الرسمان البيانيان في الشكل 8-15 أن الطول يُظهر تبايناً مستمراً، وأن وزن الجسم يُظهر أيضاً تبايناً مشابهاً. هذا يعني أن:

a. جينات متعددة تعمل في كلتا الصفتين.

b. عوامل بيئية قوية تؤثر في تطور كلتا الصفتين.



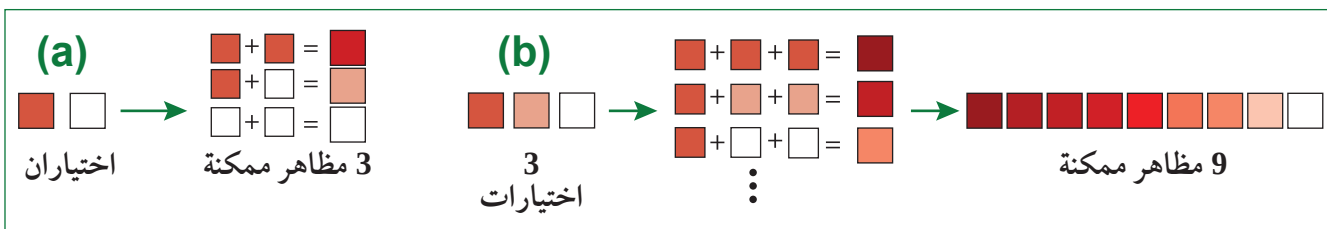
شكل 8-15 توزع الطول في البشر.

التباين المستمر ينتج من صفات متعددة الجينات ويتأثر بعوامل بيئية.

تعتمد الصفة **المتعددة الجينات Polygenic** على جينات كثيرة، والطول مثال عليها. وقد حدّد العلماء أكثر من 400 جين تؤثر في وزن الإنسان. تتحكم الجينات التي تؤثر في الطول بتركيب العظام، وبمستويات الهرمونات، وبمعدلات النمو، وبالعوامل كثيرة أخرى.

الصفات التي تتميز بأفضلية بيئية قوية هي غالباً متعددة الجينات. ولتوضيح هذا الأمر، لننطلق من أن الكائن، كلما استطاع تحقيق أفضلية بقاء أكبر، كانت فرصة التكاثر وتوريث تلك الأفضلية أكبر. فإذا كان الطول ميزة، فإن الكائن سيميل إلى تطوير آليات متعددة الجينات لتحقيق الزيادة في الطول؛ ولذا، فإن الطول يصبح صفة متعددة الجينات تشترك فيها جينات متعددة.

تُظهر الصفات متعددة الجينات تبايناً مستمراً، لأن العوامل الوراثية المتعددة تكون سبباً في بروز الكثير من المظاهر الممكنة. وعلى سبيل المثال، قد يعطي اتحاد لونين ثلاثة مظاهر، في الوقت الذي يعطي فيه اتحاد ثلاثة ألوان تسعة مظاهر ممكنة تبدو كأنها تباين مستمر. وتتأثر الصفة ذات التباين المستمر، كالطول، بمئات الجينات.



شكل 8-16 كلما زادت الخيارات كلما كان التباين أكبر.

تكرار الأليل في الجماعات الحيوية ينتج التباين

تمتلك الجماعة الحيوية الكبيرة التي يتكاثر أفرادها عشوائياً مجموعةً من الجينات المختلفة، تُعرف باسم **المحتوى الجيني Gene pool**.

- يصف تكرار الأليل توزع الأليلات في الجماعة الحيوية. نجد مثلاً أن لدى 16 % من سكّان العالم أليلاً لفئة الدم B، بالرغم من أن أكثر من 38 % من سكّان الهند، وأقل من 3 % في النرويج، يحملون ذاك الأليل (الشكل 8-17).

- يمثل المحتوى الجيني الأليلات جميعها في الجماعة الحيوية للصفات كلّها. وكلّما كانت الجماعة أصغر، كانت مجمع الجينات أصغر.

المحتوى الجيني هو مجموع الأليلات المختلفة الموجودة في الجماعة الحيوية.



شكل 8-17 فئات الدم تتباين.

لمعرفة العلاقة بين الأليلات والتباين، لاحظ فئات الدم عند الإنسان، التي تتحدّد بثلاثة أليلات يُرمز إليها بـ: I^A, I^B, i . يرث الطفل أليلاً واحداً من كل من الوالدين. الأليل i مُتَنَحٍّ، والأليلان الآخران I^A و I^B مشتركاً للسيادة. وتكون الطريقة الوحيدة للحصول على فئة الدم O، هي وراثة أليلين i متنحّين. فإذا كانت الأليلات الثلاثة موزّعة بالتساوي، نتوقع أن يكون تسع سكان العالم (11.1%) فئة دمهم O. ومع ذلك، فليس هذا هو التوزيع الفعلي، لأنّ الأليلات ليست موزّعة بالتساوي (الجدول 8-1).

جدول 8-1 فئات الدم عند الإنسان وتكرار الأليلات.

أليل من الأب	$i i$	$I^A I^B$	$I^B i$	$I^B I^B$	$I^A i$	$I^A I^A$	أليلات
أليل من الأم	O	AB	B	B	A	A	فئة الدم
53.8%	2.6%	8.6%	35.0%				تكرار

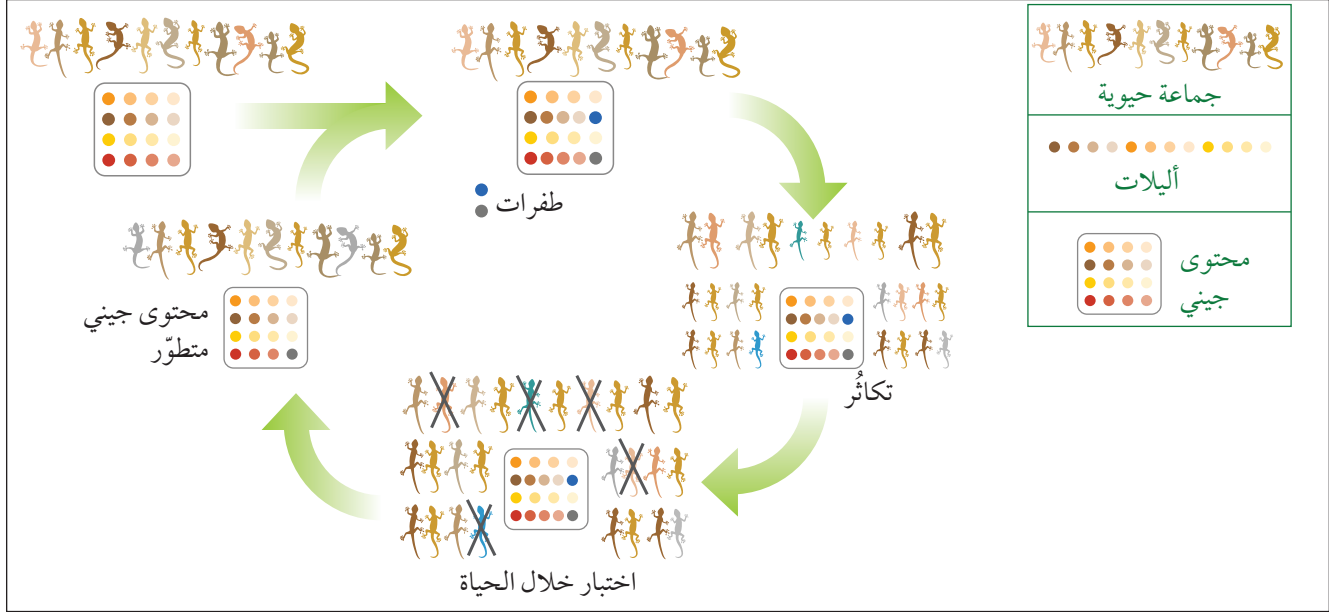
تكرار الأليلات	I^B	20.9%	I^A	73.3%	i	تكرار الأليلات
----------------	-------	-------	-------	-------	-----	----------------

يختلف التوزيع اختلافاً كبيراً تبعاً للمكان الذي ولدت فيه؛ ففي أمريكا الجنوبيّة، يمتلك أكثر من 90 % من السكّان أليلين i ، وأقل من 5 % يحملون الأليل I^A أو الأليل I^B ، ويحمل 5.6 % فقط من الناس في جميع أنحاء العالم الأليل I^B و 20.9 % يحملون الأليل I^A .

ولأنّ بعض الأليلات سائدة، وبعضها الآخر متنحّية، فإنّ تكرار الأليلات المختلفة في الجماعة الحيوية يختلف عن تكرار الصفة المفردة. يفسّر نموذج الأليلات الثلاثة التكرار الملاحظ للتباين في فئات الدم، عندما تكون 73.3 % من الأليلات في العالم هي i ، و 20.9 % هي I^A ، و 5.6 % هي I^B .

المحتوى الجيني وسلامة النوع

الطفرات تحدث عند جميع الأفراد. وبوجود محتوى جيني كبير تُخفّف الطفرات المضرّة في الجماعة الحيوية عن طريق التكاثر. والكميّة الأقلّ من التنوع الوراثي ضروريّة للحفاظ على صحّة الأنواع.



شكل 8-18 يتغير المحتوى الجيني للجماعة الحيوية بمرور الوقت.

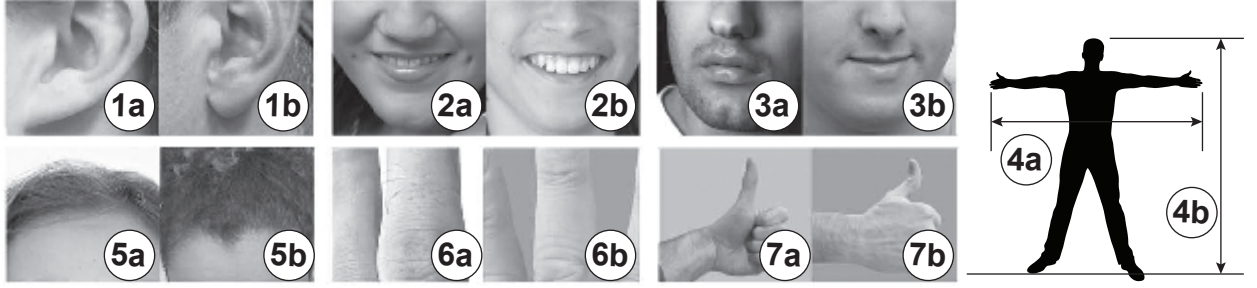
- المعدّل البطيء لحدوث الطفرات يعدّل باستمرار الأليلات الموجودة، أو يُنشئ أليلات جديدة.
 - خلط الجينات من خلال التكاثر الجنسي ينشر تراكيب جديدة من الأليلات عند أفراد الجماعة الحيوية.
 - تختبر الحياة التباينات؛ فالأليلات التي تحسّن البقاء تتكاثر في أحيان كثيرة، وتزداد تكراراتها في المحتوى الجيني.
 - وبالمقابل، فإن الأليلات التي تقلّل من معدّل البقاء تقلّل أيضًا من تكراراتها في المحتوى الجيني.
- لتعرّف أهميّة التباين الوراثي، فكّر في السبب الوراثي الذي يحول دون تزوّج معظم الحيوانات بالأشقاء. ذلك أن كلّ فرد لديه نسختان من كلّ كروموسوم، وبالتالي أربع نسخ من كلّ أليل. وإذا وُجدت طفرة مضرّة في نسخة واحدة، فمن المرجّح أن يكون لدى النسخة الثانية جين فاعل. وبوجود الجين الفاعل، ربّما لا يُعبّر عن الطفرة المضرّة، ويبقى الكائن الحيّ بصحّة جيّدة.
- لكنّ التزاوج مع الأشقاء يجعل من المحتمل وراثة نسخة أخرى من جين الطفرة الضار نفسه، ما يزيد من التغيّر في الاختلال الوراثي المُعبّر عنه، ويُخفض القدرة على التكيّف في الجماعة الحيوية، إذا أصبح عدد الأفراد قليلًا جدًا.



الجماعات الحيوية والتباين

b1-8

سؤال الاستقصاء	كيف نصف التباينات؟
المواد المطلوبة	قلم رصاص، ورقة رسم بياني، شريط قياس متري.



الهدف من هذه المهمة إلقاء نظرة على صفات بشرية محددة، يُعرف أنها تظهر تبايناً بأصل وراثي. تتضمن ورقة العمل مزيداً من التفاصيل عن الصفات الظاهرة في الشكل أعلاه.

الخطوات

نفذ مسحاً لطلاب صفك وأصدقائك الذين يماثلونك في العمر، وسجل تباينهم في الصفات الظاهرة في الشكل. سجل عنهم أيضاً، الطول، ولون الشعر، ولون العينين، وعرض الأذرع الممدودة من طرف الإصبع إلى طرف الإصبع. هناك جدول بيانات أكبر في ورقة العمل.

الطول	امتداد الذراع	لون الشعر	لون العينين	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b

الأسئلة

- أي من هذه الصفات يرجح أن تكون متعددة الجينات؟ علّل.
- ما الصفات المرجح أنها ذات تباين غير مستمر، والصفات ذات التباين المستمر؟ علّل.
- حدّد الأليل السائد، والأليل المتنحي للصفة التي ترى أنه يتحكم فيها أليلان.
- اختر صفة من الصفات التي ترى أنها ذات تباين مستمر، لعرضها على شكل رسم بياني.
- اقترح سبباً يفسّر وجود التباين نفسه لبعض هذه الصفات لدى كل شخص.

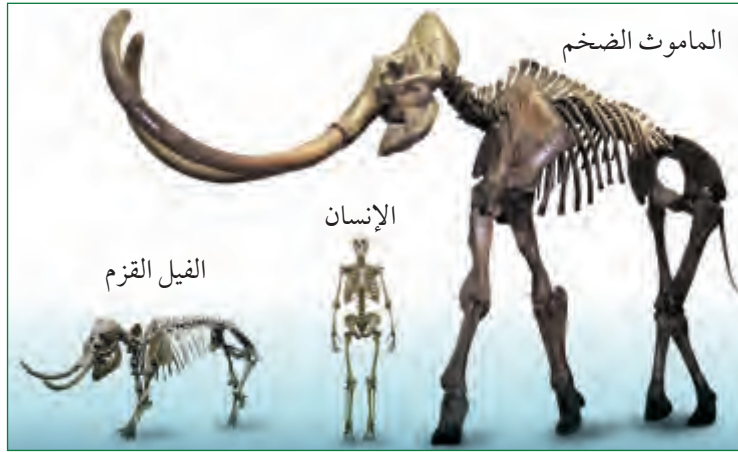
1. أيّ ممّا يلي تباينات وراثية، وأيّها ليست كذلك؟
 - a. فقدان أفعى مقرّنة لعين واحدة نتيجة صراع مع ثعلب.
 - b. للجراد لون بنيّ - مصفرّ يتألف مع الرّمل.
 - c. يصطاد الفأر على نحو غريزيّ في الليل فقط للحصول على الطعام، لأنّ الصّقور لا تصطاد ليلاً.
 - d. سمكة شعري أصغر من الأسماك الأخرى، لأنّها لم تحصل على ما يكفي من الطّعام في صغرها.
2. اشرح الفرق بين التباينين: المستمرّ، وغير المستمرّ؛ أعطِ مثالاً على كلّ منهما.
3. قد يكون لون فراء الأرانب فيرانياً، أو رماديّاً، أو أبيض وأسود، أو أبيض، وفقاً للطراز الجيني للأرانب المتزاوجة. اكتب الطراز المظهري لكلّ من الأبوين في التزاوجات الآتية، وتوقع نتائج كلّ منها:
 - a. $Cc \times Cc$
 - b. $Cc \times c^{ch}c^{ch}$
 - c. $c^{ch}c^{ch} \times c^{ch}c$
4. أعطِ مثالاً على تركيب وراثي، يتضمّن اختلافاً بين الطّرازين: الجيني، والمظهري للكائن الحيّ.
5. صفّ مفهومين رئيسيين في التفسير الوراثي للتباين عند الكائنات الحيّة التي تتكاثر جنسيّاً.
6. ما أفضل تعريف لمجمع الجينات؟
 - a. عدد الصفات المختلفة للنوع.
 - b. العدد الكلّيّ للأليلات المختلفة في جماعة حيوية من نوع معيّن.
 - c. عدد التباينات المختلفة لصفة معيّنة في نوع واحد.
 - d. العدد الكلّيّ للأفراد القادرين على التزاوج في جماعة حيوية من نوع معيّن.
7. أيّ الصفتين الآتيتين يرجّح أكثر أن تكون متعدّدة الجينات: لون العينين، أم شخص يعاني من عمى الألوان أو لا يعاني؟ وضّح إجابتك.

الدرس 2-8

الانتخاب الطبيعي

Natural Selection

تخيّل أن جماعة من الأفيال عُزلت في جزيرة. وربما حدث ذلك بسبب زلزال، أو تغيّر مفاجئ في مستوى سطح البحر، أو بواحدة من الطّرائق الكثيرة التي يتغيّر بها سطح الأرض. وإذا قُورنت الجزر بالقارّات، تبدو مساحة الجزر أصغر، وما يتوافر فيها من غذاء أقلّ أيضًا. فكّر في كيفية تكيف الأفيال مع العيش في مساحة صغيرة على مدى ملايين السنين.



شكل 19-8 مقارنة الحجم بين الفيل القزم والإنسان، والماموث المكتمل الحجم.

لوحظ على كثير من أنواع الكائنات الحيّة أنّ الجماعات الحيوية المعزولة في الجزر تميل إلى أن تصبح أصغر حجمًا. ويعدّ الفيل القزم المنقرض *Palaeoloxodon falconeri* مثالًا نموذجيًا على ذلك (الشكل 19-8). وتشير أحافير الفيل القزم التي عُثِرَ عليها في الجزر الواقعة في البحر المتوسط التي بلغ طولها نحو 1.1 متر، أنّها انقرضت منذ ملايين السنين.

المضردات



Domestication	التدجين
Artificial selection	الانتخاب الاصطناعي
Evolution	التطور
Natural selection	الانتخاب الطبيعي
Selection pressure	الضغط الانتخابي
Adaptation	التكيف
Antibiotic resistance	مقاومة المضادات الحيوية
Species	النوع
Speciation	نشوء الأنواع
Cladogram	مخطط التفرّع التطوري

مخرجات التعلم

B1130.1 يصف عمليّة الانتخاب الطبيعيّ.

B1130.2 يشرح كيف أدى الانتخاب

الطبيعيّ، خلال مدّة زمنية طويلة، إلى تنوّع كبير في أشكال الكائنات الحيّة، مع أمثلة تشمل الحصان الحديث، ومقاومة المضادّات الحيويّة، وفقر الدم المنجليّ.

الانتخاب الطبيعي

استخدم الإنسان عملية (تحسين النسل) لإعادة تشكيل أنواع من الكائنات الحيّة منذ آلاف السنين. وهناك أمثلة لا حصر لها على كل من النباتات والحيوانات التي هُجّنت للحصول على صفات معيّنة. **التدجين Domestication** هو تربية النباتات أو الحيوانات على نحو انتقائي، للحصول على الصفات التي يرغب فيها الإنسان. عُثِرَ على دليل عن تدجين قمح إيّمَر *T. dicoccum*، في وادي الأردن وحوض دمشق منذ نحو عشرة آلاف عام.



بدأ الإنسان بتربية الخيول البريّة منذ مدّة تتراوح بين 4,000 سنة و6,000 سنة، من نوع أصل انقرض الآن (الشكل 8-20). ولا تزال العملية نفسها تُتبع حتى يومنا هذا.

1. يتم اختيار ذكراً وأنثى لكائن حيّ لهما صفة يرغبون في تكثيرها، ويزاوجونهما.

2. يُسمح لنسلهما الذي يحمل الصفة المطلوبة أن يتكاثر فقط مع أفراد آخرين يحملون الصفة نفسها.

3. بعد عدّة أجيال، قد تقلّ عن عشرين جيلاً، سيمتلك النسل كلّ الصفة المطلوبة.

الانتخاب الاصطناعي Artificial selection، أو الانتخاب الذي يجريه الإنسان، يعمل على نحو أسرع كثيراً من الانتخاب الطبيعي.

- في الانتخاب الطبيعي، تكون الفرصة ضئيلة لتكاثر الأفراد مع آخرين يحملون الصفة نفسها. وسوف يمضي وقت طويل وأجيال عديدة قبل ملاحظة التغيّرات.

- في الانتخاب الاصطناعي، تكون الفرصة 100 % مقتصرة على الأفراد الذين يتزاوجون مع أفراد يتشاركون معهم في الصفة نفسها؛ ذلك أن الإنسان هو الذي يختار شريك التزاوج لكلّ جيل.



شكل 8-20 كثر الإنسان سلالات من الأحصنة المختلفة من سلف مشابه لحصان برزوالسكي.

الانتخاب الطبيعي هو القوة الدافعة للتطور

عرّف تشارلز داروين التطور بأنه «نسل مُعدّل». يمتلك كل جيل تباينات بسيطة عن الجيل السابق. ومع ذلك، يمكن أن تتحوّل الاختلافات الصغيرة إلى اختلافات كبيرة في خلال مليون جيل. يُعرّف التطور **Evolution** بأنه عملية تدريجية تتميز فيها الجماعات الحيوية المتعاقبة عن أشكالها البدائية السابقة بمرور الزمن الجيولوجي على الأرض.

يحدث التطور على مدى آلاف الأجيال، من خلال الانتخاب الطبيعي الذي يعمل على التباينات.



شكل 8-21 التباين في الأفعى المقلّمة *Thamnophis sirtalis*.

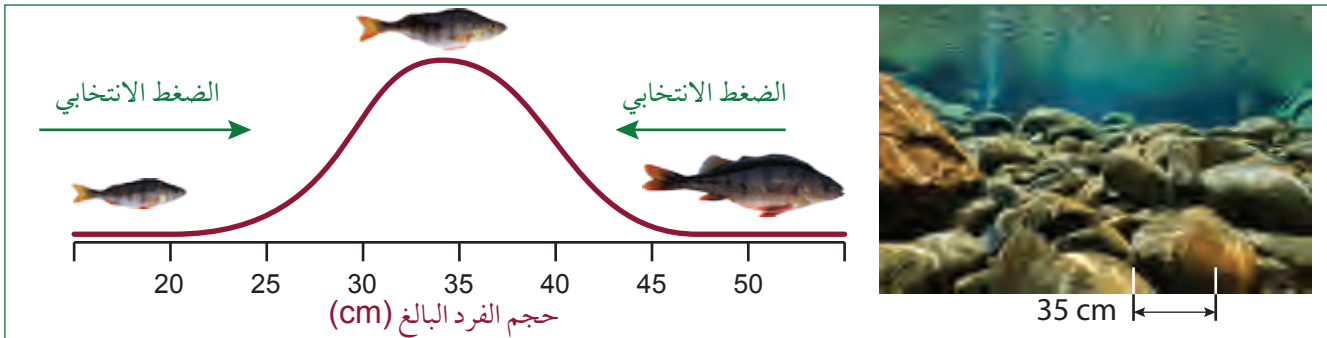
التطور مبني على أربعة مبادئ، هي:

1. هناك تباين ضمن أفراد الجماعة الحيوية. فالأفراد في الجماعة متشابهون بخصائص عامة كبيرة، لكنهم يختلفون في تفاصيلها الدقيقة. **الأفعى المقلّمة *Thamnophis sirtalis***، مثلاً، تمتلك مجموعة واسعة من أنماط الألوان (الشكل 8-21).
2. يُتوارث التباين بين الأجيال، لذلك يميل الأبناء إلى توارث صفات آبائهم. فالأفاعي المقلّمة ذات اللون البني المُخطّط تميل إلى إنتاج نسل لها بنيّ مُخطّط أيضاً. أمّا الأفاعي ذات اللون الأحمر المبقّع فتتميل إلى إنتاج نسل أحمر مبقّع.
3. تنتج الجماعات الحيوية نسلاً أكثر ممّا يمكن أن تدعمه البيئة؛ وهذا يعني أن بعض أفراد هذا النسل يتمكنون من التكاثر وليس كلّهم. والأفراد الذين يُتاح لهم التكاثر يؤثرون في الاختلافات التي تنتقل من جيل إلى آخر. يتبيّن من المثال السابق، أن الأفاعي ذات اللون البنيّ تتألف على نحو أفضل مع مناطق الغابات؛ ذلك أن لون الجسم البنيّ لديه ميزة على الأفعى المقلّمة المبقّعة.
4. يصف **الانتخاب الطبيعي Natural selection** كيفية تأثير المنافسة والافتراس والبيئة في الأفراد الذين يتكاثرون. تزيد بعض الصفات من فرص نجاح التكاثر في بيئة معينة، فتصبح هذه الصفات أكثر شيوعاً في الجماعات الحيوية. أمّا الصفات الأخرى التي تقلّل من فرص نجاح التكاثر، فإنّها تصبح أقلّ شيوعاً، وقد تختفي تماماً. يحدث التنافس بين الجماعات الحيوية على موارد محدودة في البيئة. وإذا عدنا إلى مثال الأفاعي، فسوف نجد بعد مدّة من الزمن أن الأفاعي ذات اللون البنيّ هي التي ستسود في منطقة الغابات.

الضغط الانتخابي

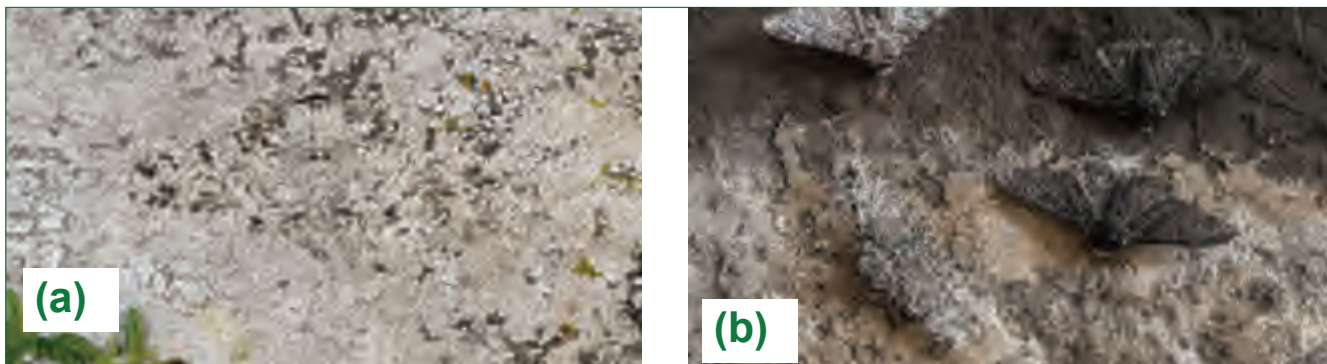
يهتم الانتخاب الطبيعي بالجينات التي تنتقل إلى الجيل اللاحق وبالجينات التي لا تنتقل. ويُطلق على مجموعة العوامل البيئية، مثل المناخ، والحيوانات المفترسة، والموارد الغذائية التي تؤثر في نوع من الكائنات الحية، تسمية **الضغط الانتخابي Selection pressure**. تخيل سمكة صغيرة تعيش في بيئة تتضمن صخورًا، ونباتات صغيرة؛ تفترس الأسماك الكبيرة والسرطانات مثل تلك السمكة الصغيرة، ويميل الضغط الانتخابي في هذه البيئة لمصلحة نوع من الأسماك ذي طول يسمح له بالعيش بسهولة تحت الصخور (الشكل 8-22).

- لا يمكن للأسماك الكبيرة أن تختبئ فتأكلها الأسماك المفترسة.
- يصطاد السرطان الأسماك الصغيرة بسهولة، ويتغذى عليها.



شكل 8-22 يُنقص الضغط الانتخابي من طول السمك في الجماعة الحيوية.

عندما تتغير البيئات، قد يغير الانتخاب الطبيعي الجماعات الحيوية في خلال ما يراوح بين خمسة وعشرين جيلًا إلى خمسين جيلًا. ومثال ذلك، حالة العثة (الفراشة) المفلفة peppered moth في القرن التاسع عشر: قبل بداية الثورة الصناعية، كانت سمة اللون الفاتح شائعة، وكانت سمة اللون الداكن نادرة بين النوع المذكور من العثة. ولكن في خلال الثورة الصناعية، حول الدخان الناجم عن احتراق الفحم الحجري الأشجار إلى اللون الأسود. وأسهم ذلك في مساعدة الطيور على رؤية حشرة العث الفاتحة اللون لتتغذى عليها، في الوقت الذي كان من الصعب فيه رؤية العث ذي اللون الداكن. وفي غضون خمسين عامًا، أصبحت أفراد جماعة العث كلها ذات لون داكن، وأصبحت حشرات العث ذات الألوان الفاتحة نادرة جدًا. وفي تلك الحالة، كان الضغط الانتخابي هو الذي يحدد لون العث المفلفل (الشكل 8-23).



شكل 8-23 هل تستطيع رؤية العثة المفلفة ذات الألوان الفاتحة في (a)؟ هناك تباينان للعث المفلفل على جذع الشجرة الفاتح اللون والجذع الداكن اللون (b).

التكيفات

قد يكون **التكيف Adaptation** صفة موروثية جسمية، أو سلوكية، أو أيضية، تساعد الكائن الحي كي يبقى على قيد الحياة في بيئته الخاصة. ينتج الانتخاب الطبيعي من الجماعات الحيوية التي تتراكم فيها التباينات ببطء لتتكيف بواسطتها على نحو أفضل في البيئة المحلية. ويعدّ لون العث المفلفل مثلاً على نوع من التكيف الشائع المسمى التمويه الطبيعي.

تمتلك قطط الرمال (*Felis margarita*) تكيفات تساعد على العيش في ظروف الصحراء القاسية (الشكل 8-24)؛ فأقدامها مغطاة بفراء سميك يحميها عند المشي على الرمال الساخنة. تنشط تلك القطط نهاراً في فصول الشتاء الباردة، وليلاً في الصيف الحارّ، وهو تكيف سلوكي. ويمكن أن تعيش تلك القطط لأسابيع من دون أن تشرب الماء، وهو تكيف أيضي في بيئة جافة.



شكل 8-24 قطط الرمال (*Felis margarita*).

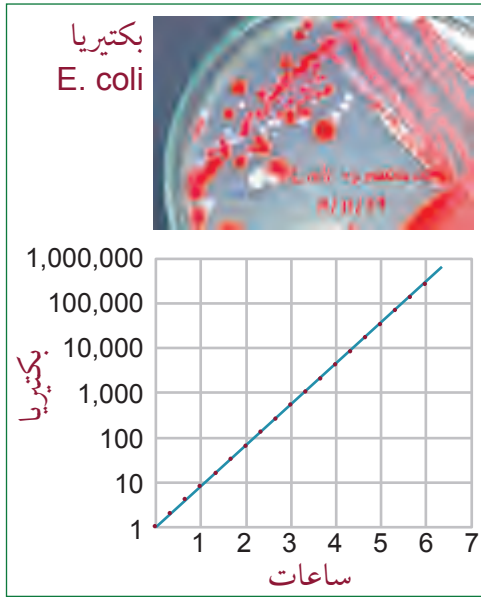
تتكيف غزلان الرمال العربية والفارسية على نحو فريد مع الحياة في الصحراء: تعمل أجسامها على ضبط أجهزتها الدورية لتخزين الحرارة نهاراً، وإطلاقها ليلاً. وترتفع مستويات الجلوكوز في الدم مع تضيق أوعيتها الدموية الذي يحدث من أجل خفض حجم الدم. وبسبب تصغير حجوم قلوبها وأكبادها، يمكنها تقليل احتياجاتها من الأكسجين؛ لذلك فهي تنفّس ببطء، وتحافظ على الماء في أجسامها. علماً أن حدوث هذا الأمر نفسه في ثدييات أخرى ينجم عنه الإجهاد الحراري الشديد.



شكل 8-25 غزال الرمال.

كانت غزلان الرمال *Gazella subguttarosa* منتشرة على نطاق واسع ممتدّ من شبه الجزيرة العربية، إلى شمال وجنوب غرب آسيا، والصين، ومنغوليا. ومع مرور الزمن، أصبحت غزلان الرمال العربية والغزلان الفارسية معزولة جغرافياً، وتمّ إعطاؤها أسماء أنواع تحتية لها، هي: *G. s. marica*، و *G. s. subgutturosa*. وقد يكون الغزال الشمالي الإفريقي *G. leptocerus* مرتبطاً بها ارتباطاً وثيقاً. وبالنظر إلى أن أعداد تلك الأنواع الثلاثة من الغزلان تتناقص جميعها، تنشأ الحاجة إلى مزيد من البيانات الوراثية للمساعدة على تكثير ما تبقى منها.

مقاومة المضادات الحيوية



شكل 26-8 رسم بياني لأعداد بكتيريا *E. coli*

من الأمثلة الخطيرة على التكيف هو التطور السريع للبكتيريا **المقاومة للمضادات الحيوية Antibiotic resistance**، مثل المكوّرات العنقودية الذهبية المقاومة للميثيسيلين، *methicillin-resistant Staphylococcus aureus*، أو MRSA. تتكاثر البكتيريا بسرعة كبيرة، حتى إنّ جماعتها تتضاعف كلّ عشرين دقيقة (الشكل 26-8). ويمكن لألف جيل أن يتكوّن في خلال أسبوعين.

عندما نستخدم مضاداً حيوياً، فإنه يمثل للبكتيريا عاملاً بيئياً يولّد ضغطاً انتخابياً على التباينات الأقلّ تأثراً. فكّر في عبارة «يقضي على 99.9 % من الجراثيم». يمكنك أن تفسّر العبارة نفسها على أنها تعني أنّ «0.1 % من الجراثيم تعيش وتتكاثر».

يقترح الانتخاب الطبيعي أنّ 0.1 % من الجراثيم المتبقية هي الأكثر قدرة على تحمّل ظروف البيئة الجديدة. وتلك البكتيريا التي يمكنها البقاء على قيد الحياة في البيئة الجديدة سوف تتكاثر، وتنقل تلك الخاصية الوراثية إلى أفراد الجماعات الحيوية المستقبلية. ومع مرور الزمن، فإنّ الخصائص السائدة للجماعة هي أنها تمتلك قدرة البقاء على قيد الحياة حتى بوجود المضادات الحيوية. فالاستخدام المتكرّر للمضادات الحيوية نفسها يُسرّع التطور، لأنّه يقتل البكتيريا الأقلّ مقاومة، موفّراً مزيداً من الموارد للجراثيم المقاومة.

كان أول من اكتشف بكتيريا المكوّرات العنقودية الذهبية المقاومة للميثيسيلين (MRSA) عالمٌ بريطانيّ، وكان ذلك في العام 1961. وبحلول أواخر سبعينيات القرن الماضي، بدأ ظهور MRSA وتبايناتها في المستشفيات في أنحاء العالم كلّها، مصحوباً بأعراض إصابة مذهلة. وقد أشارت البيانات الحديثة إلى أنّ سبعمئة ألف شخص يموتون كلّ عام بسبب تلك البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية. وسوف يرتفع هذا العدد إلى عشرة ملايين شخص بحلول العام 2050.

وتدرك منظمة الصحة العالمية (WHO) الخطر المتزايد للكائنات الحية المقاومة للمضادات الحيوية، مثل MRSA. وللحدّ من أخطارها، أصدرت مبادئ توجيهية تهدف إلى ضبط الإفراط في استخدام المضادات الحيوية، ومن تلك المبادئ:

1. التوقّف عن إعطاء المضادات الحيوية للحيوانات السليمة بقصد (الوقاية) من المرض، لأنّ ذلك ينشّط البكتيريا المقاومة في كلّ حيوان.
2. عدم السماح لمخازن الأدوية والصيدليات ببيع مضادات حيوية لا يصفها الطبيب.
3. عدم مزج المضادات الحيوية في كلّ شيء، ابتداءً من الصابون وحتى مع الملابس، لأنّ ذلك يولّد سلالات من البكتيريا أكثر مقاومة.

التباين والتطور

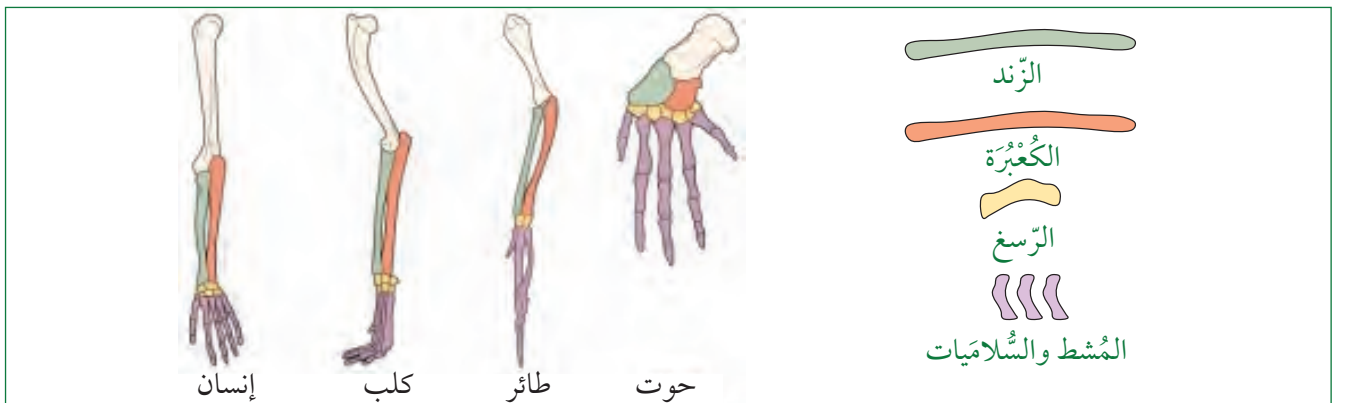
الأحفورة *Eohippus* الموضحة في الشكل 8-27 هي من أقدم الأسلاف المعروفة والمباشرة للحصان الحديث. كان حجم *Eohippus* ضعف حجم قطّة منزل كبيرة، وكان يأكل النباتات. وكان في كل قدم من قدميه الأماميتين أربع أصابع حافريّة؛ وفي كل قدم خلفيّة ثلاث أصابع حافريّة. ويمكنك رؤية تشابه عظامه مع عظام الحصان الحديث.



شكل 8-27 الحصان الأحفوري والحصان الحديث.

كيف تطوّر الحصان الأحفوري ليصبح حصاناً حديثاً؟

1. عاش إيوهيبس (*Eohippus*) قبل أكثر من خمسين مليون سنة. وقد هيأت له هذه المدة الزمنية الطويلة جدّاً إنتاج نسل مكوّن من عشرة ملايين جيل، بل أكثر.
 2. في خلال خمسين مليون سنة كاملة، تراكم في نسل كلّ جيل جديد تباينات صغيرة بسبب الطّفرات، واختلاط الجينات الجنسي.
 3. أسهم وجود الحيوانات المفترسة، وتوافر الضغوط البيئية الأخرى، في إعطاء تباينات الكائنات الحيّة ميزة بقاء أكبر وأسرع. وفي خلال ملايين السنين، أصبحت الأجيال المتعاقبة أكبر وأسرع أيضاً.
- ويكون التباين بين الأفراد أشبه بذراع يعمل التطوّر بوساطتها على تشكيل الأنواع. فإذا لم يكن هناك تباين بين الكائنات الحيّة، فلن يكون هناك أيّ فرد متلائماً أكثر من الأفراد الآخرين. بناء على ذلك فإنّ الأنواع لن تتطوّر. يوضّح الشكل (8-28) حتّى على مدار المدة الزمنية الطويلة، أنه لا تزال الشدّيّات الحيّة تشارك في البنية الأساسية التي أدّت التباينات بموجبها إلى التنوع الحيويّ الذي نجده اليوم.



شكل 8-28 تدل تراكيب العظام المتشابهة على وجود أصل مشترك.

الأنواع ونشوءها

يشتمل النوع **Species** على كل أفراد مجموعة من الكائنات الحيّة المتشابهة التي :

1. يمكن فيها لفردين من جنسين متلائمين أن يتزاوجا في الطّبيعة.

2. تنتج نسلًا خصبًا.

تنشأ أنواع جديدة عندما تصبح التباينات بين مجموعات الأفراد في جماعتين حيويتين مختلفة على نحو كافٍ، حيث لا يعود لدى أفرادهما القدرة على التّزاوج، أو حيث لا تتزاوج تلك الأفراد؛ والفرق هنا قد يكون مهمًا: فالأسود والنّمور متشابهة وراثيًا، ما يكفي لتربيتها في الأسر بغية إنتاج نسل خصب (الأسد البري liger). ومع ذلك، فإنّ التزاوج لا يتمّ بين الأسود والنّمور في الطّبيعة.

تنشأ الأنواع Speciation عندما تصبح مجموعة معزولة جغرافيًا، أو عندما لا تعود قادرة على التكاثر مع الجماعة الحيوية الأصليّة. ولا تعود الطّفّرات في داخل المجموعة المعزولة تختلط بمجمع الجينات للجماعة الحيوية الأصليّة. وبمرور الزمن، تصبح المجموعة المعزولة مختلفة تمامًا، وتشكّل نوعًا جديدًا.



شكل 29-8 أربعة أنواع من عصافير الحسون في جزر جالاباجوس.

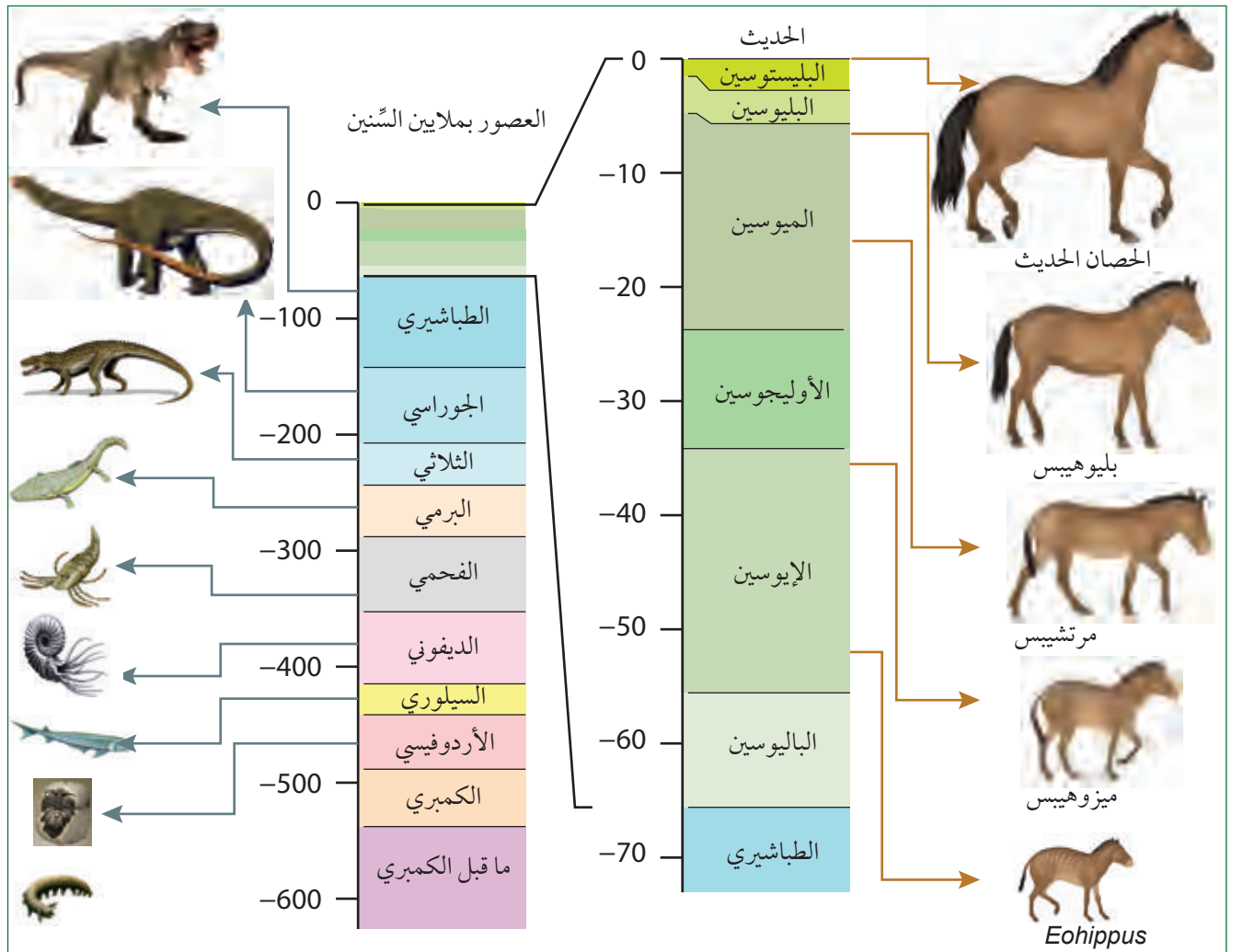
وصل تشارلز داروين إلى جزر جالاباجوس في سبتمبر 1835. ووجد هناك أنواعًا مختلفة من عصافير الحسون، ووجد على كلّ جزيرة نوعًا مختلفًا (الشكل 29-8). وقد عرف داروين، في وقت لاحق، أنّ أنواع العصافير جميعها ترتبط معًا ارتباطًا وثيقًا، ولكنّ لكلّ منها شكل منقار يختلف عن شكل منقار الآخر، ويتكيّف مع أكل أنواع معيّنة من البذور، أو الحشرات، أو فاكهة الصّبار الأكثر شيوعًا في جزيرته. وقد تطوّرت أنواع العصافير الأربعة عشر جميعها من نوع سلف واحد، وصل من الإكوادور قبل بضعة ملايين من السنين.

عُزِلَت العصافير في جزر جالاباجوس عن جماعاتها الحيوية الأصليّة في الإكوادور. وانفصلت كل جماعة لتعيش على جزيرة. وعلى مدى عدّة ملايين من السنين، تباعدت الاختلافات المتراكمة في كلّ مجموعة من العصافير، حتى بلغت اليوم ثلاثة عشر نوعًا مختلفًا.

المقياس الزمني للتطور

يُهمنا أن ندرك أن الأفراد لا تتطور. فالانتخاب الطبيعي يعمل ببطء شديد لتعديل الأنواع على مدى آلاف الأجيال. ومعلوم أن التباينات الموروثة التي تنتج أنواعاً جديدة تحدث من جيل إلى آخر. تكون تلك التباينات في العادة صغيرة جداً؛ وبناء على ذلك فإنَّ أية ميزة للتكاثر تكون في العادة صغيرة جداً. ويتطلب الانتخاب الطبيعي آلاف الأجيال حتى تنتج التغيرات الطفيفة جداً أنواعاً جديدة.

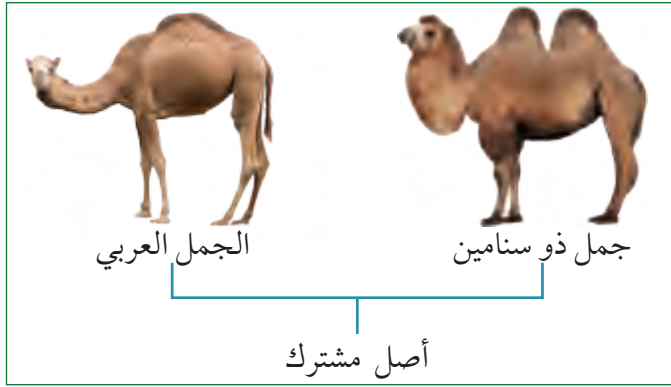
يوضح الشكل 8-30 خطأً زمنياً لعصور الحياة على الأرض. ظهرت الكائنات الحيّة الأولى المتعددة الخلايا في عصر ما قبل الكامبري، أي منذ أكثر من 650 مليون عام. وحدث انقراض الديناصورات قبل 65 مليون عام، أي في نهاية العصر الطباشيري.



شكل 8-30 المقياس الزمني الذي يعمل عليه التطور.

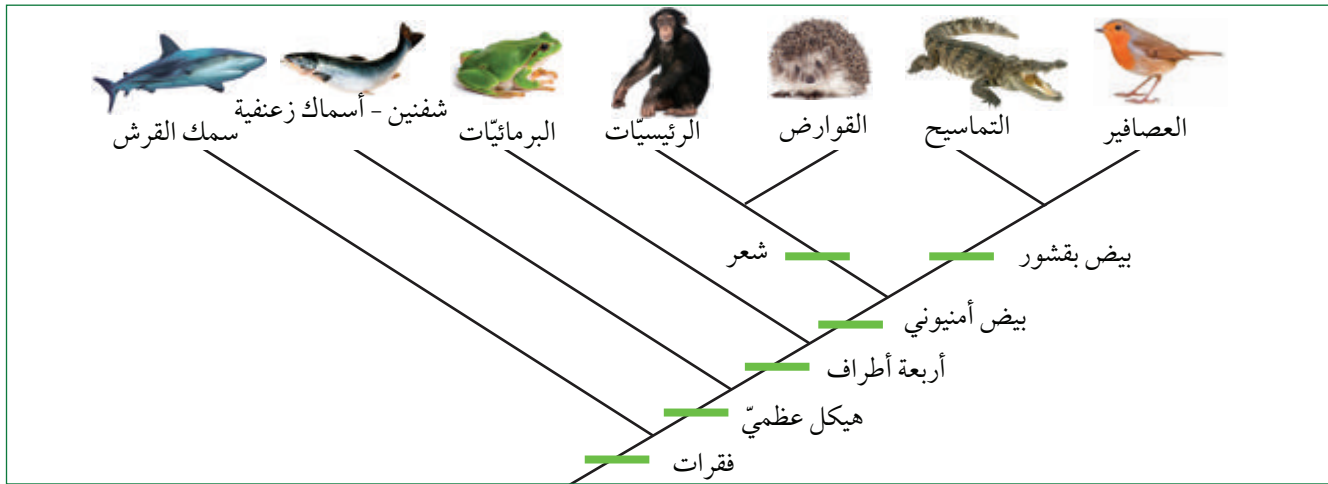
يظهر الجانب الأيمن من الشكل 8-30 آخر 65 مليون سنة على الأرض. ويُظهر تعاقب الحيوانات الشبيهة بالحصان أحد المسارات الكثيرة والممكنة. تقدّر المدّة الزمنية الممتدة بين الـ *Eohippus* والحصان الحديث بنحو خمسين مليون سنة. وإذا انطلقنا من أن جيلاً جديداً من الخيول يولد كلّ سنتين أو ثلاث سنوات في المتوسط، فإن ذلك يعني أنه قد وُلِدَ في خلال خمسين مليون سنة، وعاش، ونفّق، ما يقرب من عشرين مليون جيل من الحيوانات الشبيهة بالحصان. يُظهر ذلك مقاييس زمنية مختلفة، يمكن أن تتطور فيها أنواع جديدة كثيرة.

شجرة الحياة



شكل 31-8 شجرة عائلة الجمل.

يُطلق على «شجرة عائلة» الروابط بين الأنواع التي لها أصل مشترك، تسمية **مُخَطَّط التَّفَرُّع التَّطَوُّري Cladogram**. يمثل الشكل 31-8 شجرة بسيطة تحتوي على مجموعتين متميزتين من الإبل، تطوّرت من سلف مشترك قبل أحد عشر مليون عام تقريباً. إلى أين تنتمي الجمال في الشكل 32-8؟



شكل 32-8 مُخَطَّط تفرع تطوري يظهر شجرة حياة الفقاريات.

يمثل كل فرع رئيس من مُخَطَّط التَّفَرُّع التَّطَوُّري أعلاه حدثاً وقع عندما طرأ تغيير كبير في الخصائص. قبل نحو 300-400 مليون سنة، مثلاً، كان هناك سلف مشترك لكل من أسماك القرش والحيوانات الأخرى جميعها التي لها عظام (الشكل 32-8). في ذلك الوقت، كانت الحيوانات الوحيدة هي الأسماك الغضروفية التي تعيش في المحيط. وقد سبق تطوّر العظام الصلبة التطوّر اللاحق للأطراف الأربعة التي أتاحت تطوّر الحيوانات التي تعيش على اليابسة.



شكل 33-8 عينة أحفورة سيموريا *Seymouria baylorensis* وهي حيوان بدائي عاش على اليابسة.

البرمائيات هي أول الحيوانات التي طوّرت تكيفات سمحت لها بالعيش على اليابسة، كالسمندل الذي يعيش الآن (الشكل 33-8). وأظهرت أحفورة سيموريا *Seymouria* أنّ أول المخلوقات التي خاطرت بالانتقال إلى اليابسة، كان سمكة «مشت» على زعانف تطوّرت تدريجياً إلى أرجل حقيقية. لاحظ أن من النادر جداً أن تتكوّن أحفورة لحيوان ما، وأنّ الأكثر ندرة هو اكتشافها. وغالباً ما يكون لدى العلماء أحفورة واحدة فقط لنوع كامل من الكائنات الحية.



أمثلة على التكيف

2-8

سؤال الاستقصاء	كيف يمكننا ملاحظة التكيف؟
المواد المطلوبة	مصادر للبحث، مثل الأفلام القصيرة، ومصادر الإنترنت، والكتب والمراجع.

الخطوات

1. اختر نوعاً من الكائنات الحيّة متعدّد الخلايا يعيش حالياً.
2. ابحث في البيئة التي يعيش فيها هذا الكائن الحيّ. عليك أن تدوّن في بحثك المعلومات الآتية كحدّ أدنى:
 - a. المناخ، ويشمل درجة الحرارة، والهطول، والغطاء النباتيّ، إذا كان نوع الكائن الحيّ يعيش على اليابسة، وخصائص الموطن البيئيّ المائيّ، إذا كان الكائن الحيّ يعيش في المياه.
 - b. الطّعام والموادّ الغذائيّة.
 - c. عادات التكاثر.
 - d. المفترسات التي تتغذى على هذا النوع من الكائنات الحيّة.
3. حدّد، على الأقلّ، ثلاث طرائق توضّح فيها تكيّفات هذا النوع التي تساعد على البقاء والتكاثر في بيئته الطبيعيّة.
4. احصل على صورة واحدة، على الأقلّ، لهذا النوع.
5. حدّد على الأقلّ ثلاثة أنواع من الكائنات الحيّة قريبة إليه. يشمل ذلك أفراد كائنات حيّة من الجنس نفسه، ولكن من نوع مختلف، وليس من أنواع تحتية مختلفة.

أسئلة

- a. فيم يختلف هذا النوع عن الأنواع الأخرى من الجنس نفسه؟ قد تتضمن الاختلافات، مثلاً، أنماط التّغذية، أو الحجم، أو اللون، أو الموقع الجغرافي، أو المناخ.
- b. كيف تساعد استراتيجيّة التكاثر لكائنك على البقاء في بيئته؟ على سبيل المثال، تضع الضفادع بيوضاً كثيرة، لأنّ الأسماك تأكل تلك البيوض. يتيح وضع كثير من البيض فرصة ليفقس بعضه، ويبقى على قيد الحياة.
- c. صفّ لكلّ تكيف عاملاً بيئياً واحداً، على الأقلّ، ترى أنّه أوجد ضغطاً انتخابياً يشجّع ذلك التّكيف.
- d. ما هو، في رأيك، تأثير الإنسان، أو تغيّر المناخ في الكائن الحيّ الخاصّ بك؟ ناقش سبب ظنّك بأنّ الكائن الحيّ قد ينقرض، أو أن لديه فرصة للتكيف والبقاء على قيد الحياة.

1.  ربّى الإنسان الأبقار لإنتاج مزيد من الحليب ما لا يقلّ عن ثلاثة آلاف عام. تنتج أبقار الألبان الحديثة من الألبان أكثر ممّا تنتجه مثيلاتها من الأبقار البريّة بمئة ضعف، بل أكثر. أي ممّا يأتي تعدّ تربية الإنسان للحيوانات مثالاً عليه:

a. الانتخاب الطبيعيّ.

b. الانتخاب الاصطناعيّ.

c. التباين الوراثيّ.

d. استخدام الطفرات الكروموسومية فقط.

2.  يُوصَف الانتخاب الطبيعيّ بالعبارة الآتية: «البقاء للأصلح». فسّر اعتبار كلمة «التكاثر» أكثر دقة من كلمة «البقاء».

3.  افترض أنّ المناخ أصبح جافاً وحارّاً على مدار مدّة طويلة من الزمن، في منطقة عشبية تشبه الصحراء. صِفْ مثالين على الضغط الانتخابي الذي يُحدث في تلك البيئة تغييراً في الكائنات الحيّة.

4.  اشرح سبب تحوّل الجماعات الحيوية لحشرة العثّ المفلفل في إنجلترا من اللون الفاتح إلى اللون الداكن بين العامين 1850 و 1950.

5.  أيّ ممّا يأتي يصف على نحو أفضل كيف تتطوّر مقاومة المضادّات الحيويّة في البكتيريا؟

a. تصبح المضادّات الحيويّة أقلّ فاعليّة مع تقدّم العُمُر.

b. المضادّات الحيويّة ضغط انتخابي.

c. البكتيريا صغيرة جدّاً، إلى درجة أنّ DNA يتغيّر بسرعة.

d. تتكاثر البكتيريا على نحو أسرع مما تستطيع المضادّات الحيوية أن تقضي عليها.

6.  تعرض بعض محطات التلّفة مخلوقات تتطوّر إلى مخلوقات أخرى خلال النظر إليها. فسّر لماذا لا يعدّ هذا ممكناً مع التطوّر الذي نفهمه حالياً.

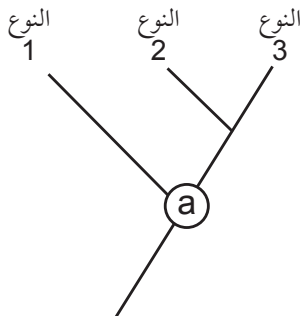
7.  ماذا تمثّل النّقطة (a) على الرسم البيانيّ؟

a. ضغط انتخابي شديد للتكيّف.

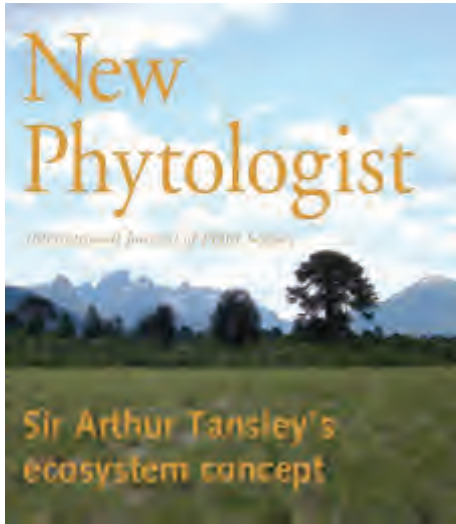
b. انقراض الأنواع التي تقع تحتها.

c. سلف مشترك للأنواع التي فوقه.

d. التزاوج بين نوعين مختلفين لإنشاء نوع ثالث.



سير آرثر تانسلي: 1871 – 1955



شكل 8-34 أسس تانسلي المجلة العلمية *New Phytologist*.

يبحث علم البيئة في الطريقة التي تتفاعل بها أنواع كثيرة من الكائنات الحية بعضها مع بعض ومع البيئة. إن عالم الأحياء الإنجليزي سير آرثر تانسلي أحد المساهمين الأصليين في تكوين فهمنا علم البيئة. وقد كتب أن الكائنات الحية وبيئتها يشكلان نظامًا فيزيائيًا مترابطًا أسماه «النظام البيئي» Ecosystem، وأكد أن النظام البيئي هو الوحدة الأساسية للطبيعة.

تطور العلوم عبر مشاركة الأفكار، وإحدى أكثر طرائق مشاركة الأفكار أهمية هي المجلات العلمية التي يراجعها ويقرؤها المتخصصون في كل مجال. كان تانسلي في الثلاثين عندما أسس المجلة العلمية،

New Phytologist (عالم النبات الجديد) في العام 1902، وشغل منصب رئيس تحريرها حتى العام 1931، ولا تزال المجلة تنشر حتى اليوم كممتدى للأبحاث الجديدة في علم بيئة النباتات. أسهمت المبادئ الأساسية التي أرساها تانسلي، كالنظام البيئي، في تطوير علم البيئة الحديث. وبدافع من شوقه إلى نشر الفهم الجديد لعلم البيئة والروابط بين الكائنات الحية، قام تانسلي بكتابة كثير من الكتب ذات الأثر، ومنها العمل البحثي الأكاديمي، *The British Islands and their vegetation* (الجزر البريطانية ونباتاتها) (1939). وقد ساعد كتاباه *Plant Ecology* and *the School* (علم البيئة النباتي والمدرسة) (1946)، و *Britain's Green Mantle* (عباءة بريطانيا الخضراء) (1949)، في نشر أفكار علم البيئة على نطاق واسع.

تلقى سير تانسلي درجة شرف من الرتبة الأولى في علوم الأحياء من جامعة ترينيتي، كامبريدج، وشغل منصب أستاذ جامعي لعلم النبات في جامعة أوكسفورد حتى تقاعده في العام 1937. بوصفه قائدًا لحركات المحافظة على البيئة المبكرة، أدى دورًا فاعلاً في تأسيس *Britain's Nature Conservancy* (الحفاظ على طبيعة بريطانيا) في العام 1949، وكان أول رئيس لها. وانتُخب زميلًا في الجمعية الملكية في العام 1915، وأعطى لقب «فارس» في العام 1950.

الوحدة 8

مراجعة الوحدة

الدرس 1-8 التباين

- الاختلافات الوراثية الصغيرة في الصفات **Traits** التي تحدث بين أفراد النوع نفسه تُسمى «التباين» **Variation**.
- يصف الطراز الجيني **Genotype** أليلات **Alleles** الفرد، أما الطراز المظهري **Phenotype** فيصف الصفات الجسميّة الحقيقية.
- التباينات غير المستمرة **Discontinuous variation** لها عدد محدود من الطرز المظهرية، أما التباينات المستمرة **Continuous variation** فلها مدى واسع من الطرز المظهرية.
- يمثل المحتوى الجيني **Gene pool** العدد الإجمالي للأليلات المختلفة الموجودة في عدد من الجماعات الحيويّة **Population**.
- ينجم التباين من طفرات **DNA mutations** والطفرات الكروموسومية **Chromosome mutations**، ومن اختلاط الجينات في أثناء التكاثر الجنسي.

الدرس 2-8 الانتخاب الطبيعي

- استخدم الإنسان الانتخاب الاصطناعي **Artificial selection** منذ آلاف السنين لتكثير السمات المرغوبة في النباتات، ومارس تدجين الحيوانات **Domestication**.
- يحدث الانتخاب الطبيعي **Natural selection** عندما يولد الضغط الانتخابي ميزة تكاثرية، أو تنافسية ناجحة للأفراد الذين لديهم تباين معين.
- تنتقل التباينات المفيدة إلى الجيل اللاحق، وقد تصبح **Adaptations** تكيفات.
- تحدث مقاومة المضادات الحيويّة **Antibiotic resistance** عندما تطوّر البكتريا تحملاً للمضادات الحيويّة من خلال الانتخاب الطبيعي، وتطوّر أيضاً معدل تكاثر سريع.
- التطوّر **Evolution** هو تغيّر في جماعات حيوية متتابة، يتمّ على مدى آلاف الأجيال من الضغط الانتخابي الذي يعمل على التباينات.
- قد ينشأ نوع **Species** جديد عندما تصبح الجماعة الحيوية معزولة، وتكون عرضة لضغوط انتخابية جديدة ومختلفة.
- يؤدي الانتخاب الطبيعي إلى نشوء الأنواع **Speciation** في خلال مدى زمنيّ طويل، يمتدّ إلى عدّة آلاف من الأجيال، أو إلى ملايين السنين لحدوثه.
- مخطط التفرّع التطوريّ **Cladogram** هو مخطط يوضح العلاقات السلفية بين الأنواع.

تحضير للاختبار

1. ما الجملة غير الصحيحة عن التباين؟

- a. التباينات هي اختلافات وراثية.
- b. الطفرات تسبب التباين.
- c. يمكن أن يُنتج التباين اختلافات في نجاح التكاثر.
- d. التباين هو سبب عدم قدرة أفراد الأنواع المختلفة على إنتاج نسل خصب.

2. ما العبارتان غير الصحيحتين؟

- a. الطول تباين مستمر.
 - b. فصيلة الدم تباين غير مستمر.
 - c. فصيلة الدم تباين مستمر.
 - d. الطول تباين غير مستمر.
3. أليل هيموجلوبين الدم الطبيعي Hb^A سائد على أليل فقر الدم المنجلي Hb^S . ما فرصة ولادة طفل مصاب بفقر الدم المنجلي لوالدين يحمل كل منهما أليل فقر الدم المنجلي؟
- a. 100 %
 - b. 75 %
 - c. 50 %
 - d. 25 %

4. ما العبارة التي تُعدُّ أفضل تعريف للأليل؟

- a. عامل وراثي يحدّد صفة.
 - b. جزء من DNA يختلط في أثناء التكاثر الجنسي.
 - c. جزء من الكروموسوم يعبر خلال الانقسام الاختزالي.
 - d. عامل وراثي يحدّد إن كان الفرد ذكرًا أم أنثى.
5. تتكوّن جماعة حيوية 1 من 1000 فرد من النوع النباتي نفسه الذي يُجمَع من البرية. في حين تتكوّن الجماعة الحيوية 2 من 1000 فرد من نوع نباتي مُستنسخ من نبات واحد من الجماعة رقم 1. ما العبارة الصحيحة ممّا يأتي؟

- a. تمتلك الجماعة الحيوية 1 مجمع جينات أكبر من الجماعة الحيوية 2.
- b. الجماعة الحيوية رقم 1 فيها تباين، في حين أن الجماعة رقم 2 لا تباين فيها.
- c. الجماعتان الحيويتان 1 و 2 لديهما القدر نفسه من التباين تقريبًا.
- d. يتمثل كل أليل في الجماعة 1 في الجماعة رقم 2 لكنه قد يكون متنحياً.

6. ما السبب الذي يجعل الانتخاب الاصطناعي يُحدث تغييرًا أسرع في الأنواع؟
- تزاوج الأفراد التي تمتلك صفات مرغوبة معًا دائمًا.
 - تزاوج الأفراد التي تمتلك صفات مختلفة معًا.
 - يحرص الإنسان أن يتمّ التزاوج عشوائيًا تمامًا.
 - يحرص الإنسان أن يبقى النسل كله قادرًا على البقاء لكي يتكاثر.
7. ما التباينات الضرورية للانتخاب الطبيعيّ من أجل إنتاج التطوّر؟
- التباينات تؤدي إلى ارتفاع معدلات التكاثر.
 - التباينات تتكوّن عن طريق الطفرات الملائمة.
 - من دون التباينات، ستكون الأفراد جميعًا متماثلة ومتساوية في نجاح التكاثر.
 - من دون التباينات، لا يمكن للفرد معرفة شريكه في التزاوج.
8. لأي سببين تنتشر الصفات الخاصّة بمرض الخلايا المنجلية عند بعض الجماعات، حتى لو كان المرض مميتًا؟
- تحمل الصفة بعض المقاومة للملاريا.
 - تجعل الصفة بعض الأفراد أكثر جاذبية للآخرين.
 - لا تظهر أعراض المرض إلا عند الشيخوخة، بعد التكاثر.
 - كانت أعراض المرض أشدّ قبل أن يصبح الأفراد قادرين على التكاثر.
9. ما المدّة الزمنية التي يُحتمل أن تكون طويلة بما يكفي لنشوء نوع جديد من الحيوانات، على افتراض أن الحيوان يتكاثر مرّة كلّ سنتين؟
- 20 سنة.
 - 200 سنة.
 - 2,000 سنة.
 - 20,000 سنة.
10. أي من الآتي لا يعدّ ضغطًا انتخابيًا على كائن حيّ في بيئته؟
- ارتفاع معدّل المواليّد.
 - تغيّر في المناخ.
 - تغيّر في توافر الغذاء.
 - نوع الحيوانات المفترسة وعددها.

أسئلة الإجابات القصيرة

الدرس 1-8 التباين

11. ناقش سبب احتمال أن تُحدِث الطفرة الكروموسومية تغييراً في كائن حي أكبر ممّا تفعله طفرة DNA له. 
12. ما الجملة التي تُعطي أفضل وصف للأليل؟ وضح إجابتك. 
 - a. عامل وراثي يتحكم في صفة.
 - b. سلسلة من ثلاثة أزواج من القواعد في شيفرة DNA.
 - c. نصف كروموسوم في كلّ مشيج (جاميت).
 - d. خلية جنسية تحتوي على نصف كروموسومات خلية مكتملة.
13. أي من الصفات الآتية يُرجّح أن تكون متعددة الجينات؟ اشرح سبب اختيارك. 
 - a. السرعة الفائقة للجري عند الفهد.
 - b. فصيلة دم الإنسان.
 - c. وزن سمك الهامور.
14. صف العلاقة بين التباين المستمر والتباين غير المستمر، وعدد الأليلات التي تتحكم في التباين. 
15. يصف الخيال العلمي الشائع الأفراد بأنهم يتطورون إلى كائنات حيّة مختلفة. ناقش هل يحدث ذلك فعلاً أم لا، وشرح منطقك. 
16. صف الطرائق الثلاث الرئيسة التي يخلط بها التكاثر الجنسي الجينات. 
17. صف سبب انخفاض احتمال بقاء النوع على المدى الطويل، عندما يصبح المحتوى الجيني صغيراً. ويحدث ذلك عندما يكون هناك عدد قليل من الأفراد. 
18. افترضياً، لماذا طوّرت النباتات والحيوانات جميعها التكاثر الجنسي؟ ما الميزة التطورية للتكاثر الجنسي؟ 
19. ابحث في عصافير الحسون على جزر جلاباجوس. ما الاختلافات التي سببت انقسام النوع الأصلي إلى أنواع مختلفة؟ 
20. قد يكون نوع من السحالي ذا لون بنيّ أو أصفر، بالاعتماد على تباين أليلين B (بنيّ) و b (أصفر). ما احتمال تكوّن صغار السحالي صفراء اللون، إذا كان الطراز الجيني لأحد الأبوين هو BB، والطراز الجيني للآخر هو bb؟ 

الدرس 8-2 الانتخاب الطبيعي

- 21.** عرّف مصطلح «الانتخاب الطبيعي».
- 22.** أعطِ ثلاثة أمثلة على التكيّفات عند ثلاثة كائنات حيّة مختلفة، ووصّف كيف يمكن للتكيّف أن يحسّن فرصة بقاء كلّ منها على قيد الحياة.
- 23.** ما معنى عبارة «الأفراد تتكاثر وتموت، أمّا الجماعات الحيوية فوحدها تتطوّر؟».
- 24.** بعض الضفادع الصغيرة الموجودة في الغابات المطيرة سامّة. وقد تطوّر لها جلد زاهي الألوان. كما طوّرت الضفادع الأخرى في البيئة نفسها جلدًا زاهي اللون أيضًا، على الرغم من أنها ليست سامّة. كيف تكون البشرة الملونة الزاهية تكيّفًا لِكِلا النوعين من الضفادع؟
- 25.** لِمَ لا يُعدّ استخدام صابون المضادّات الحيوية استخدامًا حكيماً؟
- 26.** ما دور المصادفة في تفسير العمل البطيء جدًا للانتخاب الطبيعي؟
- 27.** ابحث في تدجين الحصان الحديث. من أيّ نوع دُجّن؟ ألا تزال تلك الأنواع حيّة؟
- 28.** أعطِ مثالًا على الانتخاب الاصطناعي في الحيوانات. ما الصفات التي اختيرت في استخدامه؟
- 29.** اذكر مثالًا على الانتخاب الاصطناعي في النباتات. ما الصفات التي اختيرت في استخدامه؟
- 30.** ابحث في «تجربة مزرعة فوكس»، وأجب عن الأسئلة الآتية:
- ما الصفة التي اختارها بلياييف؟
 - هل لاحظت التجربة صفات أخرى تغيّرت أيضًا؟ ما هي الصفات؟
 - كم جيلًا استغرقه استخدامها لرؤية تغييرات مهمّة؟
 - ما الأدلة التي جُمعت عن الصفات المرتبطة؟
 - كيف يرتبط ذلك بعملية التدجين؟
- 31.** ابحث وناقش تأثير الكوارث في تطوّر الجماعات الحيوية. يمكنك أن تبدأ البحث عن تعريف مصطلحي: «النمط الأحيائي» و«الإشعاع التكيّفي».





الوحدة 9

الأمراض الانتقالية

Communicable Diseases

في هذه الوحدة

B1124
B1125

الدرس 1-9: أنماط الأمراض
الدرس 2-9: المضادات الحيوية

مقدمة الوحدة



شكل 9-1 البكتيريا

تصوّر كيف يمكن أن تكون حياتنا مخيفة قبل فهمنا للمرض. اليوم أنت في صحّة جيدة، وقد تكون غداً غير ذلك، من دون أن تجد تفسيراً لهذا التبدّل. ولأنّ البشر يحتاجون إلى تحديد سبب لحدوث الأشياء، فقد كان ذلك سبباً في نشوء الكثير من النظريات على مر التاريخ، والتي كانت تربط المرض بـ «الهواء السيئ» أو «الأرواح الشريرة».

وفي الواقع، فإننا لا نزال، إلى اليوم، عرضة للإصابة بالمرض من «الهواء السيئ». ولكن السبب الحقيقي هو أن الهواء يحتوي على مسببات للأمراض مثل الفيروسات والبكتيريا، أو أبواغ العفن. ولا تزال الأمراض التي كانت تصيبنا منذ ألف سنة تصيبنا حتى الآن، لكننا بتنا اليوم نفهم سبب حدوثها بشكل أفضل. وقد قمنا بتطوير طرائق قوية لمكافحة الأمراض، وهذا هو السبب في أن مستوى العمر المتوقع اليوم، هو ضعف ما كان عليه منذ ألف سنة. هذا الدرس يدور حول الأسباب المجهرية الحقيقية للأمراض المعدية.

الأنشطة والتجارب

مقارنة العوامل المسببة للأمراض	1-9
مزرعة بكتيريا	2-9

الدرس 9-1

أنماط الأمراض

Models of disease



شكل 9-2 يستخدم الأطباء آلاف
السنين من المعرفة.

يُعرّف العلماء النموذج بأنه تفسير يربط جميع الحقائق المعروفة بنظرية. وعلى سبيل المثال، فإن قانون نيوتن للجاذبية هو نموذج يربط القوة بكتلة الأجسام. علم الأحياء هو أكثر تعقيداً من الفيزياء. ولذلك، فإن النماذج الحيوية لا تكون معادلات مفردة. يناقش هذا الدرس أسباب المرض وكيفية انتقاله. وقد تم الوصول إلى هذه المعرفة بواسطة جهود عدد لا حصر له من الأطباء والباحثين على مدى عدة قرون.

المفردات



Disease	المرض
Non-infectious	غير المُعدي
Infectious	المُعدي
Pathogen	مسبب المرض
Communicable	الانتقالي
Virus	الفيروس
Vector	النّاقل
Reservoir	الخزان
Retrovirus	الفيروسُ الارتجاعي
Gram test	اختبار غرام
Gram positive	موجبة الغرام
Gram negative	سالبة الغرام
Peptidoglycan	الببتيدوجلايكان
Yeast	الخميرة
Mold	العفن
Microbiome	الميكروبيوم

مخرجات التّعلّم

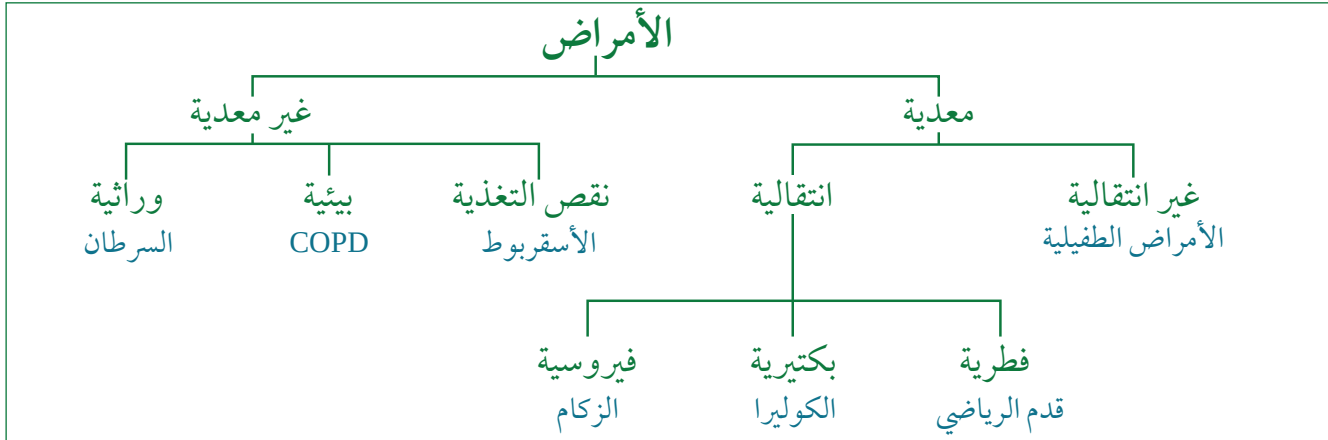
B1124.1 يصف الخصائص المحددة للفيروسات، ويشرح كيف يسبب التكاثر الفيروسي الأمراض الانتقالية.

B1124.2 يصف الخصائص المحددة لأنواع مختلفة من البكتيريا، بما في ذلك المكورات (البكتيريا الكروية) والعصيات (البكتيريا العصوية) والحلزونية والبكتيريا موجبة الغرام والبكتيريا سالبة الغرام، ويوضح كيف تسبب البكتيريا المرض.

B1124.3 يصف الخصائص الأساسية المحددة للفطريات الجرثومية، ويشرح كيف تسبب الأمراض الانتقالية.

أسباب المرض

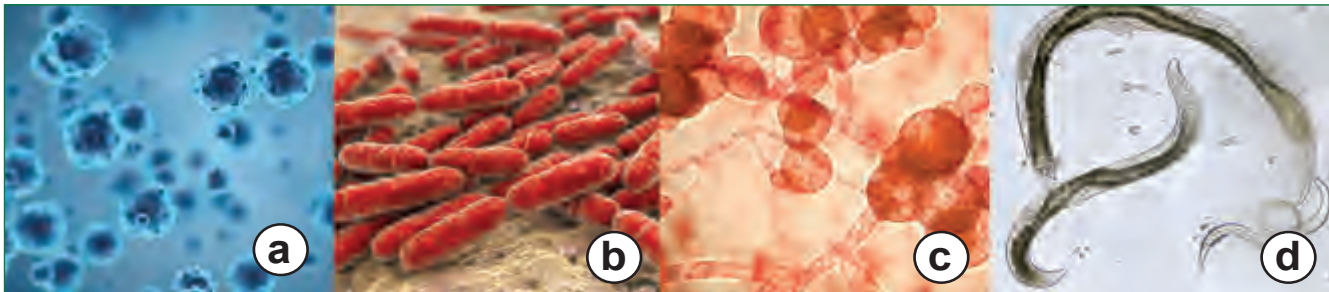
المرض Disease هو حالة غير طبيعية تؤثر سلباً في تركيب أو وظيفة جزء من الكائن الحي أو كله. وقد تؤثر الأمراض في الأعضاء أو في الأجهزة أو الكيمياء الحيوية أو في وظائف الجسم الأخرى. ويبيّن الشكل 3-9 إحدى الطرائق لتصنيف الأمراض بحسب أسبابها وكيفية اكتسابها وانتقالها.



شكل 3-9 أنواع الأمراض وأمثلة عليها.

الأمراض غير المعدية Non-infectious إنّ أمراض السرطان، والانسداد الرئوي المزمن (COPD)، والأسقربوط تنشأ عن عوامل وراثية أو بيئية، ولا تنتقل عادة من فرد إلى آخرين باللمس أو بالسعال: السرطان مثلاً وراثي المنشأ، لكنّ السبب الرئيس لمرض الانسداد الرئوي المزمن (COPD) هو التدخين. أما الأسقربوط، فهو ينتج من نقص فيتامين C على المدى الطويل، مع الإشارة إلى أن بعض الأمراض الوراثية يورثها الآباء لذريتهم.

الأمراض المعدية Infectious تنتج من مسببات الأمراض. **ومسبب المرض Pathogen** هو كيان حيوي يسبب المرض. أمّا مسببات الأمراض الشائعة، فتشمل بكتيريا معينة، فيروسات وفطريات، وبعض الحشرات والديدان (الشكل 4-9).

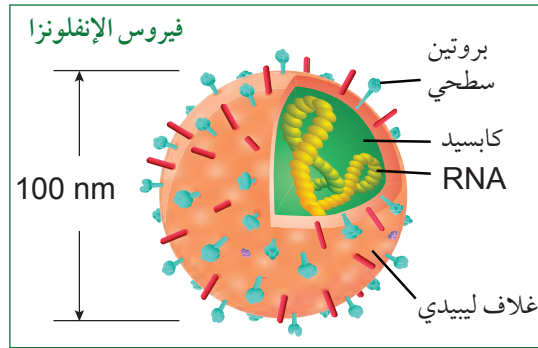


شكل 4-9 تشمل مسببات المرض الشائعة الفيروسات (a) والبكتيريا (b) والفطريات (c) والكائنات الحية، مثل الديدان الأسطوانية (d).

ومعظم الأمراض المعدية **انتقالية Communicable**، ما يعني أنها يمكن أن تنتقل إلى أفراد آخرين. وعلى سبيل المثال، فإن انتقال رذاذ عطاس شخص مصاب إلى شخص آخر هو الطريقة الشائعة للإصابة بالزكام أو الأنفلونزا. إلّا أن عددًا قليلًا من الأمراض المعدية هي أمراض غير انتقالية، ومنها بعض الأمراض الطفيلية، وهذا يعني أن مسبب المرض يصل إلى جسم الشخص من خلال البيئة فقط.

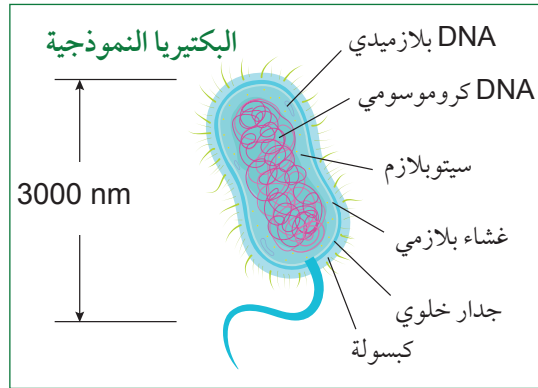
مسببات المرض الشائعة

a. الفيروسات Viruses جسيمات أصغر جداً من الخلايا، وهي عبارة عن غلاف بروتيني يحتوي على مادة وراثية في داخله (الشكل 5-9). والفيروسات ليست كائنات حية، لكنها تستطيع التكاثر في داخل



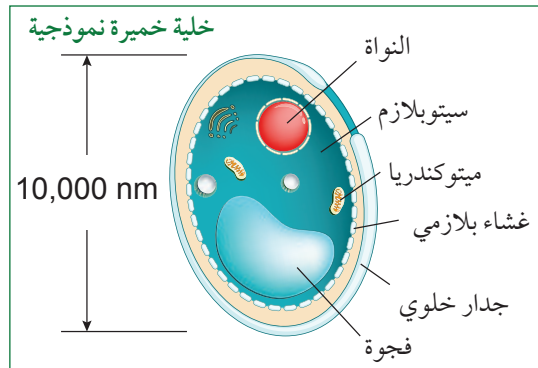
خلية عائل host cell حية. ويتراوح حجم الفيروسات بين 30 nm و 150 nm. وقد تكون المادة الوراثية للفيروس DNA أو RNA على شكل سلسلة مفردة أو مزدوجة. تصيب الفيروسات الحيوانات والنباتات وحتى البكتيريا. لكن الغالبية العظمى من الفيروسات ليس لها أي تأثير في البشر، وهي مسببة المرض لكائنات حية أخرى فقط.

شكل 5-9 تركيب الفيروس.



b. البكتيريا Bacteria هي أبسط شكل من أشكال الحياة. والبكتيريا النموذجية هي بضعة آلاف النانومتر في الحجم، أصغر من متوسط الخلايا البشرية بما يقرب من 10-20 مرة. وتحتوي البكتيريا على DNA كروموسومي حلقي، كما أن بعض أنواع البكتيريا قد تحتوي على DNA حلقي يسمى البلازميد. (الشكل 6-9). ويحيط بالبكتيريا جدار خلوي مصنوع من الببتيدوجلايكان Peptidoglycan، وهو جدار لا تمتلكه الخلايا الحيوانية. وهذا الاختلاف مهم لوظيفة المضادات الحيوية.

شكل 6-9 هيكل البكتيريا.



c. الفطريات Fungi كائنات حية دقيقة حقيقية النواة، لديها جدار خلوي، ولا تقوم بالبناء الضوئي (الشكل 7-9). والخلايا الفطرية أكبر من البكتيريا. تشمل الفطريات التي تسبب المرض للإنسان الخمائر والعفن. وكثير من الأمراض النباتية فطرية، بما في ذلك صدأ القمح، وغيرها من مشكلات المحاصيل الزراعية الخطيرة.

شكل 7-9 تركيب الفطريات.

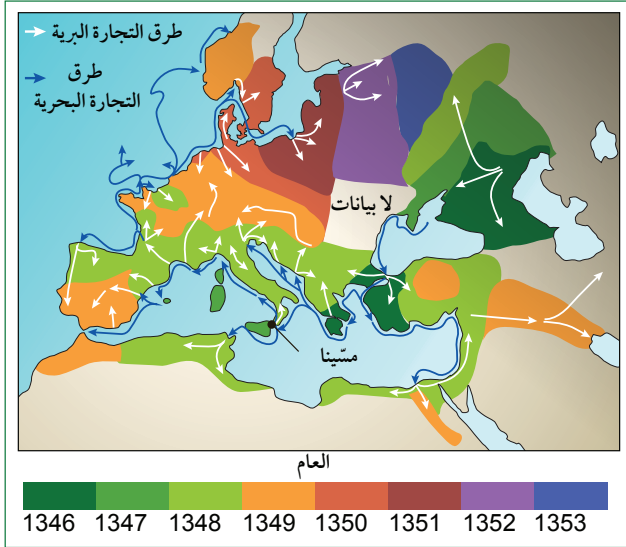


شكل 8-9 الشعيرنة الحلزونية *Trichinella spiralis*.

d. الطفيليات Parasites كائنات حية تعيش داخل كائن آخر عائل. تنتقل الأمراض الطفيلية من الطعام أو الماء الملوث، أو عبر قطع في الجلد. داء الشعيرينات Trichinosis ينتج من أكل لحم الخنزير الذي يحتوي على أعداد كثيرة من يرقات دودة الشعيرنة الحلزونية الطفيلية (الشكل 8-9)، وعندما تنضج اليرقات الحية وتتحول إلى ديدان بالغة تهاجر في الغالب إلى الأنسجة العضلية.

انتقال الأمراض

كان انتشار المرض غير مفهوم بشكل جيد حتى العصر الحديث. ويرجع هذا جزئياً إلى أن مفهوم مسبب المرض لم يكن معروفاً. وقد اقترح ابن سينا نظرية الجراثيم في العام 1025، لكنها لم تكن نظرية مقبولة إلى أن طرحها باستور في القرن التاسع عشر.



شكل 9-9 خريطة الموت الأسود في أوروبا.

في القرن الرابع عشر، كانت التجارة بين أوروبا وآسيا والشرق الأوسط جزءاً مهماً من الحياة: في أكتوبر من العام 1347، سجّل المؤرخون أن 12 سفينة آتية من البحر الأسود رست في ميناء ميسينا الصقلي، فهرع سكان المدينة إلى الأرصفة لمعرفة السلع الجديدة التي جلبتها السفن، إلا أنهم شعروا بالرعب، عندما وجدوا معظم طواقم السفن موتى. أما القلة المتبقية ممن كانوا على قيد الحياة، فقد غطت أجسامهم الدمامل السود التي تنزف دمًا، وسرعان ما ماتوا جميعاً. وقد تم إخلاء السفن بسرعة من الميناء، لكن الضرر كان قد وقع، ووصل الموت الأسود إلى أوروبا (الشكل 9-9).

يوضح الشكل 9-9 خريطة الموت الأسود في أوروبا ولم يكن الناس، في ذلك الوقت، قد عرفوا الطاعون الذي قتل، في النهاية، ما يقارب 60% من السكان. وقد ظن الناس أن روحاً هوائية تهرب من عيون المريض، وتنتقل إلى الشخص السليم إذا نظر إليها، فلبجأوا إلى سحب الدم من المريض، وشق الدمامل، وحرق الأعشاب، في محاولة منهم لدرء المرض.

كان الدليل الوحيد لإمكانية تحديد السبب الحقيقي للطاعون plague هو ملاحظة الناس أن انتشاره يتوقّف في فصل الشتاء، لبدأ مرة أخرى في فصل الربيع. لم يتمّ الاهتمام إلى أن بكتيريا هي سبب الطاعون حتى نهاية القرن التاسع عشر، وذلك بفضل عالم الأحياء الفرنسي ألكسندر يرسين Alexandre Yersin. وقد أطلق على هذه البكتيريا اسم «يرسينيا بيستيس» *Yersinia pestis*.



شكل 10-9 برغوث

وقد حدّد العلماء المعاصرون أنه يمكن لبكتيريا يرسينيا بيستيس الانتقال عن طريق الهواء، أو من عضّة الجرذان أو لدغة البراغيث المصابة. وقد كان الجرذ الأسود الموجود بكثرة على متن السفن، هو الناقل الرئيس للبراغيث التي نشرت الطاعون. هذا النوع من البراغيث (الشكل 10-9) يترك الجرذان الميته لينتقل في الملابس أو البضائع التجارية ليلدغ آخرين، بعيداً من الموانئ، ويصيبهم بالمرض.

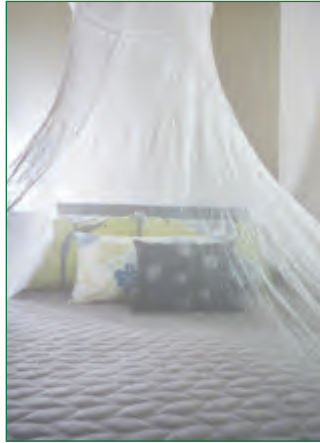
النواقل

سؤال للمناقشة

كيف تنتشر الأمراض
من كائن حي إلى آخر؟

الناقل Vector هو، في سياق المرض، أي عامل يحمل مسبب المرض المعدي وينقله. ومعظم النواقل كائنات حية، لكن بعضها يمكن أن تكون غير حية، مثل جسيمات الغبار. وتعد المياه الملوثة، والبعوض والذباب والقُرَاد والبراغيث وكائنات حية أخرى ناقلات شائعة. وعلى هذا، فإن التعرف إلى ناقل المرض ضروري لمنع انتشاره.

قد تكون سمعت أن فرس النهر هو الحيوان الأكثر دموية في إفريقيا، فهو يقتل نحو 200 شخص سنوياً؛ وقد تكون سمعت أيضاً أن الثعابين والأسود وتماسيح النيل المخيفة كلها مدرجة في قائمة أعظم الحيوانات خطراً على المسافرين. لكن الواقع يؤكد أن البعوض الصغير هو القاتل الأكبر في العالم، لأنه مسؤول عن أكثر من مليون حالة وفاة في كل عام.



شكل 11-9 شبكة البعوض.

ويعد البعوض هو الناقل الرئيس لكثير من الأمراض المنقولة بالدم، فهو الذي يحمل الفيروسات أو البكتيريا. وفي كل مرة تلدغ البعوضة جسماً ما، تحقن فيه لعابها الذي قد يحتوي على جسيمات فيروسية أو بكتيرية. لذا، فإننا نرى جهوداً تبذل للسيطرة على جماعة البعوض الحيوية للحد من انتشار الملاريا. إن وضع شبكة بسيطة على السرير ليلاً تقلل كثيراً من فرص التعرض للدغ (الشكل 11-9). وتعمل الكثير من المجموعات المختلفة على الحد من الملاريا، بتوفير شباك البعوض المعالجة بمادة طاردة له.

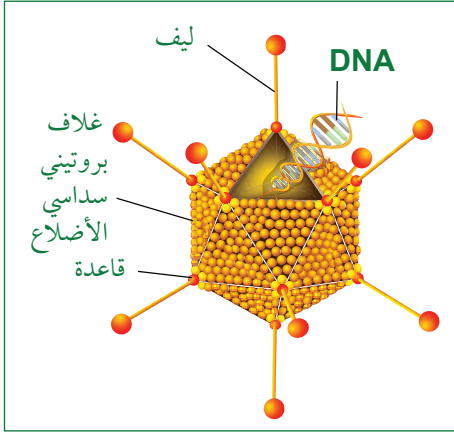
والخفافيش هي أيضاً ناقل شائع للأمراض الفيروسية. أمّا الأمراض التي تنقلها تلك الخفافيش، فهي فيروس إيبولا والسارس SARS والفيروس التاجي Coronavirus لمتلازمة الشرق الأوسط التنفسية MERS Middle East Respiratory Syndrome. وينتشر المرض من خلال عضات الخفافيش، ومن خلال الغبار المحمول جواً، والذي قد يحتوي على براز الخفافيش أو بولها.

الناقل هو كائن حي أو آلية تحمل مسبب المرض أو تنقله.



تحمل بعض جماعات الحيوانات مسبباً للمرض، إلا أنها لا تتأثر هي نفسها به. وتسمى هذه الجماعات **الخزان Reservoir**، لأنها تحافظ على إمدادات من مسبب المرض الذي يمكن أن ينتشر ليصيب الكائنات الأخرى. ولعلّ أوضح مثال على مرض ينتشر من خزان، هو فيروس انفلونزا الخنازير H1N1 الذي اجتاح العالم في العام 2009. وقد نشأ هذا الفيروس في الخنازير وتحوّر إلى شكل يمكن أن يصيب البشر. الطيور والخنازير والخفافيش أنواع لخزانات شائعة.

الفيروسات



شكل 9-12 تركيب الفيروس.

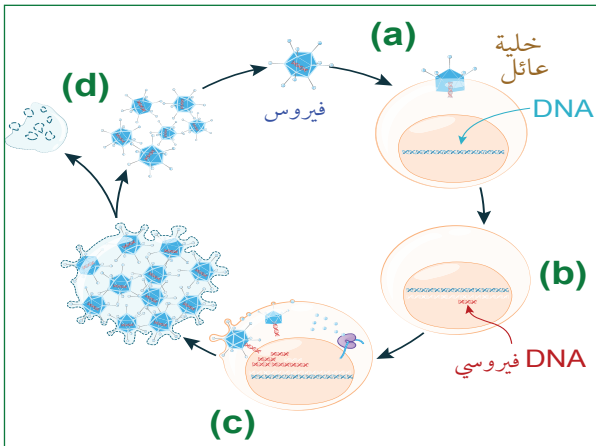
في العام 1892، عرض عالم النبات الروسي ديمتري إيفانوفسكي شيئاً أصغر بكثير من البكتيريا يمكنه أن يسبب المرض. كان يُظنّ في البداية أن هذا الشيء الصغير هو سمّ، إلى أن ظهر أن العامل المسبّب للمرض هو جسيم عضويّ، بات يعرف اليوم باسم الفيروس (الشكل 9-12). وقد تطوّرت الفيروسات، بحيث أصبحت تصيب كل أنواع النباتات والحيوانات والبكتيريا، علماً بأنّ الفيروسات متخصصة في إصابة نوع معين من الخلايا. وعلى سبيل المثال، فإنّ فيروساً يمكن أن يصيب نوعاً واحداً فقط من الأشجار أو نبات الذرة.

الفيروسات جسيمات غير حية من البروتين والمواد الوراثية مثل DNA أو RNA.

الشكل 9-13 يوضح الأنواع الشائعة من الفيروسات. الإيولا والإنفلونزا وفيروس تبرقش أوراق التبغ هي فيروسات RNA. الفيروسات الغدية أو الأدينوفيروس Adenovirus هي فيروسات DNA، وآكلات البكتيريا تضم النوعين DNA و RNA. الأشكال المختلفة والبروتينات السطحية للفيروس يتطابقان مع الخلية المستهدفة من الفيروس.



شكل 9-13 أمثلة على الفيروس.



شكل 9-14 دورة حياة الفيروس.

ولكي يتكاثر الفيروس، فإنه يلتصق بالخلية العائل (الشكل 9-14a) ويحقن فيها DNA أو RNA الخاص به (الشكل 9-14b). هذا الأمر يدفع آليات الخلية العائل إلى إنتاج نسخ من الفيروس، بدلاً من البروتينات التي تنتجها الخلية عادة (الشكل 9-14c). وعندما تمتلئ الخلية بجسيمات الفيروسات الجديدة، تنفجر، وتطلق ما يقرب من 10,000 جسيم فيروسي جديد (الشكل 9-14d).

الأمراض الفيروسية

لا تؤثر الغالبية العظمى من الفيروسات في البشر، لأن الفيروسات متخصصة في نوع معين من الخلايا. ثم إن ملعقة صغيرة من مياه البحر تحتوي على 50 مليون جسيم فيروسي، وكلها تقريباً تستهدف البكتيريا. وما يقرب من 90% من الحياة البحرية هي بكتيريا؛ ويقدر علماء الأحياء أن الفيروسات تقتل 20% من البكتيريا البحرية في كل يوم. وهذه طريقة مهمة لإعادة تدوير المواد الغذائية في السلسلة الغذائية في المحيط.

والأمراض الفيروسية البشرية شائعة جداً، وتتفاوت شدتها بين الزكام البسيط أو القرحة الجلدية، إلى الأمراض الخطيرة مثل الجدري والإيولا. ومن المنظور التطوري، فإن الفيروس يمكن له أن يتكاثر بسرعة إذا لم يقتل عائله. وقد تعيش بعض الفيروسات في شخص لسنوات، مع أعراض قليلة.



شكل 9-15 سيلان الأنف من أعراض الزكام.

لنأخذ مثلاً الزكام الذي يؤثر في القسم العلوي من الجهاز التنفسي مصحوباً بالعطس وسيلان الأنف والاحتقان (الشكل 9-15): يصاب الشخص المتوسط بالزكام 3 أو 4 مرات في السنة. وقد يسبب الزكام أكثر من 200 نوع من الفيروسات الأنفية التي تصيب الخلايا في الجيوب الأنفية والأنف والحنجرة. وتنتج أعراض الزكام من تفاعل الجهاز المناعي في الجسم مع جزيئات الفيروس.

إلا أن بعض الإصابات الفيروسية قد تكون أكثر خطورة، مثل فيروس نقص المناعة البشرية HIV (الشكل 9-16): يصيب فيروس HIV نوع معين من خلايا الدم البيضاء في جهاز المناعة ويدمرها. وهذا يُضعف دفاعات الجسم، إلى درجة، يمكن فيها لمرض آخر أن يقتل العائل في النهاية. ويعيش فيروس HIV في الدم، ويمكن أن ينتقل عبر العلاقة الجنسية. وقد ينتقل أيضاً من خلال الرضاعة، أو عن طريق اختلاط الدم بدم الشخص المصاب.



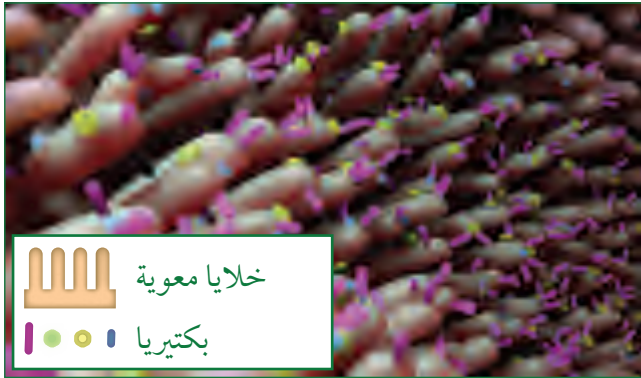
شكل 9-16 جسيم فيروس AIDS البشري.

وفيروس HIV هو **فيروس ارتجاعي Retrovirus**: تستخدم فيروسات DNA العادية آليات الخلايا لصنع نسخ من الفيروس، لكنها لا تصبح جزءاً من الخلية نفسها. أما الفيروس الارتجاعي فمختلف وهو ينسخ RNA الفيروس عكسياً إلى DNA الذي يندمج تماماً في DNA في نواة الخلية العائل، فتصبح الجينات الفيروسية جزءاً من جينات الخلية، وتستخدم في النسخ المعتاد والترجمة إلى البروتينات. إن القدرة على غرس جينات جديدة في DNA تجعل الفيروسات الارتجاعية أداة مفيدة في الهندسة الوراثية.

البكتيريا

نحن نعيش في عالم من البكتيريا، ونمتلك في داخل أجسامنا أيضًا عالمًا من البكتيريا. ويقدر علماء الأحياء أن عدد الخلايا البكتيرية في جسمك يوازي ثلاثة أضعاف الخلايا البشرية فيه. وتوجد معظم هذه البكتيريا في القناة الهضمية، ويُخرج الشخص المتوسط وزن جسمه من البكتيريا في سنة واحدة. يطلق على مجتمع البكتيريا في الجسم اسم **الميكروبيوم Microbiome** الذي يشمل الآلاف من أنواع الكائنات المجهرية التي تعيش على الجسم وفي داخله.

لديك بكتيريا تعيش في داخلك أو عليك أكثر مما لديك من الخلايا البشرية. 



مع أن وظائف البكتيريا في داخل الجسم غير مفهومة بوضوح، إلا أن معظمها غير ضار للجسم، بل إنه نافع له. فبكتيريا القناة الهضمية مثلاً، والتي تعيش في القولون السفلي، تساعد على تكسير الجزيئات المعقدة إلى مواد غذائية يمكن للجسم استخدامها، ولا يمكنه أن يعيش بدونها.

يُقدَّر أن هناك ما بين عشرة ملايين ومليار نوع من **شكل 9-17** البكتيريا في أمعائك.

البكتيريا على الأرض. والغالبية العظمى ليس لها أي تأثير في البشر. ومع ذلك، فإن القليل منها يكون مسبباً للمرض. ويمكن لبعض البكتيريا المحايدة أو المفيدة أيضًا أن تصبح مسببةً أمراضٍ إذا دخلت في الجزء الخطأ من الجسم.



الإي كولاي E. coli: الإشريكية القولونية *Escherichia coli* هي عائلة من البكتيريا العصوية توجد في القناة الهضمية البشرية (الشكل 9-18). بعضها غير ضار، وبعضها نافع، ولكن أصنافاً معينة منها يمكن أن تسبب مرضاً خطيراً مماثلاً للكوليرا. وتعيش الإي كولاي، كالكوليرا، وتتكاثر في البراز أيضًا، وتنتشر بسبب سوء معالجة الصرف الصحي.

شكل 9-18 بكتيريا *E. coli*

ولأن البكتيريا موجودة في كل مكان، فإن الجهاز المناعي يمتلك نوعاً معيناً من الخلايا التي تقتل البكتيريا الضارة أو تطردها. ويحتوي البراز على قدر كبير من البكتيريا. ولكن، إذا تمّت معالجة مياه الصرف الصحي بشكل صحيح، فإن البكتيريا ستموت بسرعة خارج الجسم. وفي المناطق التي يترك البراز فيها من دون معالجة، يكون تهديد العدوى البكتيرية حقيقياً وخطيراً جداً.

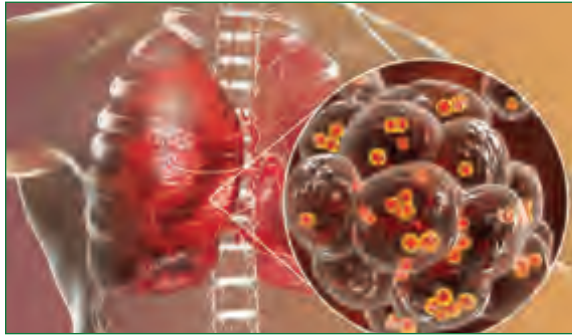
الأمراض البكتيرية

تشمل البكتيريا الشائعة التي تسبب الأمراض: *Vibrio cholera*، و *Escherichia coli*، و *Salmonella enterica serotype Typhi*، و *Staphylococcus*.



الكوليرا Cholera: (الشكل 9-19) *Vibrio cholerae* هي بكتيريا على شكل عصا مع سوط مفرد، وهي نموذج لعائلة البكتيريا العصوية. وتتضمن أعراض المرض الإسهال الحاد والجفاف. تنفث البكتيريا نتيجة سوء الصرف الصحي، كون مرض الكوليرا ينتشر عن طريق البراز. وقد قتل الوباء 1899-1923 العالمي أكثر من مليون شخص. أما التفشيات الحديثة، فتتم بسبب الحروب أو الكوارث الطبيعية التي تسبب في انهيار الصرف الصحي. وقد أثر تفشي المرض في هايتي والصومال واليمن في أكثر من 1.5 مليون شخص.

التيفوئيد Typhoid: كما الكوليرا والإي كولاي، فإن البكتيريا المسؤولة عن التيفوئيد *Salmonella enterica serotype Typhi* توجد في البراز، وتنتشر عن طريق المياه الملوثة وسوء معالجة مياه الصرف الصحي، لكنها تختلف عنهما في أنها لا تؤدي إلى الإصابة بالإسهال. ولذلك، فقد لا تُكتشف قبل أسابيع. من هنا، يمكن لشخص مصاب بالتيفوئيد، يعمل في إعداد الطعام، أن ينشر البكتيريا وينقلها إلى عدد كبير من الناس. ولذلك، فقد وُضعت قواعد نظافة صارمة للمطابخ.



شكل 9-20 البكتيريا العنقودية في نسيج الرئة.

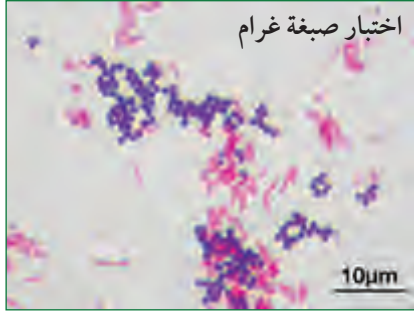
المكورات العنقودية Staph: بكتيريا *Staphylococcus* هي من عائلة البكتيريا الكروية، وهي تشمل البكتيريا التي تشكل مجموعات تشبه عناقيد العنب (الشكل 9-20). إنها بكتيريا شائعة جدًا. وهي قد توجد في أنفك الآن من دون أي تأثير مرضي. إلا أن عدوى المكورات العنقودية خطيرة، وقد يكون مميتًا إذا دخلت البكتيريا مجرى الدم عبر جرح غير معالج.



شكل 9-21 بكتيريا الأمعاء الدقيقة.

بكتيريا الأمعاء الدقيقة C. jejuni: هي بكتيريا الجزء الأوسط من الأمعاء الدقيقة *Campylobacter jejuni* وهي عضو في عائلة البكتيريا الحلزونية، ولها أشكال حلزونية (الشكل 9-21). *C. jejuni* وهي السبب الرئيس للمرض البكتيري المنقول في الطعام في الكثير من البلدان النامية؛ عدوى بكتيريا الأمعاء الدقيقة هي في كثير من الأحيان مكتسبة من تناول الدواجن نيئة أو غير مطهّنة جيدًا، ومن منتجات الألبان النيئة والمنتجات الملوثة.

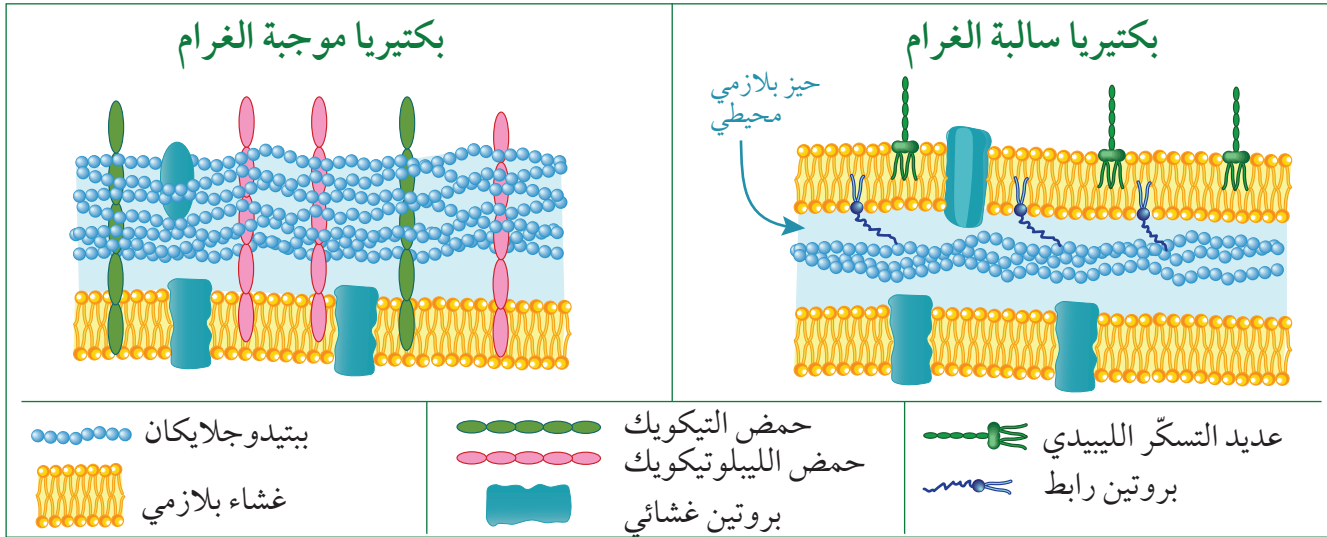
اختبار الغرام



شكل 9-22 اختبار صبغة غرام.

اختبار غرام Gram test هو اختبار بسيط لتصنيف البكتيريا. ولإجراء هذا الاختبار، يتم إضافة صبغة كيميائية إلى مزرعة البكتيريا. تصبغ بعض أنواع البكتيريا بهذه المادة وتتحول إلى اللون الأرجواني، ولا يحدث ذلك في بعضها الآخر (الشكل 9-22). وعليه، فإن نتيجة هذا الاختبار تكون الطريقة الأولية لتصنيف البكتيريا، إما تكون موجبة الغرام (الأرجواني)، أو سالبة الغرام (الأحمر).

ويحيط بالبكتيريا موجبة الغرام **Gram positive** (الشكل 9-23) جدار هيكلي سميك من الببتيدوجلايكان خارج الغشاء الخلوي. وجنبًا إلى جنب مع المجموعة المعتادة من البروتينات الغشائية، فإن لهذه البكتيريا أيضًا محدّدات هوية من حمض التيكويك **teichoic acid** وحمض الليبوتيكويك **lipoteichoic acid**.



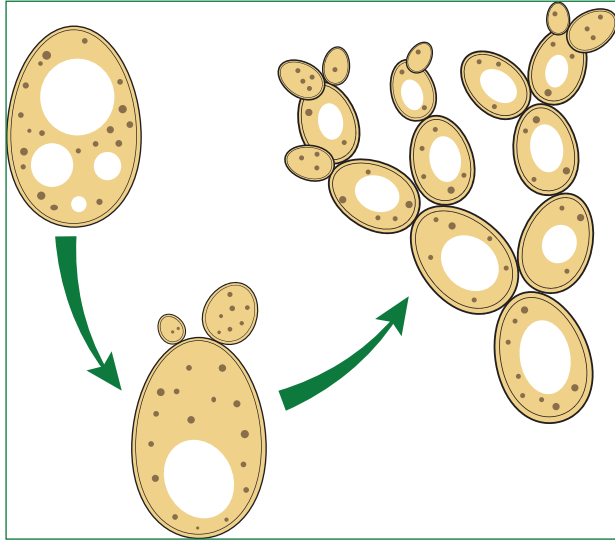
شكل 9-23 تركيب الغشاء الخلوي يختلف بين البكتيريا موجبة الغرام والبكتيريا سالبة الغرام.

أما البكتيريا السالبة الغرام **Gram negative**، فلها غشاء داخلي وغشاء خارجي. وبين الغشاءين طبقة ببتيدوجلايكان رقيقة، تسمى «الحيز البلازمي المحيطي». والغشاء الخلوي الخارجي للبكتيريا سالبة الغرام مغطى بعديدات تسكر ليبيدية.

ويُعدُّ اختبار غرام اختبارًا مهمًا، لأننا سنرى في الدرس التالي كيف تخترق المضادات الحيوية اختراق الغشاء الخلوي وطبقة الببتيدوجلايكان. وهذه المضادات الحيوية المختلفة تعمل على جوانب مختلفة من الخلايا البكتيرية، ويعمل بعضها على بنية الغشاء الخلوي في البكتيريا موجبة الغرام، وليس في البكتيريا السالبة الغرام. وتعمل مضادات حيوية أخرى على البكتيريا السالبة الغرام فقط.

الفطريات

تُصنّف الفطريات كمملكة منفصلة عن حقيقيات النوى الأخرى كالنباتات والحيوانات. وقد يكون عيش الغراب مألوفاً أكثر من غيره من أنواع الفطريات. ومهما يكن، فإن الفطريات التي تُعدُّ مسببات أمراض هي في الغالب العفن المجهرى والخمائر الوحيدة الخلية.



شكل 9-24 تكاثر الخميرة.

الخمائر Yeasts هي فطريات مجهرية تتكون من خلايا بيضاوية أحادية، تتكاثر عن طريق التبرعم أو الانشطار كما هو مبين في الشكل 9-24. ويمكن أن تحوّل الخمائر السكر إلى كحول وثنائي أكسيد الكربون من خلال عملية التخمير اللاهوائية، ويمكنها القيام بالتنفس الهوائي أيضاً. على أن الخمائر المألوفة أكثر من غيرها لمعظم الناس هي خميرة الخبز أو *Saccharomyces cerevisiae* المستخدمة في إعداد الخبز.



شكل 9-25 العفن على البرتقال.

العفن Mold فطر ينمو على شكل خيوط متعددة الخلايا، تسمى **الخيوط الفطرية Hyphae**. وهذا يجعل العفن مختلفاً عن الخمائر أحادية الخلية. وهناك عدة آلاف من الأنواع المعروفة من العفن، وجميعها تتطلب الرطوبة، وتنمو في الأماكن الرطبة، إلا أن عدداً قليلاً منها هو مائي. والأعفان هي من المحللات الطبيعية الأهم، ونراها عادة على الطعام المتعفن (الشكل 9-25).



شكل 9-26 العفن الأسود السام غالباً ما يتشكل في المناطق الرطبة في المنازل حيث تتسرب الماء باستمرار.

يتكاثر العفن عن طريق إنتاج أعداد كبيرة من الأبواغ الصغيرة. والعفن شائع جداً، وأبواغه من مكونات الغبار في المنازل وأماكن العمل. وتشكل أبواغ العفن مخاطر صحية، فهي تسبب الحساسية ومشاكل تنفسية. وبعض العفن، مثل *Stachybotrys chartarum* والمعروف باسم «العفن الأسود» ينتج مواد كيميائية سامة تسمى «السموم الفطرية» وهي قد تكون مميتة إذا تم ابتلاعها (الشكل 9-26).

الأمراض الفطرية



شكل 9-27 مرض قدم الرياضي يتسبب به فطر.

تصيب الكثير من الأمراض الفطرية الطبقات الخارجية من الجلد والأظافر والشعر والأغشية المخاطية. ولعلّ أوضح مثال على ذلك هو مرض سعفة القدم، والمعروف باسم «قدم الرياضي» (الشكل 9-27). وتكون هذه العدوى الجلدية في أغلب الأحيان ناجمة عن فطريات شعرية الشكل تسمى *Trichophyton mentagrophytes*. وقد يصيب الفطر أي جزء من القدم، إلا أنه ينمو في الغالب بين أصابع القدم أو على أسفلها. وقد تؤثر الفطريات نفسها في منطقة الفخذ أو الأظافر أو اليدين أيضًا.

و«قدم الرياضي» مرض معدٍ للغاية، ويمكن أن ينتشر من خلال الاتصال المباشر أو الاتصال غير المباشر. ويمكن أن تُعالج العدوى بكثير من المركبات المضادة للفطريات، بما في ذلك نترات ميكونازول، وكلوتريمازول، وتولنافات.

وتشكل الفطريات النسبة الأكبر من مسببات الأمراض النباتية، وهي مسؤولة عن الكثير من الأمراض النباتية الخطيرة. وتُلحق الأمراض الفطرية الضرر بالنباتات عن طريق قتل الخلايا و/أو تسبب الإجهاد للنباتات. وتنتقل العدوى عن طريق البذور المصابة والتربة وبقايا المحاصيل، والمحاصيل والأعشاب الضارة المجاورة. يُكوّن فطر العفن الرمادي (*Botrytis*) بودة رمادية اللون تُكسب الكثير من الفواكه والخضراوات اللون الرمادي (الشكل 9-28a). والصدأ ومرض البياض هما أيضًا من الأمراض الفطرية التي تضم صدأ الذرة (الشكل 9-28b) والبياض الزغبى Downy Mildew (الشكل 9-28c).



شكل 9-28 الأمراض الفطرية في النباتات وتشمل العفن الرمادي (a) وصدأ الذرة (b) والبياض الزغبى على نبات الطماطم (c).



شكل 9-29 فطر كورديسييس ينمو على الجراد.

تصيب الأمراض الفطرية كل الحيوانات تقريبًا، بما في ذلك الحشرات. وعلى سبيل المثال، فإن الكثير من أنواع فطر كورديسييس *Cordyceps* تستهدف أنواعًا محددة من الحشرات: يهضم الفطر الحشرة من الداخل، ثم ينتشر (الشكل 9-29). ولولا التحكم الذي تفرضه الأمراض الفطرية، مثل كورديسييس على جماعات الحشرات، لازدادت أنواع الحشرات بسرعة.



مقارنة العوامل المسببة للأمراض

1-9

سؤال الاستقصاء	ما هي الأنواع المختلفة من مسببات الأمراض؟
المواد المطلوبة	ورق لوحة حائط، أقلام تعليم، مواد بحثية.

بحث

1. ابحث واختر مرضًا يسببه عامل مسبب للمرض.
2. ابحث في اختيارك للمرض للإجابة عن الأسئلة الآتية:
 - a. ما الاسم العلمي و/أو الاسم الشائع للمرض (إذا أمكن).
 - b. ما اسم نوع العامل مسبب المرض؟ هل هناك نوع واحد من مسببات المرض أو أنواع متعددة منها؟
 - c. ما نوع العامل مسبب المرض؟ حدّد موقع صورة واحدة على الأقل لعامل مسبب للمرض، إذا كان ذلك ممكنًا.
 - d. متى تم اكتشاف العامل مسبب المرض وربطه بالمرض؟
 - e. ما المناطق التي ينتشر فيها المرض أكثر من غيرها؟
 - f. إلى أي مدى شاع المرض في هذه الأيام؟
 - g. كم كان المرض شائعًا في الماضي، قبل تطوّر الأدوية الحديثة، كالمضادات الحيوية؟
 - h. ما الأعراض النموذجية للمرض؟
 - i. كيف ينتقل المرض أو يتم اكتسابه؟ حدد النواقل المعروفة أو المشتبه بتأديتها دورًا مهمًا.
 - j. كيف يتم علاج المرض اليوم؟
 - k. ما معدل الشفاء من المرض؟
 - l. ما التدابير الوقائية التي يجب اتخاذها لتجنب الإصابة بالمرض؟

لوحة الحائط

لخص البحث الخاص بك بشكل لوحة حائط مماثلة لما قد يقدم به أحد العلماء نتائج عمله في أحد المؤتمرات. استخدم الرسومات والعناوين المناسبة لتنظيم المعلومات الخاصة بك.

1. أعطِ مثالاً على مرض معدٍ وانتقالي ناجم عن مسبب مرض. 
2. أعطِ مثالاً على مرض غير معدٍ وحدد سببه. 
3. ما الترتيب الصحيح للحجم من الأصغر (أولاً) إلى الأكبر (أخيراً)؟ 
 - a. الفيروس، البكتيريا، الخميرة، دودة الشعرينة.
 - b. دودة الشعرينة، الخميرة، البكتيريا، الفيروس.
 - c. البكتيريا، الفيروس، الخميرة، دودة الشعرينة.
 - d. الخميرة، الفيروس، البكتيريا، دودة الشعرينة.
4. ما كان ناقل الطاعون الأسود؟ 
5. اذكر ثلاثة أمراض تسببها الفيروسات. 
6. لماذا يُعدُّ البعوض قاتلاً أكثر خطورة من تمساح النيل؟ 
7. ما العبارة غير الصحيحة عن الفيروس؟ 
 - a. الفيروس أصغر من البكتيريا.
 - b. الفيروس أصغر كائن حي.
 - c. يحتوي الفيروس على DNA أو RNA كمادة وراثية.
 - d. يمكن أن يتضاعف الفيروس 10,000 مرة في خلية عائل واحدة.
8. افترض أنك تناقش علم الأحياء مع شخص. يظن هذا الشخص أنك ترى كل البكتيريا ضارة ويتساءل: «لماذا لا نتناول المضادات الحيوية طوال الوقت للتخلص من البكتيريا؟». ما هي المشكلة في تساؤل الشخص؟ اكتب تصريحاً قد تقوله لهذا الشخص يشرح حقيقة البكتيريا. 
9. حدّد عائلة البكتيريا في الصور الآتية كونها عائلة البكتيريا العصوية، أو العنقودية أو الحلزونية. 

(a)



(b)



(c)



10. عدّد ثلاث طرائق تختلف فيها الخميرة عن البكتيريا. 
11. أعطِ مثالين على مرضين فطريين: أحدهما يصيب البشر والآخر يصيب النباتات. 

الدرس 9-2

المضادات الحيوية

Antibiotics



«نعرف جميعاً أنّ المصادفة أو الحظّ أو القدر، أو سمّه ما شئت، قد أدّى دوراً مهماً في الكثير من الاكتشافات العلميّة. ونحن لا نعلم بدقة كيف ظهرت اكتشافات العلماء جميعهم، وبشكل خاصّ تلك المتعلقة بالمواضيع الجديدة التي شكّلت مدار بحثهم. لكننا نعلم أنّه كان للملاحظة بالمصادفة، وفي كثير من الحالات، الفضل في تحديد وجهة مسار الاكتشافات، ما أدّى في النهاية إلى تقدّم حقيقيّ على مستوى المعرفة أو الممارسة».

تم اقتباس هذا الكلام من نصّ خطاب قبول ألكسندر فليمنج (الشكل 9-30) جائزة نوبل في العام 1945. ولعلّ قصته في اكتشافه البنسلين، تشكّل نموذجاً يجسّد كيفية بدء الاكتشافات الكبرى. ومهما يكن، فإنّ الأمر كله ليس مرهوناً بالخط، لأنّ الخط لا يخدم إلاّ العقول المهيأة التي يمكن أن تتعرف وتفهم ما تراه.

شكل 9-30 ألكسندر فليمنج.

المضردات



Antibiotic	المضادّ الحيويّ
Penicillin	البنسلين
Cell wall agent	عامل الجدار الخلوي
Cell membrane agent	عامل الغشاء الخلوي
Protein synthesis inhibitor	مثبط بناء البروتين
Antimetabolite	مضادات الأيض
Methicillin	ميسيلين
MRSA	المكورات العنقوديّة المقاومة للميسيلين
Antibiotic resistance	مقاومة المضادات الحيوية
Vaccine	اللقاح
Immunization	التحصين

مخرجات التعلّم

B1125.1 يقارن بين الطرق التي تدمر بها أنواع مختلفة من المضادات الحيوية الخلايا بدائية النواة أو تسبب لها ضرر، بما في ذلك مضادات الأيض، ومثبطات بناء البروتين، وعوامل الجدار الخلوي، وعوامل الأغشية الخلوية، ويشرح كيف تجعلها هذه العملية علاجات فعّالة لمجموعة واسعة من الأمراض الانتقالية.

B1125.2 يوضح لماذا لا تؤثر المضادات الحيوية التي تدمر أو تضر الخلايا بدائية النواة في الخلايا حقيقية النواة أو الفيروسات.

اكتشاف البنسلين

يرى الناس أنَّ العلماء يصادفون مشكلة ما، ويعملون بطريقة منهجية ومنظمة لحلها، وهذا الرأي صحيح، لكنَّ الحلول أو الأفكار الرئيسة أو الملاحظات تكون في الغالب نتيجة خطأ أو حادث معين، فقد حدثت اكتشافات عظيمة، عندما أدرك عالمٌ ذكيُّ شيئاً مثيراً للاهتمام في نتائج «الحادث» الذي صادفه، والبنسلين الذي اكتُشف بهذه الطريقة أوضح مثال على ذلك.

كان ألكسندر فليمنغ مختصاً بالبكتيريا، يدرس بكتيريا «المكورات العنقودية»؛ وكانت لديه عادة ابتكار مشاهد صغيرة عن طريق مسح البكتيريا على أطباق بتري. وعندما تنمو البكتيريا كانت تشكل صور منظر طبيعي.



بعد عودته من عطلة في سبتمبر من العام 1928، لاحظ فليمنغ أنَّ أحد المناظر قد دمر بواسطة نمو طفيف للعفن. ويبدو أنَّ بوعاً من هذا النوع من العفن قد انتقل من مختبر مجاور إلى مختبره، وسقط على الطبق المكشوف، ثم نما بسرعة وشكّل عفن البنيسيليوم *Penicillium*، فتوقّف نمو البكتيريا المجاورة للعفن (الشكل 9-31).

شكل 9-31 توقّف نموّ

البكتيريا على طبق بتري.

وقد أدرك فليمنغ بخبرته أهميّة هذا الحدث: فإذا كان العفن قادراً على هزيمة البكتيريا، فلا شك في أنّه يحتوي على «مضادّ للبكتيريا»، أو كما هو معروف باسم **المضادّ الحيوي Antibiotic**. وقد استطاع زميل ألكسندر، رونالد هير، تكرار «الحادثة» وتمكّنا، بعد ذلك، من عزل العفن.



وبالإضافة إلى قدرة فليمنغ على زرع العفن المثير للإعجاب، بنيسيليوم نوتاتوم *Penicillium notatum* (الشكل 9-32)، فقد نجح أيضاً في استخراج ميكروجرامات قليلة من المادة الفعّالة فيه، وهي البنسلين. ووجد أنَّ هذه المادة تمنع نمو أنواع مختلفة من البكتيريا، وأنّه، عند حقن فأرة بها، لم يلاحظ ظهور أية تأثيرات سلبية عليها.

شكل 9-32 فطر البنيسيليوم نوتاتوم.

وقد كتب فليمنغ بحثاً علمياً يصف فيه تقنيّاته ونتائجه، ثمّ انتقل إلى مشاريع أخرى. وقد لاحظ أنَّ كمية العفن اللازمة لاستخراج كمّيّة صغيرة ومحدودة من البنسلين تجعله غير عمليّ في مجال الاستخدام الطّبيّ.

ولكن، وبعد عشر سنوات، وعندما كان عالِمان من جامعة أوكسفورد، إرنست تشاين وهوارد فلوري، يبحثان في الموادّ المضادّة للبكتيريا الطّبيعيّة، اطلّعا على تجربة فليمنغ، وقرّرا مواصلة أبحاثه، وتمكّنا من استخراج ما يكفي من **البنسلين Penicillin** لتجربته على الفئران، ووجدوا أنَّ المادة كانت قادرة على معالجة الفئران المصابة ببكتيريا المكورة العنقوديّة.

استخدام المضادات الحيوية

لا تعمل كل المضادات الحيوية على كل البكتيريا؛ ومن المهم استهداف المضاد الحيوي للبكتيريا التي يراد مهاجمتها. وفي العادة، فإن الطبيب يحاول المطابقة بين تأثير الدواء وحساسية البكتيريا المعنية؛ ولهذا، فإنه يأخذ عيّنة دم ويطلب قائمة مفصلة بالأعراض. وهكذا، فإن وصف المضادات الحيوية الخاطئة قد لا يشفي المريض، بل قد يكون له تأثير جانبي، فيتسبب في نشوء سلالة مقاومة من البكتيريا.

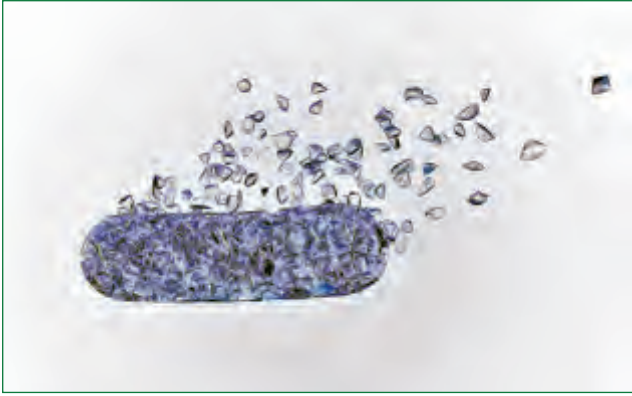
كلوستريديوم التسمم الغذائي الإسهال	ن. غونوريا السلان	الاي كولاي مرض معوي	المكورات العقدية التهاب الحلق العقدي	المكورات العنقودية المقاومة للميثيسيلين عدوى حادة	بكتيريا موجبة الغرام بكتيريا سالبة الغرام
X	X	X	✓	X	بنسلين
X	X	✓	✓	X	أمبسلين
X	X	✓	✓	X	سيفالوسبورين
✓	✓	✓	✓	X	مونوباكتام
X	✓	✓	X	X	سيبروفلوكساسين
X	X	✓	✓	X	تتراسيكلين
X	X	✓	✓	✓	باكتريم
✓	X	X	X	X	ميثرونيدازول

شكل 9-33 المضادات الحيوية المختلفة فعالة ضدّ كائنات حية مختلفة.

من المهمّ جدًا أن يصف الطبيب للمريض المضادّ الحيويّ الصحيح. ويبيّن الشكل 9-33 مجموعة من المضادّات الحيوية، وخمسة كائنات حية تسبّب المرض. إلّا أنّ هناك الكثير من المضادّات الحيوية الأخرى التي يمكن أن يصفها الأطباء، والكثير من العوامل مسببة المرض أيضًا، إضافة إلى ما ورد في هذا الشكل. لذا كان علينا الأخذ بعين الاعتبار المعطيات الآتية:

1. ليس هناك مضادّ حيويّ واحد فعّال ضدّ كل العوامل الخمسة مسببة المرض في هذه القائمة القصيرة.
2. بعض الكائنات كالمكورات العنقودية الذهبية المقاومة للميثيسيلين (MRSA) لا تتأثر بغالبية المضادّات الحيوية. وهناك مضاد حيوي واحد فقط فعّال ضدها.
3. السيبروفلوكساسين Ciprofloxacin، المضادّ الحيويّ الأكثر شيوعًا في العالم، غير فعّال ضدّ التهاب الحلق العقدي الذي يعدّ واحدًا من الأمراض الأكثر شيوعًا، والتي يجب علاجها بالمضادّات الحيوية.

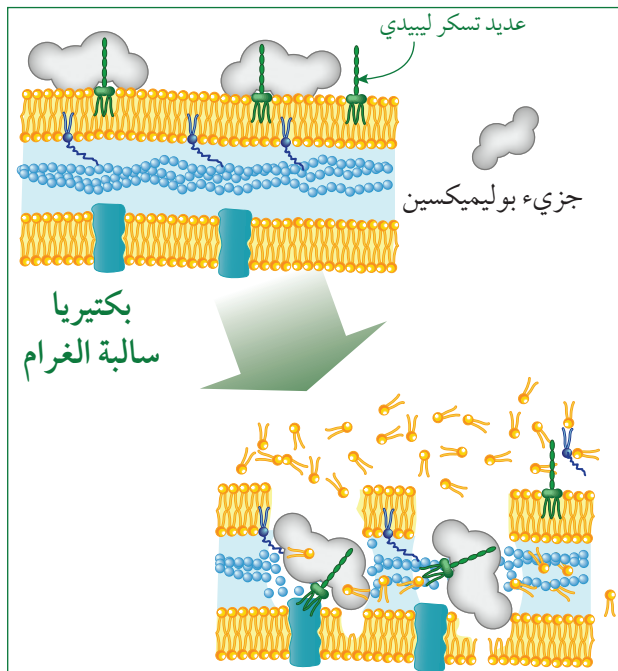
عوامل الجدار الخلوي والغشاء الخلوي



شكل 9-34 عوامل جدار الخلية مثل البنسلين التي تسبب انفجار البكتيريا الموجبة لصبغة غرام عند التكاثر.

البنسلين والأميسيلين هما مثالان على **عوامل الجدار الخلوي Cell wall agents** التي تعمل عن طريق تفجير الجدار الخلوي البكتيرية في البكتيريا موجبة الغرام؛ ويكون ذلك من خلال العمل مباشرة على الببتيدوجلايكان الذي يشكل تركيباً شبكياً حول الغشاء البلازمي للبكتيريا. وحين تتكاثر البكتيريا، تتفتح ثقبوب صغيرة في أثناء انقسام الخلية، ثم تُملأ هذه الثقبوب بالببتيدوجلايكان المنتج حديثاً لإعادة بناء الجدار.

وتعمل البنسلينات على حجب الدعامات البروتينية التي تربط الببتيدوجلايكانات معاً، وهذا ما يمنع البكتيريا من إغلاق الثقبوب في جدرها الخلوية. وما دام تركيز الماء في السائل المحيط أعلى مما هو في داخل البكتيريا، فإن الماء يندفع من خلال الثقبوب إلى الخلية، وتنفجر البكتيريا (الشكل 9-34). إلا أن الخلايا الحقيقية النواة لا تتأثر، لأنها لا تمتلك جدرًا خلوية من الببتيدوجلايكان. ولا تستجيب البكتيريا سالبة الغرام للبنسلين، لأن طبقة الببتيدوجلايكان الرقيقة محاطة بغشاء خلوي ثانٍ. وبدلاً من ذلك، فإن بعض المضادات الحيوية تستهدف الغشاء الخلوي.

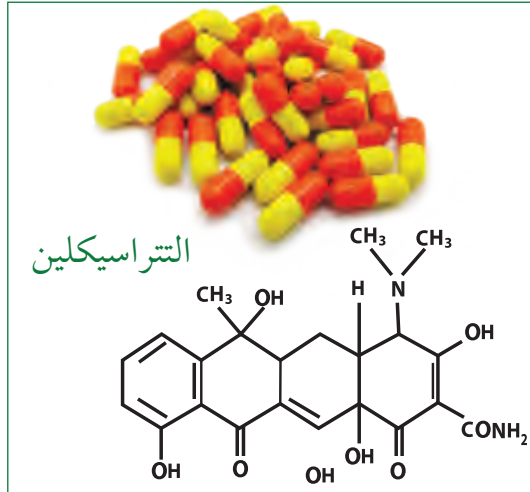


شكل 9-35 تدمير البوليميكسينات الأغشية الخلوية للبكتيريا سالبة الغرام.

والمضادات الحيوية في البوليمكسين وعائلة الأمينوجلايكوسيد هي عوامل الغشاء الخلوي التي تهاجم الغشاء الخلوي للبكتيريا سالبة الغرام. وترتبط البوليميكسينات بعديدات السكر الليبيدية المتصلة بالغشاء الخارجي (الشكل 9-35). ثم تعمل جزيئات الدواء كالم المنظفات التي تكسر طبقة الدهون المزدوجة. وبمجرد تكسير الغشاء الخارجي، فإن البوليميكسينات يمكن لها أن تمزق الغشاء الداخلي، وتسبب في موت البكتيريا. وتفتقر الخلايا الحقيقية النواة إلى عديدات السكر الليبيدية نفسها. وعلى هذا، فإن خلايا جسمك تكون آمنة، لأنها لا تجذب جزيئات البوليميكسين ولا ترتبط بها.

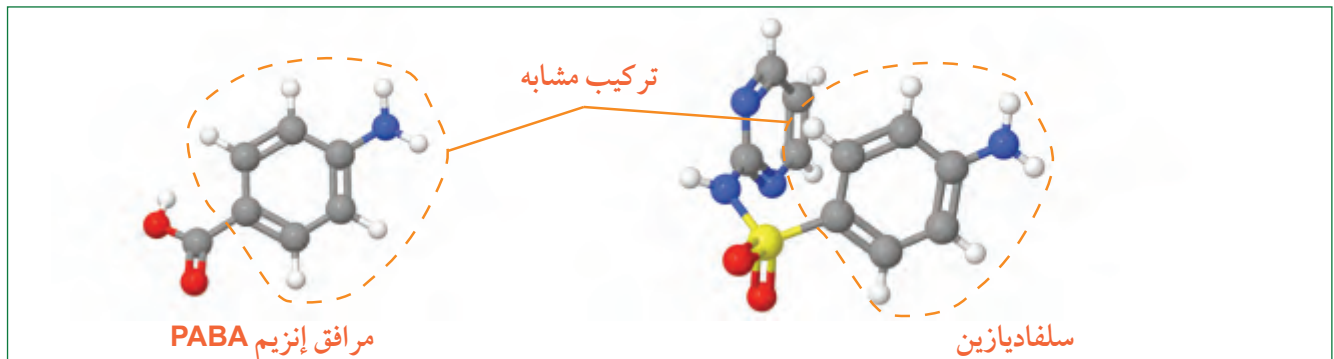
مثبطات بناء البروتين ومضادات الأيض

تعمل بعض المضادات الحيوية، كالإريثروميسين والتتراسيكلين، على تعطيل العمليات التي تنتج بروتينات جديدة في الريبوسومات. هذه المضادات الحيوية تُصنّف على أنها **مثبطات بناء البروتين** **Protein synthesis inhibitors**. وعلى سبيل المثال، فإن التتراسيكلين يعمل من خلال ربط الريبوسوم 30S في البكتيريا، ما يؤدي إلى منع ارتباط tRNA بمعقد rRNA- الريبوسوم. إلا أن هذا الأمر لا يقتل البكتيريا مباشرة، لكنه يثبط نموها بشكل كبير.



وقد تم اكتشاف التتراسيكلينات في الأربعينيات، وأظهرت فاعلية ضد مجموعة واسعة من الكائنات الحية الدقيقة، بما فيها البكتيريا الموجبة الغرام والبكتيريا السالبة الغرام، والكلاميديا Chlamydiae، والميكوبلازما Mycoplasmas، والريكتسيا Rickettsiae، والأوليات الطفيلية Protozoan parasites. والاسم مشتق من التركيب رباعي الحلقات (الشكل 9-36) المشترك بين جميع التتراسيكلينات. وتؤثر التتراسيكلينات في البكتيريا وليس في الخلايا حقيقية النواة، لأن لدى البكتيريا تراكيب رايوسومية مختلفة جداً.

وتعترض أدوية السلفانياميد مثل السلفاديازين والسلفاميثوكسازول الأيض البكتيري. ويسمى هذا النوع من المضادات الحيوية **مضادات الأيض Antimetabolites**. وتشبه السلفانيلاميدات كيميائياً مرافق الإنزيم، حمض البرامينوبنزويك (paraaminobenzoic acid (PABA)). وتمنع هذه الأدوية نمو البكتيريا من خلال العمل كمثبطات تنافسية للإنزيم البكتيري الذي يستخدم PABA في إنتاج حمض الفوليك. وحمض الفوليك مرافق إنزيم في بناء البيورينات و البيريميديونات. ومن دون حمض الفوليك، لا يمكن للبكتيريا إنتاج DNA. وبهذا، يمكن تحديد نمو البكتيريا، من خلال نقص حمض الفوليك. ولا تقوم الثدييات ببناء حمض الفوليك الخاص بها، فلا تتأثر بمثبطات PABA التي تقتل البكتيريا بشكل انتقائي.



شكل 9-37 يعمل السلفاديازين كمضاد حيوي لأن شبيهه الكيميائي بمرافق الإنزيم PABA يسمح للدواء بأن يكون مثبطاً تنافسياً للإنزيمات التي تستخدم PABA.



مزرعة بكتيريا

2-9

سؤال الاستقصاء	كيف يتم استقصاء البكتيريا؟
المواد المطلوبة	أطباق بتري مع آجار مغذ، صابون سائل مضاد للبكتيريا.

الخطوات



1. اكتب على أسفل طبق بتري الخاص بك التاريخ واسم وموقع العينة. ارسم نمطاً على الأسفل بقلم التعليم.
2. بلل الجزء العلوي من ماسح قطني معقم. امسح به المكان الذي تأخذ منه العينات، مثل: داخل فمك، مقابض الباب، أزرار لوحة المفاتيح، وبالوعة الصرف.
3. امسح القطنه بعناية وبشكل متعرج على الآجار في عدة أماكن.
4. رطب ماسحاً ثانياً بمطهر اليدين. وتتبع به النمط المرسوم على الجزء السفلي من طبق بتري.
5. غطّ طبق بتري الخاص بك. وضعه في كيس بلاستيكي بزمّام. ضعه في مكان دافئ (35°C >)، ورطب.
6. لاحظ من خلال الكيس البلاستيكي لمدة أسبوع وسجّل ملاحظاتك. لا تفتح الكيس.

الأسئلة

- a. ارسم أنواع الأشياء التي نمت، ووصفها.
- b. حاول تحديد العفن أو البكتيريا. استخدم أفضل ما لديك لتخمين الصورة، ولكن لا تفتح الكيس البلاستيكي. كلتا المستعمرات البكتيرية والعفنية شائعة. يمكنك استخدام كاميرا رقمية أو مجهر لتكبير صورة مستعمراتك.
- c. صف تأثير المضاد الحيوي. كيف استطعت التأكد من هذا التأثير؟

إساءة استخدام المضادات الحيوية

ثمّة أشخاص يودون أن يتناولوا المضادات الحيوية بمجرد ظهور أيّة علامة من علامات المرض، وهذا تصرف غير صائب، لأنّ جسمك يتفاعل لمحاربة العدوى بشكل طبيعيّ. وفي بعض الأحيان، تستغرق المعركة بعض الوقت، لكن الإفراط في استخدام المضادات الحيوية يشكّل خطرًا على الصحة.



شكل 38-9 المراقب

وعند القيام بتمارين الأوزان الثقيلة، تطلب من صديق أو من مدرب «مراقبتك» (الشكل 38-9)، ولكنّ الهدف من ذلك ليس مساعدتك على رفع الوزن، بل البقاء قربك لتقديم المساعدة. انظر إلى المضادات الحيوية على أنّها «مراقب» في معركتك ضدّ العدوى، وعلى أنّ جسمك قادرٌ على القيام بمعظم العمل. لكنّ، وعندما تكون العدوى هجومية بعنف، فإنّ المضادات الحيوية تمنحك الدّعم.

وليست البكتيريا سبب الأمراض كلّها. فإن كنت تعاني مرضًا فيروسيًا، فإنّ المضادات الحيوية يمكن لها أن تزيد الحالة سوءًا. ويكفيك أن تتذكّر أنّ ثمّة خلايا بكتيريّة في جسمك يفوق عدد الخلايا البشريّة. وعلى هذا، فإنّ أجزاء من الجهاز المناعيّ الطّبيعيّ تعتمد، في وظيفتها، على عمل بكتيريا بروبيوتكيّة مفيدة، في الوقت الذي تقتل فيه المضادات الحيوية البكتيريا المفيدة، بالسهولة التي تقتل بها البكتيريا الخطيرة على الجسم.

لا تساعد المضادات الحيوية الجسم ضدّ الفيروسات، ولكنها قد تجعل الأمراض الفيروسيّة أكثر سوءًا.



شكل 39-9 الصّابون
المضادّ للبكتيريا غير
ضروريّ في الحالات
العاديّة، ويمكن أن يكون
ضارًا بالفعل.

يمكن للمضادات الحيوية غير الصّوريّة أن تضعف قدرتك على مكافحة الإصابة بالفيروس. وتشير الأبحاث إلى أنّ بعض الأمراض هي أكثر شيوعًا في مناطق الأثرياء التي يزداد فيها تناول المضادات الحيوية، مقارنةً بمناطق السكّان الأقل ثراءً، والذين يقلّ اعتمادهم على المضادات الحيوية.

ويعدّ غسل اليدين طريقة جيّدة للتّقليل من العدوى البكتيريّة، لكنّ الاستخدام المكثّف للصّابون المضادّ للبكتيريا (الشكل 39-9) قد يكون مصدر قلق في المجتمع الطّبيّ، فمعظم الحالات لا تتطلّب هذا الكمّ من الوقاية. ذلك أنّ التأثير الجانبيّ، غير المقصود، هو أنّ المضادات الحيوية تلحق الضّرر بالميكروبيوم الذي على جلدك، والذي يحافظ على عمل الجهاز المناعيّ بشكل صحيح. صحيح أنّ الأطباء يستخدمون الصّابون المضادّ للبكتيريا، إلّا أن استخدامه غير ضروري للآخرين، بل إنه قد يسهم في التطوّر الخطير للبكتيريا التي تستطيع مقاومة المضادات الحيوية.

مقاومة المضادات الحيوية



شكل 9-40 هذا يعني، في

الواقع أن 0.1% من البكتيريا ما تزال حية وسوف تتكاثر.

تعلن الحملات الإعلانية للصابون المضاد للبكتيريا أن بإمكانه «قتل 99.9% من الجراثيم (الشكل 9-40)». ولكن هذا الإعلان قد يعني أيضًا أن هناك «0.1% من الجراثيم تبقى على قيد الحياة». والسؤال الذي يجب طرحه هو: «ما الجراثيم التي تبقى على قيد الحياة؟» إن العامل المضاد للبكتيريا هو عنصر ضغط آخر على بيئة البكتيريا. وكما تعلّمنا في الوحدة 8، فإن الضغط البيئي هو الذي يدفع إلى حدوث التطور.

يظهر الشكل 9-41 كيف تعمل عملية تطور المقاومة:

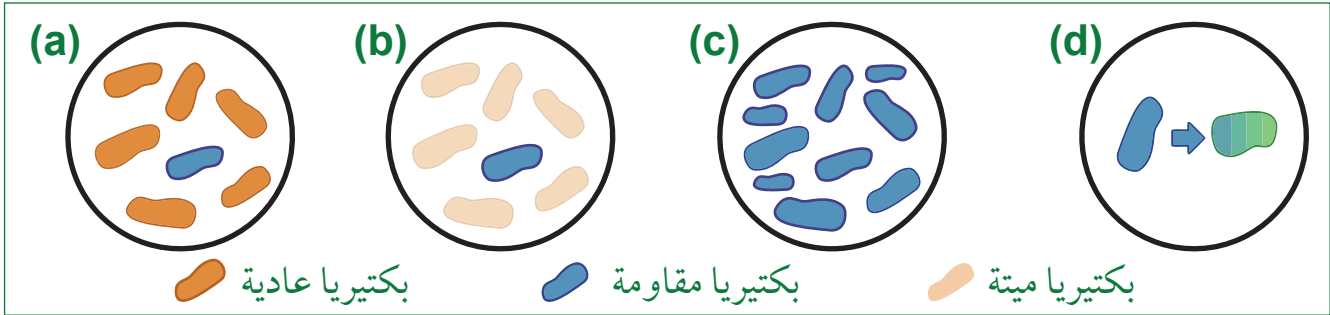
a. واحدة من كل عشرة ملايين بكتيريا تطوّر طفرة مقاومة.

b. تقتل المضادات الحيوية البكتيريا غير المقاومة.

c. تتكاثر البكتيريا المقاومة.

d. تتم مشاركة جين المقاومة عشوائيًا مع البكتيريا الأخرى.

على أن الاستخدام المتكرر للمضادات الحيوية نفسها يجعل التطور يحدث بشكل أسرع، لأنّه يقتل البكتيريا الأقل مقاومة؛ وبذلك، فإن الموارد الباقية ستكون جميعها متاحة للبكتيريا المقاومة.



شكل 9-41 تطور مقاومة المضاد الحيوي.

تتطور البكتيريا بسرعة لأسباب متعددة.

1. البكتيريا لديها معدل طفرات عالٍ.

2. تضاعف البكتيريا عددها كل 20 دقيقة؛ وبالتالي، «تختبر» الطفرات على 1000 جيل وعلى تريليونات من الأفراد في أسابيع.

3. يمكن للبكتيريا تبادل DNA البلازميدات مع البكتيريا الأخرى، حتى من أنواع مختلفة. وهذا ما يسمح للبكتيريا بتبادل الطفرات المقاومة.

وإذا أُتيح لها الوقت الكافي، فإن العلماء يرون أن أية بكتيريا يمكن أن تطوّر مقاومة لأيّ مضاد حيوي خاص. وقد بدأ هذا يحدث بالفعل، ووصل إلى مستوى يندّر بالخطر. وعلى هذا، فإن المجتمع الطبي يقاتل باستمرار البكتيريا المقاومة بمضادات حيوية جديدة مختلفة. والبكتيريا المقاومة هي سلالات من البكتيريا التي طوّرت القدرة على مقاومة المضادات الحيوية الشائعة.

MRSA وخطورة مقاومة المضادات الحيوية

المكورة العنقودية الذهبية *Staphylococcus aureus* هي المسؤولة عن عدوى المكورات العنقودية، وهي بكتيريا واسعة الانتشار، ومميتة في بعض الأحيان. وقد هُزمت هذه البكتيريا عن طريق استخدام البنسلين في الأربعينيات، وكانت المضادات الحيوية في ذلك الحين العلاج المعجزة، وكانت تستخدم على نطاق واسع، ولكن غالبًا ما كان يُساء استخدامها. وقد بدأت سلالة مقاومة من المكورات العنقودية الذهبية تظهر في الخمسينيات، فتم تطوير صنف جديد من البنسلين، وهو الميثيسيلين **Methicillin**، وقد استخدم في علاج النسخة الجديدة من *S. aureus*، وكان العلاج ناجحًا وفعالًا.

وكان عالم بريطاني هو أول من اكتشف سلالة المكورات العنقودية الذهبية المقاومة للميثيسيلين، وكان ذلك في العام 1961. وقد تم التعرف إلى هذا الشكل الجديد من سلالة المكورات العنقودية الذهبية المقاومة للميثيسيلين *MRSA Methicillin Resistant S. Aureus*، في الولايات المتحدة في العام 1968. وفي أواخر سبعينيات القرن الماضي، بدأت *MRSA* وتنوعاتها بالظهور في المستشفيات في جميع أنحاء العالم، مع نتائج دراماتيكية. وتشير البيانات الحديثة إلى أن 700,000 إنسان يموتون من البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية في كل عام، ويتوقع أن يرتفع هذا العدد إلى 10 ملايين في كل عام بحلول العام 2050.

سؤال للمناقشة

ماذا تفعل إذا لم يعد دواءك فعالاً؟

و *MRSA* هي بكتيريا مقاومة لجميع أشكال المضادات الحيوية من فئة البنسلين المسماة بيتا لكتام *beta-lactam* وتشمل الأموكسيسيلين *amoxicillin*، والأوكساسيلين *oxacillin* وغيرهما.

ويمثل الاسم *MRSA* للعموم كل أنواع البكتيريا التي طورت مقاومة للمضادات الحيوية. وفي الحقيقة، فإن هناك كثيرًا من السلالات، وكل منها هو في الغالب مقاوم لمضادات حيوية مختلفة. وهناك عدد قليل من المضادات الحيوية التي لا تزال فعالة ضد *MRSA*، لكن أكثرها نجاحًا هو فانكوميسين *Vancomycin*، الذي يمكن استخدامه فقط لعلاج إصابات الأمعاء. هذه المضادات الحيوية المتبقية تستخدم فقط كملاذ أخير، أو عندما يكون الطبيب متأكدًا من هوية البكتيريا المستهدفة. وفي العام 2002، تم اكتشاف سلالة نادرة من المكورات العنقودية الذهبية المقاومة للفانكوميسين.



شكل 9-42 أي 0.1 % من البكتيريا ستبقى حية؟

وفي الوقت الذي أصبح فيه الناس أكثر وعيًا لهذه المشكلة، بدأ صانعو المطهرات بتغيير ملصقات المعلومات على منتجاتهم، يعلنون فيها عن منظفات قادرة على تدمير بكتيريا *MRSA* بمعدل نجاح 99.9% (الشكل 9-42). هذه العلامات يمكن أن تزيد من نسبة بيع المنتج، إلا أن من الخطأ علميًا استخدامه في كل مكان. ذلك أن التأثير الرئيس هو إجبار المزيد من البكتيريا على تطوير مقاومتها بسرعة أكبر. ولأن مجتمع الرعاية الصحية قد أصبح اليوم أكثر وعيًا لمشكلة مقاومة المضادات الحيوية، فإنه قام بوضع احتياطات إضافية للحد من المخاطر.

مشكلات تطوير المضادات الحيوية الجديدة

بدأ العلماء بعد طرح البنسلين بالبحث عن أنواع جديدة ومتنوعة من المضادات الحيوية. لذا، فقد أجريت دراسات على جميع أنواع العفن، والحزازيات، والأوحال والأوساخ، وسمم الثعابين والعناكب والنمل، فتبين أن أي مخلوق هو قادر على البقاء على قيد الحياة باستخدام المواد الكيميائية السامة، قد يكون، هو نفسه، مصدرًا لدواء جديد. وعليه، يمكن أن يقوم عالم مجتهد، لا يغادر مختبره المتخصص، باستخراج السم من الديدان الألفية millipedes، أو من الضفادع السامة في الغابات المطيرة البعيدة (الشكل 9-43).



شكل 9-43 البحث في الغابات المطيرة عن المضادات الحيوية المحتملة.

كانت الاكتشافات مثيرة، وتمت إضافة فئات جديدة من المضادات الحيوية إلى قائمة متزايدة طوال الخمسينيات. إلا أن عدد الاكتشافات تراجع حتى العام 1984، عندما تم اكتشاف الفئة الجديدة الأخيرة. وقد كان لنجاح المضادات الحيوية تلك آثار جانبية سيئة، تمثلت في الحد من البحث لمدة عقود. وعلى هذا، فإن جميع المضادات الحيوية المتوافرة والمنتجة اليوم ليست إلا أصنافاً من الاكتشافات القديمة.

ومع ظهور MRSA، جددت الحاجة إلى وجود مضادات حيوية جديدة أهمية البحث من جديد. وعليه، فإن العلماء يعملون في كل مكان للعثور على مضادات حيوية محتملة. ولسوء الحظ، فإن أعداد الغابات المطيرة تنحسر ويقل تنوعها الحيوي الواسع بسبب قطع الأشجار، وذلك لاستثمار المساحات التي تحقق الربح المادي.



تنين كومودو (Komodo Dragon) هو أكبر الزواحف الحية في العالم. ولسنوات طويلة، كان يُظن أن فمه مليء بالبكتيريا الغربية التي تقتل بسرعة، فكان بذلك مرشحاً رئيساً لدراسة المضادات الحيوية. ولكن، سرعان ما انقطع الأمل، عندما تم اكتشاف أن ما في فمه ليس سوى سم مألوف، يحقنه في جسم فريسته. ومهما يكن الأمر، فإن دمه يحتوي على جزيء واعد قد يساعد فعلاً على مواجهة MRSA.

شكل 9-44 تنين كومودو.

الفيروسات والتحصين

طوّر جسم الإنسان دفاعات طبيعية قوية ضد الفيروسات. ويؤدي التعرّض الطفيف لبعض الفيروسات إلى قيام جهاز المناعة بإنتاج الأجسام المضادة التي تتعرّف إلى الفيروسات وتقتلها. **والتحصين Immunization** هو التقنية التي تستخدم نسخة حميدة من فيروس يُسمّى **اللقاح Vaccine** لتشجيع الجسم على إنتاج الأجسام المضادة الطبيعية، فيصبح الجسم محصّناً ضد الفيروس الحقيقي.

الفيروسات ليست بكتيريا واللقاحات ليست مضادات حيوية.



الجدري هو مرض فيروسي تسبّب في موت 500 مليون شخص في الماضي. وقد قام، في نهاية القرن الثامن عشر، فريق على رأسه العالم الإنكليزي إدوارد جينر، بإنتاج لقاح ضد الجدري. وإلى يومنا هذا، يتمّ تلقيح معظم الناس ضد هذا المرض في مرحلة الطفولة. وقد كانت عملية التلقيح ناجحة للغاية، إذ رصدت آخر حالة وفاة بسبب الجدري في العام 1978.



شكل 9-45 اللقاح

واللقاح هو بشكل عام طبيعي أو صناعي. وهو شكل مضعّف أو مقتول من الفيروس (الشكل 9-45). والجسم، إذا حقن باللقاح، يبنى جهاز المناعة فيه أجساماً مضادة محددة تتعرّف إلى هذا الفيروس. وفي بعض الحالات، يلزم حقن الجسم بجرعات تعزيزية، بعد اللقاح الأول ببضع سنوات. وفور تعرّف جهاز المناعة إلى نمط الفيروس بشكل تام، يتذكر الجسم نمط مطابقة الأجسام المضادة لهذا الفيروس طوال العمر. فإذا تعرّض الجسم في وقت لاحق للفيروس الحقيقي، فإنه ينتج تلقائياً الجسم المضاد الصحيح لمكافحته.

ولقد تمكنت اللقاحات من القضاء على كثير من الأمراض بنجاح كبير، حتى إنّ الأجيال الشابة لا تتذكر الخطر الذي كانت تمثله هذه الأمراض ذات يوم.

إلا أن قلة المعرفة دفعت ببعض الآباء إلى رفض جميع اللقاحات. وبالرغم من بعض مخاطر اللقاحات، إلا أنها تبقى طفيفة مقارنةً بخطر المرض. ومع ذلك، فإن الأسباب تتعدّد حول رفض الآباء تلقيح أطفالهم.

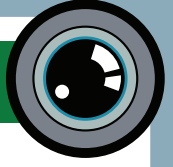


شكل 9-46 التلقيح خلال مرحلة الطفولة خيار حكيم.

لكن المهنيين الطبيين يتفقون على أنّ رفض تلقيح الطفل هو خيار خطير. وما يؤكد هذه الخطورة أن حالات الحصبة وشلل الأطفال تظهر اليوم في المناطق التي تختار فيها المجموعات عدم تلقيح أطفالهم. وبسبب العودة المفاجئة للحصبة وشلل الأطفال، تحوّل النقاش مرة أخرى لصالح اللقاحات (الشكل 9-46).

1.  أعطِ ثلاثة أسباب لتسمية البنسلين « الدواء المعجزة ».
2.  أيّ العبارات الآتية تبيّن وظيفة المضادات الحيوية؟
 - a. أحد المضادات الحيوية القوية يمكن أن يقتل كل البكتيريا.
 - b. تعمل جميع المضادات الحيوية عن طريق تصديع الجدار الخلوي للبكتيريا.
 - c. المضادات الحيوية المختلفة فعالة ضد البكتيريا المختلفة.
 - d. المضادات الحيوية مفيدة ضد كل الأمراض المعدية بما في ذلك مسببات الأمراض الفيروسية والبكتيرية والفطرية.
3.  لماذا لا يدمر البنسلين الخلايا حقيقية النواة في الجسم؟
 - a. الخلايا حقيقية النواة لها عضيات.
 - b. تحمي الخلايا حقيقية النواة DNA في النواة.
 - c. الخلايا حقيقية النواة ليس لديها جدر من الببتيدوجلايكان.
 - d. لا تحتوي الخلايا حقيقية النواة على عديدات التسكر الليبيدية في الغشاء الخلوي.
4.  صف الفرق بين كيفية عمل التتراسيكلين وعمل البنسلين.
5.  صف العلاقة بين مفهوم التثبيط التنافسي وعمل بعض المضادات الحيوية.
6.  لماذا يجب علينا أن لا نستخدم جميعًا المضادات الحيوية نفسها طوال الوقت؟ لماذا يكون استخدام المضادات الحيوية نفسها في كل وقت فكرة سيئة، حتى وإن كانت المضادات الحيوية فعّالة لجميع الأمراض البكتيرية.
7.  ما هي مقاومة المضادات الحيوية؟
 - a. قدرة البكتيريا على الالتصاق بالأسطح كبطانة المعدة.
 - b. قدرة الببتيدوجلايكان على منع بعض المركبات من عبور جدار الخلية البكتيرية.
 - c. قدرة البكتيريا السالبة الغرام على أن لا تتضرر بالمضادات الحيوية التي تعمل ضد البكتيريا الموجبة الغرام.
 - d. تطور القدرة البكتيرية على البقاء والتكاثر حتى في وجود مضاد حيوي.

العلم والعلماء



شكل 9-47 الدكتور سلمان واكسمان في مختبره.

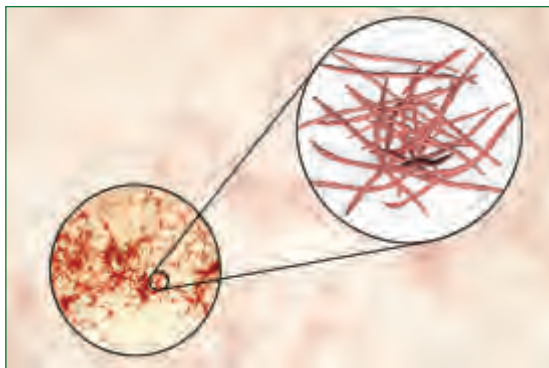
الدكتور سلمان واكسمان (1888-1973)

ولد سلمان واكسمان في العام 1888 في بريلوكا بالقرب من كييف في أوكرانيا. وقد حصل على شهادته الجامعية من جامعة روتجرز في الولايات المتحدة الأمريكية في العلوم الزراعية في العام 1915. ولأنه عالم استثنائي، فقد تم تعيينه أول مدير لمعهد واكسمان لعلم الأحياء الدقيقة في العام 1949، ثم أسس مع زوجته مؤسسة «علم الأحياء الدقيقة» لتمويل البحث العلمي المستمر في هذا المجال.

يبدأ تطوير الدواء بإيجاد مركبات محتملة من ملايين المواد الطبيعية الموجودة أو التي يمكن تصنيعها. وقد اكتشف الدكتور سلمان واكسمان، وفريقه من

الطلاب والباحثين، الكثير من المضادات الحيوية، بما في ذلك الأكتينومايسين Actinomycin (1940)، والكلافاسين clavacin، والسُتربتوتريسين streptothricin (1942)، والسُتربتومايسين streptomycin (1943) والجريسيس grisein (1946)، والنيوميسين neomycin (1948) وغيرها. وقد حصل الدكتور واكسمان على جائزة نوبل في العام 1952 لاكتشافه السُتربتومايسين الذي يعدّ واحدًا من أفضل عشرة اختراعات غيرت وجه العالم.

كان البروفسور واكسمان خبيرًا في الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في التربة؛ وكان بحثه الأول حول بكتيريا التربة، وتحلل بقايا النباتات والحيوانات. وقد لاحظ واكسمان أن بكتيريا التربة من عائلة أكتينوميسيتس Actinomycetes تنتج مركبًا غير معروف، يكبح الميكروبات الأخرى؛ وقد ساعد واكسمان أحد طلابه في الدراسات العليا، ألبرت شاتز، على عزل السُتربتومايسين، وهو مركب أمينوجلايكوسيدي يثبط إنتاج البروتينات. وفي العام 1945، كان الدواء الجديد أول عقار نجح في علاج مرض السل.



شكل 9-48 الأكتينوميسيتس

والأكتينوميسيتس مجموعة من الكائنات الحية التي تشمل الكثير من أنواع البكتيريا العصوية موجبة الغرام (الشكل 9-48). وقد تم اشتقاق الكثير من المضادات الحيوية المهمة، بالإضافة إلى السُتربتومايسين من هذه المجموعة، بما في ذلك الفانكوميسين vancomycin، والنيوميسين neomycin، والإريثروميسين erythromycin، والتتراسيكلين tetracycline.

الوحدة 9

مراجعة الوحدة

الدرس 9-1 أنماط الأمراض

- المرض يمكن أن يكون **معدياً Infectious** أو **غير معدٍ Non-infectious**. وتُعدُّ الأمراض غير المعدية **انتقالية Communicable** إذا كانت تنتقل من الشخص المصاب إلى آخرين، وغير انتقالية إذا كانت لا تنتقل من الشخص المصاب إلى آخرين.
- الأمراض الانتقالية تسببها **مسببات أمراض Pathogens** التي قد تكون **فيروسًا Virus**، أو **بكتيريا Bacteria** أو **فطرًا Fungus**.
- **النَّاقِل Vector** هو الكائن الذي يحمل مسبب المرض وينقله.
- الفيروسات جسيمات غير حية تحتوي على DNA أو RNA. وهي تتكاثر في داخل خلايا العائل.
- تشمل الأمراض الفيروسية الزكام والإنفلونزا ومرض نقص المناعة المكتسبة AIDS.
- إنّ عدد الخلايا البكتيرية في الجسم يفوق عدد الخلايا البشرية، ولكن معظمها غير ضار أو يكون مفيداً. ومسببات الأمراض البكتيرية تُسبب الكوليرا والتيفوئيد.
- يصنف **اختبار غرام Gram test** البكتيريا على أساس تركيب الجدار الخلوي.
- مسببات الأمراض الفطرية هي عادة الخمائر والعفن في أكثر الأحيان. «قدم الرياضي» يسببه العفن، وعدوى الخميرة مشكلة شائعة في النساء.

الدرس 9-2 المضادات الحيوية

- المضادّ الحيويّ دواء يقتل البكتيريا، ولكنه غير ضار للكائن الحي العائل، لأن الدواء يعمل على تركيب غير موجود في الخلايا حقيقية النواة. والبنسلين هو أول مضاد حيوي تم اكتشافه، وكان ذلك في العام 1928.
- هناك الكثير من المضادات الحيوية المختلفة، وكُل منها فعال ضد بعض البكتيريا وليس غيرها. ولا يوجد مضاد حيوي فعال ضد كل البكتيريا.
- **عوامل الجدار الخلوي Cell wall agents** مثل البنسلين تهاجم الببتيدوجلايكان في البكتيريا الموجبة الغرام. **عوامل الغشاء الخلوي Cell membrane agents** مثل البوليميكسين تهاجم أغشية البكتيريا السالبة الجرام.
- **مثبطات بناء البروتين Protein synthesis inhibitors** مثل التتراسيكلين تعطل الريبوسومات البكتيرية فلا تستطيع البكتيريا إنتاج البروتينات. **مضادات الأيض Antimetabolites** مثل السلفانيلاميدات sulfanilamides تعترض المسارات الأيضية مثل بناء DNA.
- تتطور البكتيريا بسرعة. وقد أصبحت الكثير من السلالات مثل **MRSA مقاومة Resistant** لمعظم المضادات الحيوية.
- **تنتج اللقاحات Vaccines** مناعة طبيعية للفيروسات وليس مضادات حيوية.

تحضير للاختبار

1. أيّ من الأمراض الآتية لا يسبّبه فيروس؟
 - a. AIDS
 - b. الإنفلونزا
 - c. عدوى المكورات العنقودية.
 - d. الزكام
2. أيّ جزء من الجسم فيه التركيز الأعلى من البكتيريا؟
 - a. الكبد
 - b. القلب
 - c. القولون السفلي.
 - d. مجرى الدّم.
3. كيف وصل الطّاعون الأسود إلى أوروبا؟
 - a. في أثناء الحرب.
 - b. على متن السفن.
 - c. من خلال الزراعة.
 - d. من خلال البناء.
4. ما النّاقل؟
 - a. البعوضة
 - b. الحيوان الخطير.
 - c. حامل مسببات المرض.
 - d. المياه الملوّثة.
5. لماذا لا يهاجم البوليميكسين الخلايا في جسمك؟
 - a. الخلايا حقيقية النواة لها عضيات.
 - b. تفتقر الخلايا الحقيقية النواة إلى جُدُر من الببتيدوجلايكان.
 - c. الخلايا الحقيقية النواة لها ريبوسومات بتراكيب مختلفة.
 - d. تفتقر الخلايا حقيقية النواة إلى عديدات التسكر الليبيدية على الأغشية الخلوية.
6. أيّ العبارات الآتية صحيحة عن البكتيريا؟
 - a. يطلق اسم فيروس على أصغر بكتيريا
 - b. كل البكتيريا التي تتكاثر في جسم الإنسان تسبّب له المرض.
 - c. يوجد في جسم الإنسان عدد من بكتيريا يفوق عدد الخلايا البشرية.
 - d. المضادات الحيوية الأحدث هي فعّالة ضد كل أنواع البكتيريا.

7. ما وظيفة المضادات الحيوية؟

- a. إنتاج بكتيريا أفضل.
 - b. القضاء على البكتيريا كلها في جسمنا .
 - c. الحلول مكان جهازنا المناعيّ لئلا نشعر بأي انزعاج.
 - d. مساعدة جهازنا المناعيّ في التغلب على العدوى التي يجد صعوبة في التعامل معها.
8. بأي مما يأتي يعطل مضاد الأيض، السلفاديازين البكتيريا؟

- a. تدمير بيتيدوجلايكان الجدار الخلوي.
 - b. إذابة الأغشية الخلوية الداخلية والخارجية.
 - c. اعتراض وظيفة الريبوسومات.
 - d. تثبيط وظيفة الإنزيم الحاسم.
9. أيّ من المضادات الحيوية الآتية لا تزال فعّالة ضدّ المكورات العنقودية الذهبية المقاومة للميثيسيلين MRSA؟

- a. باكتريم Bactrim
- b. ميثيسيلين Methicillin
- c. أموكسيسيلين Amoxicillin
- d. ستربتومايسين Streptomycin

10. كيف يسبب مضاد حيوي تطور البكتيريا؟

- a. يقَدّم مفترسًا إلى البيئة.
- b. يقَدّم تباينات إلى البيئة.
- c. يقَدّم طفرات إلى البيئة.
- d. يقَدّم ضغطًا إلى البيئة.

11. أي مما يأتي ليس مرضًا فطريًا؟

- a. الكوليرا
- b. قدم الرياضي.
- c. عدوى الخميرة.
- d. البياض الزغبي على نبات الطماطم.

12. على أساس أية سمة يميّز اختبار غرام البكتيريا من بعضها؟

- a. الشكل الكروي مقابل الشكل العصوي.
- b. الشكل الكروي مقابل الشكل الحلزوني.
- c. وجود أو عدم وجود البيتيدوجلايكان.
- d. جدار البيتيدوجلايكان الخارجي أو الغشاء الخلوي المزدوج.

أسئلة الإجابات القصيرة

الدرس 1-9 أنماط الأمراض

13. اشرح الفرق بين الأمراض المعدية والأمراض غير المعدية، وأعطِ مثالاً واحداً على كل نوع. 
14. هل تُعدُّ كل البكتيريا مسببات أمراض؟ علل إجابتك، وأعطِ أمثلة. 
15. ما الأنواع الثلاثة الأكثر شيوعاً من مسببات الأمراض الانتقالية؟ 
16. كيف لشخص أن يصاب بمرض وراثي؟ 
17. أعطِ مثالين على أمراض تسببها عوامل بيئية. 
18. أي من المرضين الافتراضيين الآتين سيكون له تأثير أكثر خطورة في جماعة سكانية. أعطِ سببين على الأقل لدعم إجابتك. 
- a. المرض (a) بكتيري، ويتنشر عن طريق الرذاذ المنتشر بالهواء كتلك التي يطلقها السعال.
- b. المرض (b) بكتيري وسببه عضه خفاش مصاب.
19. هل الفيروس حيّ أم غير حيّ؟ اذكر برهانين على الأقل يدعمان إجابتك. 
20. اشرح لماذا تعد البعوضة أكبر قاتل للبشر من مملكة الحيوان؟ 
21. لماذا كان من الصعب جداً السيطرة على الطاعون؟ 
22. ابحث في وباء الأنفلونزا Influenza العالمي في العام 1918. 
- a. ما كان مسبب المرض؟
- b. ما هي وسائل انتقاله؟
- c. كم كان عدد الأشخاص الذين أصيبوا به؟
- d. كم من الناس ماتوا؟
23. ما الذي يجعل انتشار التيفوئيد في مساحة أكبر أسهل من انتشار الكوليرا والإي كولاي؟ 
24. ما المشترك بين المناطق التي تشكّل الكوليرا والتيفوئيد خطراً فيها؟ 
25. ما خصائص البكتيريا التي تجعل بعضها موجبة الغرام والأخرى سالبة الغرام؟ 
26. ابحث في ثلاث طرائق لمنع انتشار مرض فيروسي. 

27. اذكر ثلاثة اختلافات بين الفطريات والبكتيريا. 

28. أعطِ مثالاً واحداً على عفن مفيد وآخر على عفن ضار. 

الدرس 9-2 المضادات الحيوية

29. هل يمكن علاج قدم الرياضي بالمضادات الحيوية؟ لماذا؟ 

30. هل يمكن علاج الإنفلونزا بالمضادات الحيوية؟ لماذا؟ 

31. لماذا يُعدُّ ضرورياً معرفة نوع البكتيريا قبل وصف أيِّ مضاد حيويٍّ؟ 

32. اشرح الآثار السلبية الشائعة التي يمكن أن تنتج من استخدام المضادات الحيوية. سيكون عليك أن تبحث عن معلومات إضافية للإجابة. 

33. ما الخاصية الأولى لدى البكتيريا الموجبة الغرام التي تجعل البنسلين فاعلاً ضدها. 

34. لماذا يُعدُّ البنسلين غير فعال ضدَّ البكتيريا السالبة الغرام؟ 

35. كيف يمكن للمستشفيات وأماكن إعداد الطعام أن تمنع نموَّ البكتيريا المقاومة للمطهّرات؟ 

36. ما أنواع الكائنات الحية التي يبحث عنها العلماء لإمكانية امتلاكها مضادات حيوية كيميائية؟ اشرح سبب ميل هذه الأنواع من الكائنات الحية إلى أن تحتوي على مركبات أكثر نشاطاً من الناحية الطبية. 

37. كيف يمكن أن تؤدي «الصدفة» إلى الاكتشافات العلمية؟ 

38. يمثل إطعام سكان العالم مشكلة كبيرة ومتنامية. لإنتاج المزيد من المواد الغذائية في الأراضي المحدودة، يحشد بعض المزارعين الحيوانات في أماكن متقاربة. هذا يجعل من السهل جداً انتشار المرض من حيوان إلى آخر بسرعة. ولمنع المرض المحتمل، يضيف المزارعون مضادات حيوية للطعام لكل حيوان، كل يوم، حتى عندما لا تكون أي من الحيوانات مريضة. 

a. لماذا تُعدُّ ممارسة إضافة المضادات الحيوية خطيرة؟

b. اقترح حلاً لإنتاج المواد الغذائية من دون المضادات الحيوية.

39. ما المخاطر التي قد تنتج من تطوير دواء جديد؟ 

40. ماذا يحدث للسّمات الوراثية للبكتيريا عندما يقضي المطهّر على 99.9 % من البكتيريا؟ 

41. ما الفرق بين اللقاح والمضاد الحيوي؟ 



الوحدة 10

الكائنات الحية الدقيقة والوقود الحيوي

Microorganisms and Biofuels

في هذه الوحدة

B1126

B1127

الدرس 1-10: التحلل والتحلل الحيوي

الدرس 2-10: الوقود الحيوي

مقدمة الوحدة

تخيّل ما كان سيحدث لو لم تكن هناك وسائل للتحلّل. ولو لم تسهم الكائنات الحية الدقيقة في عمليّة التحلّل، لكان سطح الأرض الآن مغطّى بطبقة دائمة من النباتات والحيوانات الميتة، ولما تمّت إعادة تدوير المواد الغذائية مرة أخرى إلى الكائنات الحية.

لكن، ولحسن الحظ، فقد تطوّرت أنواع كثيرة من الكائنات الحية، مثل البكتيريا والفطريات، لتعمل كمُحلّلات، وتتغذى على مخلفات النباتات والحيوانات الميتة، حيث تُفكّك الأنسجة الكيميائية المكوّنة لها. وتقوم الحيوانات أو أشعة الشمس أو الماء أو الأمواج بمساعدة المُحلّلات على تفتيت المادّة فيزيائيًا.

وتقوم بعض الكائنات الحية الدقيقة بالتحليل الحيوي، أي إنّها تُحلّل المركّبات العضوية، مثل الهيدروكربونات المُعقّدة. ونحن اليوم نعتد على الهيدروكربونات مصدرًا للوقود الأحفوري. وكلّما ازدادت معرفة العلماء بالمسارات الكيميائية المستخدمة في الطبيعة، ازدادت معها قدرتنا على تطوير تقنيات جديدة تساعد على الاستغناء عن طاقة الوقود الأحفوري، وتقدّم حلولًا للطاقة أكثر خضرة وأطول استدامة بيئية.

الأنشطة والتّجارب

- | | |
|------|--|
| 1-10 | تلف الفراولة |
| 2-10 | التكنولوجيا الحيوية في تنظيف تسرّب النفط |

الدرس 10-1 التحلل والتحلل الحيوي

Decomposition and Biodegradation



شكل 10-1 فهم المسارات الكيميائية التي تستخدمها البكتيريا والفطريات طبيعياً لتفكيك المواد العضوية يساعدنا على إعادة تدوير نفايات النباتات، والماشية والبشر.

تشهد الطبيعة كيفية تدفق المادة والطاقة عبر الجزيئات إلى الكائنات الحية، ومن كائن حي إلى آخر. وفي الوقت الذي تتدفق فيه المادة والطاقة، تتشكل مركبات كيميائية جديدة، ويتم هدم مركبات قديمة. ويمثل هذا التدفق دورة كاملة تُسيّر بها الكائنات الحية الذاتية التغذية مستخدمةً طاقة الشمس. وتُشكل واحدة من المراحل الحاسمة في الدورة تلك الكائنات التي تحوّل على الطاقة من المواد العضوية الميتة، أو من مهاجمة المادة الحية، وإتلافها ببطء، معيدة بذلك المواد الغذائية إلى التربة أو إلى الهواء، لاستخدامها مرة أخرى. هذه العلاقات الهدمية المُعقّدة تمثل مسارات كيميائية يمكن دراستها لتحسين جودة المُنتجات، أو لتنظيف النفايات التي نخلفها (الشكل 10-1).

المضردات



دورات جيوكيميائية حيوية

Biogeochemical cycles

دورة الكربون-الأكسجين

Carbon- oxygen cycle

Nitrogen cycle

دورة النيتروجين

Decomposition

التحلل

Biodegradation

التحلل الحيوي

Saprophyte

رمية التغذية

Extra-cellular digestion الهضم خارج الخلوي

Pathogen

مسبب المرض

Landfills

مكبّ النفايات

Lignin

الليجنين

Bioremediation

المعالجة الحيوية

Byproduct

المنتج الثانوي

مخرجات التعلم

B1126.1 يصف دور الكائنات الدقيقة في

التحلل الحيوي.

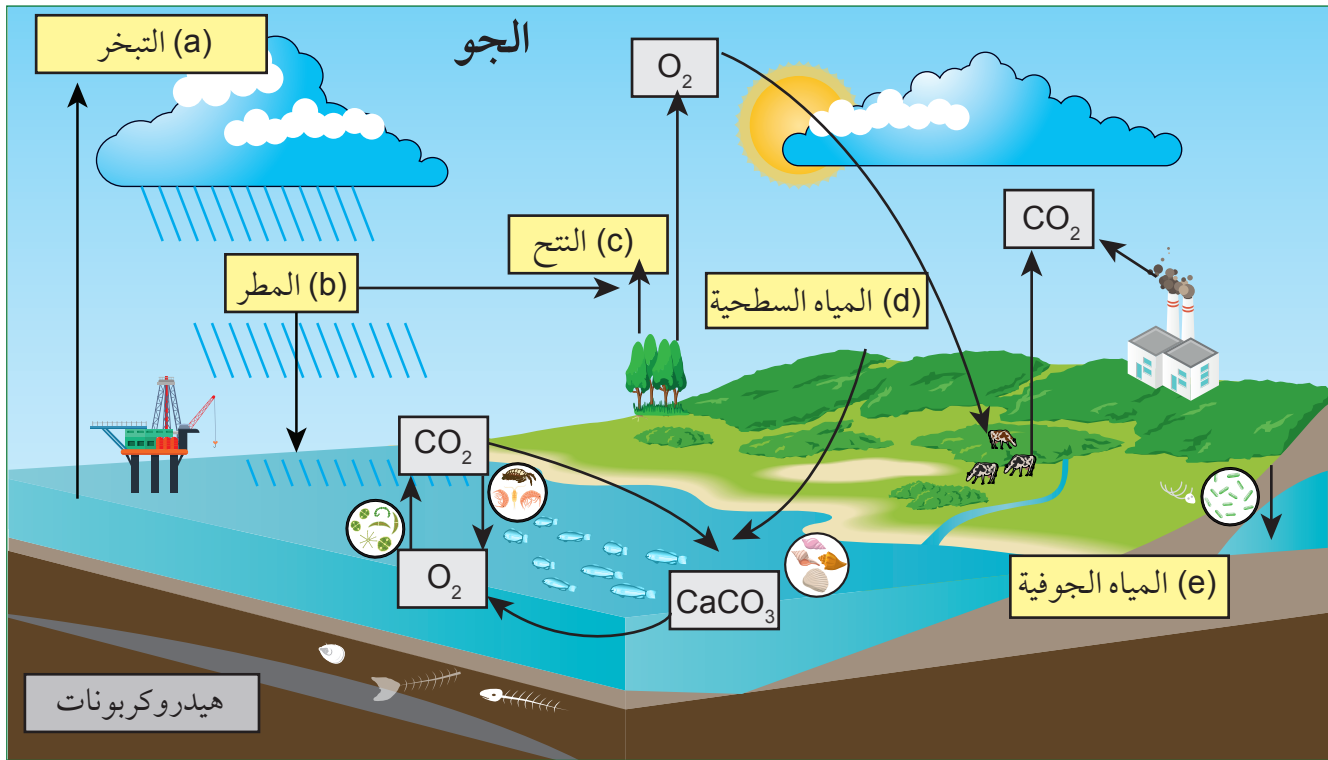
B1126.2 يتعرّف إلى تأثير الظروف البيئية

في سرعة التحلل الحيوي.

تدوير المادة

يرتبط تدوير المادة في أنظمة علم الأحياء بأربع موادَّ أساسية، هي: الكربون، والأكسجين، والماء، والنيتروجين. وهي موادَّ تعدّ جزءًا من كل نظام طبيعي على الأرض، وتمثل **الدورات الجيوكيميائية الحيوية Biogeochemical cycles**. وتنقل تلك الدورات العناصر من الكائنات الحية والتربة والماء والهواء وإليها.

وتمثّل **دورة الكربون-الأكسجين Carbon-oxygen cycle** كيفية تبادل هذين العنصرين بين البيئة والكائنات الحية (الشكل 10-2). يوجد الكربون غير الحيوي في الغلاف الجوي بشكل ثاني أكسيد الكربون، وبشكل ثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء. أمّا كربونات الكالسيوم (CaCO_3)، فتوجد في الصخور ورواسب السواحل. وتستخدم الكائنات الحية كربونات الكالسيوم بوصفها مادة بنائية للأصداف والهياكل العظمية. ويمثّل الكربون والأكسجين معًا 84 % من متوسط كتلة المركّبات الحيوية، مثل الكربوهيدرات والبروتينات والليبيدات والأحماض النووية. وقد حدث، على مدى الزمن الجيولوجي، تدوير الكربون والأكسجين في داخل الأنظمة الحية والأنظمة غير الحية معًا. وتعدّ هيدروكربونات الوقود الأحفوري، مثل الفحم الحجري والغاز الطبيعي والبترو، جزءًا من تلك الدورة.



شكل 10-2 ترابط دورة الكربون-الأكسجين ودورة الماء.

ترتبط دورة الماء (الشكل 10-2a-e) مباشرة بدورة الكربون-الأكسجين، حيث يتبخّر الماء ويتساقط أمطارًا، ثم يعاد إلى الهواء عن طريق النباتات، ليُعاد تدويره عن طريق المياه السطحية والمياه الجوفية. أمّا **دورة النيتروجين Nitrogen cycle** فتحدث بشكل منفصل عن هذه الدورات، لأن الكائنات الحية لا تأخذ النيتروجين بحالته كعنصر أو كغاز مباشرة. وعلى الرغم من أنّه الغاز الأكثر وفرة في الجو، فإن معظم الكائنات الحية لا يمكنها استخدام النيتروجين الجويّ بشكله الغازيّ N_2 .

التحلُّل والتحلُّل الحيوي

التحلُّل Decomposition هو العملية التي يتمُّ بها هدم المواد العضوية إلى أشكال أبسط. ويشمل التحلُّل تلك العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تحدث بفعل عوامل حيَّة وغير حيَّة معًا. وتُعَدُّ الرياح، والتبخُّر، وأشعة الشمس، والطقس، عوامل غير حيوية تسهم في جزء من التحلُّل. أما العوامل الحيوية التي تسهم في التحلُّل، فتشمل الحيوانات الرمِّية والحشرات والفطريات، والطلائعيات، والبكتيريا. ويُعدُّ التحلُّل خطوة ضرورية في الدورات الطبيعية للكربون، والنيتروجين، والفوسفور، وسواها من العناصر.

ويبين الشكل 3-10 كيفية دخول النيتروجين السلاسل الغذائية وأهمية عملية التحلُّل في اكتمال دورة النيتروجين.

1. تأخذ البكتيريا غاز N_2 من التربة والغلاف الجوي، وتحوِّله إلى نترات NO_3 . ثمَّ تأخذ النباتات النيتروجين من النترات كي تصنع البروتينات.

2. تأكل الحيوانات البروتينات النباتية، ويتحوَّل النيتروجين إلى بروتينات حيوانية، وأحماض نووية، وسواهما من المُركَّبات.

3. عندما تموت النباتات والحيوانات، تؤثر العوامل الجوية، وضوء الشمس، والنشاط الإنزيمي للمُحلِّلات في جميع الجزيئات، ثم تعيد تلك العوامل نفسها النيتروجين إلى التربة، أو إلى الجو، لبدء الدورة مرة أخرى.



شكل 3-10 دور المُحلِّلات في دورة النيتروجين.

التحلُّل الحيوي Biodegradation هو الهدم الكيميائي للمواد العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، مثل البكتيريا والفطريات. ويمثِّل التحلُّل الحيوي القسم الحي من عملية التحلُّل. وفي أثناء التحلُّل الحيوي، تقوم الإنزيمات في الخلايا الحية بهدم الجزيئات العضوية- الحية والاصطناعية على حد سواء، كأن تقوم بعض الميكروبات بهضم الأكياس البلاستيكية القابلة للتحلُّل الحيوي في أقلَّ من سنة واحدة، في بيئة يتوافر فيها الأكسجين والماء.

والتحلُّل الحيوي هو عملية طبيعية يمكن دمجها في معالجة نفايات الإنسان والنفايات الأخرى. ويجري في كثير من المدن تحويل المواد العضوية، كفضلات الغذاء وقصاصات العشب، إلى سماد. ويُعدُّ التحويل إلى سماد عملية تحلُّل حيوي يديرها الإنسان. وتقوم بعض المدن اليوم بإنشاء محطات لمعالجة المياه العادمة التي تستخدم التحلُّل الحيوي لهدم المُكوِّنات العضوية في مياه الصرف الصحي.

تدوير الطاقة بواسطة المُحلّلات

يحدث التحلل بواسطة أنواع حية مختلفة. والكائن الحي الذي يمكن أن يعيش على مادة ميتة أو منحلّة يعرف باسم **رَمّي التغذية Saprophyte**. ومعظم رَمّيات التغذية كائنات بسيطة، لا تمتلك أنسجة مُعقّدة ولا أعضاء. وهي تقوم بامتصاص جميع المواد الغذائية، عندما تكون على احتكاك مباشر مع مصدر الغذاء. وتقوم رَمّيات التغذية البكتيرية والفطرية بالدور الأكبر كمُحلّلات.

في الغابات يُغطّي الخشب والأوراق الساقطة سطح التربة في الغابة، فتفتّت ديدان الأرض والحشرات الأوراق أو الخشب إلى قطع أصغر، ما يزيد من مساحة سطحها. وتقوم البكتيريا والفطريات، بناءً على ذلك، بتشكيل مستعمرات على سطح الأنسجة الميتة: تفرز تلك الكائنات إنزيمات قوية عبر

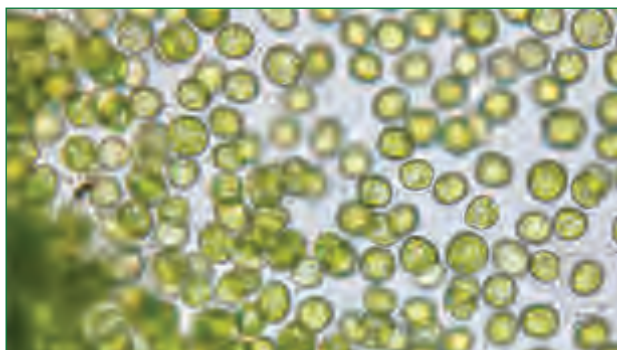


جُذرها وأغشيتها الخلوية. وتهدم الإنزيمات الغذاء وتمتصه، في عملية تُسمّى **الهضم خارج الخلوي Extra-cellular digestion**.

ثمّ تُكسّر الجزيئات الحيوية الكبيرة، مثل السليلوز والبروتينات إلى جزيئات صغيرة، بما يكفي لامتصاصها. وفي حالة الفطريات، تنمو الخيوط الطويلة المتعددة الخلايا مباشرة في المواد العضوية لامتصاص المواد الغذائية بكفاءة أكبر (الشكل 4-10).

شكل 4-10 تفرز الفطريات إنزيمات من خيوطها لامتصاص الطعام في أثناء نموّها.

والتحلل الحيوي يحدث دائماً، سواء أكان ذلك مطلوباً أم غير مطلوب، وسواء أكان الكائن حياً أم ميتاً. وتخوض النباتات الحية صراعاً لا ينتهي مع المُحلّلات الموجودة في التربة. وتقع على البكتيريا *Rahlstonia solanacearum* المعروفة باسم «عفن البطاطس» البني الموجودة في التربة مسؤولية تلف البطاطس قبل أن يتم حصادها. ويمكن لبكتيريا *Agrobacterium* أن تشكل درنات على جذور النباتات. وتُسمّى الكائنات الدقيقة الضارة أو **المُسببة للأمراض Pathogen** «الآفات» *pests*. وتشمل البكتيريا المفيدة بعض سلالات *Pseudomonas fluorescens*. ولدى هذه البكتيريا نشاط مضادّ للفطريات يوقف تأثير الآفات النباتية.



وعلى عكس البكتيريا والفطريات، فإنّ الطحالب لا تُعدّ من المُحلّلات، بل إنّ كثيراً منها يقوم بالتحليل الحيوي الطبيعي للمواد السامة العضوية وغير العضوية. فالكلوريلّا *Chlorella sp* مثلاً، تستطيع هدم الملوّثات البيئية مثل المبيدات الحشرية أو الأصباغ أو المواد الكيميائية الصناعية أو روث الماشية أو المخلفات البشرية (الشكل 5-10).

شكل 5-10 الكلوريلّا *Chlorella*، طُحلب.

العوامل المؤثرة في سرعة معدل التلف



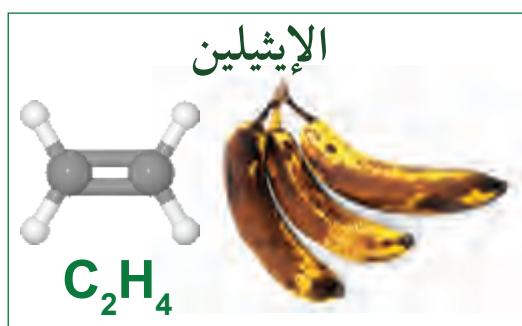
شكل 6-10 فساد الطعام.

قد تكون عمليتا التحلل والتحلل الحيوي بطيئتين أو سريعتين (الشكل 6-10) تبعاً لعوامل كثيرة، هي:

- الطاقة بشكل حرارة أو ضوء
- توافر الأكسجين (O_2)
- كمية الماء
- وجود الإنزيمات

إنَّ ارتفاع درجة الحرارة يجعل التحلل الحيوي أسرع إلى حد ما. ذلك أنَّ المزيد من الطاقة يعني استمرار التفاعلات الكيميائية بسرعة أكبر، بما فيها التفاعلات الكيميائية في التحلل الحيوي. وتعد العملية العكسية صحيحة أيضاً؛ لذلك، فإننا نعلم إلى تبريد الأطعمة الذي يُبطئ التحلل الحيوي، ما يحفظ الطعام سليماً.

ومع ذلك، فإنَّ ارتفاع درجة الحرارة أكثر من اللازم يسبب تغيير طبيعة الإنزيمات، ما يُبطئ في نهاية المطاف التحلل الحيوي ويوقفه. وعند درجات الحرارة المرتفعة أكثر، يقتل طهو الطعام الكائنات الحية الدقيقة التي تُسبب التحلل الحيوي.



شكل 7-10 الإيثيلين Ethylene.

ويؤثر تركيز الأكسجين أيضاً في مُعدَّل التلف. لأنَّ 21% من الهواء هو أكسجين، فإنَّ معظم المُحلَّلات تعتمد على المسارات الهوائية. وقد تحدث عملية التحلل من غير الحاجة إلى الكائنات الحية الدقيقة، ومن خلال عملية كيميائية بحتة. فعند قطف الفواكه كالموز، فإنها تبدأ بالتحلل من خلال إنتاج الإيثيلين الذي يؤدي تأكسده إلى موت الأنسجة النباتية مكوناً بقعاً بيضاء على الموز (الشكل

7-10)، مع الإشارة إلى أنَّ الإيثيلين هو مادة هيدروكربونية بسيطة مسؤولة عن نضج الفواكه.

والماء ضروري لجميع الكائنات الحية، ويسهم توافره في تسريع تحلل الأنسجة، والعكس صحيح أيضاً. ذلك أنَّ إزالة الماء، أو الجفاف، وسيلة فعالة لإبطاء التلف. فالعنب الطازج مثلاً، يتعفن في أسبوع أو أسبوعين. أمَّا الزبيب، فلن يتعفن لشهور. وقد كان المصريون القدماء أول من جرَّب إزالة المياه لتجفيف الأطعمة وسيلة لمنع التلف، وللتخزين على المدى الطويل.

وتستخدم كل الكائنات الحية الإنزيمات لهدم المُركَّبات العضوية وتحرير الطاقة. وتستخدم المُحلَّلات الإنزيمات لتفكيك الطعام. وكالبشر، فإنَّ أنواعاً كثيرة من أنواع البكتيريا تفرز الأميليز والبروتيز والليباز. والليباز الذي تنتجه *Bacillus sp.* أو *Serratia marcescens* أو *Pseudomonas aeruginosa* يمكنه تحليل زيت النخيل. ويمكن لنوعين من الفطريات، *Aspergillus niger* و *Aspergillus oryzae* (عفن الخبز الأسود) هدم النشويات في أثناء صناعة الورق.



تلف الفراولة

1-10

سؤال الاستقصاء	ما العامل الذي يُتلف الفراولة أكثر من سواه؟
المواد المطلوبة	كاميرا رقمية، ميزان (0.01 g)، فراولة، حاويات نظيفة وأغطية، أطباق بتري، ماسحات مُعقمة، ماء مُقطر.

الخطوات



1. ناقش، ضمن مجموعتك، العوامل التي ترى أنها تؤثر في معدل تحلل الفراولة. اكتب قائمة بها، وقم بتصميم خطوات لاختبار عاملين على الأقل.
2. اكتب قائمة بالمواد التي تحتاج إليها مجموعتك. هناك قائمة بداية متوفرة لكم.
3. فكر في الضوابط والمتغيرات، وقرر عدد المرات التي ستجري فيها الملاحظة.

4. اكتب قائمة بالخطوات التي سوف تتبعها، وكيفية تسجيل الملاحظات والبيانات. يجب أن يستمر الاستقصاء عدة أسابيع قبل تقديم النتائج إلى معلمك.

5. قدم اقتراحك إلى معلمك للموافقة عليه. تأكد من تقنيات التحكم في السلامة وعدم تلوث عيناتك بالميكروبات. في أثناء انتظار الموافقة، قد يُطلب إلى مجموعتك إجراء المزيد من البحث، أو إعادة تصميم تجربتك. وبمجرد الموافقة، احصل على المواد الإضافية التي تحتاج إليها لإكمال اختبارك.

6. اجمع البيانات وسجلها. ضمن السجل أيضًا بيانات نوعية مجمعة استخدمت حواسك فيها، وحدد وسائل تذكير لنفسك أو للمجموعة بغية إكمال الملاحظات. لا يسمح الوقت لتكرار التجارب الطويلة المدى.

7. عند الاكتمال، قدم النتائج الخاصة بك. قد يطلب معلمك عرضًا تقديميًا أمام الصف، أو ملصقًا، أو تقرير مختبر رسميًا.

الأسئلة

- a. شارك صفك في نتائجك. ما المشكلات التي واجهتها مجموعتك؟
- b. ما العامل الأكثر تأثيرًا في تلف الفراولة الذي توصل إليه صفك؟
- c. استخدم ما تعرفه عن التجارب المضبوطة وغير المضبوطة، لمناقشة إمكانية دمج بياناتك في بيانات الآخرين، لتحديد العامل الذي تسبب في إحداث أسرع تلف للفراولة.

فهم مُعدّلات التلف

قد تتحلّل المواد العضوية، وغير العضوية، إذا تعرضت لعوامل فيزيائية، مثل الماء أو الرياح أو الأمواج. ولكنّ تلك العملية تكون في الغالب بطيئة للغاية. فقد يدوم كوب الفلين الصناعي، مثلاً، 500 سنة إذا دُفن في الرمال الجافة، في الوقت الذي تتحلّل فيه مواد أخرى في خلال أيام أو أسابيع. وتعتمد سرعة التلف على مسار المادة الكيميائية المستخدم، وهو مسارٌ يختلف على نطاق واسع. أمّا التنبؤ الدقيق بمُعدّل التحلل فصعب للغاية، لأن هناك الكثير من المتغيّرات.



شكل 8-10 يستخدم الطهارة حواسهم لاختيار الأغذية الطازجة والكشف عن التلف.

يستخدم البقالون والطهارة حواسهم في التعرف إلى الأغذية الطازجة واللحوم، وتقدير مُعدّل التلف فيها (الشكل 8-10). ذلك أن التغيّرات في اللون والنكهة والرائحة تدلّ على التحلل الكيميائي بواسطة الميكروبات. وتُعدّ معرفة المدّة التي يمكن فيها حفظ الأشياء مبرّدة، أو موضوعة على رفّ، أمراً مهماً جداً للحفاظ على سلامة الغذاء.

ويُعرف في علم الطب الشرعي أن تأثير البيئة في تحلل جسم الإنسان يُسمّى «قانون كاسبر». فإذا كانت جميع العوامل الأخرى متساوية، والأكسجين متاحاً بحريّة، فإن الجسم يتحلّل في الهواء أسرع

بمرّتين من أن يكون مغموراً في الماء، وأسرع بثمانية مرات مما لو دفن في التربة. أما القاعدة الثانية، فتقول إن مُعدّل التحلل بواسطة البكتيريا يعتمد على درجة حرارة المنطقة المحيطة. ففي الوقت الذي تقلّ فيه درجات الحرارة المنخفضة من مُعدّل التحلل، تزيده درجات الحرارة المرتفعة.

ولا تتحلّل المادة الجافة بفاعلية عالية. ذلك أن الرطوبة تساعد على نمو الكائنات الحيّة الدقيقة، لكنّ الكثير من الرطوبة يؤدّي إلى ظروف لاهوائية، وإلى إبطاء التحلل.

أمّا تقدير مُعدّل التحلل الحيوي للبلاستيك فأكثر صعوبة؛ ذلك أن لكل صنف من الأصناف الكثيرة من البلاستيك خصائص كيميائية مختلفة. ومعلوم أن البلاستيك لا يُتلف. فإذا وُضع تحت ضوء الشمس، أو في الماء، أو تأثّر بالأمواج المائية، فإنه يتجزّأ إلى قطع أصغر فأصغر، تستطيع العوالق والكائنات الأخرى ابتلاعها، لتصل إلى أعلى السلسلة الغذائية (الشكل 9-10). ويبحث علماء الأحياء البحرية اليوم عن طرائق لتقليل كمية النفايات البلاستيكية التي تصل إلى المُحيطات والمسطّحات المائية.



شكل 9-10 البلاستيك لا يتحلّل.

التحلل الحيوي في التنظيف البيئي

عندما لاحظ العلماء لأول مرة أن الميكروبات تُحلل المواد العضوية وغير العضوية على حد سواء، نظر بعضهم في كيفية وقف هذا العمل. ذلك أن الترسبات الطينية في مُحركّات المركبات البحرية والعفن على قماش الشراع، مثلاً، يُسببان مشكلة للبحارة. وقد ارتأى آخرون أن يستكشفوا كيفية الاستفادة من تلك الكائنات.

ويرى العلماء أن واحداً من التطبيقات قد يكون في **مكبّات النفايات landfills**. وقد أثبتت عقود من البحث أن استخدام الميكروبات لتحليل النفايات الصلبة أمرٌ باهظ الثمن وغير مجدٍ، بالنظر إلى تنوع المواد المختلفة تنوعاً كبيراً، وإلى أن طمر النفايات يعزل المواد عن الأكسجين والرطوبة معاً (الجدول 10-1).

الجدول 10-1 الوقت المُقدّر للتحلل في المكبّ.

المواد الغذائية	الوقت	المواد غير الغذائية	الوقت
لبّ التفاح	1-2 شهر	الورق المقوّى	شهران
قشر الموز	سنتان	كرتون الحليب المطلي	5 سنوات
العلكة	مليون سنة	الأحذية الجلدية	24-40 سنة
أوراق الشجر	1.1 سنة	مناديل ورقية	14-28 يوماً
الخضروات	5-30 سنة	حقيبة بلاستيكية	500 سنة - إلى ما لا نهاية

وقد تحوّل العلماء إلى استراتيجيات أخرى، إذ جرى تصميم بعض البلاستيك ليتحلّل عند دفنه في التربة. وفي الزراعة، تُستخدم الرقائق البلاستيكية السوداء التقليدية للسيطرة على الأعشاب والحفاظ على الرطوبة، على أن تتم إزالتها في كل موسم، آخذة معها التربة السطحية. وتجرى حراثة الرقائق الجديدة القابلة للتحلل مرة أخرى في التربة، فتحرّر بعضاً من الكربون في الحقول، ولكن بعض المواد الاصطناعية تدوم.



شكل 10-10 تهدم الطحالب في برك مياه الصرف النفايات، وتعيد تدوير الفائض من النيتروجين والفوسفور.

وتُشكّل الطحالب البحرية مجموعة متنوعة من الكائنات الذاتية التغذية التي تنتج أكثر من نصف أكسجين الأرض، وتكون تنميتها والحفاظ عليها أمراً سهلاً. وهي، لدى وضعها في البرك الملوثة، تكافح بعض أنواعها ثاني أكسيد الكربون الزائد؛ وتعدّ إزالة الملوثات من مياه الصرف الصحي، وإلى حدّ ما، غير مكلفة مادياً. وتحتوي محطّات معالجة المياه على برك، تقوم الطحالب فيها بإزالة النيتروجين الزائد (N_2) والفوسفور (P) من مخلفات الماشية والمخلفات البشرية (الشكل 10-10).

التحلُّل الحيويّ في الصناعة



شكل 10-11 العفن الأبيض يحلّل ليغنين الخشب في صناعة الورق.

تُعدّ المادة النباتية مصدر الهيدروكربونات الصناعية، لكن ألياف السليلوز تتطلب آلية لهدمها. لذلك، تُستخدم مصانع الورق الإنزيمات الموجودة في فطريات العفن الأبيض والعفن البنيّ لهدم السليلوز في ألياف الخشب، حيث يهاجم العفن البنيّ ألياف السليلوز في الأخشاب اللينة من الداخل إلى الخارج، ويمكنه تقليل الخشب بسرعة، في الوقت الذي يعمل فيه العفن الأبيض على ألياف الجدار الخلوي المُسمّاة **الليغنين Lignin**، كاشفاً الأجزاء اللازمة لصنع الورق (الشكل 10-11).

وللمُحلّلات قيمة كبيرة في علاج التلوّث: عندما تُستخدم الميكروبات لتحليل المواد غير العضوية السامة، يطبق علماء الأحياء تقنيات **المعالجة البيولوجية Bioremediation** في محاولة لإعادة البيئة المتضرّرة إلى حالتها السابقة (الشكل 10-12).

ويُعدّ التسرب النفطي واحداً من أسوأ الكوارث البيئية، وهو عملية إطلاق متعمّدة أو غير متعمّدة للسوائل الهيدروكربونية البترولية في البيئة، ويمثّل شكلاً من أشكال التلوّث. ويتمّ تنظيف النفط اليوم باستخدام نوعين من البكتيريا *Alcanivorax* و *borkumensis* و *Methylocella silvestris*. وقد أظهرت دراسة جينات *Alcanivorax*، أنها تستطيع هدم الألكانات الموجودة في النفط واستخدامها كغذاء.



شكل 10-12 تسرّب النفط على الشاطئ.

تحتوي بيئتنا على كمّيات كبيرة من الملوثات، كالمعادن الثقيلة، والهيدروكربونات المتعدّدة الحلقات (PAHs)، وثنائي الفينيل المتعدّد الكلور (PCBs). وتُعدّ هذه المواد الكيميائية السامة نفايات، أو **نواتج ثانوية Byproduct** لصناعة المواد الكيميائية المفيدة والتكنولوجيا. أمّا الزئبق، فهو ناتج معدني ثقيل، يصدر عن حرق الفحم، فيحمّله الهواء، ويستقرّ في الأجسام المائية، ثمّ تتناوله المُتغذّيات بالترشيح Filter feeder. وعندما تأكل كائنات كبيرة تلك الكائنات الصغيرة، ينتقل السم في السلسلة الغذائية إلى الأسماك وإلى البشر. ويدرس الباحثون اليوم بكتيريا مقاومة للزئبق، بحثاً عن مسار كيميائي يستطيع إزالته.

1.  استخدم مخطط الدورة الجيوكيميائية الحيوية في الشكل 10-2 للإجابة عن كل مما يأتي:
 - a. أي الكائنات الحية تنتج الأكسجين (O_2)؟
 - b. ما الدورات التي تؤثر في الكائنات الحية الصدفية، كالمحار؟
 - c. لم يؤثر ثاني أكسيد الكربون الزائد في المحيطات في الكائنات الحية؟
2.  ميز بين التحلل والتحلل البيولوجي. أعطِ مثالاً على كل منهما.
3.  كيف ترتبط دورة النيتروجين بالتحلل؟ اشرح إجابتك.
4.  ابحث في مصطلح رمي التغذية Saprophyte، وحدد نوعاً غير مذكور في الدرس. أهو ضارٌّ أم مفيد؟ استشهد بمصدر معلوماتك.
5.  لم يوجد الهضم خارج الخلوي في الكائنات الحية البسيطة فقط؟
6.  اشرح دور الطحالب في التلف. هل هي من المُحلِّلات؟
7.  كيف تؤثر العوامل الآتية في معدلات التلف؟ أعطِ مثالاً لدعم كل تفسير:
 - a. الماء
 - b. درجة الحرارة.
 - c. الأكسجين
 - d. الإنزيمات
8. 
 - a. حدّد معدّل التلف لكل من تلك المواد، ثم رتبها من الأبطأ إلى الأسرع: الورق المقوّى، لبّ التفاح، ورقة صحيفة، أعقاب السجائر، ملعقة بلاستيكية، الطماطم، بالون، قشر الموز.
 - b. ما المُشترك بين أبطأ المواد في التلف؟
 - c. قارن بين اثنتين من أسرع المواد تلفاً، واقترح تفسيراً لوجود مادة أسرع من الأخرى.

الدرس 10-2

الوقود الحيوي

Biofuels

الطاقة التي نحصل عليها من الغذاء لأداء المهمات اليومية مرتبطة ارتباطاً غير مباشر بالطاقة المستخدمة في الآلات والأجهزة التي يسيّرُها الوقود الهيدروكربوني. وتمدُّنا رواسب فحم الأرض والنفط والغاز بالبتروكربون والكهرباء. وقد استغرق تشكيل تلك الرواسب ملايين السنين، وهي



شكل 10-13 الطلب على الكهرباء والبنزين يستدعي وجود المصافي لتزويد معامل الطاقة الكهربائية ومحطات البترول بالوقود.

على ذلك مصادر غير متجددة. لنفترض أن إطلاق ثاني أكسيد الكربون من حرق الوقود الأحفوري لا يشكل مشكلة بيئية، فإن البيانات تظهر أن الوقود الأحفوري سينفذ في غضون خمسين سنة، إذا واصل العالم استهلاكه بالمعدل الحالي نفسه.

أما الوقود الحيوي فهو الوقود الذي تصنعه الميكروبات والطحالب، أو ينتج من المواد النباتية. ويمكن جمع الغاز الطبيعي أو الميثان (CH_4) عند تغذية البكتيريا على النفايات. والوقود الحيوي من مصادر الطاقة المتجددة، وبإمكانه أن يحلّ مكان الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح، وأن يعوّض النقص فيهما.

المضردات



Combustion	الاحتراق
Green energy	الطاقة الخضراء
Biofuel	الوقود الحيوي
Biodiesel	الديزل الحيوي
Hydrogenation	الهدرجة
Refinery	المصفاة
Biomass feedstock	مواد الكتلة الحيوية الأولية
Biogas	الغاز الحيوي
Syngas	الغاز التركيبي
Anaerobic digestion	الهضم اللاهوائي
Digester	الهاضم
Digestate	المواد الصلبة المهضومة
Codigestion	الهضم المشترك
Synthetic biology	علم الأحياء التركيبي
Photobioreactors	المفاعل الحيوي الضوئي

مخرجات التعلم

B1127.1 يصف كيفية استخدام الكائنات

الحية الدقيقة في إنتاج الوقود الحيوي.

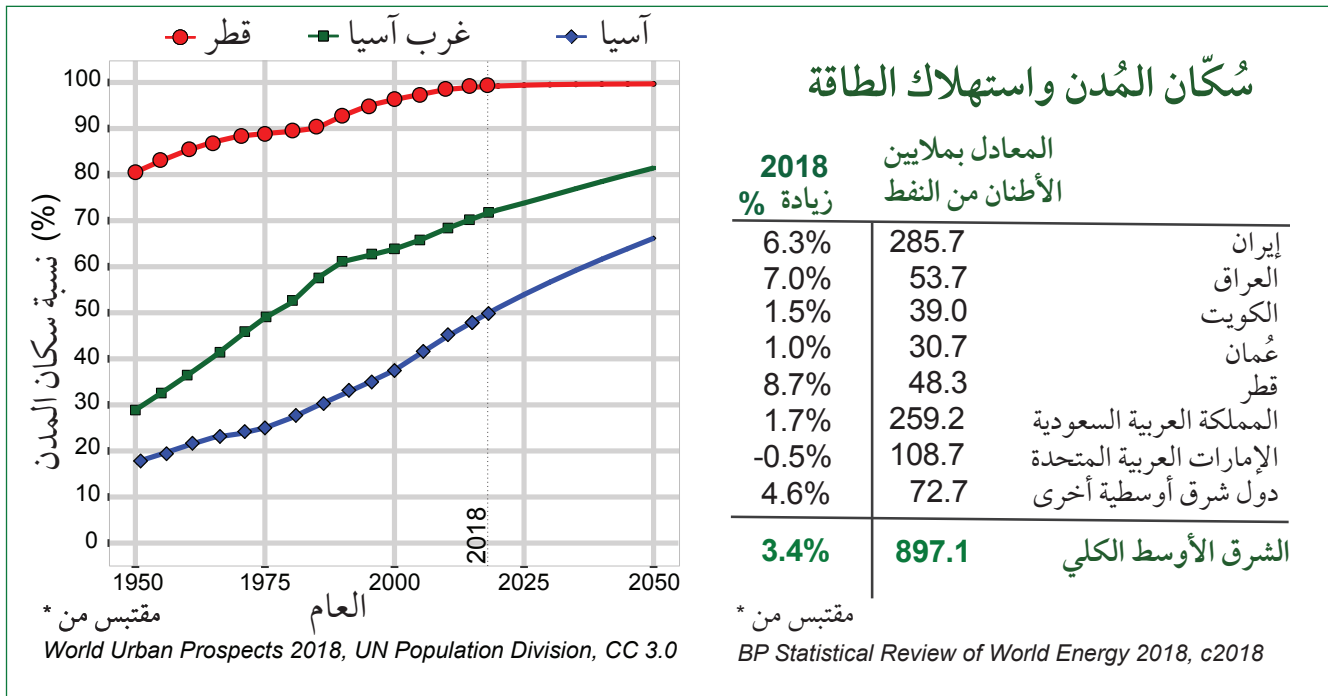
B1127.2 يناقش إيجابيات الوقود الحيوي

وسلبياته (بما في ذلك كونه يقلل من انبعاث ثاني أكسيد الكربون كإيجابية، ويخفف من مشاكل استخدام الأرض التي يمكن أن تُزرع بالغذاء لزراعة نباتات لإنتاج الوقود الحيوي كسلبية).

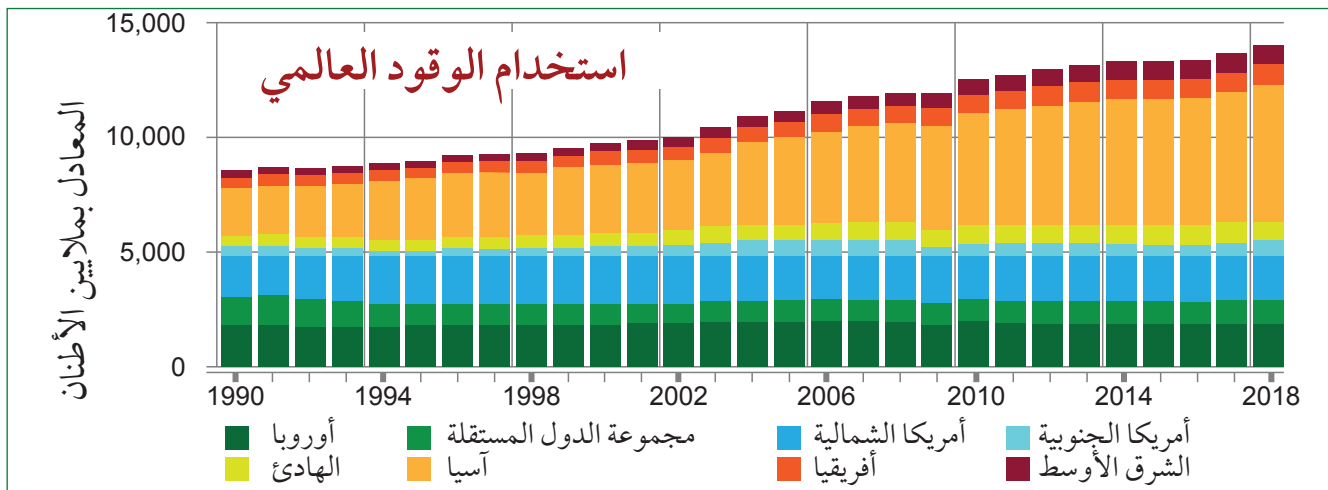
الحاجة المتزايدة إلى الطاقة

حقّق ظهور الإنترنت تغييرًا ملحوظًا في مقدار الطاقة التي نستخدمها. فقبل ستين سنة، كانت معظم الأعمال تجري باستخدام القليل جدًا من الكهرباء. أمّا اليوم، فإننا نحتاج إلى الكهرباء في كل جانب من الجوانب تقريبًا: يسافر الأشخاص لقضاء العطل بالسيارة أو بسفينة الرحلات أو بالطائرة، بدلاً من البقاء في المنزل. ولقد مكّنتنا الأجهزة التكنولوجية من التواصل والعمل بسرعة أكبر، والاستمتاع بأشكال جديدة من الترفيه.

في العام 2017، كان عدد سكان قطر شبه ثابت، إلّا أن استهلاك الطاقة ارتفع في عام واحد أكثر من 8% (الشكل 10-14). ومن العام 1990 حتى العام 2018، أصبح سكان العالم أكثر مدنية وصناعية، ما زاد الطلب على الطاقة، كما هو مبين في الشكل 10-15. ومن المتوقع أن يستمر الطلب العالمي على الطاقة بوتيرة متسارعة.



شكل 10-14 تزايد عدد السكان يزيد الطلب على الوقود.

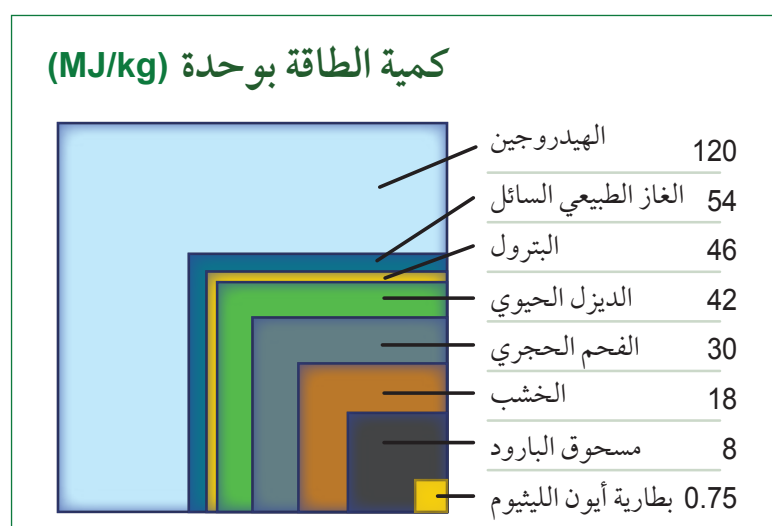


شكل 10-15 ازدياد استخدام الطاقة في العالم.

خيارات الطاقة

تُستخدَم الهيدروكربونات في توليد الكهرباء كوقود غازي، وتُخزّن روابط الهيدروكربونات 50 MJ/kg (11,950 kcal/kg). ومعلوم أن طاقة الهيدروكربون السائل سهلة التخزين والنقل، والتحويل من وقود إلى حرارة أو حركة أو طاقة كهربائية. ومع بنية تحتية كبيرة، تُبنى حول الوقود الهيدروكربوني السائل، يمكن تحسين طريقة مُتجدّدة لإنتاج الطاقة المستقبلية.

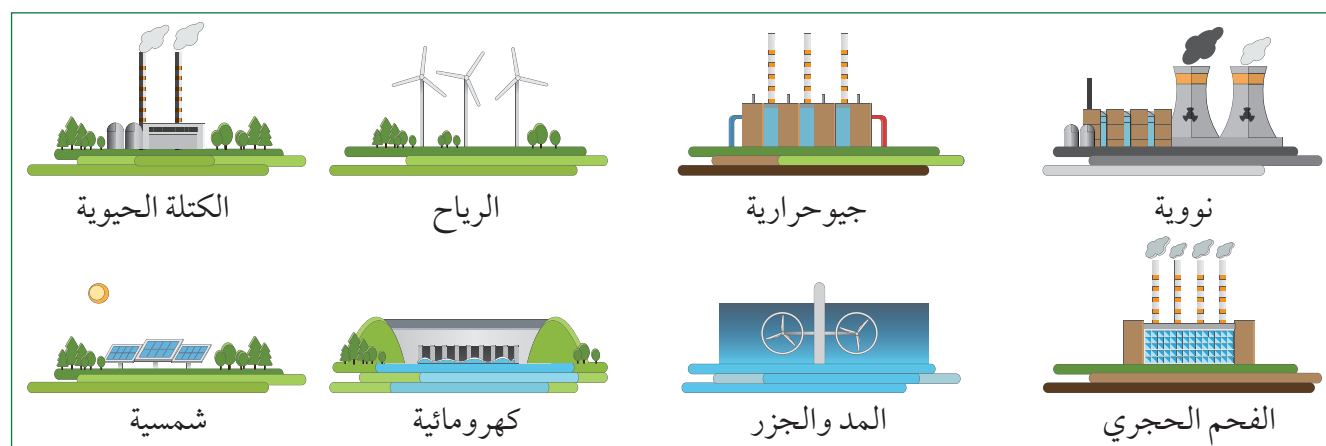
تشابه العملية الكيميائية، في حرق الغاز الطبيعي عبر نظام التدفئة، وفي حرق الخشب على النار والبتروك في مُحرك السيّارة والفحم الحجري في محطة توليد الكهرباء. وتنطلق الطاقة الكيميائية من الهيدروكربونات عن طريق الاحتراق مع الأكسجين منتجة الماء وثاني أكسيد الكربون.



ويتميز الوقود الهيدروكربوني بالأفضلية، لأنه يعطي طاقة عالية لكل كيلوجرام، مقارنة بسواه من البدائل (الشكل 10-16)؛ البترول، مثلاً، ينتج 45 MJ/kg. وينتج مسحوق البارود ما متوسطه 8 MJ/Kg. أمّا بطّاريات أيون الليثيوم، فتعطي 0.75 MJ/Kg فقط. لذلك، فإنّ السيارات الكهربائية تكون باهظة الثمن.

شكل 10-16 الطاقة لكل كيلوجرام من مختلف تقنيات تخزين الطاقة.

وتُسمّى تكنولوجيا الطاقة الصديقة للبيئة، والتي تُقلّل من الانبعاثات، **الطاقة الخضراء Green energy**. غير أن الغالبية العظمى من وسائل النقل تستخدم الطاقة الهيدروكربونية. ويعتمد 85% من توليد الكهرباء على استخدام طاقة الوقود الأحفوري، وهناك استخدام لا يزال محدوداً للطاقة الشمسية وطاقة الرياح في توليد الكهرباء (الشكل 10-17).



شكل 10-17 اليوم، يشمل توليد الكهرباء خيارات خضراء.

ما الوقود الحيوي؟

تُشير كلمة **الوقود الحيوي Biofuel** عادةً إلى الوقود السائل أو الوقود الغازي المصنوع من المحاصيل، أو من النفايات، والذي يُستخدم في المركبات. والوقودان الأكثر شيوعًا هما الإيثانول، وهو كحول مصنوع من السكريات، و**الديزل الحيوي Biodiesel** المصنوع من زيت الخضراوات أو سواه من الزيوت النباتية، وهو يعمل في مُحركات الديزل فقط. أمّا الوقود الحيوي، فقد يبدو جديدًا، ولكنه كان يستخدم لعدة عقود على نطاق ضيق.

وقد تمثلت بعض أنواع الوقود الحيوي الأولى في زيوت نباتية معادة التدوير، وزيت فول سوداني أعيد تدويره، فبدلاً من التخلص من الزيوت في المطاعم، نشأت سوق ثانوية لإعادة استخدام الزيت. ويتم إنتاج وقود الديزل الحيوي من خلال هدم جزيئات الزيت الكبيرة إلى جزيئات أصغر، عبر **عملية الهدرجة Hydrogenation**، التي تضيف الهيدروجين إلى الجزيئات. ويمكن استخدام الهدرجة أيضًا في إنتاج البترول والديزل والبروبان. أمّا تكرير زيوت النخيل ودوار الشمس وبعض البذور للحصول على الديزل الحيوي، فإنه يحتاج إلى طاقة أكبر من الطاقة الناتجة منها، لكنها مفيدة في إعداد الطعام (الشكل 10-18).



شكل 10-18 الزيوت المُنتجة من بذور دوار الشمس والسلجم وبذور النخيل قابلة للاحتراق.



شكل 10-19 الإيثانول من الذرة.

ولقد ثبت أن الكحول المعالج، مثل الإيثانول والميثانول المخمر من السكريات في الذرة أو القمح، أكثر ربحية. وقد تمت إعادة تصميم مُحركات صغيرة لتعمل على مخاليط كحول مصنوعة محليًا، وهي في متناول الجميع. وفي وقت لاحق، تمت إضافة الإيثانول إلى البترول ليكن حرق الوقود في مُحركات السيارة أكثر نظافة (الشكل 10-19).

وقد تزايد الطلب على أنواع الوقود الحيوي، لأنها صديقة للبيئة، ولأنّها زادت من الاعتماد على مصادر الطاقة المحلية. وقد طوّرت المصافي طرائق أفضل لمعالجة الوقود السائل من المحاصيل: الكحول المخلوّط حديثًا مع الوقود الهيدروجيني ينتج كمية من الطاقة أكبر لكل لتر، ما يُمكن المركبات من قطع مسافات أطول في خزان واحد من الوقود. واختار المزارعون زراعة الحبوب للحصول على الوقود بدلاً من الطعام، لأنهم، وبجهد أقلّ وكمية أقلّ من النباتات، قادرون على تحقيق الربح نفسه.

إنتاج الوقود الحيوي

هناك أوجه تشابه وأوجه اختلاف بين إنتاج الوقود الحيوي وإنتاج البتروكيماويات: تبدأ المصفاة بالنفط الخام أو الغاز الطبيعي، وتعالجه لإنتاج واحد من ثلاثة منتجات هي: الوقود، أو المواد الكيميائية، أو موادّ مثل البلاستيك والورق. وبدلاً من الهيدروكربونات، يبدأ إنتاج الوقود الحيوي بكمّيات كبيرة من المواد العضوية الخام أو النفايات، تسمّى **مواد الكتلة الحيوية الأولية Biomass feedstock** (الشكل 10-20).



شكل 10-20 تتم تغذية المصافي بالمواد الأولية لتصنيع المنتجات.

هناك أنواع كثيرة من مواد الكتلة الحيوية الأولية:

- القش
- السماد/ الروث
- قصب السكر
- نشارة الخشب
- الطحالب
- الذرة
- رقائق الخشب
- الذرة البيضاء
- محاصيل البذور الزيتية
- الزيوت المستخدمة
- العلف (النبات الكامل)
- العشب الطازج

غير أن معظم تلك المواد الأولية ليست مجدية، إما لتكلفتها العالية، أو لكمّية الطاقة الضئيلة التي تنتجها لدى استخدامها كوقود حيوي. ويبحث العلماء عن طرائق لتحويل النفايات العضوية إلى مواد كيميائية حيوية ومواد حيوية أخرى مفيدة.

1. قد يكون للكولاجين المستعاد تطبيقات طبية، كتجديد الأنسجة، والإصلاح التجميلي، والأدوية الحيوية.

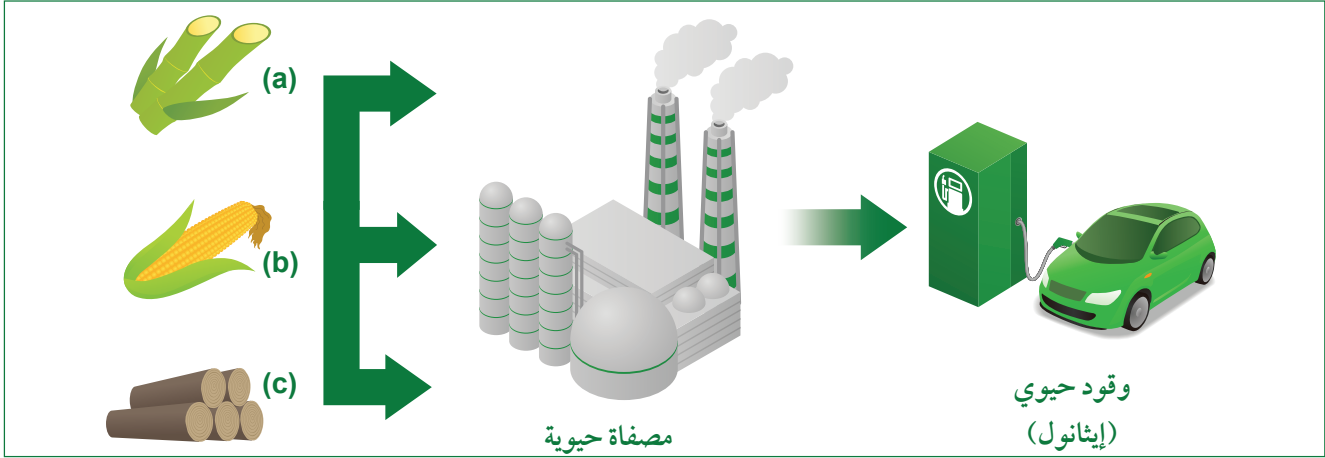
2. أظهرت صفائح الكربون النانوية المنتجة من الفضلات البشرية أمالاً واعدة في مجال الكيمياء الكهربائية حيث تقوم بتخزين الطاقة في البطاريات..

3. استخدمت إحدى الشركات البطيخ مصدرًا خامًا للكربون، من أجل تطوير طريقة منخفضة التكلفة لإنتاج الإيروجيل aerogel أو الهيدروجيل hydrogel.

4. يتبيّن أن قشرة الأرز أو القش غنيّة بالسيليكات.

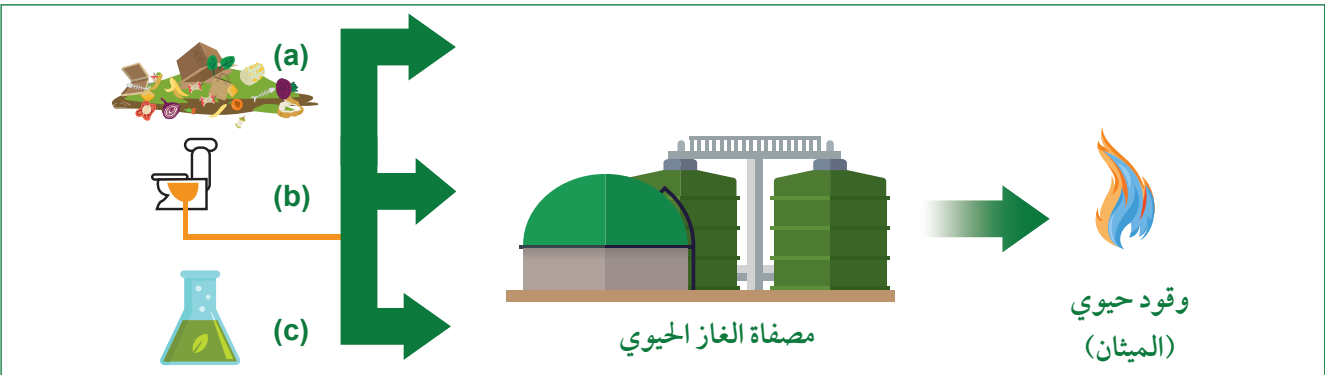
من الكتلة الحيوية إلى الوقود الحيوي

تصنع المصفاة الحيوية الحديثة الإيثانول من أحد أنواع الكتلة الحيوية الثلاثة، وهي السكّريات والحبوب والمنتجات الخشبية (الشكل 10-21). ولكي تكون تكلفتها مجدية، يجب أن تكون مصفاة التكرير التي تستخدم نفايات النباتات قريبة من المزارع أو مناطق الغابات.



شكل 10-21 النفايات النباتية، (a) والسكّريات من الحبوب، و(c) الخشب، ثلاث من مواد الكتلة الحيوية الأولية المُكرّرة لوقود الإيثانول الحيوي.

وفي الغالب، فإنّ المواد الأولية، مثل السماد وطين الصرف الصحي، تكون قريبة من محطات معالجة النفايات الصلبة (الشكل 10-22). وهي تتطلّب عمليات تكرير مختلفة، وتنتج **الغاز الحيوي Biogas** الذي يتكوّن في معظمه من الميثان (CH_4) المصنوع حاليًا من النفايات البيولوجية باستخدام البكتيريا. وتشكّل الطحالب مصدرًا رئيسًا للميثان إذا كانت متوافرة على نطاق واسع. ويحتوي الغاز الحيوي الناتج من النفايات على الميثان بنسبة 50-70%، وعلى ثاني أكسيد الكربون (CO_2) بنسبة 30-40%، فضلًا عن كميات صغيرة من الغازات الأخرى.



شكل 10-22 الهضم اللاهوائي للفضلات من (a) الغذاء، أو (b) مخلفات البشر، أو (c) الطحالب. تستطيع الطحالب أن تنتج الميثان كنسخة من الوقود الحيوي.

أمّا الوقود الحيوي الآخر، فهو **الغاز التركيبي Syngas**. والغاز التركيبي، أو الغاز الصناعي، وينتج في الغالب من حرق الفحم، أو يكون وسيطًا في صناعة النفط. وهو خليط من غاز الهيدروجين (H_2)، وأول أكسيد الكربون (CO)، وثاني أكسيد الكربون (CO_2)، والميثان. ويمكن استخدام الغاز التركيبي وقودًا لمُحرّكات الاحتراق الداخلي، بشرط إزالة الهيدروجين بعملية كيميائية.

طرائق معالجة الغاز الحيوي لإنتاج الميثان

تتم معالجة النفايات في ظروف لاهوائية مضبوطة، حيث تقوم البكتيريا بإفراز إنزيمات تكسر المواد العضوية بعملية تسمى **الهضم اللاهوائي Anaerobic digestion**. أمّا الغاز الطبيعي (الميثان بالدرجة الأولى) المستخرج حالياً في مصافي النفط، فقد تم انتاجه بوساطة البكتيريا المولدة للميثان من تحلل بقايا الكائنات الحية القديمة. ويحدث الهضم اللاهوائي في الطبيعة، ومكبات النفايات، ومرافق النفايات الصلبة، ويمكن أن يعوّض الميثان المستخرج تكاليف التشغيل. وفي الوقت الحالي يُستخدم



شكل 10-23 كيس بلاستيك هاضم.

هاضم digester لاهوائي في إنتاج غاز الميثان الحيوي من النفايات؛ يزيل الهاضم الأكسجين ويجمع الغازات الناتجة في أثناء ارتفاعها. ويمكن لأكياس البلاستيك الهاضمة أن تعمل على نطاق صغير (الشكل 10-23).

وما إن تُهضم النفايات، حتى يعاد استخدام السوائل الناتجة أو المواد الصلبة الباقية التي تُسمى **Digestate**، لتحسين حالة التربة.

تمرّ عملية الهضم على المستوى الصناعي بالمراحل الأساسية الآتية:

1. تُجمع النفايات العضوية، وتُضخّ في الهاضم.
2. تُخلط النفايات مع البكتيريا في ظروف لاهوائية مع زيادة درجة الحرارة لتكسير المواد العضوية.
3. تُفصل السوائل والمواد الصلبة لإزالة أية مُركّبات غير ميثانية.
4. يُحقن غاز الميثان المتجدّد في خط الأنابيب.
5. يُحرق الميثان لتسخين المياه، أو لتوليد الكهرباء، أو يضخ إلى المنازل.
6. تتحوّل البقايا الصلبة إلى مفرش للحيوانات أو سماد.



شكل 10-24 مصفاة للهضم اللاهوائي وتوليد الكهرباء.

إلا أنّ بعض أنواع المواد العضوية تتفكّك بسهولة أكبر من سواها. وكلما كانت المادة العضوية «سهلة الهضم»، ازداد إنتاج الغاز الحيوي. ويتم في **الهضم المُشترك Codigestion**، تكسير أنواع متعدّدة من النفايات العضوية في هاضم لاهوائي واحد. ويزيد الهضم المشترك إنتاج الغاز الحيوي من نفايات عضوية منخفضة العائد، أو من نفايات يصعب في الغالب هضمها.

علم الأحياء التركيبي والطحالب

علم الأحياء التركيبي Synthetic biology حقل جديد تُصمَّم فيه جينات جديدة تمامًا، في داخل كائنات دقيقة، مثل الطحالب، وذلك للحصول على قدرات خاصة (الشكل 10-25). ويختلف علم الأحياء التركيبي عن نقل الجينات، في أن الجينات تُكوَّن وتُسلَّس صناعيًا. وقد أصبح الباحثون والشركات في جميع أنحاء العالم قادرين على:

- تعديل الأرز لينتج بيتا كاروتين، وهي المادة الغذائية الموجودة في الجزر، والتي تمنع نقص الفيتامين A.
- تصميم اللقاحات الجديدة وصنعها واختبارها ونشرها بشكل أسرع، وبتكلفة أقل.
- هندسة الطحالب لصنع ما يصل إلى 40% من كتلة الدهون للوقود الحيوي.



ويرى بعض العلماء في الطحالب البحرية أفضل المواد الأولية لإنتاج الميثان. وتقوم الشركات باستقصاء استخدام أنظمة البرك المفتوحة والمغلقة لنمو أنواع الطحالب المُركَّبة. وتحتاج **الكلوريلّا Chlorella**، وسواها من

الأنواع، إلى القليل من الوقت أو المواد الغذائية للتكاثر. وقد أثبتت التجارب أن الليبيدات الزيتية المُنتجة بواسطة الطحالب تعطي عائداً أعلى ممَّا تعطيه المواد الأولية النباتية (الجدول 10-2).

الجدول 10-2 مقارنة النتائج التجريبية لاستخراج الزيت.

الديزل الحيوي	نسبة محتوى الزيت (كتلة جافة)	المواد الأولية
50-100	35-65%	الطحالب
2-5	30-50%	نبات الجاتروفا
3-4	20%	النخيل
1	40%	بذور السلجم (اللفت)
0.5	20%	فول الصويا

لا يزال إنتاج الوقود الحيوي من الطحالب في مرحلة التطوير التجريبي، ذلك أنَّ لدى أنظمة البرك المفتوحة حساسية من العوامل البيئية، مثل درجة الحرارة. أضف إلى ذلك أن الاختلافات في العناصر الغذائية والحرارة والضوء، والتلوث بسلالات أخرى من الطحالب يؤدِّيَان إلى انخفاض في إنتاج وقود الديزل الحيوي. وبناء على ذلك، يتمُّ تطوير أحواض مفتوحة مغطاة بصفائح بلاستيكية رقيقة، ومجموعة من الأنظمة المفتوحة والمغلقة للسيطرة على تلك العوامل.

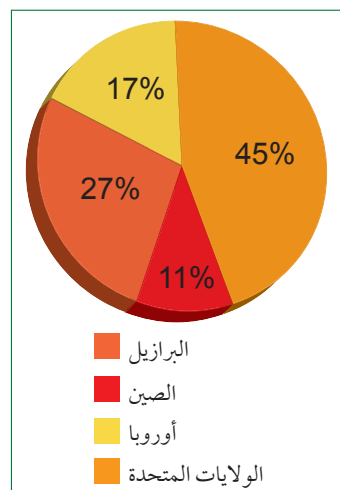
ولا تتطلب طريقة استخدام المفاعلات المغلقة مساحات كبيرة من الأراضي الزراعية أو المياه العذبة. ويمكن للمهندسين تنظيم النمو بدقة في أنظمة مغلقة تسمى **مفاعلات حيوية ضوئية Photobioreactors** لطحالب البناء الضوئي أو غيرها من النظم التي تستخدم المفاعلات الحيوية التقليدية للبكتيريا التي لا تتطلب أشعة الشمس.

الوقود الحيوي أو النفط

- يمكن للمرء أن يجادل في جدوى استخدام الوقود الحيوي مصدرًا للطاقة. لكن، إذا جرت المقارنة بالنفط، يتبين أن استخدام الوقود الحيوي يحتوي على الكثير من الفوائد:
- على عكس الوقود الأحفوري، يعدّ الوقود الحيوي موردًا متجددًا. ويمكننا أن ننمي أو ننتج المزيد من المواد الأولية بحسب الحاجة.
- بدلًا من البحث عن النفط وضخّه، ثم شحنه إلى أماكن أخرى، يمكن إنتاج الوقود الحيوي محليًا من النفايات النباتية.
- قد تكون كمّية الوقود المُنتج من الطحالب أكبر، ولا تحتاج إلى مساحات كبيرة تكون على حساب مساحات الزراعات الغذائية.
- تسهم زيادة استخدام الوقود الحيوي وتناقص استخدام النفط في التقليل إلى حدّ بعيد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وإبطاء تغيّر المناخ بشكل مُذهِل.

ولا نزال في حاجة إلى مزيد من الحقائق عن كيفية حرق الوقود الحيوي للتقليل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وقد أظهرت بعض الأبحاث أن الإيثانول المصنوع من الذرة ينتج كميات من ثاني أكسيد الكربون أقلّ من النفط بـ 20-45%. فإذا كان النبات يستهلك ثاني أكسيد الكربون لينمو، وكان حرق النبات يطلق الكمية نفسها من ثاني أكسيد الكربون، فإن بإمكاننا القول إن الوقود الحيوي هو **محايد للكربون Carbon neutral**. وإذا كان ذلك صحيحًا، يكون لاستخدام الوقود الحيوي ميزة كبيرة على احتراق الوقود الهيدروكربوني الحالي.

إلا أن دراسات أخرى تعطي نتائج مختلفة: لنفترض أن مُزارعًا قرّر أن يزرع الذرة لوقود الإيثانول بدلًا من الطعام، فسوف يحتاج إذن إلى الجرّارات لتسميد الأرض وحصاد المحصول، وإلى شاحنات لنقل المحاصيل إلى أقرب مصفاة، ونكون نحن في حاجة إلى التأكد من أن البحث قد راعى ثاني أكسيد الكربون الصادر في كل خطوة. وهناك مشكلة أخرى تنشأ عن استخدام الأراضي. ذلك أن تزايد عدد السكان يجعلنا أمام خيارين: الغذاء الأكثر تكلفة، أو البترول والكهرباء الأكثر تكلفة.



شكل 26-10 إنتاج الوقود الحيوي في العام 2017 عالميًا.

وقد يستطيع الوقود الحيوي بحلول العام 2050 أن يزود حوالي 27% من الوقود اللازم للتنقل على مستوى العالم، مع الإشارة إلى أن نسبة إنتاج الوقود غير الأحفوري في العام 2017 هي أقل مما كانت عليه قبل عشرين عامًا. ويقتصر إنتاج الوقود الحيوي حاليًا على أوروبا، وعلى ثلاث دول غير أوروبية (الشكل 26-10). وإذا استمرت معدلات استهلاك الوقود الحالية على ما هي عليه، فإن إنتاج الوقود الحيوي يجب أن يتضاعف 10 مرات. وإذا اقتصر استخدام وإنتاج الوقود الحيوي فقط على الإيثانول، فإن ذلك يوجب تخصيص مساحة أرض بحجم دولة صغيرة، مثل كوريا الجنوبية، لزراعة المحاصيل لإنتاج الإيثانول. وإننا لا نزال إلى اليوم ننتج كميات محدودة من الوقود الحيوي، ما يعني أننا في حاجة إلى إحداث تعديلات ضخمة في مصافي ومحطات التكرير، وإلى استثمارات مالية ضخمة في الوقود الحيوي. وتجري كثير من دول العالم دراسات جدوى، توازن فيها بين التكلفة والفائدة، قبل أن تختار طرائق إنتاج الطاقة المستقبلية.



التكنولوجيا الحيوية في تنظيف تسرب النفط

2-10

سؤال الاستقصاء	كيف أسهمت التكنولوجيا الحيوية في تنظيف النفط الخام؟
المواد المطلوبة	عدة تم شراؤها مسبقاً، أو زرع للميكروبات معدّ سابقاً، رمال بحبيبات مختلفة الأحجام، مجهر تشريحي، قلم تعليم، ميزان، كاميرا رقمية، أطباق بتري، ماصات، زيت السيارات.

الخطوات



1. استخدم قلم التعليم لتسمية أغشية ثلاثة أطباق بتري مختلفة: الشاطئ رقم 1، الشاطئ رقم 2، الشاطئ رقم 3.
2. لاحظ كل خليط رملي باستخدام المجهر والكاميرا، ثم رتب كل خليط بحسب أحجام الحبيبات الخاصة به.
3. قس كتلة طبق بتري واحد، واملأ نصفه بالخليط رقم 1. يجب أن يكون الخليط رقم 1 رملاً ناعماً بأصغر حجم من الحبيبات، وأن يكون لدى الخليط رقم 3 أكبر حجم من الحبيبات. جد الكتلة الكلية، واحسب كتلة الرمل المضاف.
4. اضبط كمية الرمل حتى تكون كتلة الرمل رقمًا كاملاً، ثم أضف الكمية نفسها من رمال أخرى إلى أطباق بتري الخاصة بها.
5. أضف 1 ml من الزيت باستخدام ماصة في وسط كل طبق. يمثل ذلك تسرب النفط.
6. توقع الشاطئ الذي ستبقى فيه أقل كمية زيت بعد أسبوع واحد.
7. أضف 5 ml من محلول البكتيريا إلى كل طبق. غطّ الأطباق، وضعها في موقع لا يلمسه أحد.

إعادة تصميم التجربة

- أجب عن الأسئلة الواردة في ورقة العمل قبل المتابعة في إعادة تصميم تجربتك.
- a. اختر خليط رمل بمتغير آخر لاختباره. صف اختبارك الجديد في المساحة الموجودة على ورقة العمل.
 - b. ما الاستنتاجات التي يمكن استخلاصها عن الميكروبات وتنظيف التسرب النفطي؟

تقويم الدرس 2-10

1. ما الاستخدامان الرئيسان للهيدروكربونات؟ 
2. اكتب ووازن معادلة الاحتراق الكامل للميثان، وهو أبسط هيدروكربون. 
3. استخدم الشكل 10-17 والإنترنت لإنشاء جدول يعرض ميزة واحدة وعيباً واحداً لإنتاج الكهرباء في كل محطة توليد ظاهرة في الشكل. 
4. ميّز بين المصطلحات الآتية: الديزل الحيوي، الغاز الحيوي، والغاز التركيبي. 
5. أعط ثلاثة أوجه تشابه بين المصافي الحيوية ومصافي النفط. 
6. أيّ من الموادّ الأوليّة ستكون الأكثر عملية للاستخدام في المصافي الحيوية في قطر؟ لماذا؟ 
7. ارسم جهاز تحلّل حيوي، ووضّح الخطوات الأساسية عما يحدث على نطاق صناعي. 
8. تُنتج الهدرجة أنواعاً من الوقود الحيوي التي تزيد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عند احتراقها. برّر إنتاجها وقيمتها للمستهلكين، أو ناقش السبب الذي يوجب علينا التوقف عن استخدامها. 
9. أيّ من أشكال الطاقة الآتية هو الأكثر احتمالاً أن يكون محايداً للكربون؟ 
 - a. الديزل الحيوي.
 - b. الفحم
 - c. الديزل
 - d. النفط
- 10-15 اختر الحرف أو الحرفين اللذين يتوافقان مع كل من المصطلحات من القائمة في الأسفل: 
 - a. كتلة حيوية
 - b. غاز حيوي
 10. قصب السكر
 11. الميثان
 12. الطحالب
 13. رقائق الخشب والقش
 14. البكتيريا في الهاضمات
 15. روث الماشية

بول كروتزن (1933 -)



شكل 10-27 بول كروتزن، كيميائي وعالم مناخ.

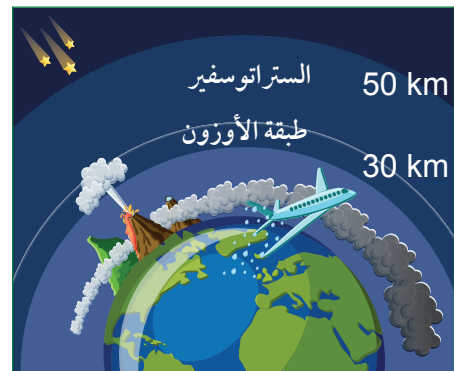
بول كروتزن Paul Crutzen هو الكيميائي الهولندي الذي نال جائزة نوبل للعام 1995 (الشكل 10-27). وقد عمل كروتزن واثنان من علماء المناخ، هما ماريو مولينا Mario Molina وفرانك س. رولاند Frank Rowland على العوامل المسؤولة عن تدمير الأوزون الستراتوسفيري الذي يحمي الأرض من أشعة الشمس فوق البنفسجية.

ولد بول كروتزن في العام 1933 في أمستردام، وأتقن الفرنسية والألمانية والإنجليزية. إلا أن نتائجه المدرسية تدهورت بسبب مرض خطير، ولم يستطع متابعة الجامعة. وبدلاً من ذلك، ذهب إلى المدرسة الفنية وتدرّب مهندساً مدنياً.

بعد انتقاله إلى السويد، تقدّم بطلب للحصول على منحة في برمجة الكمبيوتر في معهد الأرصاد الجوية من جامعة ستوكهولم (MISU) عام 1959. وقد أجرى في MISU بحثه الذي حاز جائزة نوبل في السبعينيات.

وقد أظهر كروتزن أن التحوّلات بفعل الكائنات الحية الدقيقة التي تحدث في التربة، تؤثر تأثيراً مباشراً في سماكة طبقة الأوزون (O_3)، الجزء الوقائي من الستراتوسفير. ذلك أن الإنتاج الطبيعي لأكسيد النتروز (N_2O) يزداد بواسطة الميكروبات في التربة بفعل استخدام الأسمدة النيتروجينية. ومن خلال إظهار العلاقة بين N_2O و O_3 ، كشف كروتزن عن واحد من المسارات، يؤدي فيه النشاط البشري إلى إلحاق الضرر بطبقة الأوزون. ونحن نعرف اليوم أن هناك الكثير من المسارات الكيميائية الإضافية، بما في ذلك احتراق الوقود وإنتاج الميثان.

يحتوي الغلاف الجوي للأرض بشكل طبيعي على الأوزون الصادر من البراكين النشطة. ويؤدي الغاز دوراً رئيساً في امتصاص الأشعة فوق البنفسجية الخطرة المنبعثة من الشمس (UV-A و UV-B). وقد عُرف كروتزن بأبحاثه عن التغيّر المناخي والدعوة إلى استخدام مصطلح العصر الأنثروبوسيني. ويمثل العصر الجديد المقترح ضمن الزمن الجيولوجي الإطار الزمني لتأثير النشاطات البشرية في كوكب الأرض.



شكل 10-28 طبقة الأوزون.

الوحدة 10

مراجعة الوحدة

الدرس 10-1 التحلل والتحلل الحيوي

- الطاقة والمادة يعاد تدويرهما من خلال دورات جيوكيميائية حيوية **Biogeochemical cycles** مثل دورة الكربون-الأكسجين **Carbon-oxygen cycle** ودورة النيتروجين **Nitrogen cycle** اللتين تنطويان على عناصر حيوية وغير حيوية معًا.
- **التحلل Decomposition** هو العملية التي يتم بها هدم المواد العضوية إلى أشكال أبسط.
- **التحلل الحيوي Biodegradation** هو هدم المادة العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، مثل البكتيريا والفطريات.
- **رَمِّي التغذية Saprophyte** كائن حي يعيش على المادة الميتة أو المتحللة، مثل الفطريات التي تفرز في كثير من الأحيان الإنزيمات لهدم المواد الحيوية، عن طريق **الهضم خارج الخلوي Extra-cellular digestion**.
- مُعدَّل التحلل الحيوي يتأثر بدرجة الحرارة، والرطوبة، والأكسجين، ووجود الإنزيمات. ويصعب التنبؤ بهذا المعدل بسبب تعدد المتغيرات.
- **المُعالجة البيولوجية Bioremediation** هي الاستخدام الهندسي للتحلل الحيوي في بعض أشكال التنظيف البيئي.

الدرس 10-2 الوقود الحيوي

- يزداد استخدام الطاقة في قَطَر وبقية العالم.
- تُنتج بدائل الطاقة من الهيدروكربونات السائلة كمّية أقل من الطاقة لكل كيلوجرام.
- **الوقود الحيوي Biofuel** مثل **الديزل الحيوي Biodiesel** عبارة عن هيدروكربونات تنتج من موارد نباتية مُتجددة، أو من التحلل الحيوي للنفايات.
- يمكن لمصافي **Refineries** الوقود الحيوي أن تهدرج الزيوت لهدمها وتحويلها إلى مواد هيدروكربونية مفيدة، أو تخمّر مواد الكتلة الحيوية الأولية **Biomass feedstocks** وتحوّلها إلى كحول.
- يمكن إنتاج الغاز الحيوي **Biogas** الميثان في هاضم **Digester** باستخدام الهضم اللاهوائي **Anaerobic digestion** وإنتاج مواد صلبة **Digestate** مفيدة لتحسين التربة.
- يتواصل البحث في علم الأحياء التركيبي **Synthetic biology** الذي قد يقدم وسيلة لإنتاج الوقود الحيوي من الطحالب.
- يقدر العلماء أن الوقود الحيوي يمكن أن يعطي 27% من وقود النقل العالمي، ويكون محايدًا للكربون **Carbon neutral**، ولكن هناك حاجة إلى مزيد من البحوث.

تحضير للاختبار

1. أيُّ مُركَّب من المُركَّبات الآتية ليس جزءاً من دورة الكربون-الأكسجين؟
 - a. الميثان
 - b. الماء
 - c. ثاني أكسيد الكربون
 - d. غاز النيتروجين
2. أيُّ كائن حيٍّ من الكائنات الحية الآتية ليس مُحلِّلاً؟
 - a. فطر العفن الأبيض.
 - b. عفن الخبز الأسود.
 - c. الكلوريلّا
 - d. عفن البطاطس البنيّ.
3. فيمَ يختلف التحلُّل عن التحلُّل الحيوي؟
 - a. التحلُّل الحيوي ليس عملية طبيعية.
 - b. يعمل التحلُّل بسرعة أكبر من التحلُّل الحيوي.
 - c. يشمل التحلُّل الهدم الفيزيائي للمادة.
 - d. يحدث التحلُّل الحيوي عن طريق الطحالب فقط.
4. ما هي العوامل التي تؤثر في التحلُّل ولا تؤثر في التحلُّل الحيوي؟
 - a. التفاعل بين الديدان والخنافس والذباب، أو النسور.
 - b. الأكسجين
 - c. درجة الحرارة.
 - d. الماء
5. ما هو العامل مسبب المرض؟
 - a. بكتيريا تُحلِّل الفطريات.
 - b. ميكروب يسبب المرض.
 - c. كائن حي دقيق مضاد للفطريات.
 - d. نوع من السم.
6. لمَ تتمتع الهيدروكربونات بالأفضلية لإنتاج الطاقة؟
 - a. قابلة للتجدد.
 - b. تحتوي على طاقة أكثر من المُركَّبات الأخرى لكل كيلوجرام.
 - c. الماء منتج ثانوي مفيد من التفاعل.
 - d. تحترق بشكل نظيف مع قليل من البقايا، أو من ثاني أكسيد الكربون.

7. لِمَ لا تُستخدم مواد الكتلة الحيوية الأوليّة لإنتاج الكهرباء؟

- a. مواد الكتلة الحيوية الأوليّة يصعب نقلها.
- b. ينطلق ثاني أكسيد الكربون من مواد الكتلة الحيوية الأوليّة في أثناء احتراقها.
- c. مواد الكتلة الحيوية الأوليّة ليست فعّالة في توليد الطاقة.
- d. جميع الإجابات صحيحة.

أسئلة الإجابات القصيرة

الدرس 1-10 التحلّل والتحلل الحيوي

- 8. أنشئ رسمًا بسيطًا لدورة الماء الطبيعية في قَطَر، وعيّن الخطوات.
- 9. كيف ترتبط دورة الكربون ودورة الأكسجين معًا؟ أعطِ أمثلة لدعم تفسيرك.
- 10. اختر سلسلة غذائية بسيطة موجودة في أحد الأنظمة البيئية في قطر، باستثناء العشب والماعز الواردين في الدرس 1-10؛ وفي فقرة كحد أدنى:
 - a. حدّد نوع النظام البيئي.
 - b. اذكر الاسم الشائع للكائن الحي المُنتَج.
 - c. اربط اثنين من المُستهلكات وحدّدهما.
 - d. اذكر الاسم الشائع لمُحلّل، ووضّح دوره في النظام البيئي.
- 11. اذكر ثلاث طرائق للهضم خارج الخلوي في حالة البكتيريا والفطريات تختلف عن الهضم عند البشر.
- 12. ما هي المعالجة الحيوية؟ وكيف تكون البكتيريا أدوات قيّمة في تلك المعالجة؟

الدرس 2-10 الوقود الحيوي

- 13. ما الدليل على الحاجة إلى الوقود من مصادر غير الهيدروكربونات؟
- 14. ما هي الهدرجة؟ أعطِ مثالين على المُنتجات المهدرجة.
- 15. يرى كثيرون أن مواد الكتلة الحيوية الأوليّة بدائل جيدة من الطاقة «الخضراء» للوقود الهيدروكربوني. اختر إحدى مواد الكتلة الحيوية الأوليّة في شرح:
 - a. كيفية معالجتها لتحويلها إلى وقود في خطوات بسيطة.
 - b. موافقتك أو عدم موافقتك على أنها طاقة خضراء، وسبب ذلك.

16. استخدم الإنترنت للتعرف إلى مجال علم الأحياء التركيبي الجديد.



- a. فيمَ يختلف عن التكنولوجيا الحيوية؟
- b. ما هو القلق الأخلاقي لدى الناس حيال ذلك؟
- c. اذكر اسم منتج من علم الأحياء التركيبي بدأ بمساعدة الناس فعلاً.
- 17. ارسم خريطة مفاهيم تتضمن الوقود الحيوي كفكرة رئيسة.

- a. ضمنها المصطلحات الآتية، واربط بين الدوائر المفاهيمية بكلمات: مواد الكتلة الحيوية الأولية، المصفاة الحيوية، مصفاة النفط، الوقود الحيوي، المواد الحيوية، المواد الكيميائية الحيوية، الإيثانول، الغاز الحيوي
- b. قم بإعداد نسخة ثانية، وأهمّل المفهوم المُحاط بدائرة.
- c. راجع خريطة مفاهيم واضحة.
- d. عند الإرشاد، قم بتبادل الأوراق مع طالب آخر، لكن لا تبادل المفتاح. لاحظ عدد الإجابات الصحيحة.

18-25 اختر حرف المفهوم الصحيح أو الحروف التي تتعلق بكل من الأسماء والعمليات المتعددة:



- a. تحلل
- b. تحلل حيوي
- c. وقود حيوي

18. البكتيريا

19. المُعالِجة الحيوية.

20. الطحالب

21. الهضم

22. التفسير الفيزيائي.

23. الاحتراق

24. المُفاعِل الحيوي الضوئي.

25. فطر العفن الأبيض.

حل المشكلات



تخيّل أنك عالم طب شرعي، ودعيت لجمع ما تبقى من سلحفاة منقار الصقر Falcon Beak Turtle زنتها 20 Kg، ماتت من فورها على الشاطئ. لديك ساعة قبل ارتفاع درجات الحرارة، لئلا يصبح من المستحيل تحديد سبب الوفاة. أنت بعيد جدًا عن مختبرك، ولا تملك أيًا من الإمدادات التي تحتاج إليها، لكنك قرب مركز للتسوق. استخدم فهمك للتحلل في القيام بما يأتي:

a. اكتب قائمة من 5 مواد يمكنك تسوّقها، وقد تساعدك على جمع المعلومات الأساسية ونقل السلحفاة إلى مختبرك بالسيارة، من دون المزيد من الانحلال.

b. علّل اختيارك كل عنصر.

c. أعدّ قائمة بالخطوات التي ستّخذها في هذا المجال.

d. فور عودتك إلى المختبر، اقترح الأنسجة التي يجب تحليلها أولاً، قبل حدوث المزيد من الانحلال.



الشكر والتقدير

يشكر المؤلفون والناشرون المصادر الآتية على السماح لهم باستخدام ملكياتهم الفكرية كما أنهم ممتنون لهم لموافقتهم على نشر الصور.

Egoreichenkov Evgenii/Shutterstock; Doug McLean/Shutterstock; Alexander Gatsenkov/Shutterstock; ARTSIOM ZAVADSKI/shutterstock; rumruay/Shutterstock; Fouad A. Saad/Shutterstock; Rugged Studio/Shutterstock; Rvector/Shutterstock; Menno van der Haven/Shutterstock; Maxim Gaigul/Shutterstock; Iri-s/Shutterstock; springsky/Shutterstock; Meggi/Shutterstock; Jo Theera/Shutterstock; Dmitry_Kosarev/Shutterstock; Shiyen Sergiy/Shutterstock; MicroOne/Shutterstock; Macrovector/Shutterstock; robuart/Shutterstock; Vector FX/Shutterstock; T VECTOR ICONS/Shutterstock; Krafted/Shutterstock; Serorion/Shutterstock; Prachaya Roekdeethaweessab/Shutterstock; vectorisland/Shutterstock; LWY Partnership/Shutterstock; Anatolir/Shutterstock; BigMouse/Shutterstock; yoojiwhan/Shutterstock; Ton Snoei/Shutterstock; CreateCamera/Shutterstock; Anton Starikov/Shutterstock; Liudmila Savushkina/Shutterstock; e X p o s e/Shutterstock; Ariyaporn chumkong/Shutterstock; Piart/Shutterstock; darsi/Shutterstock; RayPics/Shutterstock; Billion Photos/Shutterstock; Wstockstudio/Shutterstock; Sicco Hesselmans/Shutterstock; Tanakax3/Shutterstock; cobalt88/Shutterstock; Raman Shytsik/Shutterstock; John Mackintosh/Shutterstock; Timothy Hodgkinson/Shutterstock; Serorion/Shutterstock; Jan Babak/Shutterstock; Winai Tepsuttinun/Shutterstock; ParabolStudio/Shutterstock; Andrei Nekrassov/Shutterstock; Dmitry S. Gordienko/Shutterstock; Monika Wisniewska /Shutterstock; Joel Everard /Shutterstock; Monika Wisniewska /Shutterstock; Joel Everard /Shutterstock; Naeblys /Shutterstock; bicubic /Shutterstock; samray /Shutterstock; VectorMine /Shutterstock; OSweetNature /Shutterstock; Dietrich Leppert /Shutterstock; Fouad A. Saad /Shutterstock; BINKONTAN /Shutterstock; mTaira /Shutterstock; ghost design /Shutterstock; Doroniuk Anastasiia /Shutterstock; corbac40 /Shutterstock; austinding /Shutterstock; Andrea Danti /Shutterstock; inigocia/Shutterstock; vchal/Shutterstock; tinkivinki/Shutterstock; Naypong Studio/Shutterstock; Lukasz Janyst /Shutterstock; John D Sirlin /Shutterstock; Walkabout Photo Guides /Shutterstock; Eugene R Thiesen /Shutterstock; Huntstyle /Shutterstock; Justin Hobson /Shutterstock; Vladiczech /Shutterstock; NASA images /Shutterstock; Arshad876 /Shutterstock; mapichai/Shutterstock; Minerva Studio/Shutterstock; Belish/Shutterstock; Christoph Burgstedt/Shutterstock; Mopic/Shutterstock; Peter Hermes Furian/Shutterstock; Nasky/Shutterstock; Draw Man/Shutterstock; Rainer Lesniewski/Shutterstock; Robert Adrian Hillman/Shutterstock; Designua/Shutterstock; Alexander Lukatskiy/Shutterstock; giedre vaitekune/Shutterstock; Fuss Sergey/Shutterstock; Pat_Hastings/Shutterstock; Jakkapan Sookjaroen/Shutterstock; ghost design/Shutterstock; Andrei Kuzmik/Shutterstock; Ras Abu Fontas A3 plant; Purple Anvil/Shutterstock; Eric Iselee/Shutterstock; Martin Voeller/Shutterstock; Sebastian Kaulitzki/Shutterstock; Michiel de Wit /Shutterstock; Flegiere/Shutterstock; Steve Bower/Shutterstock; terekov igor/Shutterstock; Kimberly Hall/Shutterstock; Oleksandr_Delyk/Shutterstock; grzym/Shutterstock; Anton Starikof/Shutterstock; marcinm111/Shutterstock; David Tonelson/Shutterstock; Ultrapek/Shutterstock; koosen/Shutterstock; Ebtikar/Shutterstock; royaltystockphoto.com/Shutterstock; juan gartnear/Shutterstock; Daojah/Shutterstock; Catherine Eckhart/Shutterstock; Sebastian Kaulitzki/Shutterstock; Burdun Illiya/Shutterstock; Kateryna Kon/Shutterstock; Maxx-studio/Shutterstock; lightboxx/Shutterstock; gorodenkoff/Shutterstock; okskaz/Shutterstock; Mike Workman/Shutterstock; Miss E Media/Shutterstock; Eric Agar/Shutterstock; IanRedding/Shutterstock; Aldona Griskeviciene/Shutterstock; Raland/Shutterstock; Okrasyuk/Shutterstock; Photomaster/Shutterstock; A7880S/Shutterstock; PhotocechCZ/Shutterstock; Rizik/Shutterstock; SunshineVector/Shutterstock; Lebendkulturen.de/Shutterstock; eranicle/Shutterstock; Bijanart/Shutterstock; JubalHarshaw/Shutterstock; Taiga/Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock;