سلطنة عُمان
وزارة التربية والتعليم

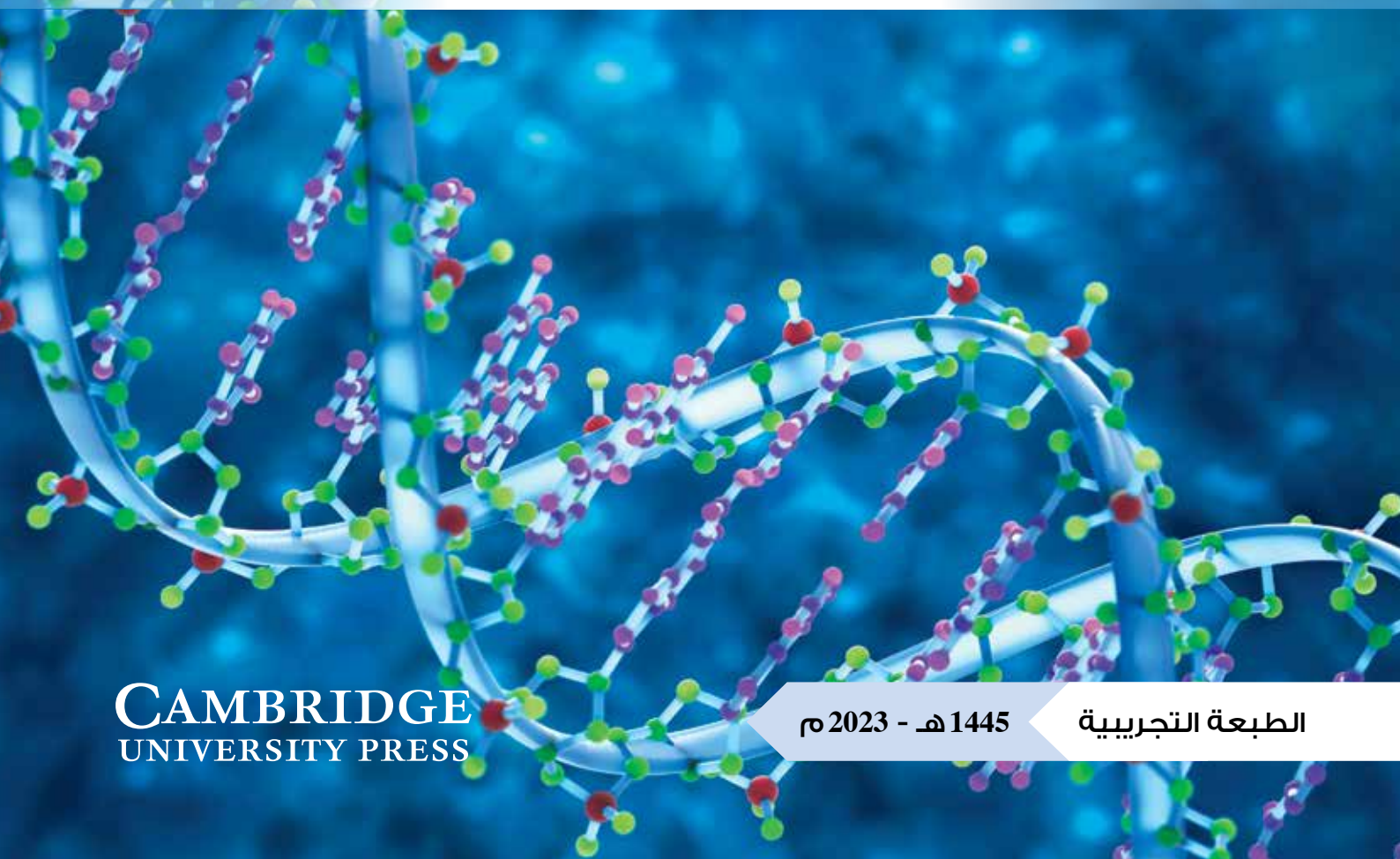
رؤية عُمان 2040
نتقدم بثقة
Moving Forward with Confidence

الأحياء

الصف الثاني عشر

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني



CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية
1445 هـ - 2023 م



سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الأحياء

الصف الثاني عشر

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية 1445 هـ - 2023 م

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

مطبعة جامعة كامبريدج، الرمز البريدي CB2 8BS، المملكة المتحدة.

تشكل مطبعة جامعة كامبريدج جزءًا من الجامعة.
وللمطبعة دور في تعزيز رسالة الجامعة من خلال نشر المعرفة، سعيًا وراء
تحقيق التعليم والتعلم وتوفير أدوات البحث على أعلى مستويات التميز العالمية.

© مطبعة جامعة كامبريدج ووزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي
المسموح به قانونًا ولأحكام التراخيص ذات الصلة.
لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من
مطبعة جامعة كامبريدج ومن وزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

الطبعة التجريبية ٢٠٢٣ م، طُبعت في سلطنة عُمان

هذه نسخة تمَّت مواءمتها من كتاب الطالب – الأحياء للصف الثاني عشر – من سلسلة كامبريدج للأحياء
لمستوى الدبلوم العام والمستوى المتقدم AS & A Level للمؤلفين ماري جونز، ريتشارد فوسبيري، دينيس تايلور،
جنيفر غريغوري.

تمت مواءمة هذا الكتاب بناءً على العقد الموقع بين وزارة التربية والتعليم ومطبعة
جامعة كامبريدج.
لا تتحمل مطبعة جامعة كامبريدج المسؤولية تجاه المواقع الإلكترونية
المستخدمة في هذا الكتاب أو دقّتها، ولا تؤكد أن المحتوى الوارد على تلك المواقع دقيق
وملائم، أو أنه سيبقى كذلك.

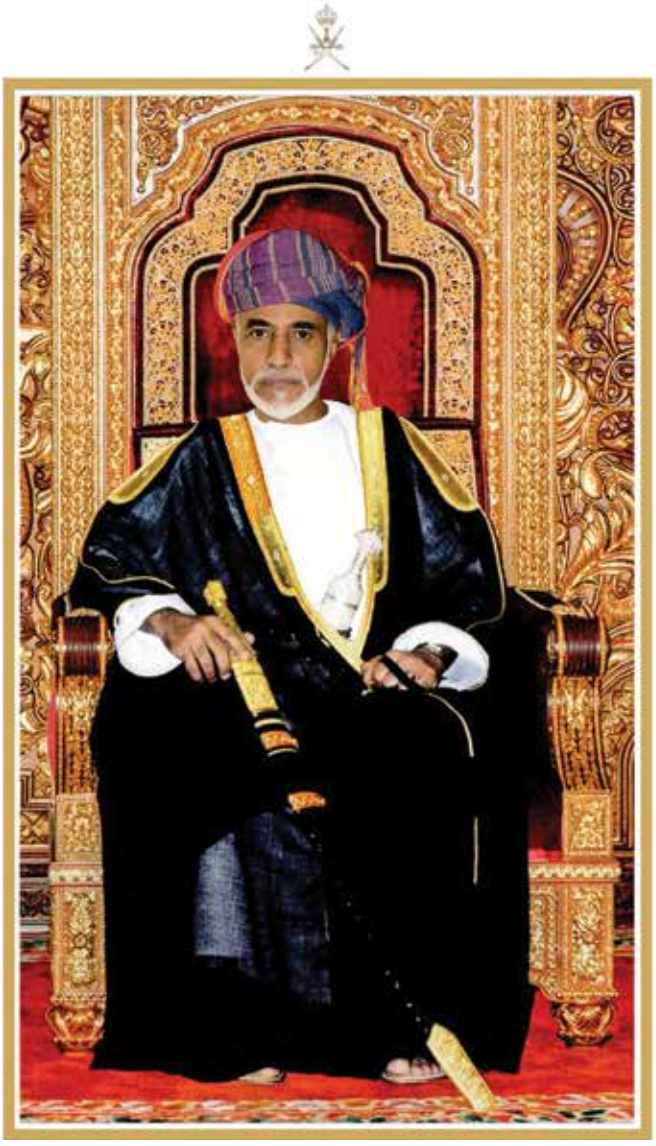
تمت مواءمة الكتاب

بموجب القرار الوزاري رقم ٢٠٢٣/٣٦ واللجان المنبثقة عنه



جميع حقوق الطبع والتأليف والنشر محفوظة لوزارة التربية والتعليم

**ولا يجوز طبع الكتاب أو تصويره أو إعادة نسخه كاملًا أو مجزّأ أو ترجمته
أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات بهدف تجاري بأي شكل من الأشكال
إلّا بإذن كتابي مسبق من الوزارة، وفي حال الاقتباس القصير يجب ذكر المصدر.**



المغفور لـه

السلطان قابوس بن سعيد

-طيّب اللّه ثراه-



حضرة صاحب الجلالة

السلطان هيثم بن طارق المعظم

-حفظه اللّه ورعاه-

سلطنـــــة عُمـــــان

(المحافظات والولايات)





النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

يـا رَبَّنـا احْفَـظْ لنـا جَـلالَـةَ الـسُّـلْـطـان
وَالشَّعْـبَ فـي الأَوْطـان بِـالْـعِـزِّ والأَمـان
وَلْـيَـدُمْ مـؤَيَّـدًا عـاهِـلاً مُـمَـجَّـدًا
بِالنُّفـوسِ يُفْتَـدى

يا عُمانُ نَحْنُ مِنْ عَهْدِ النَّبي أَوْفِياءُ مِنْ كِرامِ الْعَرَبِ
فـارْتَقـي هـامَ السَّمـاء وَامْلَئي الْكَـوْنَ ضيـاء
وَاسْعَدي وَانْعَمي بِالرَّخـاء

تقديم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على خير المرسلين، سيّدنا مُحمَّد، وعلى آله وصحبه أجمعين. وبعد:

لقد حرصت وزارة التربية والتعليم على تطوير المنظومة التعليمية في جوانبها ومجالاتها المختلفة كافة؛ لتُلبّي مُتطلّبات المجتمع الحالية، وتطلُّعاته المستقبلية، ولتتواكب مع المُستجدّات العالمية في اقتصاد المعرفة، والعلوم الحياتية المختلفة؛ بما يؤدّي إلى تمكين المخرجات التعليمية من المشاركة في مجالات التنمية الشاملة للسلطنة.

وقد حظيت المناهج الدراسية، باعتبارها مكوِّنًا أساسيًا من مكوِّنات المنظومة التعليمية، بمراجعة مستمرة وتطوير شامل في نواحيها المختلفة؛ بدءًا من المقرّرات الدراسية، وطرائق التدريس، وأساليب التقويم وغيرها؛ وذلك لتتناسب مع الرؤية المستقبلية للتعليم في السلطنة، ولتتوافق مع فلسفته وأهدافه.

وقد أولت الوزارة مجال تدريس العلوم والرياضيات اهتمامًا كبيرًا يتلاءم مع مستجدات التطور العلمي والتكنولوجي والمعرفي. ومن هذا المنطلق اتَّجهت إلى الاستفادة من الخبرات الدولية؛ اتساقًا مع التطوُّر المتسارع في هذا المجال، من خلال تبنّي مشروع السلاسل العالمية في تدريس هاتَين المادّتَين وفق المعايير الدولية؛ من أجل تنمية مهارات البحث والتقصّي والاستنتاج لدى الطلبة، وتعميق فهمهم للظواهر العلمية المختلفة، وتطوير قدراتهم التنافُسية في المسابقات العلمية والمعرفية، وتحقيق نتائج أفضل في الدراسات الدولية.

إن هذا الكتاب، بما يحويه من معارف ومهارات وقيَم واتجاهات، جاء مُحقِّقًا لأهداف التعليم في السلطنة، وموائمًا للبيئة العمانية، والخصوصية الثقافية للبلد، بما يتضمَّنه من أنشطة وصور ورسوم. وهو أحد مصادر المعرفة الداعمة لتعلُّم الطالب، بالإضافة إلى غيره من المصادر المختلفة.

نتمنّى لأبنائنا الطلبة النجاح، ولزملائنا المعلّمين التوفيق فيما يبذلونه من جهود مُخلِصة، لتحقيق أهداف الرسالة التربوية السامية؛ خدمة لهذا الوطن العزيز، تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان هيثم بن طارق المعظّم، حفظه الله ورعاه.

والله ولي التوفيق

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيرة التربية والتعليم

المحتويات

المقدمة xi

كيف تستخدم هذه السلسلة xiii

كيف تستخدم هذا الكتاب xv

الوحدة السادسة: الطاقة والتنفُّس

٦-١ حاجة الكائنات الحية إلى الطاقة ٢٠

٦-٢ التنفُّس الهوائي ٢٢

٦-٣ تركيب الميتوكندريا ووظيفتها ٣٠

٦-٤ التنفُّس من دون الأكسجين ٣١

الوحدة السابعة: التمثيل الضوئي

٧-١ تركيب ووظيفة
البلاستيدات الخضراء ٤٥

٧-٢ مرحلة التفاعلات المعتمدة على
الضوء من عملية التمثيل الضوئي ٥١

٧-٣ مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على
الضوء من عملية التمثيل الضوئي ٥٣

٧-٤ العوامل المحدّدة لعملية
التمثيل الضوئي ٥٦

الوحدة الثامنة: الأمراض المعدية والمناعة

٨-١ الأمراض المعدية ٦٧

٨-٢ المضادات الحيوية ٨٣

٨-٣ الدفاعات ضد المرض ٨٩

٨-٤ خلايا جهاز المناعة ٩١

٨-٥ المناعة الإيجابية والمناعة السلّبية ... ١٠١

الوحدة التاسعة: التصنيف والتنوع البيولوجي والحفاظ عليه

٩-١ التصنيف ١٢١

٩-٢ التنوع البيولوجي ١٣٤

٩-٣ الحفاظ على التنوع البيولوجي ١٤٨

٩-٤ إدارة أعداد الأنواع ١٥٣

٩-٥ منظمات الحماية الدولية ١٦٣

قائمة المصطلحات ١٧٤

المقدمة

يستند هذا الكتاب بشكل أساسيّ إلى كتاب علم الأحياء الذي كتب لمنهج كامبريدج (Cambridge AS & A Level Biology 9700). ويغطي الفصل الدراسي الثاني من منهج سلطنة عمان لمادة الأحياء للصف الثاني عشر.

تعتمد دراسة الكتاب على جهودك الخاصة في التعلم، وعلى ما يوجهك المعلم إليه. وترتكز وحداته على المعارف والمهارات التي درستها في سنوات سابقة، كما ترتكز بعض الوحدات المتأخرة على المعرفة المتأتية من الوحدات التي عرضت قبلها.

تؤمّن الكثير من الأسئلة الواردة في المحتوى فهمًا أعمق للحقائق والمفاهيم، وبالتالي لن يكفي حفظ العبارات ومحتوى الرسوم التخطيطيّة، واسترجاعها، بل يفترض بك أن تطوّر فهمًا معمّقًا لكل مفهوم. وسيساعدك في تحقيق ذلك محاولتك الإجابة عن الأسئلة الواردة ضمن الوحدات وفي نهايتها.

من المهم جدًا إدراك أن جميع موضوعات الكتاب ترتبط بعضها ببعض، على الرغم من أنك ستدرسها على شكل سلسلة من الموضوعات المختلفة، وستحتاج إلى تكوين روابط بين المفاهيم المختلفة لتتمكّن من الإجابة عن بعض الأسئلة. على سبيل المثال، قد تتطلب الإجابة عن أحد الأسئلة الجمع بين المعرفة عن بناء البروتين والأمراض المعدية وعمليات النقل في الثدييات. وستلاحظ أن بعض المفاهيم الأساسيّة تتكرر باستمرار، ومنها:

- الخلايا كوحدات للحياة.
- العمليات الكيميائيّة الحيويّة.
- جزيء الوراثة DNA.
- الكائنات الحيّة في بيئاتها.
- الملاحظة والتجربة.

فكّر، أثناء تعلمك، في ما تعلمته سابقًا، ومدى ارتباطه بما تتعلمه الآن. ستجد في بعض أسئلة التفكير الواردة في نهاية الوحدات روابط معيّنة يمكنك التفكير فيها، وهي تحفزك على أن تفكر في طريقة تعلمك، بما يساعدك في تحقيق أقصى استفادة من وقتك وقدراتك أثناء تعلمك. يمكنك الاستفادة أيضًا من قوائم التقويم الذاتي الواردة في نهاية كل وحدة لتستكشف مدى فهمك لكل موضوع، وتعرف ما إذا كنت في حاجة إلى بذل مزيد من الجهد في دراسته.

تمثل المهارات العمليّة جزءًا مهمًا في كتاب الأحياء، وستطوّر مهاراتك مع إجرائك للأنشطة والاستقصاءات العمليّة المرتبطة بالموضوعات التي تدرسها.

يؤمّن كتاب التجارب العملية والأنشطة إرشادات عامة ذات صلة بكثير من المهارات التي تحتاج إلى تطويرها وأنت تجري الأنشطة والاستقصاءات العمليّة – ومن ذلك، رسم التمثيلات البيانيّة وتحليلها والتخطيط للتجارب – وحل المسائل المختلفة. كما يشتمل على الكثير من الشروح، بما فيها الشرح المفصّل عن كيفيّة إجراء جميع الاستقصاءات العمليّة التي يتضمنها المنهج.

ستكون دراستك لكتاب الأحياء هذا مثيرة للاهتمام، بخاصة مع الاكتشافات المتلاحقة والتقنيات الجديدة التي تعرضها وسائل الإعلام. لذا، نأمل أن تجد في ما ستدرسه الفائدة والمتعة اللتَين نتوخّاهما، وأن تطوّر مزيدًا من الاهتمام بعلم الأحياء باستمرار.

كيف تستخدم هذه السلسلة

تقدّم هذه المكوّنات (أو المصادر) الدعم للطلبة في الصف الثاني عشر في سلطنة عمان لتعلم مادة الأحياء واستيعابها، حيث تعمل كتب هذه السلسلة جميعها معًا لمساعدة الطلبة على تطوير المعرفة والمهارات العلمية اللازمة لهذه المادة. كما تقدّم الدعم للمعلمين لإيصال هذه المعارف للطلبة وتمكينهم من مهارات الاستقصاء العلمي.



يقدّم «كتاب الطالب» دعمًا شاملًا لمنهج الأحياء للصف الثاني عشر في سلطنة عمان، ويقدّم شرحًا للحقائق والمفاهيم والتقنيات العلمية بوضوح، كما يستخدم أمثلة من العالم الواقعي للمبادئ العلمية. والأسئلة التي تتضمنها كل وحدة تساعد على تطوير فهم الطلبة للمحتوى، في حين أن الأسئلة الموجودة في نهاية كل وحدة تحقق لهم مزيدًا من التطبيقات العلمية الأساسية.



يحتوي «كتاب التجارب العملية والأنشطة» على أنشطة وأسئلة نهاية الوحدة، والتي تمّ اختيارها بعناية، بهدف مساعدة الطلبة على تطوير المهارات المختلفة التي يحتاجون إليها أثناء تقدمهم في دراسة كتاب الأحياء. كما تساعد هذه الأسئلة الطلبة على تطوير فهمهم لمعنى الأفعال الإجرائية المستخدمة في الأسئلة، إضافة إلى دعمهم في الإجابة عن الأسئلة بشكل مناسب.

كما يحقّق هذا الكتاب للطلبة الدعم الكامل الذي يساعدهم على تطوير مهارات الاستقصاء العملية الأساسية. وكذلك مهارات تخطيط الاستقصاءات، واختيار الجهاز المناسب وكيفية التعامل معه، وطرح الفرضيات، وتدوين النتائج وعرضها، وتحليل البيانات وتقييمها.

يدعم دليل المعلم «كتاب الطالب» و «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، ويعزز الأسئلة والمهارات العملية الموجودة فيهما. ويتضمّن هذا الدليل أفكارًا تفصيلية للتدريس وإجابات عن كل سؤال ونشاط وارد في «كتاب الطالب» وفي «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، فضلًا عن الإرشادات التعليمية لكل موضوع، بما في ذلك خطة التدريس المقترحة، وأفكار للتعلم النشط والتقويم التكويني، والمصادر المرتبطة بالموضوع، والأنشطة التمهيدية، والتعليم المتمايز (تفريد التعليم) والمفاهيم الخاطئة وسوء الفهم. كما يتضمن أيضًا دعمًا مفصلًا لإجراء الاستقصاءات العملية وتنفيذها في «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، بما في ذلك فقرات «مهم» لجعل الأمور تسير بشكل جيد، إضافة إلى مجموعة من عينات النتائج التي يمكن استخدامها إذا لم يتمكن الطلبة من إجراء التجربة، أو أخفقوا في جمع النتائج النموذجية.



كيف تستخدم هذا الكتاب

خلال دراستك هذا الكتاب، ستلاحظ الكثير من الميزات المختلفة التي ستساعدك في التعلم. هذه الميزات موضحة على النحو الآتي:

أهداف التعلّم

تُمثّل هذه الأهداف مضمون كل وحدة دراسية، وتساعد على إرشاد الطلبة خلال دراسة «كتاب الطالب»، كما تشير إلى المفاهيم المهمة المطروحة في كل موضوع، ويتم التركيز عليها عند تقويم الطالب.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

تحتوي هذه الميزة على أسئلة وأنشطة تتمحور حول المعرفة القبلية للموضوعات التي ستحتاج إليها قبل البدء بدراسة الوحدة.

العلوم ضمن سياقها

تُقدّم هذه الميزة أمثلة وتطبيقات واقعية للمحتوى الموجود في كل وحدة دراسية، ما يعني أنها تشجع الطلبة على إجراء المزيد من البحث في الموضوعات المختلفة.

مهارة عملية

لا يحتوي هذا الجزء من الكتاب على تعليمات مفصلة لإجراء تجارب معيّنة، لكنك ستجد، في مربّعات النص هذه، توجيهات أساسية حول النشاط العملي الذي تحتاج إلى تطبيقه.

أمثلة

تحتوي على أمثلة محلولة توضّح كيفية استخدام صيغة رياضية معيّنة لإجراء عملية حسابية.

أسئلة

يتخلّل النص أسئلة تمنحك فرصة للتحقق من أنك قد فهمت الموضوع الذي قرأت عنه.

مصطلحات علمية

يتم تمييز المصطلحات الأساسية في النص عند تقديمها لأول مرة. ثم يتم تقديم تعريفات لها في الهامش تشرح معاني هذه المصطلحات.

سوف تجد أيضًا تعريفات لهذه المصطلحات في قائمة المصطلحات الواردة في نهاية هذا الكتاب.

أفعال إجرائية

لقد تمّ إبراز الأفعال الإجرائية الواردة في المنهج الدراسي بلون غامق في أسئلة نهاية الوحدة، ويمكن استخدامها في الاختبارات، خصوصًا عندما يتم تقديمها للمرة الأولى. وستجد في الهامش تعريفًا لها.

سوف تجد أيضًا التعريفات نفسها في قائمة المصطلحات الواردة في نهاية هذا الكتاب.

مهمّ

يتم في مربّعات النص هذه إدراج حقائق وإرشادات مهمّة للطلبة.

ملخّص

تحتوي مربّعات النص هذه على ملخّص للنقاط الرئيسية في نهاية كل وحدة.

أسئلة نهاية الوحدة

تقيس هذه الأسئلة مدى تحقّق الأهداف التعليمية في الوحدة، وقد يتطلب بعضها استخدام معارف علمية من وحدات سابقة. تتوافر إجابات هذه الأسئلة في دليل المعلم.

قائمة تقييم ذاتي

تلي الملخّص عبارات تتضمّن عناوين منها: «أستطيع أن» التي تتطابق مع أهداف التعلم الموجودة في بداية الوحدة؛ و «أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد»، أو «متمكّن إلى حدٍّ ما» اللتَين تشيران إلى وجوب مراجعة ما تراه ضروريًا في هذا المجال. وقد تجد أنه من المفيد تقييم مدى ثقتك بكل من هذه العبارات أثناء عملية المراجعة.

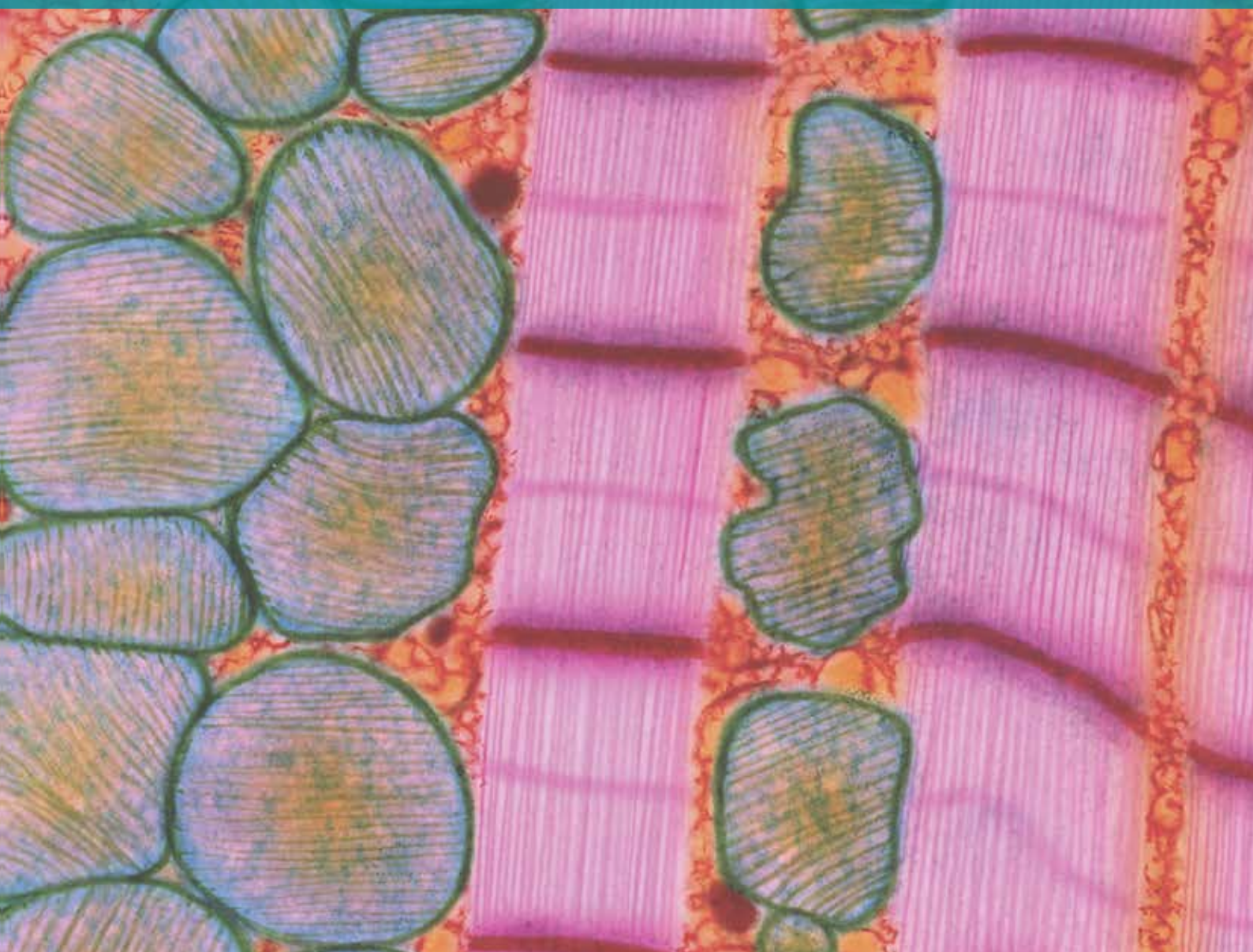
أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدٍّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا



الوحدة السادسة

الطاقة والتنفُّس

Energy and respiration



أهداف التعلّم

٦-١ يلخص حاجة الكائنات الحية للطاقة، كما يتضح من خلال النقل النشط والحركة وتفاعلات البناء، كتلك التي تحدث في تضاعف DNA وبناء البروتين.

٦-٢ يصف سمات ATP التي تجعله مناسبًا كعملة طاقة عالمية.

٦-٣ يشرح أنه يتم بناء ATP بواسطة:
- نقل الفوسفات في التفاعلات المرتبطة بالمواد المتفاعلة
- الأسموزية الكيميائية في أغشية الميتوكندريا والبلاستيدات الخضراء.

٦-٤ يذكر مكان حدوث كل مرحلة من مراحل التنفس الهوائي الأربع في الخلايا حقيقية النواة:
- التحلل السكري في السيتوبلازم
- التفاعل الرابط في حشوة الميتوكندريا
- دورة كربس في حشوة الميتوكندريا
- الفسفرة التأكسدية على غشاء الميتوكندريا الداخلي.

٦-٥ يلخص التحلل السكري على أنه فسفرة الجلوكوز والانشطار اللاحق للفركتوز 1، 6 -ثنائي الفوسفات (6C) إلى جزيئَي تريوز فوسفات (3C) اللذين يتأكسدان إلى جزيئي بيروفات (3C)، مع إنتاج ATP و NAD المُخْتَزَل.

٦-٦ يشرح أنه عند توافر الأكسجين يدخل جزيء البيروفات إلى الميتوكندريا للمشاركة في التفاعل الرابط.

٦-٧ يصف التفاعل الرابط، بما في ذلك دور مرافق الإنزيم A في نقل مجموعات الأستيل (2C).

٦-٨ يلخص دورة كربس، شارحًا أن أكسالوأسيتات (4C) يعمل كمستقبل لـ (2C) من أستيل مرافق إنزيم A لتكوين السيترات (6C)، والذي سيتحول مرة أخرى في سلسلة من الخطوات الصغيرة إلى أكسالوأسيتات.

٦-٩ يشرح أن التفاعلات في دورة كربس تتضمن:
- نزع الكربوكسيل
- نزع الهيدروجين
- اختزال مرافقي الإنزيم NAD و FAD
- فسفرة ADP.

٦-١٠ يصف دور NAD و FAD في نقل الهيدروجين إلى نواقل في غشاء الميتوكندريا الداخلي.

٦-١١ يشرح أنه أثناء الفسفرة التأكسدية:
- تنشطر ذرات الهيدروجين إلى بروتونات وإلكترونات عالية الطاقة
- تطلق الإلكترونات عالية الطاقة أثناء مرورها طاقةً عبر سلسلة نقل الإلكترون (تفاصيل النواقل ليست مطلوبة)
- تُستخدم الطاقة المنطلقة لنقل البروتونات عبر غشاء الميتوكندريا الداخلي
- تعود البروتونات إلى حشوة الميتوكندريا عن طريق الانتشار المسهل من خلال ATP سينثيز، الأمر الذي يوفر الطاقة لبناء ATP (تفاصيل ATP سينثيز ليست مطلوبة)
- يعمل الأكسجين كمستقبل نهائي للإلكترونات لتكوين الماء.

٦-١٢ يصف ويفسر الاستقصاءات باستخدام مقاييس تنفس بسيطة لتحديد تأثير درجة الحرارة على معدل التنفس.

٦-١٣ يصف العلاقة بين تركيب ووظيفة الميتوكندريا باستخدام الرسوم التخطيطية والصور المجهرية الإلكترونية.

٦-١٤ يلخص التنفس في الظروف اللاهوائية في الثدييات (تخمر اللاكتات) وفي خلايا الخميرة وبعض الكائنات الحية الدقيقة الأخرى وبعض خلايا النباتات (تخمر الإيثانول).

٦-١٥ يشرح سبب أن كمية الطاقة المنطلقة من التنفس في الظروف الهوائية أعلى بكثير من كمية الطاقة المنطلقة من التنفس في الظروف اللاهوائية (الحساب التفصيلي للناتج الإجمالي من ATP من التنفس الهوائي للجلوكوز ليس مطلوبًا).

٦-١٦ يشرح كيفية مناسبة تركيب نبات الأرز للنمو مع غمر جذوره في الماء، مقتصرًا على نمو نسيج الإيرنشيما في الجذور، وتخمر الإيثانول في الجذور والنمو السريع في الساق.

٦-١٧ يصف ويفسر الاستقصاءات باستخدام كواشف الأكسدة والاختزال، بما في ذلك DCPIP وأزرق الميثيلين، لتحديد تأثير درجة الحرارة وتركيز المادة المتفاعلة على معدل تنفس الخميرة.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

ناقش هذه الأسئلة مع زميلك:

- لماذا تحتاج خلاياك إلى الطاقة؟
- كيف توفر عملية التنفس الطاقة المفيدة للخلايا؟
- في أي خلايا جسمك يحدث التنفس؟

كن مستعدًا لتشارك أفكارك مع بقية الطلبة.

العلوم ضمن سياقها

العلاج بزراعة الميتوكندريا

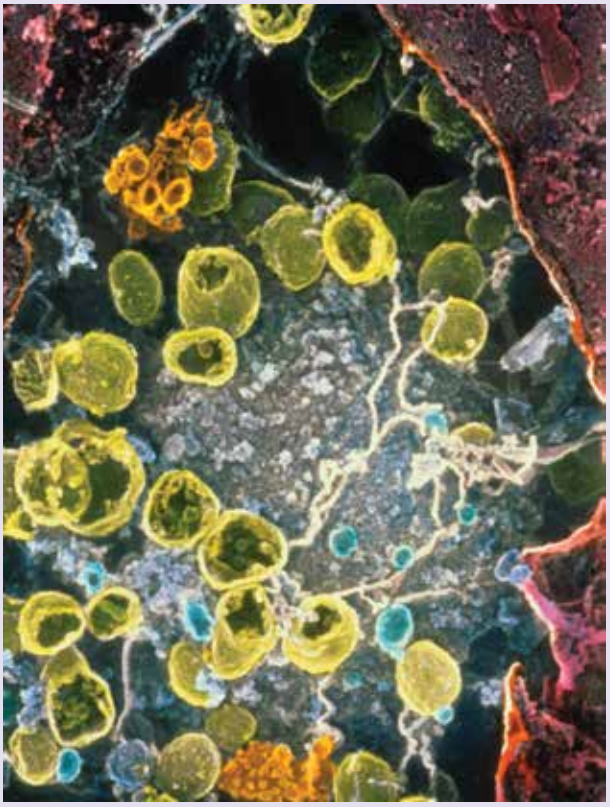
في عام 2016 م ولد أول طفل تحتوي خلاياه على DNA من ثلاثة آباء؛ DNA الأبوين «الرئيسيَّين»، وDNA الثالث أُضيف إلى الحيوان المنوي والبويضة للأبوين الرئيسيين. أجرى العملية الأخيرة في المكسيك فريق من الولايات المتحدة الأمريكية، وهي تمثل اختراقًا علميًّا مهمًّا.

اختار الأبوان هذه المعالجة لوجود جين غير طبيعي في بعض الميتوكندريا عند الأم، علمًا أنه في حالة الإخصاب الطبيعي كل الميتوكندريا في الزيجوت تأتي من بويضة الأم وليس من الحيوان المنوي. فإذا احتوت البويضة على الميتوكندريا غير الطبيعية، فسيولد الطفل بحالة تؤدّي إلى الموت.

تحتوي الميتوكندريا على حلقات DNA صغيرة تحمل جينات تشفر لـ RNA الرايبوسومي و RNA الناقل اللذين تستخدمهما الميتوكندريا لبناء البروتينات. ويؤدي وجود النسخ غير الطبيعية من هذه الجينات إلى اختلالات أيضية خطِرة، تؤثر بشكل خاص على الأنسجة التي تتطلب طاقة عالية، مثل الأنسجة العصبية وعضلات القلب وخلايا الكبد.

في هذه الحالة، جرى مساعدة المرأة على عدم نقل DNA الميتوكندريا غير الطبيعية إلى الجنين عن طريق الإخصاب خارج الجسم (في المختبر) الذي تضمّن ثلاثة آباء بيولوجيّين: الأب والأم الرئيسيَين وامرأة مانحة لبويضة بها ميتوكندريا سليمة.

أُزيلت النواة من إحدى بويضات الأم (الصورة ٦-١) بدون أخذ أية ميتوكندريا بالرغم من صعوبة ذلك عمليًا، ثم حقنت النواة في بويضة مانحة بعد إزالة نواتها أيضًا، ثم وُضعت البويضة المانحة التي تحتوي على الميتوكندريا السليمة والنواة من بويضة الأم في طبق، وأضيفت إليها الحيوانات المنوية من الأب، فتطورت بويضة مخصبة واحدة إلى جنين سليم تم غرسه في رحم الأم الأصلية.



الصورة ٦-١ صورة مجهرية إلكترونية (الماسح) لمقطع في بويضة الأم. تم تلوين الميتوكندريا باللون الأصفر (6000 x).

أسئلة للمناقشة

- ما شعورك حول أخلاقيات هذا الإجراء؟ وما شعور زملائك في الصف؟
- كان هذا إجراءً تجريبيًا. لكنّ والدَي الطفل قررا عدم السماح للعلماء بفحص ميتوكندريا الطفل وصحته أثناء نموه. ما رأيك في هذا القرار؟

٦-١ حاجة الكائنات الحية إلى الطاقة

تحتاج جميع الكائنات الحية إلى التزود بالطاقة باستمرار للبقاء على قيد الحياة. وهذه الطاقة ضرورية لكل كائن حي وكل خلية حية لعدة أغراض متنوعة وهي:

- يجب نقل المواد عبر الأغشية ضد منحدر تركيزها بالنقل النشط (الوحدة الخامسة، أغشية الخلية والنقل، الصف الحادي عشر).
- تتطلب الحركة طاقة، سواء كانت داخل الخلية، مثل نقل البروتين من مكان بنائه على الرايبوسوم إلى جهاز جولجي، أو على مستوى الخلايا أو الأنسجة أو الأعضاء ككل، مثل انقباض العضلات (الوحدة الخامسة، التحكم والتنسيق).
- يتطلب بناء الجزيئات الكبيرة من الجزيئات الأصغر، مثل تضاعف جزيئات DNA، أو بناء البروتينات، الطاقة دائمًا (الوحدة الأولى، الأحماض النووية وبناء البروتين). وهذا النوع من التفاعلات الأيضية يسمى **تفاعلات البناء** **Anabolic reactions**.

مصطلحات علمية

تفاعلات البناء Anabolic reactions: تفاعلات كيميائية يتم فيها بناء الجزيئات الكبيرة من جزيئات أصغر.

التنفس Respiration: عملية إطلاق الطاقة بواسطة الإنزيمات من المركبات العضوية في الخلايا الحية.

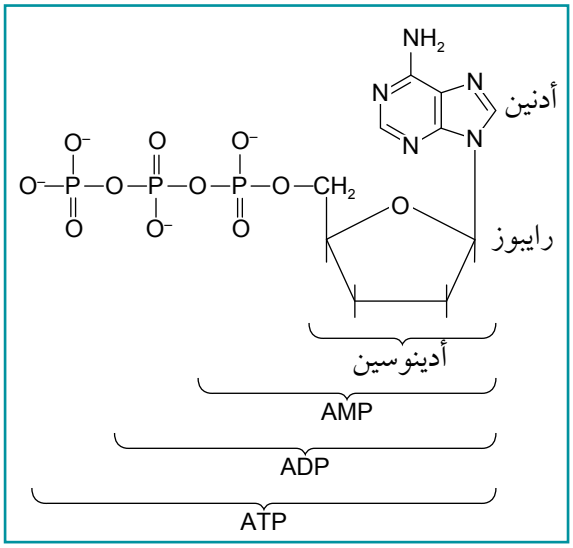
تُستخدم المادة نفسها في جميع الكائنات الحية المعروفة لتوفر الطاقة لهذه العمليات، وذلك على شكل جزيء ATP (أدينوسين ثلاثي الفوسفات). فجزيء ATP هو عملة الطاقة العالمية للخلايا Universal energy currency of cells وهذا يعني أن كل خلية حية تستخدم ATP لنقل الطاقة. وتكوّن كل خلية ATP الخاص بها، ثم تطلق الطاقة من جزيئات ATP لتوفرها للعمليات الواردة أعلاه.

من أين تأتي الطاقة التي في جزيئات ATP؟ تنشأ الطاقة في معظم الكائنات الحية من ضوء الشمس. فالنباتات وغيرها من الكائنات الحية التي تقوم بالتمثيل الضوئي تلتقط الطاقة من ضوء الشمس وتحولها إلى طاقة كيميائية كامنة في الجزيئات العضوية مثل الكربوهيدرات والدهون والبروتينات، وهي تقوم بذلك عن طريق التمثيل الضوئي الذي ستدرسه في الوحدة السابعة. في هذه الوحدة ستتعرف كيف تُنقل الطاقة المحتجزة في الكربوهيدرات والدهون والبروتينات إلى ATP في عملية **التنفس** **Respiration**.

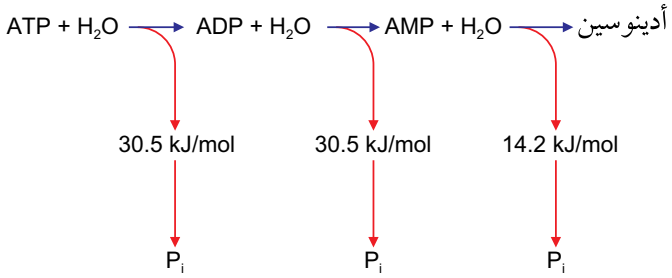
ATP

درست في الوحدة الأولى عن تركيب ATP، وعرفت أنه عبارة عن نيوكليوتيد مفسفر. يتكوّن جزيء ATP من القاعدة أدنين وسكر رايبوز وثلاث مجموعات فوسفات (الشكل ٦-١).

عند نزع مجموعة فوسفات واحدة من ATP، يتكوّن ADP (أدينوسين ثنائي الفوسفات)، وتنطلق طاقة مقدارها 30.5 kJ/mol. وينتج من نزع مجموعة فوسفات ثانية AMP (أدينوسين أحادي الفوسفات)، وتنطلق طاقة مقدارها 30.5 kJ/mol أيضًا. وبنزع آخر مجموعة فوسفات يبقى الأدينوسين وتطلق فقط 14.2 kJ/mol (الشكل ٦-٢).



الشكل ٦-١ تركيب جزيء ATP.



الشكل ٦-٢ التحلل المائي لـ ATP لإطلاق الطاقة.

P_i هو فوسفات غير عضوي، PO_4^{-3}.

يُعدّ ATP العملة المثالية للطاقة لعدة أسباب:

- يمكن أن يحدث التحلل المائي لجزيء ATP بسرعة وسهولة في أي جزء من الخلية يحتاج إلى الطاقة.
- يطلق التحلل المائي لجزيء واحد من ATP كمية كافية لتزويد عملية تتطلب الطاقة في الخلية، وليس كمية كبيرة يتم إهدارها.
- ATP جزيء مستقر نسبيًا في نطاق الرقم الهيدروجيني pH الذي يوجد عادة في الخلايا. وهو لا يتفكك إلا عند وجود عامل حفاز، على سبيل المثال إنزيم ATPase.

من المحتمل أن يوجد في جسمك في هذه اللحظة ما بين (50-200) g من ATP، وسوف تستخدم أكثر من 50 kg من ATP في هذا اليوم (قد يماثل هذا الرقم كتلة جسمك الكلية). لذا، تحتاج خلاياك إلى تكوين ATP باستمرار؛ وهي لا تبني مخازن كبيرة منه، لكنها تكوّنه عند الحاجة إليه.

يتكوّن ATP عند اندماج مجموعة فوسفات مع ADP، على عكس التفاعل المبيّن في الشكل ٦-٢، ويحدث ذلك بطريقتَين رئيسيتَين:

- استخدام الطاقة التي يوفرها مباشرة تفاعل كيميائي آخر يسمّى **التفاعل المرتبط بالمادة المتفاعلة Substrate - linked reaction**.
- عن طريق **الأسموزية الكيميائية Chemiosmosis**، وهي عملية تحدث عبر غشاء الميتوكندريا الداخلي أو البلاستيدة الخضراء، باستخدام الطاقة المنطلقة من حركة أيونات الهيدروجين مع منحدر تركيزها.

في الإنسان يتكوّن جميع ATP في عملية التنفس، عن طريق التفاعلات المرتبطة بالمادة المتفاعلة، والأسموزية الكيميائية. ستوصف هذه العمليات لاحقًا في هذه الوحدة.

ويتكوّن ATP في النباتات أيضًا في التنفس، وفي التمثيل الضوئي الذي يوصف في الوحدة السابعة.

إن حاجة الإنسان إلى التزوّد المستمر بـ ATP تتطلب منه التنفس باستمرار. يوفر التنفس الأكسجين للخلايا، التي تستخدمه لأكسدة الجلوكوز وإطلاق الطاقة منه، وتستخدم هذه الطاقة لبناء جزيئات ATP. يصف الموضوع التالي كيف يحدث ذلك.

مصطلحات علمية

التفاعل المرتبط بالمادة المتفاعلة Substrate- linked reaction: تفاعل يتم فيه نقل الفوسفات من جزيء المادة المتفاعلة مباشرة إلى ADP لتكوين ATP، باستخدام الطاقة التي يوفرها مباشرة تفاعل كيميائي آخر.

الأسموزية الكيميائية Chemiosmosis: بناء ATP باستخدام الطاقة المنطلقة من حركة أيونات الهيدروجين مع منحدر تركيزها عبر غشاء الميتوكندريون أو البلاستيدة الخضراء.

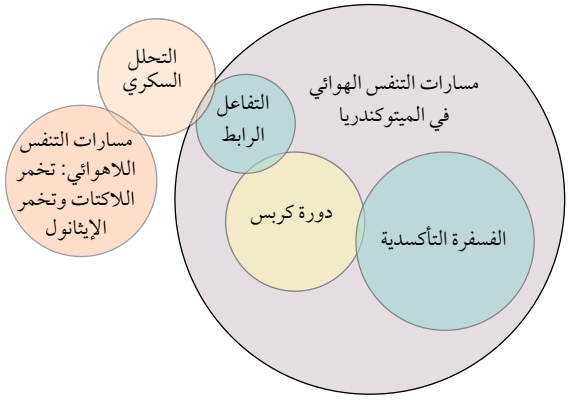
أسئلة

(١) استفد من الشكل ٦-٢ لكتابة معادلة تكوّن ATP من ADP.

(٢) «العملة» مصطلح يستخدم عادة لوصف النقود. ناقش مع زميلك معنى المصطلح **عملة الطاقة**، وسبب استخدام هذا المصطلح لوصف ATP. حاول مناقشة أفكارك مع بقية زملائك في الصف.

٦-٢ التنفس الهوائي

التنفس هو العملية التي تتفكك فيها الجزيئات العضوية في سلسلة من المراحل لإطلاق الطاقة الكيميائية الكامنة، التي تستخدم لبناء ATP. والجزيء العضوي الرئيسي الذي يُستخدم في هذه العملية هو الكربوهيدرات، وعادة ما يكون الجلوكوز. يمكن للعديد من الخلايا - بما فيها خلايا الدماغ - استخدام الجلوكوز فقط كمادة متفاعلة للتنفس. ومع ذلك، تفكك خلايا أخرى الأحماض الدهنية والجليسرول والأحماض الأمينية للتنفس. فعلى سبيل المثال، تستخدم عضلات القلب الأحماض الدهنية.



الشكل ٦-٣ موقع مسارات عملية التنفس في الخلية. في التنفس الهوائي يحدث التحلل السكري في السيتوبلازم، ويحدث التفاعل الرابط ودورة كربس، والفسفرة التأكسدية داخل الميتوكندريا. يتضمن التنفس اللاهوائي مسارات أخرى تحدث في السيتوبلازم.

يمكن تقسيم عملية تفكك الجلوكوز إلى أربع مراحل: التحلل السكري، والتفاعل الرابط، ودورة كربس، والفسفرة التأكسدية (الشكل ٦-٣).

مصطلحات علمية

التحلل السكري Glycolysis: انشطار الجلوكوز، وهي المرحلة الأولى من التنفس الهوائي.

الفسفرة Phosphorylation: إضافة مجموعة فوسفات إلى جزيء.

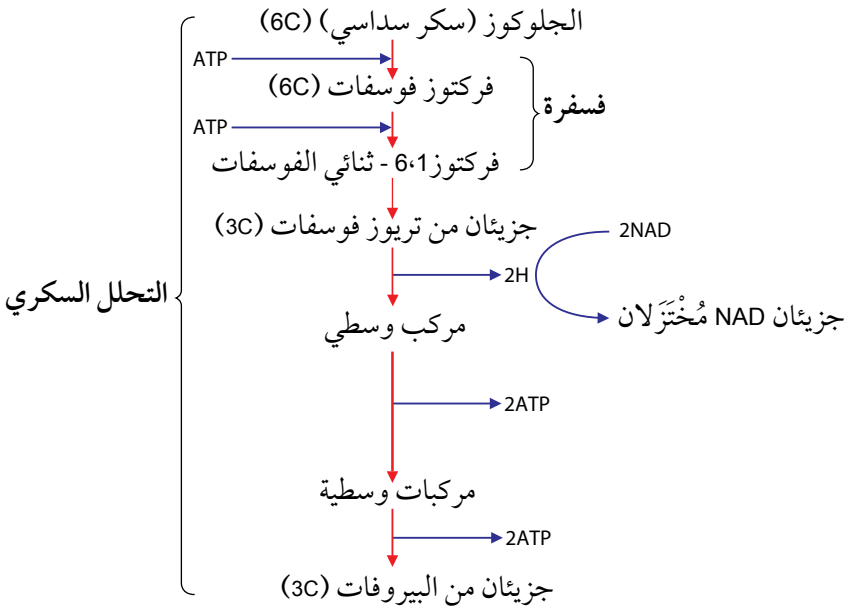
التحلل السكري

التحلل السكري Glycolysis، هو انشطار الجلوكوز، ويحدث في سيتوبلازم الخلية.

التحلل السكري هو سلسلة من التفاعلات (الخطوات) التي ينشطر في نهايتها جزيء الجلوكوز سداسي الكربون (6C) إلى جزيئَين من البيروفات Pyruvate ثلاثي الكربون (3C).

قد يكون من المدهش أنه في بداية التحلل السكري يتم استخدام الطاقة من ATP بدلًا من تكوينه. ولكن، يتم إطلاق الطاقة في الخطوات اللاحقة حيث يمكن استخدامها لبناء ATP. يتم إطلاق كمية من الطاقة أكبر مما يُستخدم، وبشكل عام يتوافر ربح صافٍ قدره جُزيئان ATP من تحلل كل جزيء جلوكوز واحد. يبيّن الشكل ٦-٤ مخططًا انسيابيًّا مبسطًا لسلسلة الخطوات في التحلل السكري.

الخطوة الأولى في تحلل الجلوكوز تسمّى **الفسفرة Phosphorylation**، ويتم فيها نقل مجموعات الفوسفات من جزيئات ATP إلى الجلوكوز. والذي يرفع من مستوى الطاقة لجزيئات الجلوكوز، ما يسهل عليها التفاعل في الخطوة التالية.



الشكل ٦-٤ سلسلة الخطوات في التحلل السكري. تحدث جميع هذه الخطوات في سيتوبلازم الخلية.

يتم استخدام جزيئَين من ATP لتحلل جزيء واحد من الجلوكوز. منح أول مجموعة فوسفات ينتج منه جلوكوز فوسفات Glucose phosphate، الذي يُعاد ترتيب ذراته لتكوين فركتوز فوسفات Fructose phosphate، ويمنح جزيء ATP الثاني مجموعة فوسفات أخرى لتكوين فركتوز 1،6 – ثنائي الفوسفات Fructose 1,6 -biphosphate. ثم ينشطر الفركتوز 1،6 – ثنائي الفوسفات (6C) مكوّنًا جزيئَين من تريوز فوسفات Triose phosphate (3C).

بعد ذلك يتم نزع الهيدروجين والإلكترونات من تريوز فوسفات وينقل إلى المرافق الإنزيمي **نيكوتين أميد أدنين ثنائي النيوكلوتيد (NAD) Nicotinamide adenine dinucleotide**. يسمّى نزع الهيدروجين أو الإلكترونات **أكسدة Oxidation**، لذا يتأكسد تريوز فوسفات خلال هذه العملية. وتسمّى إضافة الهيدروجين أو الإلكترونات للمادة المتفاعلة **اختزال Reduction**، ويسمّى NAD الآن NAD المُخْتَزَل.

يتم إنتاج جزيئَين من NAD المُخْتَزَل من تحلل جزيء واحد من الجلوكوز، ويمكن نقل الهيدروجين الذي يحمله NAD المُخْتَزَل بسهولة إلى جزيئات أخرى. وكما ستدرس لاحقًا، يمكن أن يستخدم هذا الهيدروجين في الفسفرة التأكسدية لتوليد ATP.

مصطلحات علمية

نيكوتين أميد أدنين ثنائي النيوكلوتيد (NAD) Nicotinamide adenine dinucleotide: مرافق إنزيمي يقوم بنقل الهيدروجين، ويستخدم في التنفس.

أكسدة Oxidation: إضافة الأكسجين، أو نزع الهيدروجين أو الإلكترونات من المادة.

اختزال Reduction: نزع الأكسجين أو إضافة الهيدروجين أو الإلكترونات إلى المادة.

يتم إنتاج ATP خلال الخطوة نفسها (تحويل تريوز فوسفات إلى بيروفات)، وذلك عن طريق النقل المباشر لمجموعة فوسفات من مادة متفاعلة – في هذه الحالة جزيء مفسفر، وهو أحد المركبات الوسطية في هذه الخطوة – إلى جزيء ADP. وهذا مثال على الفسفرة المرتبطة بالمادة المتفاعلة.

لذلك، وعلى الرغم من استخدام جزيئَين من ATP لتحلل جزيء واحد من الجلوكوز في البداية، فإن أربع جزيئات من ATP تتكوّن في النهاية. لذلك يكون الربح الصافي من تحلل جزيء واحد من الجلوكوز جزيئَين من ATP. والناتج النهائي لتحلل الجلوكوز هو البيروفات، الذي لا يزال يحتوي على قدر كبير من الطاقة الكيميائية الكامنة. واذا توافر الأكسجين في الخلية، ينتقل البيروفات إلى حشوة الميتوكندريون، عبر الغشاءَين اللذين يكوّنان غلاف الميتوكندريون بواسطة النقل النشط (لذا تستخدم مرة أخرى كمية صغيرة من ATP).

التفاعل الرابط

عند وصول البيروفات إلى حشوة الميتوكندريون تنزع الإنزيمات ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين منه. تسمى إزالة ثاني أكسيد الكربون **نزع الكربوكسيل** **Decarboxylation**، وتسمّى إزالة الهيدروجين **نزع الهيدروجين** **Dehydrogenation**. يرتبط ما تبقى من الجزيء مع **مرافق الإنزيم A** (**CoA**) **(Coenzyme A)** لإنتاج **أستيل CoA (Acetyl coenzyme A)**. تسمّى هذه العملية **التفاعل الرابط** **Link reaction** (الشكل ٦-٥)، لأنها تربط التحلل السكري بدورة كربس.

(CoA) جزيء معقد يتكوّن من نيوكليوسيد (أدنين ورايبوز) مرتبط بفيتامين (حمض البانتوثنيك Pantothenic acid، فيتامين B_5). مرافق الإنزيم هو جزيء ضروري للإنزيم لتحفيز التفاعل، على الرغم من أنه لا يشارك في التفاعل نفسه. في هذه الحالة، ينقل (CoA) مجموعات الأستيل الضرورية لتحويل أكسالوأسيتات Oxaloacetate إلى سيترات Citrate. ينقل الهيدروجين الذي نزع من البيروفات في التفاعل الرابط إلى NAD مكوّنًا المزيد من NAD المُختَزَل.

NAD المُختَزَل + ثاني أكسيد الكربون + أستيل CoA ⟵ NAD + CoA + البيروفات

دورة كربس

سُمّيت **دورة كربس** **Krebs cycle** على اسم السير هانس كربس Sir Hans Krebs، الذي حاز جائزة نوبل لاكتشافه في عام 1937 م تسلسل التفاعلات التي تحدث في هذه الدورة. وتسمّى أيضًا دورة حمض الستريك، ويبيّن الشكل ٦-٥ هذه الدورة.

دورة كربس هي مسار حلقي للتفاعلات التي تحدث في حشوة الميتوكندريا وتتحكم بها الإنزيمات.

- يرتبط أستيل CoA (2C) مع أكسالوأسيتات (4C) لتكوين السيترات (6C).
- يُنزع الكربوكسيل والهيدروجين من السيترات في سلسلة من الخطوات، ما يؤدي إلى إطلاق ثاني أكسيد الكربون، والذي ينبعث على شكل غاز عادم Waste gas. كما يطلق الهيدروجين الذي تستقبله النواقل NAD و FAD. وستتعرف تاليًا ما يحدث لهذه الجزيئات.

مصطلحات علمية

نزع الكربوكسيل
Decarboxylation: نزع ثاني أكسيد الكربون من مادة ما.

نزع الهيدروجين
Dehydrogenation: نزع الهيدروجين من مادة ما.

مرافق الإنزيم A (CoA)
Coenzyme A: جزيء يحمل مجموعات الأستيل اللازمة لدورة كربس.

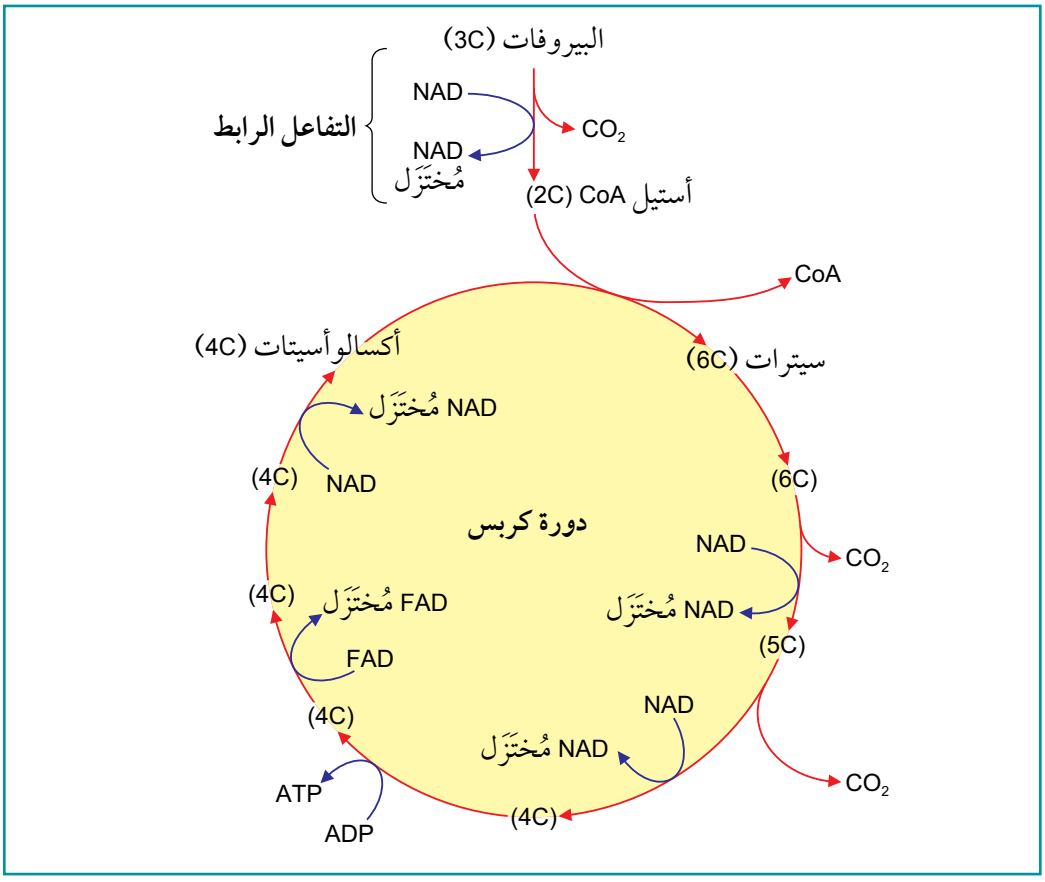
أستيل CoA
Acetyl coenzyme A: جزيء يتكوّن من (CoA) ومجموعة أستيل (2C)، وهو ضروري لدورة كربس.

التفاعل الرابط
Link reaction: عملية نزع الكربوكسيل ونزع الهيدروجين من البيروفات، ما يؤدي إلى تكوين أستيل (CoA)، وربط التحلل السكري بدورة كربس.

دورة كربس
Krebs cycle: دورة من التفاعلات في التنفس الهوائي تحدث في حشوة الميتوكندريا حيث تنتقل أيونات الهيدروجين إلى نواقل الهيدروجين لبناء ATP، ويبنى بعض ATP مباشرة، وتسمّى أيضًا دورة حمض الستريك.

- يعاد تكوين الأكسالوأسيتات ليرتبط مع أستيل CoA آخر.

ينتج من كل دورة من دورات كربس جزيئان من ثاني أكسيد الكربون ويتم اختزال جزيء FAD وثلاثة جزيئات من NAD، ويتولد جزيء واحد من ATP. ويتكوّن ATP هذا من النقل المباشر لمجموعة فوسفات من إحدى المواد المتفاعلة، إلى جزيء ADP، وهذا يسمّى التفاعل المرتبط بالمادة المتفاعلة.



الشكل ٦-٥ التفاعل الرابط ودورة كربس.

أسئلة

٣ انظر إلى الرسم التخطيطي للتفاعل الرابط ودورة كربس في الشكل ٦-٥، ولخص كيف ينتقل ثاني أكسيد الكربون الناتج من حشوة الميتوكندريون إلى الهواء المحيط بالكائن الحي.

٤ اشرح كيف تكون أحداث دورة كربس في مسار حلقي.

الفسفرة التأكسدية وسلسلة نقل الإلكترون

تمثل **الفسفرة التأكسدية** **Oxidative phosphorylation** المرحلة الأخيرة من التنفس الهوائي، وتحدث في غشاء الميتوكندريا الداخلي (الشكل ٦-٦).

سلسلة نقل الإلكترون **Electron transport chain** هي سلسلة بروتينات غشائية تسمّى ناقلات الإلكترون Electron carriers، تتثبت في موضعها في غشاء الميتوكندريون الداخلي (الأعراف)، وهي مرتبة بعضها بجوار بعض، ما يسمح بانتقال الإلكترونات بسهولة على طول السلسلة من بروتين إلى البروتين التالي. وكل ناقل يُختَزَل أولًا (عندما يضاف إليه إلكترون) ثم يتأكسد (عندما يغادره الإلكترون)، وهذه التفاعلات هي **تفاعلات أكسدة واختزال** **Redox reactions**.

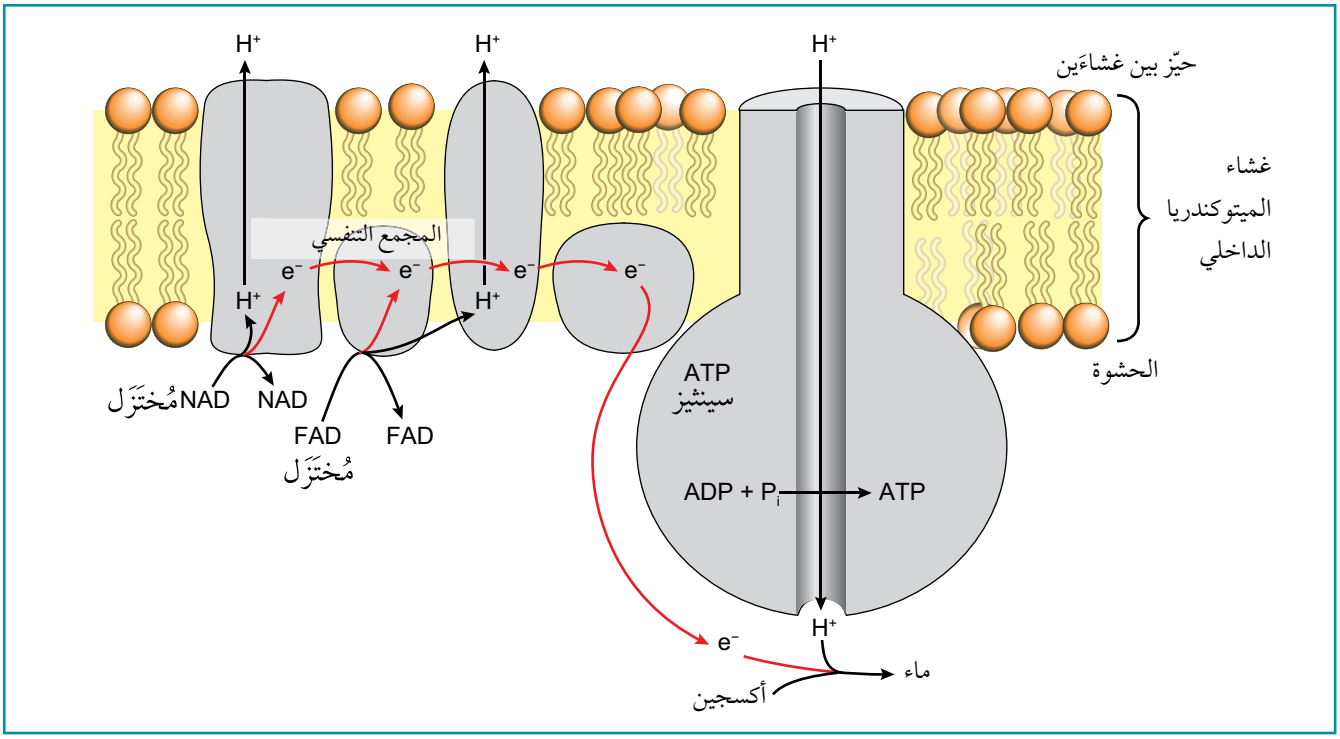
درست أن NAD المُختَزَل ينتج من التحلل السكري، وأن كلًّا من NAD المُختَزَل و FAD المُختَزَل يتكوّنان في دورة كربس. يتكوّن NAD المُختَزَل من التحلل السكري في السيتوبلازم، لكن يمكنه دخول الحشوة بمروره عبر غلاف الميتوكندريا. وتنتقل جميع جزيئات NAD المُختَزَل وFAD المُختَزَل من حشوة الميتوكندريا إلى الغشاء الداخلي، ويتم هنا نزع الهيدروجين الذي تم نقله في تلك الجزيئات. تتكوّن كل ذرة هيدروجين من بروتون وإلكترون، ينفصل الآن أحدهما عن الآخر. يمكن أيضًا الإشارة إلى البروتون باسم أيون الهيدروجين H^+. يُنقل الإلكترون e^- إلى الناقل الأول في سلسلة نقل الإلكترون.

مصطلحات علمية

الفسفرة التأكسدية
Oxidative phosphorylation: بناء ATP من ADP و Pi باستخدام الطاقة المنطلقة من تفاعلات الأكسدة في التنفس الهوائي.

سلسلة نقل الإلكترون
Electron transport chain: سلسلة متجاورة من جزيئات ناقلة مرتبة في غشاء الميتوكندريا الداخلي وتمر من خلالها الإلكترونات في تفاعلات الأكسدة والاختزال.

تفاعل الأكسدة والاختزال
Redox reaction: تفاعل كيميائي تُختَزَل فيه مادة وتُؤكسَد مادة أخرى.



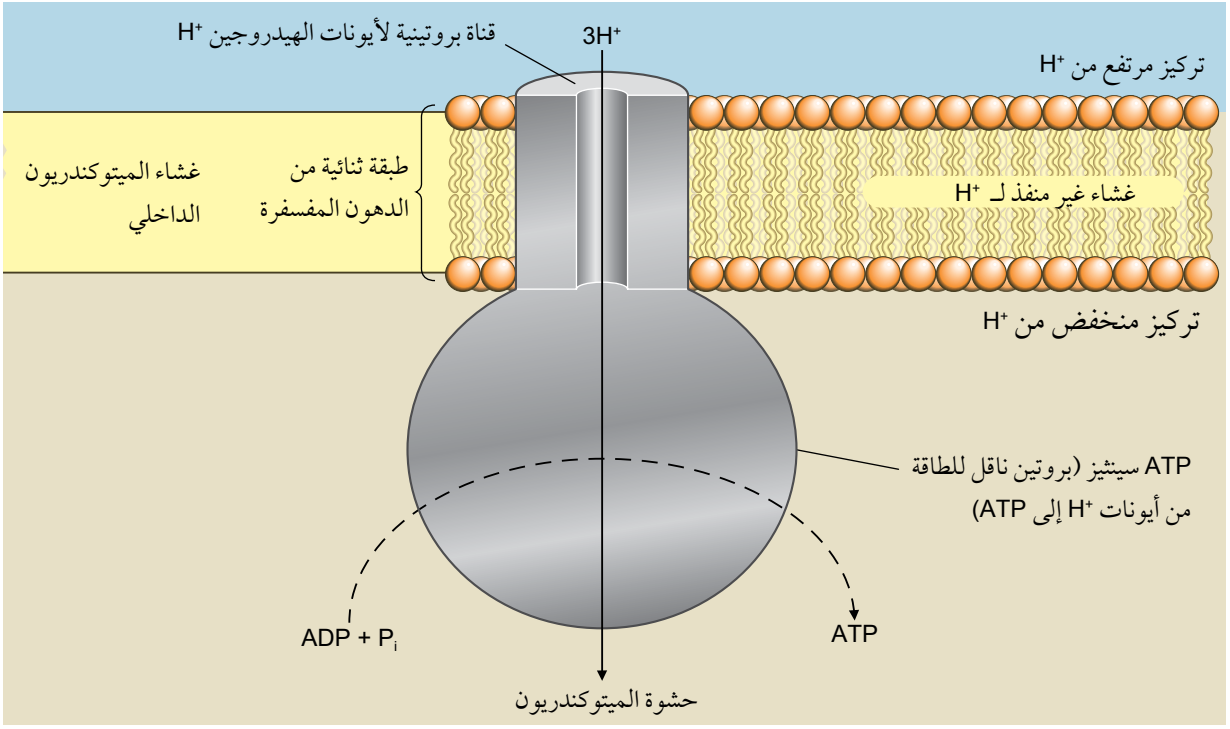
الشكل ٦-٦ الفسفرة التأكسدية: سلسلة نقل الإلكترون.

مصطلحات علمية

ATP سينثيز
ATP synthase: الإنزيم الذي يحفز فسفرة ADP لتكوين ATP.

يحتوي هذا الإلكترون على طاقة بدأت على شكل طاقة كيميائية كامنة في جزيء الجلوكوز من بداية التحلل السكري. ومع انتقال الإلكترون من ناقل إلى الناقل التالي، يتم إطلاق بعض طاقته، ثم تستخدم بعضها لضخ البروتونات من حشوة الميتوكندريون (الشكل ٦-٦) إلى الحيز بين غشاءَي غلاف الميتوكندريا الداخلي والخارجي. وينتج من ذلك تركيز من البروتونات في الحيّز بين الغشاءَين أعلى منه في الحشوة. لذلك، يوجد الآن منحدر تركيز للبروتونات عبر غشاء الميتوكندريا الداخلي.

تعود البروتونات الآن إلى حشوة الميتوكندريا بالانتشار المسهل، مع منحدر تركيزها عبر قناة جزيء بروتين كبير هو إنزيم **ATP سينثيز** **ATP synthase**، وتلك القناة تجعله مرتبطًا بغشاء الميتوكندريون الداخلي. ومع مرور البروتون عبر القناة، يتم استخدام طاقته لبناء ATP في عملية تسمّى الأسموزية الكيميائية (الشكل ٦-٧).



الشكل ٦-٧ بناء ATP بالأسموزية الكيميائية في غشاء الميتوكندريا الداخلي. تنتقل البروتونات بالانتشار المسهل عبر جزيئات ATP سينثيز، والتي تستخدم طاقة البروتونات لإضافة مجموعات الفوسفات إلى ADP لتكوين ATP. ويوجد ATP سينثيز أيضًا في أغشية الثايلاكويد في البلاستيدات الخضراء.

وأخيرًا، يدخل الأكسجين في هذه العملية. فالأكسجين يعمل كمستقبل نهائي للإلكترونات وذلك بدمجها عندما تصل إلى نهاية سلسلة نقل الإلكترون، إذ تتحد أربعة إلكترونات مع أربعة بروتونات وجزيء أكسجين لتكوين الماء.

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$$

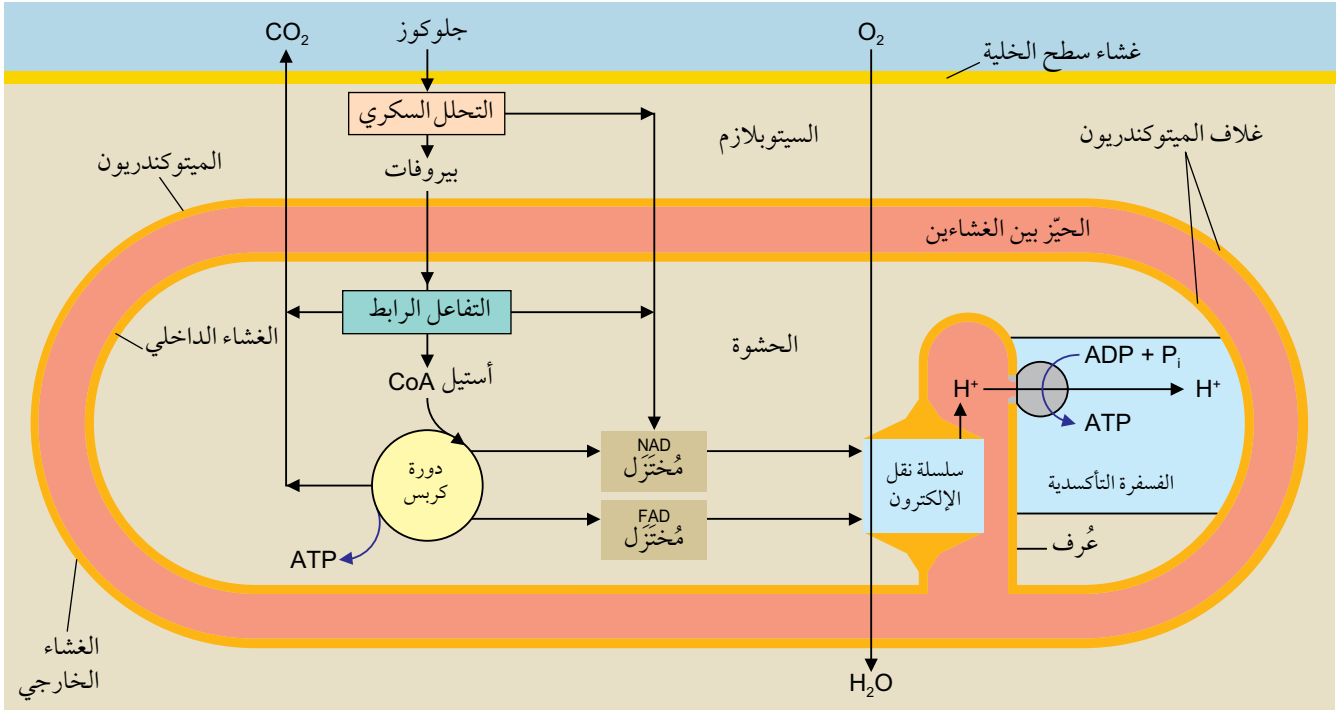
لا تحدث أي من التفاعلات داخل الميتوكندريون (التفاعل الرابط، ودورة كربس، والفسفرة التأكسدية)، من دون توافر الأكسجين كمستقبل نهائي للإلكترون. هذه المراحل، بخاصة الفسفرة التأكسدية، تُنتج ATP أكثر بكثير مما ينتجه التحلل السكري. ويطلق التحلل السكري كمية صغيرة فقط من الطاقة الكيميائية الكامنة من الجلوكوز، لأن الجلوكوز يتأكسد جزئيًا فقط، بحيث تكمل التفاعلات في الميتوكندريون هذه الأكسدة مطلقة المزيد من الطاقة.

لا تحتاج إلى معرفة تفاصيل العائد الإجمالي من ATP، لكن، إذا كنت مهتمًا، فهي موضحة في الجدول ٦-١.

يبيّن الشكل ٦-٨ ملخصًا لمراحل عملية التنفس الهوائي ومكان حدوثها.

المرحلة	ATP المستخدم	ATP المتكوّن	صافي الربح من ATP
التحلل السكري	2	4	2
التفاعل الرابط	0	0	0
دورة كربس	0	2	2
الفسفرة التأكسدية	0	28	28
المجموع	**2**	**34**	**32**

الجدول ٦-١ بيانات لـ ATP المستخدم والمتكوّن في المراحل المختلفة أثناء التنفس الهوائي.



الشكل ٦-٨ مواقع المراحل المختلفة للتنفس الهوائي في الخلية.

أسئلة

٥ حدّد أدوار كل ممّا يأتي في عملية التنفس:

أ. NAD

ب. مرافق الإنزيم A

ج. الأكسجين.

٦ فكّر، من خلال العمل في مجموعة، كيف يمكن الاستفادة من لعب الأدوار في تبيان الأحداث التي تحصل أثناء الفسفرة التأكسدية. على سبيل المثال، يمكن لطالب محاكاة جزيء NAD، ويمكن لطالبَين محاكاة الهيدروجين الذي ينقله (يتكوّن من بروتون وإلكترون)، وهكذا. في حالة وجود عدد كاف من الطلبة في الصف (قد تحتاج إلى 12 طالبًا على الأقل)، يمكن التوسع في العمل. وفي حالة عدم توافر عدد كافٍ من الطلبة، يمكنك كتابة أفكارك على شكل نص لمسرحية قصيرة.

مهارات عملية ٦-١

قياس امتصاص الأكسجين

يمكن قياس معدل امتصاص الأكسجين أثناء التنفس باستخدام **مقياس التنفس Respirometer**. يبيّن الشكل ٦-٩ مقياس تنفس مناسب لقياس معدل استهلاك الأكسجين لبذور نبات أو لافقاريات صغيرة تعيش في اليابسة في درجات حرارة مختلفة.

عندما تتنفس الكائنات الحية تمتص الأكسجين من الهواء المحيط بها، ما يقلل من حجم الهواء. ويتم امتصاص ثاني أكسيد الكربون الناتج من عملية التنفس بواسطة مادة كيميائية مناسبة مثل جير الصودا Soda lime أو محلول مركز من هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) أو هيدروكسيد الصوديوم (NaOH). وهكذا، فإن ثاني أكسيد الكربون الناتج لن يزيد من حجم الهواء.

لذلك، فإن أي تغيير في حجم الهواء المحيط بالكائنات الحية ينتج من استهلاك هذه الكائنات الحية للأكسجين فقط. يمكن أن يقاس استهلاك الأكسجين بقراءة مستوى عمود سائل المانومتر مقابل التدريج، ويمكن قياس معدل استهلاك الأكسجين بقسمة حجم الأكسجين المستخدم على الزمن المستغرق.

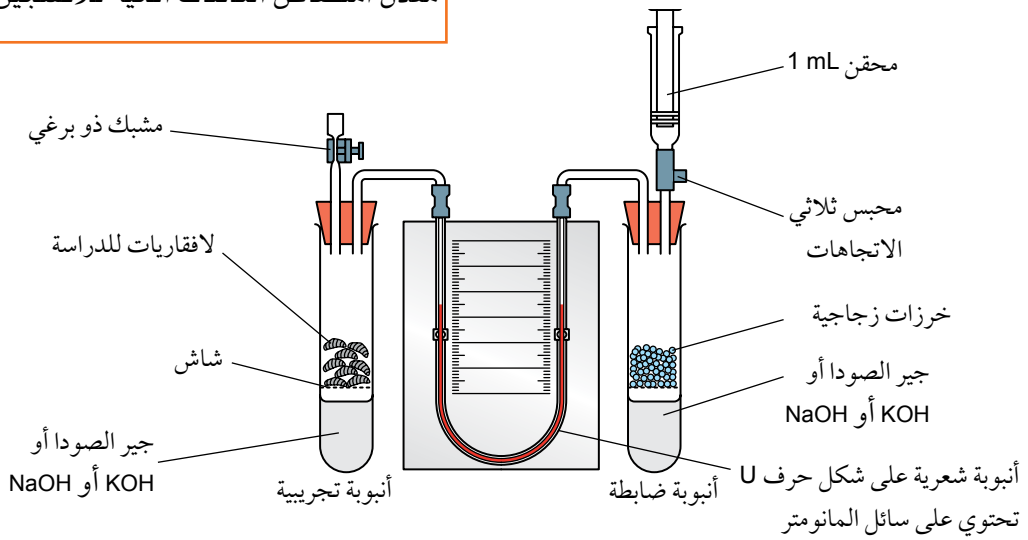
تذكّر أن أي تغيرات في درجة الحرارة أو الضغط ستغير أيضًا من حجم الهواء في الجهاز. لذا، من المهم الحفاظ على ثبات درجة حرارة البيئة المحيطة أثناء أخذ القراءات.

يمكن القيام بذلك، على سبيل المثال، باستخدام حمّام مائي يتم التحكم في درجة حرارته. لا يمكنك التحكم في الضغط، لكن ستكون التغيرات فيه هي نفسها في كلتا الأنبوبتين، عند استخدام أنبوبة ثانية لا تحتوي على كائنات حية، وبالتالي، لن تكون هناك أي حركة لسائل المانومتر Manometer fluid. يساعد وجود أنبوبة ضابطة تحتوي على حجم من المادة الخاملة يماثل حجم الكائنات الحية المستخدمة، على موازنة التغيرات في الضغط الجوي.

يمكن استقصاء تأثير درجة الحرارة على معدل التنفس عن طريق وضع الجهاز في حمامات مائية بدرجات حرارة مختلفة، وقياس معدل استهلاك الأكسجين عند كل درجة حرارة. ويجب إجراء عدة قياسات متكررة على درجة الحرارة نفسها وحساب متوسط قيم استهلاك الأكسجين. يمكن بعد ذلك، رسم تمثيل بياني لمتوسط معدل استهلاك الأكسجين مقابل درجة الحرارة.

مصطلحات علمية

مقياس التنفس Respirometer: جهاز يستخدم لقياس معدل امتصاص الكائنات الحية للأكسجين أثناء التنفس.



الشكل ٦-٩ مقياس التنفس.

(انظر الاستقصاء العملي ٦-١ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة، للحصول على معلومات إضافية).

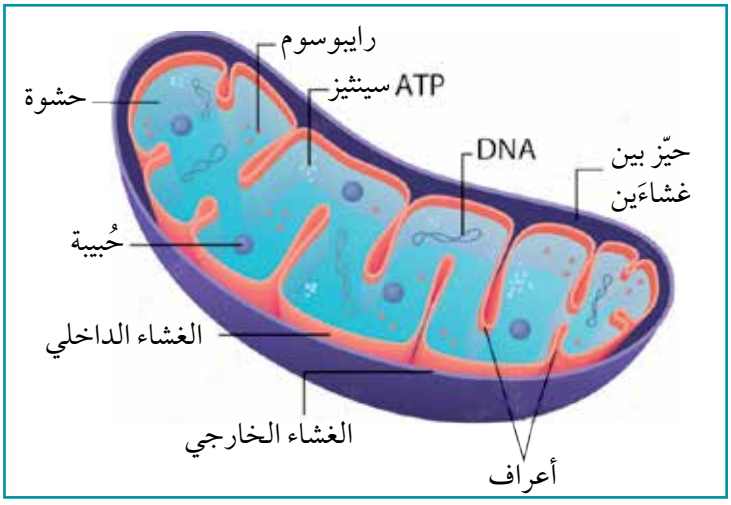
٦-٣ تركيب الميتوكندريا ووظيفتها

درست أن التفاعل الرابط ودورة كربس وسلسلة نقل الإلكترون تحدث جميعها داخل الميتوكندريون. فالميتوكندريا عضيات عصوية الشكل أو خيطية، يبلغ قطرها (0.5 - 1 µm) تقريبًا، ويبيّن التصوير الفوتوغرافي بفواصل زمنية Time-lapse photography أن لها شكلًا غير ثابت، إذ يمكن أن يتغير باستمرار.

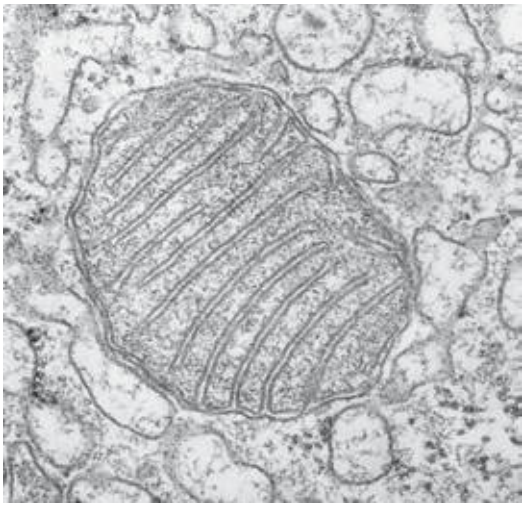
يعتمد عدد الميتوكندريا في الخلية على نشاط الخلية. على سبيل المثال، خلايا الكبد النشيطة جدًا تحتوي ما بين 1000 و 2000 ميتوكندريا، وتحتل 20% من حجم الخلية.

يبيّن الشكل ٦-١٠ والصورة ٦-٢ تركيب الميتوكندريون. وتحاط الميتوكندريون، كما البلاستيدة الخضراء، بغلاف من غشاءَين من الدهون المفسفرة: الغشاء الخارجي أملس، بينما الغشاء الداخلي ينثني نحو الداخل مكونًا طيّات كثيرة تسمّى الأعراف Cristae (مفردها عُرف Crista)، التي توفر للغشاء الداخلي في الإجمالي مساحة سطح كبيرة. وتختلف أعراف الميتوكندريا في الأنواع المختلفة من الخلايا، لكن بشكل عام، يكون لدى ميتوكندريا الخلايا النشطة أعراف أطول وأكثر كثافة مقارنة بميتوكندريا الخلايا الأقل نشاطًا.

للغشاءَين تركيب وخصائص مختلفة فالغشاء الخارجي منفذ نسبيًا للجزيئات الصغيرة، ما يسمح بمرور المواد اللازمة والناتجة من التفاعل الرابط ودورة كربس والفسفرة التأكسدية، مثل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون و ATP و ADP و P_i.



الشكل ٦-١٠ رسم تخطيطي (3D) لميتوكندريون. قد تحتوي الحبيبات الموجودة في الحشوة على أيونات أو بروتينات للمساعدة في العمليات المتنوعة في الميتوكندريون.



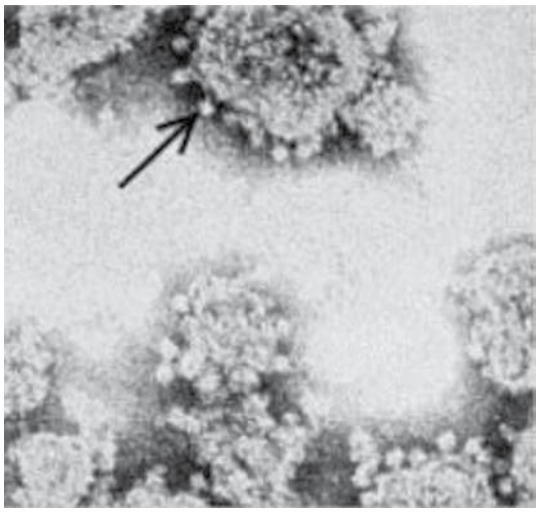
الصورة ٦-٢ صورة مجهرية إلكترونية (النافذ) للميتوكندريون (x15000).

أما الغشاء الداخلي فأقل نفاذية. ويمكنك أن ترى في الصورة المجهرية الإلكترونية كرات صغيرة بقطر 9 nm منتشرة في الحشوة، ومتصلة بالغشاء الداخلي للميتوكندريون بواسطة سيقان ضيقة (الصورة ٦-٣)، لتشكل إنزيم ATP سينثيز (كونها تُشاهد في الصورة المجهرية الإلكترونية هو تذكير بالحجم الكبير لهذا الجزيء البروتيني).

الغشاء الداخلي أيضًا هو مكان وجود سلسلة نقل الإلكترون، ويحتوي على البروتينات اللازمة لذلك لا تُشاهد في الصورة المجهرية الإلكترونية.

يكون الرقم الهيدروجيني pH للحيّز بين الغشاءَين أقل مما هو في حشوة الميتوكندريون، ويعود ذلك إلى انتقال البروتونات عبر الغشاء الداخلي من الحشوة، لإنشاء منحدر التركيز اللازم لتكوين ATP. تذكّر أن التركيز المرتفع للبروتونات – وتسمّى أيضًا أيونات الهيدروجين – تعني حامضية مرتفعة (رقم هيدروجيني منخفض).

حشوة الميتوكندريون هي موقع التفاعل الرابط ودورة كربس. وهي تحتوي على الإنزيمات اللازمة لهذه التفاعلات. وتحتوي أيضًا على رايبوسومات صغيرة (70S) وعدة نسخ متطابقة من DNA الميتوكندريا الحلقي، تستخدم لبناء بعض البروتينات اللازمة لعمل الميتوكندريا.



الصورة ٦–٣ صورة مجهرية إلكترونية (النافذ). يشير السهم إلى ارتباط ATP سينثيز بالغشاء الداخلي بواسطة سيقان ضيقة (x300000).

سؤال

(٧) ارسم رسمًا تخطيطيًا كبيرًا للميتوكندريون. أضف إلى الرسم التخطيطي المسميات، والشروح لتوضح كيف يتناسب تركيب الميتوكندريون مع وظيفته.

٦-٤ التنفُّس من دون الأكسجين

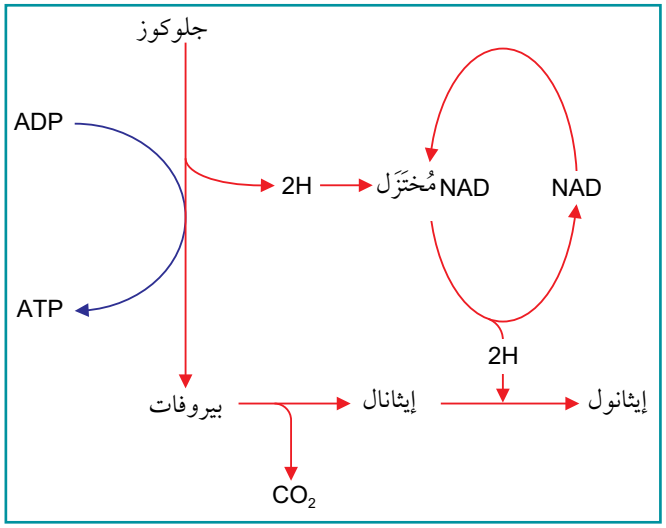
مصطلحات علمية

اللاهوائية Anaerobic: تنفُّس من دون الأكسجين

عند غياب الأكسجين – أو توافره بكمية قليلة – داخل الميتوكندريون لن يكون هناك مستقبلٌ للإلكترونات في نهاية السلسلة، فتتوقف سلسلة نقل الإلكترون، ولا يتكوّن المزيد من ATP بالفسفرة التأكسدية. لذلك لا يوجد ناقل حر في السلسلة لاستقبال الهيدروجين من NAD المُختَزَل و FAD المُختَزَل، فتبقى هذه النواقل مختزلة، وبالتالي يتوقف عمل دورة كربس لعدم وجود NAD مؤكسَدَة أو FAD مؤكسَدَة لتحدث خطوات نزع الهيدروجين.

ومع ذلك، تبقى الخلية قادرة على إنتاج كمية صغيرة من ATP، حتى في الظروف **اللاهوائية Anaerobic**، أي عندما لا يتوافر الأكسجين. إذا أمكن أكسدة NAD المُختَزَل الناتج من التحلل السكري مرة أخرى بطريقة ما، فسيستمر حدوث التحلل السكري. للخلايا مساران لتحقيق ذلك، يحدثان في سيتوبلازم الخلية.

في الخميرة وبعض الكائنات الحية الدقيقة الأخرى، وفي بعض أنسجة النبات، يمر الهيدروجين من NAD المُختَزَل إلى الإيثانال (CH_3CHO) Ethanal. يبيّن الشكل ٦–١١ هذا المسار. حيث يتم أولًا نزع الكربوكسيل من البيروفات



الشكل ٦–١١ تخمر الإيثانول.

ليتحوّل إلى إيثانال، ثم يُختزل الإيثانال إلى إيثانول (C_2H_5OH) بواسطة إنزيم الكحول ديهيدروجينيز Alcohol dehydrogenase. تعرف هذه العملية باسم **تخمر الإيثانول Ethanol fermentation**.

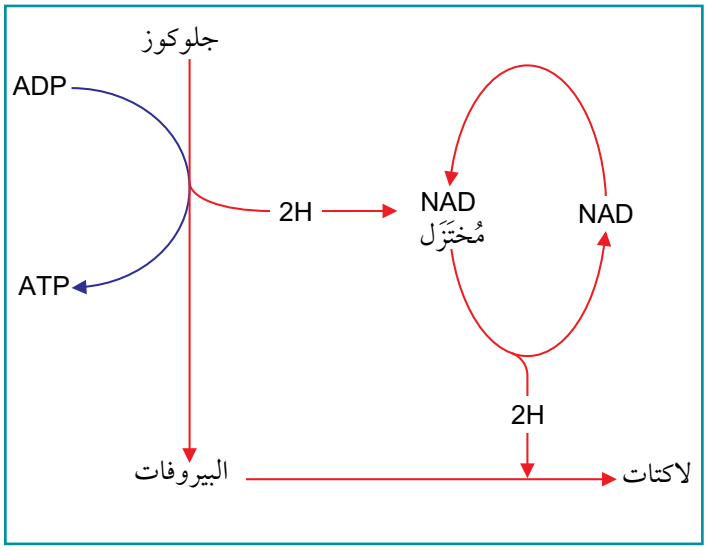
في الكائنات الحية الدقيقة الأخرى، وفي عضلات الثدييات عند فقدان الأكسجين، يعمل البيروفات كمستقبل للهيدروجين، ويتحوّل في هذه العملية إلى لاكتات بواسطة الإنزيم لاكتات ديهيدروجينيز (سمّي على اسم التفاعل العكسي، الذي يحفزه أيضًا). يعرف هذا المسار باسم **تخمر اللاكتات Lactate fermentation**، وهو ما يبيّنه الشكل ٦-١٢.

الاختلاف المهم بين تخمر الإيثانول وتخمر اللاكتات، هو ما يمكن أن يحدث للمواد الناتجة، إذ يمكن أن يتأكسد اللاكتات ويتحوّل مرة أخرى إلى بيروفات، والذي يمكن أن يدخل بعد ذلك في دورة كربس لإنتاج ATP. كما يمكنه بدلًا من ذلك، أن يتحوّل إلى عديد التسكر الجلايكوجين، فيُخزّن. تحدث هذه العمليات في خلايا كبد الثدييات، حيث تتطلب أكسدة اللاكتات أكسجينًا إضافيًا، يشار إليه أحيانًا باسم «دَين الأكسجين Oxygen debt» أو EPOC (فرط استهلاك الأكسجين الزائد بعد التمارين الرياضية Excess post-exercise oxygen consumption). وهذا هو السبب في استمرار التنفس بعمق وبسرعة أكثر من المعتاد بعد انتهاء التمارين. بالمقابل، لا يمكن الاستمرار في أيض الإيثانول، لأنه ببساطة عبارة عن فضلات.

مصطلحات علمية

تخمر الإيثانول Ethanol fermentation: تنفس لاهوائي يتحول فيه البيروفات إلى إيثانول.

تخمر اللاكتات Lactate fermentation: تنفس لاهوائي يتحوّل فيه البيروفات إلى لاكتات.



الشكل ٦-١٢ تخمر اللاكتات.

يعيد كل من تخمر الإيثانول وتخمر اللاكتات NAD المُختزَل إلى حالته المؤكسدة (NAD)، ويكون جاهزًا لقبول المزيد من الهيدروجين. ويتيح ذلك إمكانية استمرار التحلل السكري في العمل، على الرغم من عدم توافر الأكسجين. ومع ذلك، تكون الطاقة المنطلقة من التنفس الهوائي أكبر بكثير من الطاقة المنطلقة من أي من المسارين للتنفس اللاهوائي. يتيح استمرار العمليات بعد التحلل السكري في التنفس الهوائي أكسدة كاملة لجزيء الجلوكوز، بينما تتوقف العملية في التنفس اللاهوائي بعد التحلل السكري، ما يؤدي إلى أكسدة غير كاملة لجزيء الجلوكوز، وينتج جزيئان من ATP لكل جزيء جلوكوز (انظر الجدول ٦-١).

سؤال

(٨) يمكن استخدام الجلوكوز لإنتاج ATP من دون استهلاك الأكسجين:

جلوكوز ← X ← Y في الثدييات

↓

Z في الخميرة

أي من الاختيارات الآتية يمثل المركبات المرمزة بالأحرف، X و Y، و Z؟

	X	Y	Z
أ	إيثانول	بيروفات	لاكتات
ب	لاكتات	إيثانول	بيروفات
ج	بيروفات	إيثانول	لاكتات
د	بيروفات	لاكتات	إيثانول

تخمر الإيثانول في الأرزّ

الأرزّ محصول غذائي أساسي في أجزاء كثيرة من العالم. يمكن لمعظم أنواع الأرز أن تنمو في البيئات الجافة، لكن ينمّى الأرزّ غالبًا في الحقول Paddies التي غمرت بالمياه لإنتاج أقصى قدر منه. ويمكن أن يتحمل النمو في الماء، في حين لا تكون معظم الحشائش الضارة التي تتنافس معه قادرة على ذلك (الصورة ٦-٤). ويزيد هذا الانخفاض في مستوى التنافس على الضوء والأملاح المعدنية من الإنتاجية.



الصورة ٦- ٤ زراعة الأرز في مدغشقر. زرعت قطاعات الأرز في أوقات مختلفة، لذلك هي في مراحل مختلفة من النمو.

معظم النباتات لا تستطيع النمو في المياه العميقة لأن جذورها لا تحصل على ما يكفي من الأكسجين للتنفس الهوائي. ولا يمكن أن يحدث التمثيل الضوئي إذا كانت الأوراق مغمورة في الماء، لعدم توافر ما يكفي من ثاني أكسيد الكربون. ويحدث ذلك لأن الغازات تنتشر في الماء بشكل أبطأ بكثير من انتشارها في الهواء. بالإضافة إلى ذلك، تكون تراكيز الأكسجين وثاني أكسيد الكربون الذائبَين في الماء أقل بكثير مما هي عليه في الهواء. وهذا ينطبق بشكل خاص على حقول الأرز المغمورة بالمياه، حيث يحتوي الطين الذي تزرع فيه جذور الأرز على أعداد كبيرة من جماعات الكائنات الحية الدقيقة، والعديد منها يتنفس هوائيًا ويحصل على الأكسجين من الماء.

تستجيب بعض أصناف الأرز للفيضانات بالنمو في الطول بسرعة. وهي تستمر في النمو طولًا مع ارتفاع المياه بسرعة حولها، بحيث تكون الأجزاء العلوية من أوراقها وأزهارها فوق سطح الماء، الأمر الذي يتيح إمكانية تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون من خلال الثغور على الأوراق.

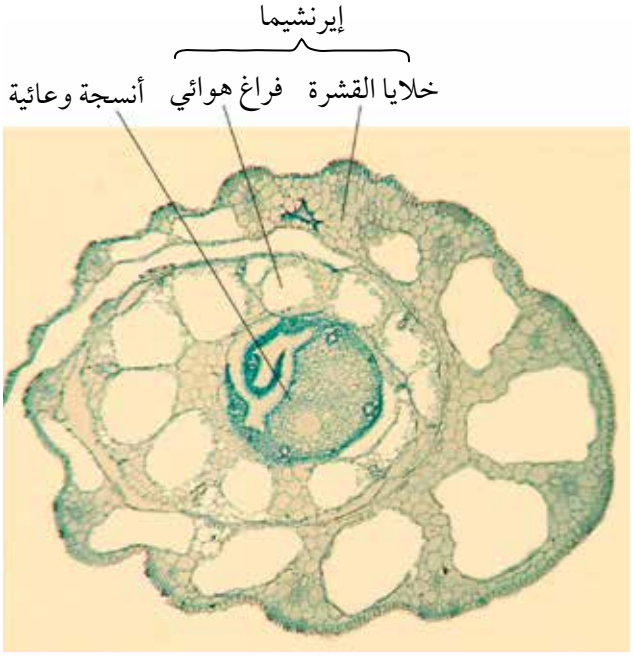
مصطلحات علمية

إيرنشيما Aerenchyma: نسيج نباتي يحتوي على فراغات هوائية.

تحتوي سيقان نباتات الأرز وجذورها على خلايا غير متراصة تكوّن نسيجًا يسمّى **إيرنشيما Aerenchyma** (الصورة ٦-٥). وتكون الغازات، بما في ذلك الأكسجين، قادرة على الانتشار عبر نسيج الإيرنشيما إلى أجزاء أخرى من النبات، بما فيها تلك الموجودة تحت الماء. ويضمن ذلك أن تحتوي الخلايا في الجذور على بعض الأكسجين، فتتمكن بالتالي من التنفس هوائيًّا.

ومع ذلك، فإن إمداد الأكسجين هذا لا يكفي عادة لتوفير كل الطاقة التي تحتاج إليها الخلايا للتنفس الهوائي. لذلك، تستخدم خلايا جذور الأرزّ المغمورة تخمر الإيثانول، لبعض الوقت. يمكن للإيثانول أن يتراكم في الأنسجة، وهو سام، لكن خلايا جذور الأرز تستطيع تحمل مستويات منه أعلى بكثير من معظم النباتات. وهي تنتج أيضًا المزيد من إنزيم إيثانول ديهيدروجينيز Ethanol dehydrogenase، والذي يفكك الإيثانول باستخدام ATP الناتج من تخمر الإيثانول، وهذا يسمح بنمو النباتات بنشاط حتى عندما يندر وجود الأكسجين.

وقد نجح مزراع عماني في زارعة الأرز بمزرعته الخاصة، متمكّنًا من حصاد ما يقارب 8 كيلوجرامات من خلال تجربته الأولى بالرغم من التحديات التي واجهها والمتعلقة بنوعية التربة ونوع الأسمدة المستخدمة (الصورة ٦-٦). ومع الاهتمام الكبير الذي أولاه لجودة التربة والري وإزالة الأعشاب الضارة بشكل مستمر، فإن نجاحه في عام 2022 م يثبت إمكانية زراعة مجموعة متنوعة من المحاصيل الجديدة في سلطنة عمان.



الصورة ٦-٥ صورة مجهرية ضوئية لمقطع عرضي في ساق الأرز يبيّن فراغات هوائية كبيرة.



الصورة ٦-٦ تجربة زراعة الأرز في سلطنة عمان، ولاية عبري.

سؤال

(٩) كوّن جدولًا يلخص ميزات نبات الأرز التي ساعدته لينمو مع غمر جذوره بالمياه، موضحًا كيف تساهم كل ميزة في ذلك.

مهارات عملية ٦-٢

قياس معدل التنفس باستخدام كواشف الأكسدة والاختزال

تتمثل إحدى طرائق استقصاء معدل التنفس في الخميرة باستخدام صبغة مثل محلول ديكلوروفينول إندو فينول **Dichlorophenolindophenol (DCPIP)**، أو محلول أزرق الميثيلين Methylene blue. لا تتلف هاتان الصبغتان الخلايا، وبالتالي يمكن إضافتهما إلى معلق خلايا الخميرة الحية. فكلا الصبغتَين زرقاء اللون، لكنهما تصبحان عديمتَي اللون عندما تُختزلان؛ وهما مثالان على **كواشف الأكسدة والاختزال Redox indicators**.

تعرفت أن نزع الهيدروجين من المواد المتفاعلة جزء مهم من التنفس. عادة، يلتقط NAD و FAD هذا الهيدروجين، ومع ذلك، يمكن أيضًا لصبغة DCPIP أو أزرق الميثيلين في حال وجودهما التقاط الهيدروجين لتصبح مُختَزَلة. وكلما زادت سرعة التنفس، أطلق المزيد من الهيدروجين لكل وحدة زمنية، واُختزلت الصبغتان بشكل أسرع. ويتمثل قياس معدل التنفس في الخميرة بمعدل التغير من اللون الأزرق إلى فقدان اللون.

يمكن استخدام هذه التقنية لاستقصاء تأثير عوامل مختلفة على تنفس الخميرة، مثل درجة الحرارة أو تركيز المادة المتفاعلة أو المواد المتفاعلة المختلفة.

(ارجع إلى الاستقصاء العملي ٦-٢ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة للحصول على معلومات إضافية).

مصطلحات علمية

كاشف الأكسدة والاختزال Redox indicator: مادة يتغير لونها عند تأكسدها أو اختزالها.

ملخّص

تحتاج الكائنات الحية إلى الطاقة للبقاء على قيد الحياة، وتكون هذه الطاقة عادة طاقة كيميائية كامنة في جزيئات عضوية، بخاصة الكربوهيدرات والدهون. تشمل استخدامات الطاقة تفاعلات البناء والنقل النشط والحركة.

يستخدم ATP كعملة طاقة عالمية. يمكن بناء ATP من إضافة مجموعة فوسفات إلى ADP باستخدام الطاقة، وتحليله إلى مجموعة فوسفات و ADP لإطلاق الطاقة.

التنفس سلسلة من التفاعلات يتحكم فيها الإنزيم، ويتحلَّل فيها الجزيء العضوي، عادة الجلوكوز، بحيث يمكن استخدام طاقته الكيميائية الكامنة لتكوين ATP. يتضمن التنفس الهوائي أربع مراحل: التحلل السكري، والتفاعل الرابط، ودورة كربس، والفسفرة التأكسدية.

في التحلل السكري يتم أولًا فسفرة الجلوكوز، ثم شطره إلى جزيئي تريوز فوسفات. ويتأكسد تريوز فوسفات تاليًا إلى بيروفات معطيًا مقدارًا صغيرًا من ATP و NAD المُختَزَل. يحدث التحلل السكري في سيتوبلازم الخلية. عند توافر الأكسجين (التنفس الهوائي) ينتقل البيروفات إلى حشوة الميتوكندريون حيث يحدث التفاعل الرابط الذي يتم خلاله نزع الكربوكسيل ونزع الهيدروجين من البيروفات وتندمج الأستيل (2C) المتبقية مع (CoA) لتكوّن أستيل CoA.

يدخل أستيل CoA دورة كربس في حشوة الميتوكندريون ويعطي الأستيل إلى أكسالوأسيتات (4C) لتكوين سيترات (6C). تنزع دورة كربس الكربوكسيل وتنزع الهيدروجين من السيترات لتكوين أكسالوأسيتات في سلسلة من الخطوات (التفاعلات) الصغيرة. يمكن عندها أن يتفاعل أكسالوأسيتات مع أستيل CoA آخر من التفاعل الرابط.

يوفر نزع الهيدروجين ذرات هيدروجين تنقلها الناقلات NAD و FAD، والتي تنتقل إلى الغشاء الداخلي من غلاف الميتوكندريا، حيث تنشطر ذرات الهيدروجين إلى بروتونات وإلكترونات.

تنتقل الإلكترونات في الفسفرة التأكسدية على امتداد سلسلة النواقل، مطلقة بعض الطاقة التي تستخدم لنقل البروتونات من حشوة الميتوكندريون إلى الحيّز بين الغشاءَين. ويكوّن هذا منحدر بروتونات عبر الغشاء الداخلي لغلاف الميتوكندريون. تعود البروتونات إلى الحشوة بالانتشار المسهل عبر البروتينات القنوية في الغشاء الداخلي منتقلة مع منحدر تركيزها. يرتبط إنزيم ATP سينثيز بكل من قنوات البروتين، ويستخدم الطاقة من منحدر البروتون لفسفرة ADP إلى ATP، وفي نهاية سلسلة نقل الإلكترون يعاد اندماج الإلكترونات والبروتونات معًا ويُختزل الأكسجين إلى ماء.

في غياب الأكسجين كمستقبل للهيدروجين، يتكوّن مقدار قليل من ATP عبر التحلل السكري (في تخمر اللاكتات وتخمر الإيثانول)، ثم يتم نزع الهيدروجين وإنتاج الإيثانول أو اللاكتات. للأرزّ تراكيب مناسبة تسمح له بالبقاء على قيد الحياة في الظروف اللاهوائية.

يمكن استخدام كواشف الأكسدة والاختزال لقياس معدل التنفس في الخميرة، وبالتالي استقصاء تأثير عوامل مثل درجة الحرارة أو تركيز المادة المتفاعلة على معدل التنفس.

أسئلة نهاية الوحدة

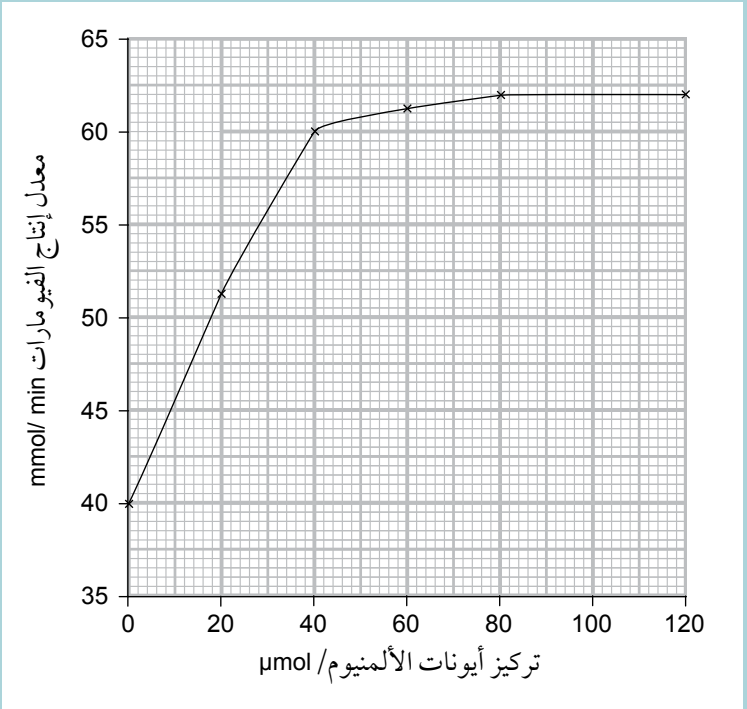
١ انقل وأكمل الفقرة الآتية التي تصف مناسبة تركيب نبات الأرز للنمو مع غمر جذوره بالمياه.

تحتوي سيقان نبات الأرز وأوراقه على ..... كبيرة جدًا في نسيج يسمّى ..... ، والذي يتيح للأكسجين الانتقال من الهواء إلى ..... . تكون جذور النبات سطحية جدًا، ما يمكنها من الوصول إلى تركيز مرتفع من ..... في سطح الماء. عندما تنخفض تراكيز الأكسجين، تستطيع الجذور أكسدة الجلوكوز من خلال ..... وهذا يكوّن ..... وهو سام. ومع ذلك، تتحمل خلايا الجذور التراكيز المرتفعة من هذا الناتج السام أكثر من معظم الخلايا الأخرى، وهي تحتوي أيضًا على تراكيز مرتفعة من إنزيم ..... لتفكيكه.

٢ تُعدّ دورة كربس سلسلة من الخطوات الصغيرة في التنفس الهوائي. إحدى هذه الخطوات، تحويل السكسينات Succinate إلى فيومارات Fumarate بواسطة إنزيم سكسينات ديهيدروجينيز A (Succinate dehydrogenase A).

أ. اذكر دور إنزيمات ديهيدروجينيز في دورة كربس، واشرح بإيجاز أهمية هذا الدور في إنتاج ATP.

ب. أُجري استقصاء عن تأثير التراكيز المختلفة لأيونات الألمنيوم على نشاط إنزيم سكسينات ديهيدروجينيز. جرى الحفاظ على ثبات تركيز الإنزيم وجميع الظروف الأخرى. يبيّن التمثيل البياني الآتي نتائج هذا الاستقصاء.



١. صف تأثير تركيز أيونات الألمنيوم على معدل إنتاج الفيومارات.

٢. اقترح تفسيرًا لهذا التأثير.

أفعال إجرائية

اذكر **State**: عبّر بكلمات واضحة.

أفعال إجرائية

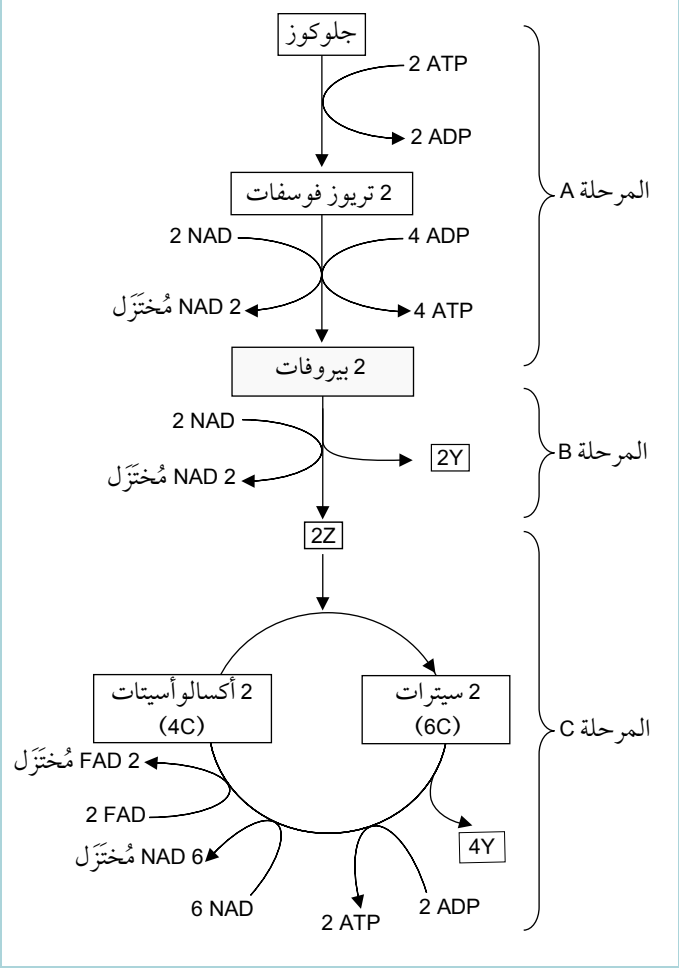
صِف **Describe**: قدّم الخصائص والميزات الرئيسية.

اقترح **Suggest**: طبّق المعرفة والفهم على المواقف التي تتضمّن مجموعة من الإجابات الصحيحة من أجل تقديم المقترحات.

تابع

٣ اشرح كيف يتناسب تركيب وميزات الميتوكندريون مع وظيفته كموقع للتنفس الهوائي.

٤ يبيّن الرسم التخطيطي موجزًا لبعض مراحل التنفس.



أ. ١. اكتب تسمية الجزيئات Y و Z.

٢. اكتب تسمية المراحل A و B و C.

٣. اذكر الموقع الدقيق في الخلية حيث تحدث المرحلتان B و C.

تابع

ب. ١. اشرح كيف يستخدم NAD المُختَزَل و FAD المُختَزَل لتكوين ATP.

٢. اشرح كيف أن العملية في المرحلة C يمكن أن تكون حلقية.

ج. تتوقف المرحلتان B و C في الرسم التخطيطي في حالة عدم توافر الأكسجين. اشرح سبب تحوّل البيروفات إلى لاكتات في الكائنات الحية التي تعيش في الظروف اللاهوائية.

أفعال إجرائية

اشرح **Explain**: اعرض الأهداف أو الأسباب/ اجعل العلاقات بين الأشياء واضحة/توقّع لماذا و/أو كيف، وادعم إجابتك بأدلّة ذات صلة.

قائمة تقييم ذاتي

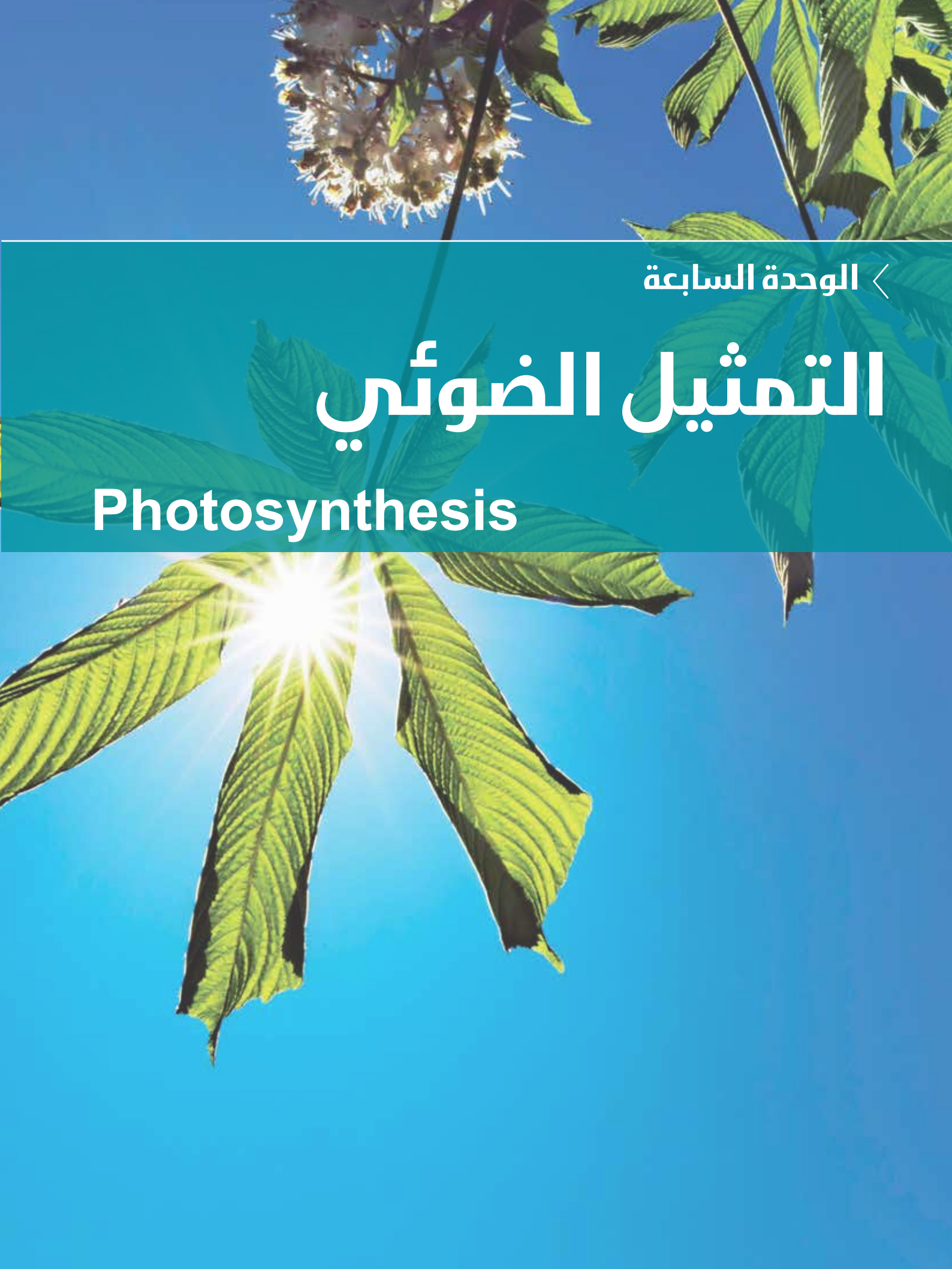
بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
ألخص سبب حاجة الكائنات الحية إلى الطاقة.	٦-١			
أصف كيف يتناسب ATP مع دوره كعملة طاقة عالمية.	٦-١			
أذكر كيف يتم بناء ATP في التنفس الهوائي من خلال نقل الفوسفات والأسموزية الكيميائية.	٦-٢			
أذكر مكان حدوث كل مرحلة من مراحل التنفس الهوائي الأربع في الخلايا حقيقية النواة (التحلل السكري، والتفاعل الرابط، ودورة كربس والفسفرة التأكسدية).	٦-٢			
ألخص التحلل السكري على أنه فسفرة الجلوكوز والانشطار اللاحق للفركتوز 6،1- ثنائي الفوسفات (6C) إلى جزيئي تريوز فوسفات (3C).	٦-٢			
أشرح أنه عند توافر الأكسجين يدخل البيروفات إلى الميتوكندريا للمشاركة في التفاعل الرابط.	٦-٢			
أصف التفاعل الرابط، بما في ذلك دور مرافق الإنزيم A في نقل مجموعات الأستيل (2C).	٦-٢			
ألخص دورة كربس، شارحًا أن أكسالوأسيتات (4C) يعمل كمستقبل لـ (2C) من أستيل مرافق إنزيم A للسماح بإكمال الدورة.	٦-٢			
أشرح دور نزع الكربوكسيل ونزع الهيدروجين وتفاعلات الاختزال في دورة كربس.	٦-٢			
أصف دور NAD و FAD في نقل الهيدروجين إلى نواقل في غشاء الميتوكندريا الداخلي.	٦-٢			
أشرح خطوات الفسفرة التأكسدية والمتضمنة: • انشطار ذرات الهيدروجين • دور الإلكترونات عالية الطاقة • نقل البروتونات عبر غشاء الميتوكندريا الداخلي • دور ATP سينثيز • تكوين الماء.	٦-٢			
أصف الاستقصاءات باستخدام مقاييس تنفس.	٦-٢			

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أصف العلاقة بين تركيب ووظيفة الميتوكندريا باستخدام الرسوم التخطيطية والصور المجهرية الإلكترونية.	٣-٦			
ألخص كيف أن تخمر اللاكتات في الثدييات وتكوين الإيثانول في خلايا الخميرة يمكن أن يؤمن كمية قليلة من ATP في الظروف اللاهوائية.	٤-٦			
أشرح سبب أن كمية الطاقة المنطلقة من التنفس في الظروف الهوائية أعلى بكثير من كمية الطاقة المنطلقة من التنفس في الظروف اللاهوائية.	٤-٦			
أشرح كيفية مناسبة تركيب نبات الأرزّ للنمو مع غمر جذوره في الماء، بالرجوع إلى نمو نسيج الإيرنشيما وتخمر الإيثانول للنمو السريع في الساق.	٤-٦			
أصف الاستقصاءات باستخدام كواشف الأكسدة والاختزال بما في ذلك DCPIP، وأزرق الميثيلين، لتحديد تأثير درجة الحرارة وتركيز المادة المتفاعلة على معدل تنفس الخميرة.	٤-٦			



الوحدة السابعة

التمثيل الضوئي

Photosynthesis

أهداف التعلّم

٧-١ يصف العلاقة بين تركيب البلاستيدات الخضراء، كما تظهر في الرسوم التخطيطية والصور المجهرية الإلكترونية ووظائفها.

٧-٢ يذكر أن البلاستيدة الخضراء تحتوي على الثايلاكويدات (أغشية الثايلاكويد وتجويف الثايلاكويد) التي تتكدس في أكوام تسمى جرانا، وهي موقع مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء وأن الستروما هي موقع مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء.

٧-٣ يصف دور صبغات البلاستيدة الخضراء (كلوروفيل *a*، وكلوروفيل *b*، والكاروتين، والزانثوفيل) في امتصاص الضوء في الثايلاكويدات.

٧-٤ يفسر أطياف الامتصاص لصبغات البلاستيدات الخضراء وأطياف النشاط للتمثيل الضوئي.

٧-٥ يصف ويستخدم الكروماتوجرافيا لفصل وتحديد صبغات البلاستيدات الخضراء (يجب الإشارة إلى قيم R_f في تحديد صبغات البلاستيدات الخضراء) ويفسر النتائج.

٧-٦ يشرح أن الطاقة المنقولة على شكل ATP و NADP المُختَزَل من مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء تُستخدم أثناء مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء (دورة كالفن) من التمثيل الضوئي لإنتاج جزيئات عضوية معقدة.

٧-٧ يذكر أن الفسفرة الضوئية الحلقية والفسفرة الضوئية اللاحلقية تحدثان أثناء مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء من التمثيل الضوئي.

٧-٨ يشرح أنه في الفسفرة الضوئية الحلقية:

- يستخدم النظام الضوئي الأول (PSI) فقط
- يحدث تنشيط ضوئي للكلوروفيل
- يتم بناء ATP.

٧-٩ يشرح أنه في الفسفرة الضوئية اللاحلقية:

- يستخدم النظام الضوئي الأول (PSI) والنظام الضوئي الثاني (PSII)
- يحدث تنشيط ضوئي للكلوروفيل
- يحفز معقد تحرير الأكسجين عملية التحلل الضوئي للماء
- يتم بناء ATP و NADP المُختَزَل.

٧-١٠ يشرح أنه أثناء الفسفرة الضوئية:

- تُطلق الإلكترونات عالية الطاقة أثناء مرورها طاقةً عبر سلسلة نقل الإلكترون (تفاصيل النواقل ليست مطلوبة)
- تُستخدم الطاقة المنطلقة لنقل البروتونات عبر غشاء الثايلاكويد
- تعود البروتونات إلى الستروما من تجويف الثايلاكويد عن طريق الانتشار المسهل من خلال ATP سينثيز (الأسموزية الكيميائية)، الأمر الذي يوفر طاقة لبناء ATP (تفاصيل ATP سينثيز ليست مطلوبة).

٧-١١ يلخص المراحل الرئيسية الثلاث لدورة كالفن:

- يحفز إنزيم روبيسكو تثبيت ثاني أكسيد الكربون عن طريق الارتباط مع جزيء من رايبولوز ثنائي الفوسفات (RuBP)، وهو مركب خماسي الكربون (5C)، لإنتاج جزيئَين من جليسرات 3- فوسفات (GP)، وهو مركب ثلاثي الكربون (3C)
- يختزل (GP) إلى تريوز فوسفات (TP) في تفاعلات تتضمن اختزال NADP المُختَزَل واستخدام ATP
- يعاد تكوين RuBP من TP في تفاعلات تستخدم ATP.

٧-١٢ يذكر أن المركبات الوسطية في دورة كالفن تُستخدم لإنتاج جزيئات أخرى، مقتصرًا على GP لإنتاج بعض الأحماض الأمينية و TP لإنتاج الكربوهيدرات والدهون والأحماض الأمينية.

٧-١٣ يشرح تأثير التغيرات في شدة الضوء وتركيز ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة على معدل التمثيل الضوئي، مع الإشارة إلى العوامل المحدّدة.

٧-١٤ يصف ويفسر الاستقصاءات باستخدام كواشف الأكسدة والاختزال بما في ذلك DCPIP وأزرق الميثيلين ومعلق البلاستيدات الخضراء لتحديد تأثيرات الطول الموجي على معدل التمثيل الضوئي.

٧-١٥ يصف ويفسر الاستقصاءات باستخدام نباتات كاملة، بما في ذلك النباتات المائية، لتحديد تأثير تركيز ثاني أكسيد الكربون على معدل التمثيل الضوئي.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

جرّب حل المشكلة الآتية بنفسك، ثم ناقش أفكارك مع زميلك.

وُضع نباتان في وعاءَين مغلقَين، في داخل كل منهما أنبوب صغير يحتوي على كاشف كربونات الهيدروجين ($H_2CO_3^-$).

تمّت تغطية أحد الوعاءَين بورق أسود، وتمّ إسقاط الضوء على الوعاء الآخر.

ماذا تتوقع أن يحدث للكاشف في كل وعاء خلال الساعات القليلة القادمة؟ ولماذا؟

العلوم ضمن سياقها

الوقود من الطحالب

تمتلك النباتات نظامًا للتصنيع الكيميائي. ولا يزال الإنسان غير قادر على تطوير ما يضاهي هذا النظام حتى في المختبرات الكيميائية الأكثر تطورًا. فعلى الرغم من قضاء ملايين الساعات من البحث العلمي، ما زال الإنسان عاجزًا عن تطوير نظام تصنيع كيميائي يمكّنه من حصاد الطاقة الضوئية واستخدامها في صنع مواد كيميائية معقدة، بالطريقة التي تعمل بها النباتات والكائنات الحية الأخرى التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي.

لذلك، قامت العديد من الشركات حول العالم باستقصاء إمكانية استخدام الأوليات القادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي لتنفيذ ذلك في المختبر. تستطيع الأوليات القادرة على التمثيل الضوئي استخدام بلاستيداتها الخضراء وإنزيماتها لإنتاج وقود لاستخدامه في الآلات، بدلًا من الوقود (على شكل كربوهيدرات) الذي تستخدمه هذه الكائنات لنفسها.

تظهر الصورة ٧-١ الباحثين يعملون على قوارير تحتوي على أحد أنواع الأوليات وحيدة الخلية القادرة على التمثيل الضوئي يسمى اليوجلينا *Euglena*. يستخدم الباحثون هذا الكائن الحي لإنتاج مركبات يمكن تحويلها إلى وقود للطائرات والسيارات، ما يجعله، نظريًّا، مصدر دخل مالي كبير.

وفر ضوءًا ودرجة حرارة مناسبة وثاني أكسيد كربون كافيًا، ودع اليوجلينا تتولى المهمة بنفسها. ومع ذلك، وعلى الرغم من رؤوس الأموال الهائلة التي تمّ استثمارها في شركات مثل هذه، لم يتمكن أي منها حتى الآن من تطوير منشأة إنتاج على نطاق واسع يمكنها تحقيق أرباح فعلية. لقد تخلت معظم هذه الشركات عن محاولة إنتاج وقود يُنافس تكاليف إنتاج الوقود الأحفوري. وبدلًا من ذلك، فإن هذه الشركات تستخدم الأوليات القادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي للحصول على منتجات ذات قيمة أعلى من الوقود، مثل مستحضرات التجميل والأعلاف الحيوانية.



الصورة ٧-١ باحثون من سان دييغو، كاليفورنيا - الولايات المتحدة الأمريكية- يقومون باستقصاء الشروط اللازم توفيرها لليوجلينا *Euglena* بهدف إنتاج الوقود الذي يمكن معالجته ليتحوّل إلى الديزل والبنزين.

أسئلة للمناقشة

- ما هي المزايا البيئية لاستخدام الأوليات القادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي لإنتاج الوقود؟
- ما هي الظروف التي تحتاج إليها الأوليات القادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي، حتى تتمكن من إنتاج كميّات كبيرة من الوقود؟
- ما الذي يثبت صعو ة جعل هذه العملية قادرة على إنتاج الوقود بكميات تجارية وعلى نطاق واسع؟

٧-١ تركيب ووظيفة البلاستيدات الخضراء

لقد تعلمت في الوحدة السادسة كيف تستخدم جميع الكائنات الحية ATP كعملة للطاقة. فهي تصنع ATP باستخدام الطاقة الكيميائية الكامنة والمختزنة في جزيئات سكر الجلوكوز وجزيئات المواد العضوية الأخرى لربط مجموعة من الفوسفات إلى جزيء ADP. يتم ذلك عن طريق عملية التنفس، وهي سلسلة من التفاعلات التي تتحكم بها الإنزيمات وتحدث في كل خلية حية، كما تحدث هذه العملية في الخلايا حقيقية النوى داخل عضيات متخصصة تسمى الميتوكندريا.

سوف تتعرف في هذه الوحدة على كيفية إنتاج الجلوكوز المستخدم في التنفس عن طريق عملية التمثيل الضوئي، حيث يتم تحويل الطاقة الموجودة في ضوء الشمس إلى جزيئات من الكربوهيدرات مثل سكر الجلوكوز (طاقة كيميائية). تحدث عملية التمثيل الضوئي في عضيات متخصصة تسمى البلاستيدات الخضراء Chloroplasts، توجد داخل خلايا جميع النباتات الخضراء والعديد من الأوليات، مثل اليوجلينا *Euglena*.

ملخص عملية التمثيل الضوئي

قبل عرض الوصف التفصيلي لسلسلة التفاعلات التي تحدث أثناء عملية التمثيل الضوئي، من المفيد عرض ملخص العملية بأكملها، إذ تتضمن عملية التمثيل الضوئي امتصاص ثاني أكسيد الكربون واختزاله - أي إضافة الهيدروجين إليه - لإنتاج الكربوهيدرات. فمصدر الهيدروجين المستخدم في هذه العملية هو جزيئات الماء، ومصدر الطاقة التي تدفع حدوث التفاعلات هو الضوء الذي تمتصه صبغة خضراء تسمى **الكلوروفيل Chlorophyll**.

المعادلة الكيميائية الكلية لعملية التمثيل الضوئي هي الآتية:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{الطاقة الضوئية بوجود الكلوروفيل}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

ثاني أكسيد الكربون — ماء — كربوهيدرات — الأكسجين

إن الناتجَين النهائيَّين لتفاعلات عملية التمثيل الضوئي هما الكربوهيدرات والأكسجين. يُعدّ الأكسجين ناتجًا ثانويًا لعملية التمثيل الضوئي، وقد يُفقد بانتقاله إلى الخارج أو يُستخدم في عملية التنفس.

إن التفاعل الكيميائي الموضح في المعادلة الكيميائية الكلية لعملية التمثيل الضوئي تُلخص في الواقع العديد من الخطوات الصغيرة التي يمكن تقسيمها ضمن مرحلتَين رئيسيتَين: **مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء Light-dependent stage** و**مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء Light-independent stage**.

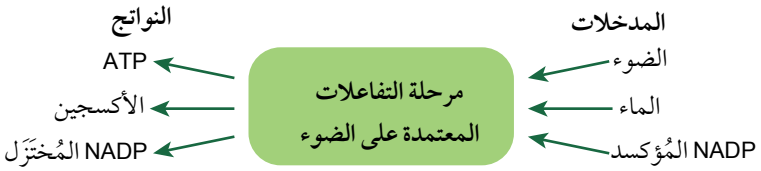
مصطلحات علمية

الكلوروفيل Chlorophyll: صبغة خضراء تمتص الطاقة من الضوء وتستخدم في عملية التمثيل الضوئي.

مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء Light-dependent stage: السلسلة الأولى من التفاعلات التي تحدث في عملية التمثيل الضوئي، وهي تحتاج إلى الطاقة الممتصة من الضوء.

مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء Light-independent stage: السلسلة النهائية من التفاعلات التي تحدث في عملية التمثيل الضوئي؛ ولا تحتاج إلى وجود الضوء، ولكنها تحتاج إلى مواد يتم إنتاجها في مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء.

في مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء، تمتص الصبغات، بما فيها الكلوروفيل، الطاقة من الضوء؛ حيث يتم استخدام جزء من هذه الطاقة لشطر جزيئات الماء إلى هيدروجين وأكسجين، وهذا ما يسمى **التحلل الضوئي Photolysis** (أي التحلل بواسطة الضوء)، بحيث تُستخدم الطاقة المختزنة في الهيدروجين لصنع جزيئات ATP، في عملية تسمى **الفسفرة الضوئية Photophosphorylation**، ويتم التقاط الهيدروجين في النهاية بواسطة المرافق الإنزيمي **NADP**، لتكوين NADP المُختَزَل.



الشكل ٧-١ نظرة عامة مبسطة لمرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء.

في مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء، تُستخدم الطاقة المختزنة في جزيئات ATP، وكذلك الطاقة المختزنة في الهيدروجين المرتبط مع NADP المُختَزَل لاختزال جزيئات ثاني أكسيد الكربون وإنتاج الكربوهيدرات؛ تُعرف هذه المرحلة أيضًا باسم **دورة كالفن Calvin cycle**.

تحدث كل من المرحلتَين: مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء ومرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء، داخل البلاستيدات الخضراء.

خصائص البلاستيدات الخضراء

يوضح الشكل ٧-٢ والصورة ٧-٢ تركيب بلاستيدة خضراء نموذجية. توجد البلاستيدات الخضراء فقط في بعض أنواع الخلايا النباتية - بشكل رئيسي في النسيج الوسطي العمادي والنسيج الوسطي الإسفنجي في الورقة - وقد تحتوي الخلية الواحدة على العديد من البلاستيدات الخضراء.

يحيط بكل واحدة من البلاستيدات الخضراء غلاف مكوّن من غشاءَين، ويوجد داخل كل بلاستيدة خضراء مادة مائية تشكل **الستروما Stroma**. وهناك العديد من الإنزيمات والمواد الأخرى في الستروما، كما سوف ترى، تُستخدم في التفاعلات غير المعتمدة على الضوء. تحتوي الستروما في البلاستيدات الخضراء على رايبوسومات صغيرة وحلقات صغيرة من DNA تُستخدم لبناء البروتينات كما هي الحال في حشوة الميتوكندريون، كما تحتوي الستروما أيضًا على حبيبات من النشا، التي تخزن بعضًا من الكربوهيدرات الذي يتم إنتاجه، في شكل غير قابل للذوبان.

إضافة إلى الغشاءَين المكوّنَين لغلاف البلاستيدة الخضراء، هناك المزيد من الأغشية في داخلها، تسمى **الصفائح Lamellae**. تترتب هذه الأغشية بحيث تشكل

مصطلحات علمية

التحلل الضوئي Photolysis: عملية شطر جزيء الماء باستخدام الطاقة الممتصة من الضوء.

الفسفرة الضوئية Photophosphorylation: إنتاج ATP باستخدام الطاقة التي مصدرها الأساسي الضوء.

NADP: مرافق إنزيمي يقوم بنقل الهيدروجين من مادة إلى أخرى، في تفاعلات التمثيل الضوئي.

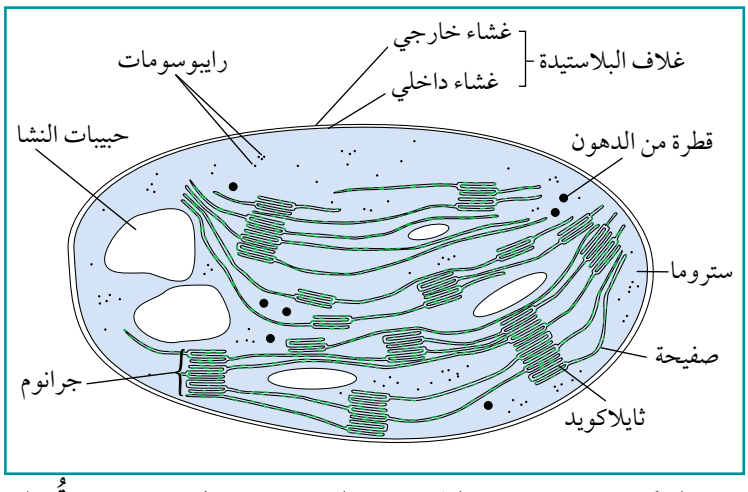
دورة كالفن Calvin cycle: دورة من التفاعلات التي تحدث خلال مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي والتي يتم فيها اختزال ثاني أكسيد الكربون لتكوين الكربوهيدرات.

الستروما Stroma: المادة الأساسية في البلاستيدات الخضراء التي تحدث فيها مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء.

الصفائح Lamellae: أغشية توجد داخل البلاستيدة الخضراء.



الصورة ٧-٢ صورة مجهرية إلكترونية (النافذ) لمقطع في بلاستيدة خضراء من ورقة نبات لسان البحر Potamogeton (X21000).



الشكل ٧-٢ تركيب البلاستيدة الخضراء. مثل الميتوكندريون، تُحاط البلاستيدة الخضراء بغشاءَين يفصلانها عن السيتوبلازم، ويشكلان غلافًا.

أكياسًا مملوءة بسائل، وتسمى الأغشية المحيطة بهذه الأكياس **أغشية الثايلاكويد Thylakoid membranes**، ويسمى الحيز الموجود داخل كل منها **تجويف الثايلاكويد Thylakoid space**. في بعض أجزاء البلاستيدة الخضراء، تتكدس الثايلاكويدات على شكل أكوام من القطع النقدية المعدنية، تسمى الجرانا Grana (المفرد: جرانوم Granum).

تحتوي أغشية الصفائح وأغشية الثايلاكويدات على جزيئات ناقلة تعمل معًا كسلسلة نقل الإلكترون، بطريقة مشابهة جدًا لما يحدث في أغشية الأعراف في الميتوكندريون. وسوف تتعرف على وظيفة هذه الجزيئات الناقلة لاحقًا في هذه الوحدة.

يوجد العديد من **صبغات التمثيل الضوئي Photosynthetic pigments** المختلفة في أغشية الصفائح والثايلاكويدات. هذه الصبغات هي مواد ملوّنة تمتص الطاقة من أطوال موجية معيّنة (ألوان) من الضوء، ويشكل الكلوروفيل الصبغة الأكثر وفرة بين هذه الصبغات، إذ يوجد في شكلَين – الكلوروفيل (*a*) والكلوروفيل (*b*). ومن الصبغات الأخرى صبغتا الكاروتين والزانثوفيل (الكاروتينات).

مصطلحات علمية

أغشية الثايلاكويد Thylakoid membranes: أغشية توجد داخل البلاستيدة الخضراء تحيط بأكياس مملوءة بسائل؛ تحدث مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي في هذه الأغشية.

تجويف الثايلاكويد Thylakoid space: حيز مملوء بسائل ومحاط بأغشية الثايلاكويد.

صبغات التمثيل الضوئي Photosynthetic pigments: مواد ملوّنة تمتص أطوال موجية معيّنة من الضوء، وتوفر الطاقة لتحفيز التفاعلات في مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي.

أسئلة

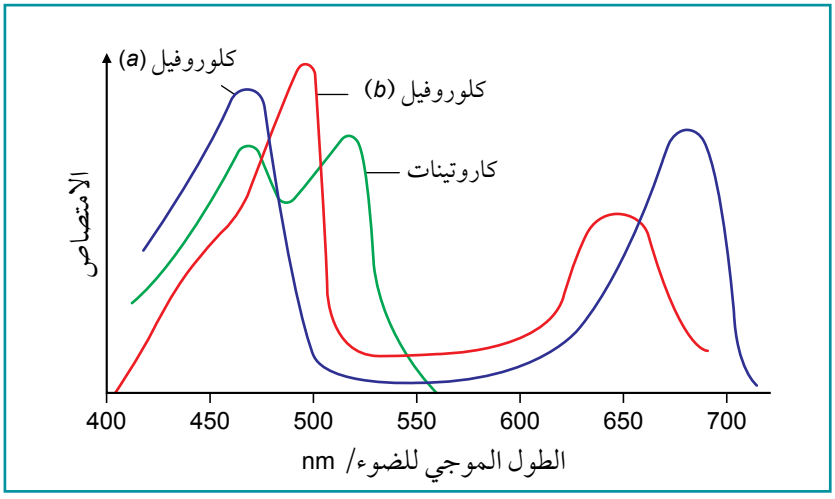
١ ارسم رسمًا تخطيطيًا كبيرًا للبلاستيدة الخضراء الموضحة في الصورة ٧-٢ وأضف عليه المسميات. استخدم الشكل ٧-٢ لتسمية الأجزاء على الرسم التخطيطي الخاص بك.

٢ قارن بين تركيب البلاستيدة الخضراء وتركيب الميتوكندريون.

وظائف صبغات البلاستيدة الخضراء

الصبغة هي مادة تمتص بعض الأطوال الموجية للضوء وتعكس بعضها الآخر، وتنعكس الأطوال الموجية التي لا تمتصها الصبغة إلى أعيننا فنرى لونًا معيّنًا، فيبدو الكلوروفيل (*a*) أخضر لأنه يمتص الضوء الأحمر ويعكس الضوء الأخضر، فنراه أخضر.

غالبية الصبغات في البلاستيدات الخضراء هي الكلوروفيل (*a*) والكلوروفيل (*b*). هذا هو السبب في أن البلاستيدات الخضراء والخلايا التي تحتوي عليها، والأوراق التي توجد بها هذه الخلايا، تبدو خضراء اللون. يمتص الكلوروفيل (*a*) أطوالًا موجية أطول قليلًا من الأطوال الموجية للضوء الذي يمتصه الكلوروفيل (*b*). وتوجد صبغة الكاروتين أيضًا في البلاستيدات الخضراء، وهي تمتص الطول الموجي للضوء الأزرق. يبيّن الشكل ٧-٣ مدى الأطوال الموجية التي تمتصها كل من هذه الصبغات الثلاث، ويسمى هذا المدى **طيف الامتصاص** **Absorption spectrum**.



الشكل ٧-٣ طيف الامتصاص للكلوروفيل (*a*)، والكلوروفيل (*b*)، والكاروتين.

مصطلحات علمية

طيف الامتصاص Absorption spectrum: تمثيل بياني يوضح امتصاص الأطوال الموجية المختلفة للضوء بواسطة إحدى صبغات التمثيل الضوئي.

النظام الضوئي Photosystem: مجموعة كبيرة من جزيئات الصبغات التي تقوم بامتصاص الضوء والتي تحيط بمركز تفاعل.

مركز التفاعل Reaction centre: جزء من نظام ضوئي يتم توجيه الطاقة الممتصة من الضوء نحوه؛ يحتوي على زوج من جزيئات الكلوروفيل (*a*) التي تمتص الطاقة وتطلق الإلكترونات.

أسئلة

٣ استخدم الشكلين ٧-٣ و٧-٥ لتحديد لون الكاروتين. اشرح إجابتك.

٤ تتميز صبغة الزانثوفيل بلونها الأصفر. استخدم الشكل ٧-٥ لتحديد الأطوال الموجية للضوء التي **لا** يمتصها الزانثوفيل.

تترتب الصبغات الموجودة في غشاء الثايلاكويد في مجموعات تسمى **الأنظمة الضوئية** **Photosystems**، ويتكوّن كل نظام ضوئي من أعداد كبيرة من جزيئات الصبغة، بالإضافة إلى بعض البروتينات. وتمتص الصبغات الطاقة من الضوء ثم توجهها إلى **مركز التفاعل** **Reaction centre**. يوجد نوعان من الأنظمة الضوئية: النظام الضوئي الأول Photosystem I (PSI)، والنظام الضوئي الثاني Photosystem II (PSII). يمتص (PSI) الضوء ذا الطول الموجي 700 nm، بينما يمتص (PSII) بشكل رئيسي الضوء ذا الطول الموجي 680 nm.

مصطلحات علمية

الكروماتوجرافيا Chromatography: تقنية تستخدم لفصل المواد الموجودة في خليط حسب قابليتها للذوبان في مادة مذيبة معيّنة.

تحتوي مراكز التفاعل لكلا النظامَين الضوئيَّين على جزيئَين من الكلوروفيل (*a*). تساعد جميع الصبغات الأخرى – الكلوروفيل (*b*)، والكاروتين، والزانثوفيل – على توجيه الطاقة التي يتم حصادها من الضوء إلى جزيئات الكلوروفيل (*a*) ما يؤدي إلى زيادة مستوى طاقة الإلكترونات في جزيئات الكلوروفيل (*a*)، فتحفز هذه الإلكترونات عالية الطاقة الخطوات التي تحدث في مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي.

مهارات عملية ٧-١

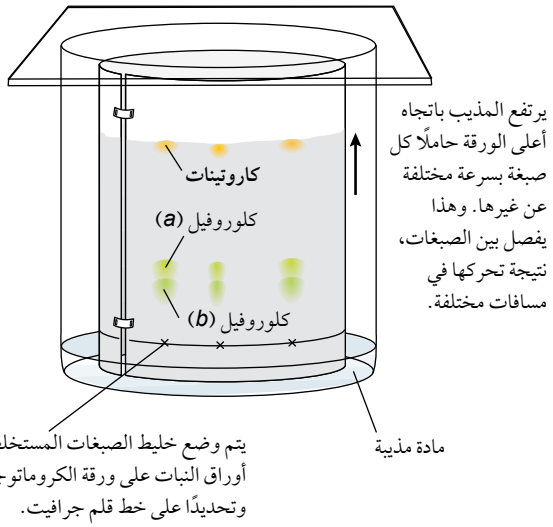
استخدام الكروماتوجرافيا لتحديد صبغات البلاستيدات الخضراء

الكروماتوجرافيا Chromatography تقنية تستخدم لفصل المواد الموجودة في خليط ما بحسب قابليتها للذوبان في مادة مذيبة معيّنة.

لفصل وتحديد الصبغات الموجودة في البلاستيدات الخضراء، تحتاج أولًا إلى استخلاصها، ويمكن القيام بذلك عن طريق هرس ورقة أو أكثر من نبات في مادة مذيبة مناسبة، مثل خليط من البروبانون Propanone والإيثر البترولي Petroleum ether. من المهم جعل هذا المستخلص مركزًا قدر الإمكان، وذلك باستخدام كمية صغيرة فقط من المذيب وهرس الأوراق جيدًا، ثم يجب ترشيح المستخلص للحصول على محلول أخضر داكن يحتوي على الصبغات المختلفة ذائبة فيه.

بعد ذلك، استخدم مسطرة وقلم جرافيت لرسم خط على بعد نحو 2 cm من قاعدة قطعة مستطيلة من ورق الكروماتوجرافيا (الشكل ٧-٤)، ثم استخدم أنبوبًا شعريًا، أو ماصة ذات نهاية ضيقة جدًا، لوضع قطرة صغيرة من المرشح الأخضر على هذا الخط.

كرر ذلك مرارًا، في محاولة لإنتاج بقعة خضراء كثيفة وصغيرة جدًا من المادة المرشحة. وإذا أردت يمكنك وضع أكثر من بقعة من المحلول المرشح في مواضع مختلفة على الخط، على سبيل المثال باستخدام مرشحات تحضرها من أوراق أنواع مختلفة من النباتات، ثم جفف البقع، على سبيل المثال باستخدام مجفف الشعر (**ملاحظة:** حاول أن لا تُسخِّن البقع لدرجة كبيرة ما يسبب في تغير التركيب الكيميائي للصبغات أو في حرق ورقة الكروماتوجرافيا).



الشكل ٧-٤ كروماتوجرافيا صبغات البلاستيدات الخضراء.

يمكنك الآن وضع طرف ورقة الكروماتوجرافيا في كمية صغيرة من المذيب داخل وعاء زجاجي (كأس زجاجية، أو وعاء زجاجي أسطواني، أو أنبوبة اختبار كبيرة) بحيث يكون خط قلم الجرافيت أعلى من مستوى المذيب. سيتحرك المذيب تدريجيًا نحو الأعلى في ورقة الكروماتوجرافيا، ناقلًا معه الصبغات المختلفة الموجودة في البقعة، وستنتقل بعض الصبغات في المزيج المرشح أسرع من غيرها، وستتمكن من رؤية بقع ملوّنة في مواقع مختلفة باتجاه أعلى الورقة.

عندما يصبح المذيب قريبًا من الجزء العلوي لورقة الكروماتوجرافيا، أخرج الورقة من المذيب ثم استخدم قلم الجرافيت لتحديد الموضع الذي وصل إليه المذيب، والذي يطلق عليه جبهة المذيب Solvent front.

مهارات عملية ٧-١ (تابع)

وعندما تجف الورقة، قم بقياس المسافة بين جبهة المذيب والبقعة الأصلية على خط قلم الجرافيت أسفل ورقة الترشيح، وكذلك المسافات التي قطعتها كل واحدة من الصبغات تبعًا لبقع الألوان المختلفة التي تحدد موقع كل منها. يمكنك بعد ذلك حساب قيم R_f (**Retardation factor**) لكل منها:

$$R_f = \frac{\text{المسافة التي قطعتها بقعة صبغة معيّنة}}{\text{المسافة التي يقطعها المذيب}}$$

تعتمد قيم R_f الدقيقة للصبغات المختلفة على المذيب الذي تستخدمه. ومع ذلك، فإن الكاروتينات تنتقل بشكل عام تقريبًا حتى جبهة المذيب، وبالتالي تكون قيمة R_f قريبة من 1. ويليها في المستوى على الكروماتوجرام (ورقة الكروماتوجرافيا وعليها بقع الصبغات) الكلوروفيل (*a*)، ويظهر الكلوروفيل (*b*) تحته.

(انظر الاستقصاء العملي ٧-١ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة للحصول على معلومات إضافية).

أطياف النشاط

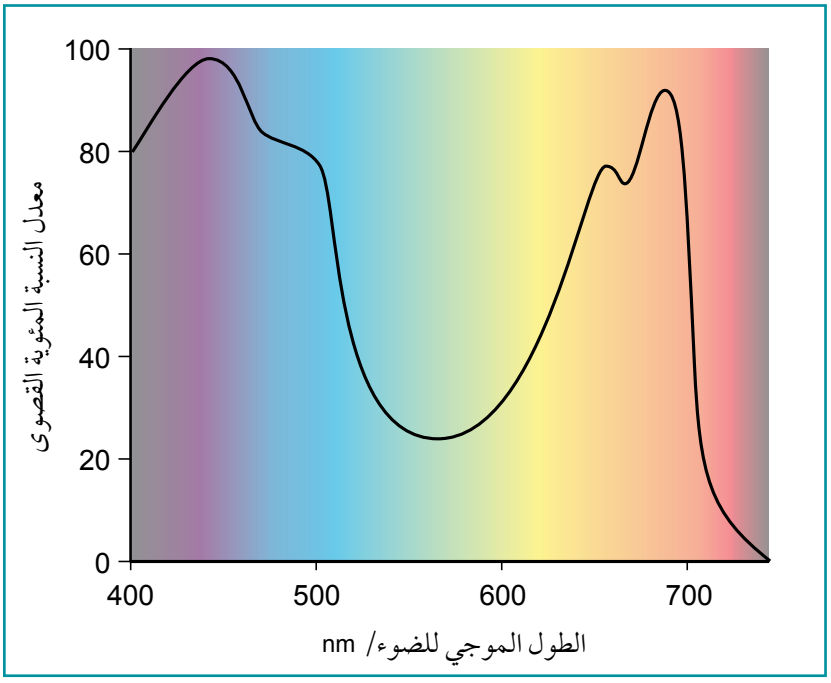
طيف النشاط Action spectrum هو تمثيل بياني يوضح معدل عملية التمثيل الضوئي في أطوال موجية مختلفة من الضوء.

يتوقع أن يكون طيف النشاط مرتبطًا بقدرة الصبغات المختلفة في البلاستيدات الخضراء على امتصاص الطاقة من الأطوال الموجية المختلفة للضوء (طيف الامتصاص)، والتي يوضحها الشكل ٧-٣. قارن التمثيلات البيانية لأطياف الامتصاص لصبغات البلاستيدات الخضراء المبيّنة في الشكل ٧-٣ مع التمثيل البياني لطيف النشاط للتمثيل الضوئي الموضح في الشكل ٧-٥.

مصطلحات علمية

قيمة R_f R_f Value: رقم يشير إلى المسافة التي تنتقل إليها مادة ما أثناء الفصل الكروماتوجرافي، وتحسب بقسمة المسافة التي تقطعها المادة المذابة في مذيب على المسافة التي يقطعها المذيب؛ يمكن استخدام قيم R_f لتحديد المادة.

طيف النشاط Action spectrum: تمثيل بياني يوضح تأثير الأطوال الموجية المختلفة للضوء على عملية ما، على سبيل المثال معدل التمثيل الضوئي.



الشكل ٧-٥ طيف النشاط للتمثيل الضوئي.

أسئلة

٥ ناقش مع أحد زملائك أوجه التشابه والاختلاف بين أطياف الامتصاص لصبغات البلاستيدة الخضراء المبيّنة في الشكل ٧-٣، وطيف النشاط للتمثيل الضوئي المبيّن في الشكل ٧-٥. إذا رسمت خطًا «مركبًا» واحدًا ليمثل طيف الامتصاص، بحيث يجمع بين أطياف الامتصاص للصبغات المختلفة، فما مدى تشابه هذا الخط مع طيف النشاط للتمثيل الضوئي؟ اقترح أسباب أي اختلافات، وكن مستعدًا لمشاركة أفكارك مع بقية الزملاء في الصف.

٧-٢ مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي

لقد رأينا أن التفاعلات المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي تشمل شطر جزيئات الماء عن طريق التحلل الضوئي لإنتاج أيونات الهيدروجين (البروتونات) وبناء ATP من خلال الفسفرة الضوئية (انظر الشكل ٧-١). تتحد أيونات الهيدروجين مع الجزيء الناقل لها، يسمى NADP، لإنتاج NADP المُختَزَل. ويتم انتقال جزيئات ATP وNADP المُختَزَل من مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء إلى مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء حيث يتم استخدامها.

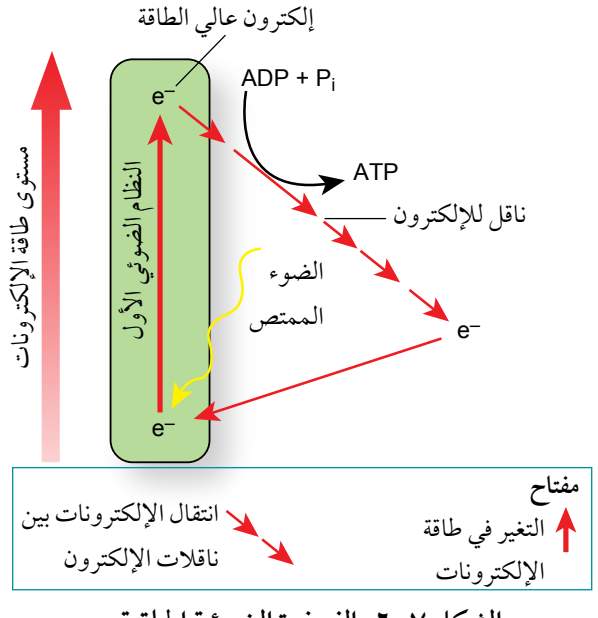
قد تكون عملية الفسفرة الضوئية لجزيئات ADP إلى ATP حلقية أو غير حلقية، اعتمادًا على نمط تدفق الإلكترونات في أحد نوعَي الأنظمة الضوئية أو في كلاهما.

الفسفرة الضوئية الحلقية

تستخدم **الفسفرة الضوئية الحلقية Cyclic photophosphorylation** النظام الضوئي الأول فقط. يتم تكوين ATP، ولكن لا يتم اختزال NADP (الشكل ٧-٦).

يمتص النظام الضوئي الأول الطاقة الضوئية وتنتقل إلى مركز التفاعل، إذ تعمل هذه الطاقة على إثارة إلكترون في جزيء الكلوروفيل (*a*) لانتقاله إلى مستوى طاقة أعلى – مرتفع جدًا لدرجة أن الإلكترون ينبعث من جزيء الكلوروفيل، فيطلق على هذه العملية اسم **التنشيط الضوئي Photoactivation**.

يتم التقاط الإلكترونات المثارة بواسطة مستقبلات الإلكترونات في غشاء الثايلاكويد وتقوم بتمريرها على طول سلسلة من نقل الإلكترون، وأثناء تمرير الإلكترونات يتم اختزال جزيئات الناقلات (لأنها تكتسب إلكترونًا) وأكسدتها (لأنها تمررها إلى الجزيء الناقل التالي) بشكل متناوب.



الشكل ٧-٦ الفسفرة الضوئية الحلقية.

مصطلحات علمية

الفسفرة الضوئية الحلقية Cyclic photophosphorylation: إنتاج ATP باستخدام طاقة من الضوء، وتشمل النظام الضوئي الأول فقط.

التنشيط الضوئي Photoactivation: انبعاث إلكترون من جزيء نتيجة لامتصاص الطاقة من الضوء.

فتفقد الإلكترونات طاقتها تدريجيًا أثناء مرورها من جزيء ناقل إلى الذي يليه على طول السلسلة. تُستخدم هذه الطاقة لتحريك ونقل البروتونات بالنقل النشط من الستروما، عبر غشاء الثايلاكويد، إلى تجويف الثايلاكويد، ما يؤدي إلى نشوء فرق في تركيز البروتونات فيساعد على انتقال أيونات الهيدروجين مع منحدر تركيزها عن طريق الانتشار المسهل من خلال إنزيم ATP سينثيز، في غشاء الثايلاكويد، حيث يتم بناء ATP بإضافة Pi إلى ADP. هذه العملية هي الأسموزية الكيميائية، وكما تلاحظ أنها مطابقة تقريبًا لعملية الأسموزية الكيميائية التي تحدث في الميتوكندريا.

سؤال

٦ في كل من الميتوكندريا والبلاستيدات الخضراء، يمر إلكترون عالي الطاقة على طول سلسلة نقل الإلكترون، وتستخدم الطاقة المنبعثة منه خلال انتقاله لبناء ATP عن طريق الأسموزية الكيميائية. اقترح سبب تسمية وتعريف العملية التي تحدث في الميتوكندريا باسم الفسفرة التأكسدية بينما تسمى مثيلتها في البلاستيدات الخضراء عملية الفسفرة الضوئية.

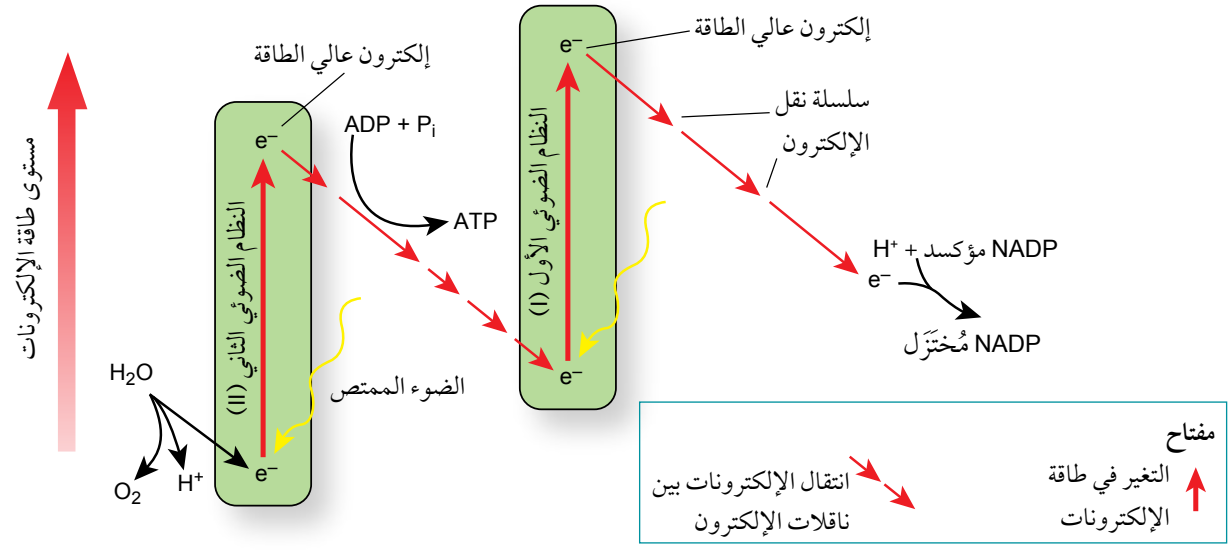
الفسفرة الضوئية اللاحلقية

مصطلحات علمية

الفسفرة الضوئية اللاحلقية Non-cyclic photophosphorylation: إنتاج ATP باستخدام الطاقة الممتصة من الضوء، حيث يُستخدم النظام الضوئي الأول (PSI) والنظام الضوئي الثاني (PSII) وتنتج هذه العملية أيضًا NADP المُختَزَل.

تستخدم **الفسفرة الضوئية اللاحلقية Non-cyclic photophosphorylation** النظام الضوئي الأول (PSI) والنظام الضوئي الثاني (PSII) فيما يسمى «المخطط Z» لتدفق الإلكترون (الشكل ٧-٧).

يمتص النظامان الضوئيّان طاقة الضوء، وتُطلق الإلكترونات من مراكز التفاعل فيهما. وفي كلا الحالَين، يتم امتصاص هذه الإلكترونات من قبل مستقبلات الإلكترونات وتمريرها عبر سلاسل نقل الإلكترون في أغشية الثايلاكويد، كما ترى في الشكل ٧-٧، بحيث تُستخدم الطاقة من الإلكترون المنبعث من النظام الضوئي الثاني (PSII) لبناء ATP، ولكن الطاقة من الإلكترون المنبعث، من النظام الضوئي الأول (PSI) تنتقل إلى المرافق الإنزيمي NADP، فينتج من ذلك NADP المُختَزَل (يشبه NADP إلى حد كبير NAD الذي يستخدم في عملية التنفس).



الشكل ٧-٧ الفسفرة الضوئية اللاحلقية. يسمى هذا المخطط أحيانًا باسم «المخطط Z».

لتعويض الفاقد من الإلكترونات من كلا النظامَين الضوئيَّين؛ يستقبل (PSI) الإلكترون المثار والمنبعث من (PSII)، بينما يتلقى (PSII) إلكترونًا ينتج من عملية شطر الماء – والذي سيتم وصفه في ما يأتي:

مصطلحات علمية

معقد تحرير الأكسجين

Oxygen-Evolving Complex -OEC: إنزيم موجود في النظام الضوئي الثاني (PSII) يحفز شطر جزيئات الماء باستخدام الطاقة الممتصة من الضوء.

التحلل الضوئي للماء

يتضمن (PSII) إنزيمًا لشطر الماء وهو يحفز التحلل الضوئي للماء. يُعرف هذا الإنزيم أحيانًا باسم **معقد تحرير الأكسجين Oxygen-Evolving Complex -OEC**، أو معقد شطر الماء، إذ يشطر هذا المعقد جزيء الماء إلى أيونات هيدروجين (البروتونات) وإلكترونات وأكسجين:

$$H_2O \rightarrow 2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2}O_2$$

يُعدّ الأكسجين منتجًا ثانويًا لهذه العملية، حيث ينتشر خارج البلاستيدات الخضراء، ويفقد في النهاية إلى خارج الخلية أو يستخدم داخل الميتوكندريا للتنفس الهوائي. وتتحد أيونات الهيدروجين مع الإلكترونات الناتجة من (PSI) ومع جزيء مرافق الإنزيم NADP لإنتاج NADP المُختَزَل:

$$2H^+ + 2e^- + NADP \rightarrow \text{NADP مُختَزَل}$$

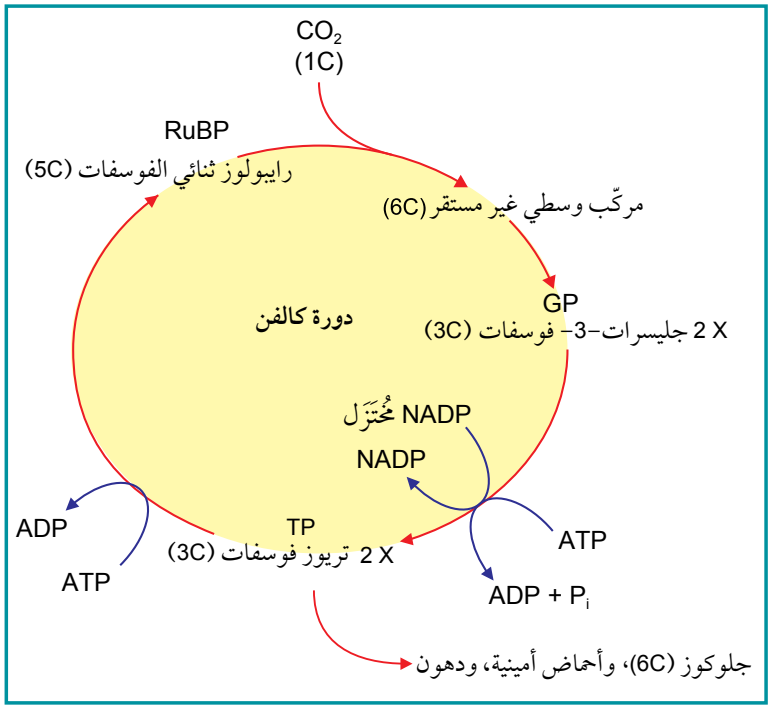
يمكن الآن استخدام ATP و NADP المُختَزَل الناتجين من التفاعلات المعتمدة على الضوء في التفاعلات غير المعتمدة على الضوء.

سؤال

(٧) كثيرًا ما يقال إن التمثيل الضوئي يحوّل ثاني أكسيد الكربون إلى أكسجين. هل هذا صحيح؟ اشرح إجابتك.

٣-٧ مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي

في هذه المرحلة، يتم استخدام ATP و NADP المُخْتَزَل من مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء لتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى كربوهيدرات. تحدث جميع هذه التفاعلات في ستروما البلاستيدة الخضراء، وتعُرف باسم دورة كالفن، نسبة إلى العالم ميلفن كالفن Melvyn Calvin، الذي كان من أوائل العلماء الذين عملوا على دراسة تسلسل التفاعلات في هذه المرحلة (الشكل ٧-٨).



الشكل ٧-٨ دورة كالفن.

وهذه المرحلة في حد ذاتها لا تتطلب طاقة من الضوء، بل قد تحدث تفاعلاتها بوجود الضوء أو في الظلام، ومع ذلك فهي تحتاج إلى نواتج من مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء، لذلك لا يمكن أن تستمر لفترة طويلة جدًا في الظلام، حيث إن هذه الإمدادات ستنفد.

الخطوة الأولى في سلسلة تفاعلات هذه المرحلة هي تفاعل جزيء من ثاني أكسيد الكربون مع جزيء من مركب خماسي الكربون (5C) يسمى **رايبولوز ثنائي الفوسفات (RuBP) Ribulose biphosphate**. يتم تحفيز هذا التفاعل بواسطة إنزيم **الروبيسكو Rubisco**. ينتج من هذا التفاعل جزيئان من مركب ثلاثي الكربون (3C) المفسفر يسمى **جليسرات -3- فوسفات (GP) Glycerate-3-phosphate**. هكذا يكون قد تم «تثبيت» ثاني أكسيد الكربون، حيث تمّت إزالته من البيئة المحيطة وأصبح جزءًا من الخلية النباتية.

لا يُعدّ مركب GP من الكربوهيدرات، لكن الخطوة التالية في سلسلة تفاعلات كالفن تحوله إلى كربوهيدرات، وفيها يتم استخدام الطاقة من ATP والهيدروجين من NADP المُختَزَل. وكلاهما من نواتج مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء لاختزال جزيئات GP وتحويلها إلى سكر ثلاثي الكربون (3C) مفسفر، يسمى **تريوز فوسفات (TP) Triose phosphate**.

يتم استخدام (خمسة أسداس) جزيئات تريوز فوسفات الناتجة لإعادة تكوين جزيء RuBP. وتتطلب هذه العملية المزيد من ATP. ويتم استخدام بقية جزيئات تريوز فوسفات (السُدس) لإنتاج الجزيئات الأخرى التي يحتاج إليها النبات.

تتكثف بعض جزيئات تريوز فوسفات لتصبح هكسوز فوسفات Hexose phosphate (6C)، وتستخدم لإنتاج الكربوهيدرات مثل النشا للتخزين، والسكروز للنقل في النبات، أو السليلوز لصنع جدران الخلايا. يمكن تحويل TP إلى الجليسرول (الجليسيرين) والأحماض الدهنية لإنتاج الدهون التي تدخل في تركيب الأغشية الخلوية. تستخدم TP و GP في تركيب بعض الأحماض الأمينية مثل السيرين والجلايسين. كما يمكن للنباتات أيضًا إنتاج جميع الـ 20 حمضًا أمينيًّا التي تتواجد بشكل طبيعي، والتي تحتاج إليها النباتات لبناء البروتينات المختلفة، وذلك باستخدام أيونات الأمونيوم الممتصة من التربة والكربوهيدرات المنتجة في التفاعلات غير المعتمدة على الضوء.

مصطلحات علمية

رايبولوز ثنائي الفوسفات (RuBP) Ribulose bisphosphate: سكر خماسي الكربون (5C) مفسفر، وهو أول مركب يتحد مع ثاني أكسيد الكربون خلال مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي.

روبيسكو Rubisco: الإنزيم الذي يحفز التفاعل بين RuBP وثاني أكسيد الكربون.

جليسرات -3- فوسفات (GP) Glycerate-3-phosphate: مركب ثلاثي الكربون يتكوّن عندما يتحد RuBP مع ثاني أكسيد الكربون.

تريوز فوسفات (TP) Triose phosphate: سكر ثلاثي الكربون مفسفر، وهو أول الكربوهيدرات التي يتم تكوينها خلال مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي.

أسئلة

(٨) من خلال العمل في مجموعتك، خطط كيف يمكن استخدام «لعب الأدوار» لتوضيح الأحداث التي تحصل في دورة كالفن. في حال كان عدد زملائك في الصف كافيًا، يمكنك تجربة خطتك؛ وفي حال عدم توافر عدد كاف من الطلبة، فاكتب أفكارك على شكل نص سينمائي (سيناريو).

(٩) في تجارب منفصلة، تم تزويد نبات، يقوم بعملية التمثيل الضوئي بشكل نشط، بواحدة من اثنتين من المواد المتفاعلة الموسومة الآتية:

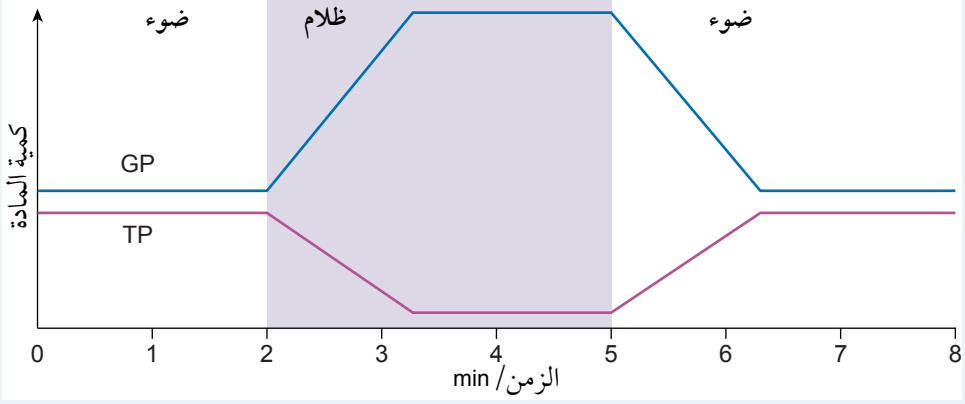
- ماء (H_2O) يحتوي على نظير الأكسجين (^{18}O)
- ثاني أكسيد الكربون (CO_2) يحتوي على نظير الأكسجين (^{17}O).

أي صف يمثل بشكل صحيح نواتج عملية التمثيل الضوئي التي يمكن العثور فيها على كل من هذين النظيرين؟

	^{18}O	^{17}O
أ	الأكسجين الذي يُنتج في جرانا البلاستيدة الخضراء	الكربوهيدرات التي تُنتج في ستروما البلاستيدة الخضراء
ب	الأكسجين الذي يُنتج في ستروما البلاستيدة الخضراء	الكربوهيدرات التي تُنتج في جرانا البلاستيدة الخضراء
ج	الكربوهيدرات التي تُنتج في جرانا البلاستيدة الخضراء	الأكسجين الذي يُنتج في ستروما البلاستيدة الخضراء
د	الكربوهيدرات التي تُنتج في ستروما البلاستيدة الخضراء	الأكسجين الذي يُنتج في جرانا البلاستيدة الخضراء

(١٠) اشرح سبب توقف دورة كالفن عن العمل عندما لا يكون هناك ضوء ويتم استهلاك جميع جزيئات (TP).

(١١) يوضح التمثيل البياني في الشكل ٧-٩ التأثير على مستويات (GP) و(TP) في البلاستيدات الخضراء عندما يتم تعريضها إلى الضوء والظلام ثم إلى الضوء مرة أخرى. صف واشرح هذه النتائج.



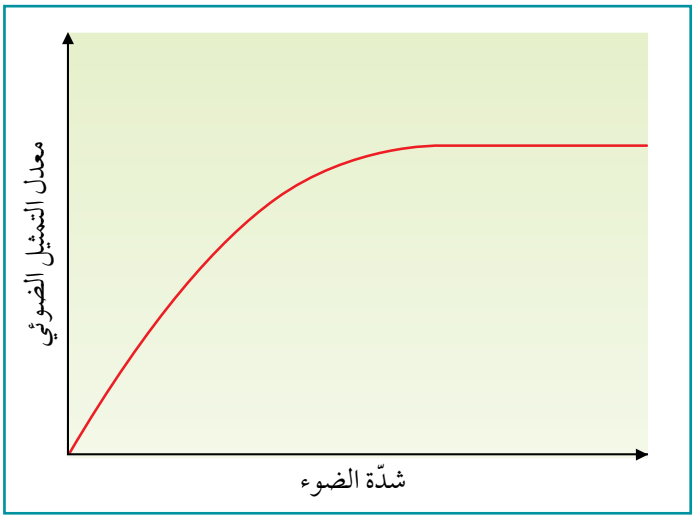
الشكل ٧-٩ تأثير الضوء والظلام على الكميات النسبية من GP و TP في البلاستيدات الخضراء.

٤-٧ العوامل المحدّدة لعملية التمثيل الضوئي

إذا عدت إلى ما تعلمته عن عملية التمثيل الضوئي في هذه الوحدة، فسوف تقدّر أن النباتات تحتاج إلى توافر عدد من العوامل المختلفة اللازمة لحدوث عملية التمثيل الضوئي. هذه العوامل هي:

- وجود صبغات التمثيل الضوئي
- توافر ثاني أكسيد الكربون
- توافر الماء
- توافر الطاقة الضوئية
- توافر درجة حرارة مناسبة.

يؤدي نقص أي عامل من هذه العوامل إلى تقليل معدل التمثيل الضوئي إلى أقل من معدله الأقصى الممكن الوصول إليه. فمن الناحية العملية، إن العوامل الخارجية الرئيسية التي تؤثر على معدل التمثيل الضوئي هي: شدة الضوء Light intensity، والطول الموجي للضوء، ودرجة الحرارة، وتركيز ثاني أكسيد الكربون، والماء. ويؤثر نقص الماء في العادة على العمليات الحيوية الأخرى في النبات قبل أن يؤثر على عملية التمثيل الضوئي.



الشكل ٧-١٠ العلاقة بين معدل التمثيل الضوئي وشدّة الضوء مع ثبات درجة الحرارة وتركيز ثاني أكسيد الكربون.

يوضح الشكل ٧-١٠ كيف تؤثر شدة الضوء على معدل عملية التمثيل الضوئي عندما تكون درجة الحرارة ثابتة وتركيز ثاني أكسيد الكربون ثابتًا. يمكنك أن ترى أن معدل التمثيل الضوئي يزداد (إلى حد معيّن) مع زيادة شدة الضوء.

ما نتوقعه أنه كلما ازدادت شدة الضوء، يتوافر المزيد من الطاقة، وبالتالي يمكن لمرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء أن تحدث بشكل أسرع، الأمر الذي يؤدي إلى توفير المزيد من ATP و NADP مُختَزَل ليتم استخدامهما في تفاعلات دورة كالفن، بحيث تحدث تفاعلات تلك الدورة بشكل أسرع أيضًا.

في التمثيل البياني في الشكل ٧-١٠، يُقال إن الضوء هو **العامل المحدد Limiting factor** لعملية التمثيل الضوئي، فالعامل المحدد لأي عملية هو العامل المتوافر بأقل كمية لاستخدامه في هذه العملية، فإذا قمت بزيادة قيمة العامل المحدد، فسوف يزداد معدل العملية. هنا وفي هذه الحالة، إذا قمت بزيادة شدة الضوء، فإن معدل التمثيل الضوئي يزداد إلى حد معيّن.

ولكن إذا زادت شدة الضوء عن هذا الحد، لا تُصبح هذه العلاقة قائمة ويصل معدل التمثيل الضوئي إلى مرحلة الثبات. في هذه الحالة، يجب أن يكون هناك عامل آخر يحد من معدل التمثيل الضوئي في شدة الضوء العالية تلك. ويمكن أن يكون هذا العامل المحدد واحدًا من العوامل المذكورة في القائمة أعلاه.

مصطلحات علمية

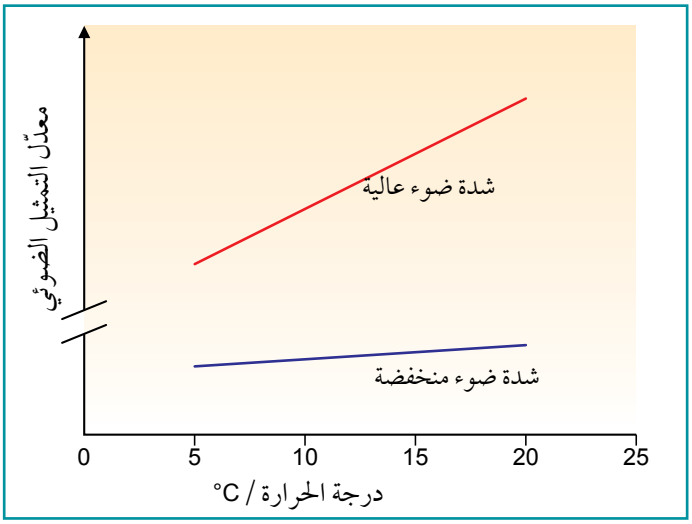
العامل المحدد

Limiting factor: هو العامل الذي تتطلبه عملية ما لكي تحدث، ويتوافر بأقل كمية؛ حيث إن حدوث زيادة في هذا العامل سيؤدي إلى حدوث العملية بسرعة أكبر.

يوضح الشكل ٧-١١ كيف تؤثر درجة الحرارة على معدل التمثيل الضوئي. فبالنسبة إلى معظم التفاعلات الأيضية، يكون لدرجة الحرارة تأثير كبير، لكن ليس لها تأثير مهم على التفاعلات المعتمدة على الضوء؛ والسبب في ذلك هو أن التفاعلات المعتمدة على الضوء تحدث بواسطة الطاقة الممتصة من الضوء، وليس بواسطة الطاقة الحركية

للجزيئات المتفاعلة. ومع ذلك، فإن دورة كالفن تتأثر بدرجة الحرارة، لأن تفاعلات هذه الدورة هي من التفاعلات التي تتحكم فيها الإنزيمات اعتياديًا.

في التمثيل البياني (الشكل ٧-١١) يوجد خطان بيانيان - أحدهما لنبات معرض إلى شدة ضوء عالية، والآخر معرض إلى شدة ضوء منخفضة. ففي حالة شدة الضوء العالية، يزداد معدل التمثيل الضوئي مع زيادة درجة الحرارة، وفي شدّة الضوء المنخفضة، يكون لزيادة درجة الحرارة تأثير ضئيل على معدل التمثيل الضوئي.



الشكل ٧-١١ معدّل التمثيل الضوئي بين شدّة ضوئين مختلفتين ودرجة حرارة متفاوتة.

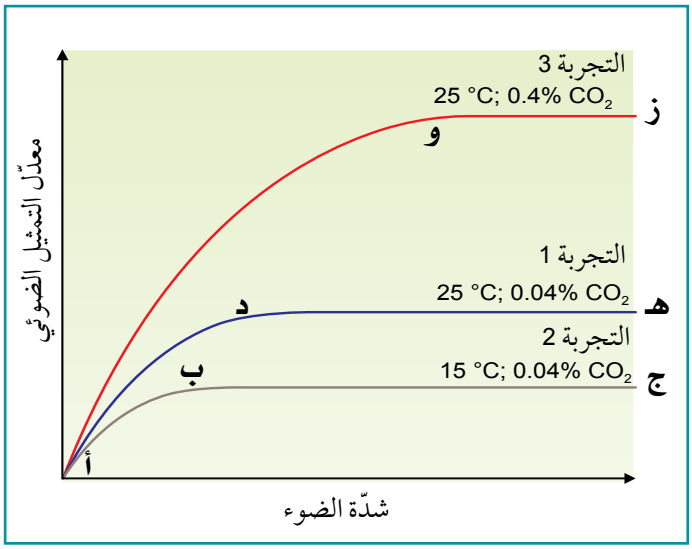
ما الذي يمكن أن يفسره هذا التمثيل البياني؟ في شدة الضوء المنخفضة، فإن العامل المحدد الذي يتحكم في معدل التمثيل الضوئي هو شدة الضوء. إن الضوء هو العامل المتوافر بكميات قليلة ومحدودة، إذ يمكنك زيادة المعدل عن طريق زيادة شدة الضوء - لذلك «خط شدة الضوء العالية» يقع فوق «خط شدة الضوء المنخفضة».

في حالة شدة الضوء العالية، يتعرض النبات إلى كمية من الضوء أكثر من حاجته، لذا فإن درجة الحرارة هي العامل المحدد. فيمكنك بالتالي زيادة معدل التمثيل الضوئي عن طريق زيادة درجة الحرارة؛ هذا هو سبب ارتفاع الخط إلى الأعلى بشكل حاد.

ولكن عند شدة الضوء المنخفضة، فإن زيادة درجة الحرارة ليس لها تأثير كبير على المعدل، والسبب في ذلك هو أن شدة الضوء المنخفضة، هي العامل المحدد وليس درجة الحرارة. يمكنك فقط زيادة المعدل بشكل كبير عن طريق زيادة شدة الضوء.

دعنا الآن نفكر في كيفية تفاعل العوامل الثلاثة - درجة الحرارة، وشدة الضوء وتركيز ثاني أكسيد الكربون. يظهر الشكل ٧-١٢ الطريقة التي تؤثر بها هذه العوامل مجتمعة على معدل التمثيل الضوئي.

لتفسير هذا التمثيل البياني، فكّر في العامل الذي يُحتمل أن يكون متوافرًا بكميّات قليلة على أي نقطة من التمثيل البياني. لنبدأ بالخط الأدنى، حيث تكون كل من درجة الحرارة وتركيز ثاني أكسيد الكربون في مستويات منخفضة. فكلما زادت شدة الضوء من أدنى مستوى لها، فإنك تلاحظ ارتفاعًا طفيفًا في معدل التمثيل الضوئي، لأنه في الجانب الأيسر من التمثيل البياني، تكون شدة الضوء هي العامل المحدد.



الشكل ٧-١٢ تأثير تغير كل من درجة الحرارة، وشدة الضوء، وتركيز ثاني أكسيد الكربون على معدل التمثيل الضوئي.

لكن الخط البياني يستوي (يصبح منبسطًا) عند شدة ضوء منخفضة نسبيًا. والسبب في ذلك هو أن درجة الحرارة أو تركيز ثاني أكسيد الكربون هو الآن العامل المحدد، إذ تحتاج إلى زيادة أحدهما إذا كنت ترغب في زيادة معدل التمثيل الضوئي. ولا أهمية لزيادة شدة الضوء، فمهما كان قدره فلن يتمكن من القيام بعملية التمثيل الضوئي بشكل أسرع لأن درجة الحرارة المحيطة باردة جدًا أو لأن الكمية المتوافرة من ثاني أكسيد الكربون قليلة جدًا.

الآن ركز انتباهك على الخط الأوسط. هنا، يتم وضع النبات في درجة حرارة أعلى، ويمكنك أن ترى أنه يسمح له بالقيام بعملية التمثيل الضوئي بشكل أسرع مقارنة بدرجة الحرارة المنخفضة. مرة أخرى، تؤدي زيادة شدّة الضوء إلى زيادة معدل التمثيل الضوئي في البداية، ولكن أيضًا، يستوي الخط البياني (يثبت أفقيًا) عند شدة ضوء منخفضة نسبيًا.

أخيرًا، انظر إلى الخط العلوي، حيث تتوافر للنبات درجة حرارة أعلى، وتركيز أعلى بكثير من ثاني أكسيد الكربون. تسمح زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون المتوافرة للنبات بأن يقوم بعملية التمثيل الضوئي بشكل أسرع. زيادة شدة الضوء لها تأثير أكبر بكثير، إذ يرتفع الخط بشكل حاد جدًا وعلى مدى أكبر بكثير من شدة الضوء.

أسئلة

هذه الأسئلة متعلقة بالشكل ٧-١٢.

(١٢) من خلال العمل ضمن مجموعتك، ناقش مع زملائك العامل المحدد المحتمل في كل منطقة من مناطق التمثيل البياني الآتية. كن مستعدًا لمشاركة الإجابة وتفسيرها مع بقية زملائك في الصف.

أ. أ إلى ب
ب. ب إلى ج
ج. أ إلى د
د. د إلى هـ
هـ. أ إلى و
و. و إلى ز

(١٣) أي مرحلة من مراحل عملية التمثيل الضوئي يحدها كل من هذه العوامل؟ اشرح إجاباتك.

أ. شدة الضوء
ب. درجة الحرارة
ج. تركيز ثاني أكسيد الكربون

مهارات عملية ٧-٢

استقصاء تأثير بعض العوامل على معدل التمثيل الضوئي في النباتات المائية

يمكنك استخدام النبات المائي إلوديا *Elodea*، أو نباتات مائية أخرى مماثلة مثل نبات الكابومبا *Cabomba* لاستقصاء تأثير التغيير في كل من العوامل الآتية على معدل التمثيل الضوئي:

- شدة الضوء - عن طريق تغيير المسافة (d) بين مصدر ضوء صغير والنباتات (تتناسب شدّة الضوء مع $\frac{1}{d^2}$).
- الطول الموجي للضوء - باستخدام مرشحات ضوئية مختلفة الألوان، مع التأكد من أن كلًا منها يمرر المقدار نفسه لشدة الضوء.
- تركيز ثاني أكسيد الكربون - عن طريق إضافة كميّات مختلفة من كربونات الصوديوم الهيدروجينية ($NaHCO_3$) إلى الماء المحيط بالنبات.
- درجة حرارة الماء المحيط بالنبات - باستخدام وعاء كبير، مثل كأس زجاجية كبيرة، للمساعدة في الحفاظ على درجات الحرارة المختارة.

من المهم مراعاة أن تكون النباتات المائية قد تم تعريضها جيدًا للضوء قبل استخدامها، وأن ساق النبات المختار قد قطعت بشكل جيد مباشرة قبل وضعها في أنبوبة اختبار (الصورة ٧-٣).



الصورة ٦– ٣ استقصاء تأثير أحد العوامل على معدل التمثيل الضوئي.

الفقاعات التي يتم إطلاقها هي في الغالب فقاعات من الأكسجين، ولكنها تحتوي أيضًا على بعض النيتروجين.

ولمنع هذه الغازات من الذوبان في الماء، بدلًا من تكوين فقاعات، يجب أن يكون الماء جيد التهوية (عن طريق ضخ هواء فقاعي داخل الماء) قبل الاستخدام.

تُظهر الصورة طالبًا يجمع الغاز المنبعث في أنبوب خاص ذات نهاية موسعة، ثم يقيس حجم الغاز الناتج خلال فترة زمنية معيّنة. طريقة أخرى لقياس معدل التمثيل الضوئي هي قطع أجزاء من ورقة النبات على شكل أقراص ودفعها إلى قاع أنبوبة تحتوي على الماء. عندما تقوم هذه الأقراص بعملية التمثيل الضوئي، فإنها تطلق الأكسجين من الثغور الموجودة على أسطحها السفلية، بحيث تلتصق فقاعات الأكسجين بالقرص وتجعله يطفو. وكلما كان معدل التمثيل الضوئي أكبر، زادت السرعة التي تطفو بها الأقراص على سطح الماء.

(للحصول على معلومات إضافية انظر الاستقصاءَين العمليين ٧–٢ و ٧–٥ الواردين في كتاب التجارب العملية والأنشطة)

مهارات عملية ٧-٣

استخدام كواشف الأكسدة والاختزال لتحديد تأثير شدة الضوء والطول الموجي للضوء على معدل التمثيل الضوئي

لقد رأيت أن مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء في عملية التمثيل الضوئي تتضمن إطلاق إلكترونات عالية الطاقة من جزيئات الكلوروفيل (*a*). ففي البلاستيدة الخضراء، يتم التقاط هذه الإلكترونات بواسطة مستقبلات الإلكترون ثم تمريرها عبر سلسلة نقل الإلكترون، ولكن إذا قمت بتوفير أحد كواشف الأكسدة والاختزال مثل (DCPIP) أو أزرق الميثيلين (الوحدة ٦، مهارات عملية ٦–٢)، فإن الكاشف يلتقط الإلكترونات بدلًا من مستقبلات الإلكترون الطبيعية، وهذا يسبب تغير لونه.

يُعدّ معدل تغير لون الكاشف من حالته المؤكسدة (الأزرق) إلى حالته المُختَزَلة (عديم اللون) مقياسًا لمدى سرعة حدوث عملية التمثيل الضوئي.

أولًا، اهرس بعض أوراق النبات في سائل يسمى وسط الفصل Isolation medium، لإنتاج مستخلص مركّز لأوراق النبات، يحتوي على معلق من البلاستيدات الخضراء. يجب أن يكون جهد الماء لوسط الفصل يساوي تقريبًا جهد الماء لخلايا الأوراق، وأن يحتوي على مادة منظمة للحفاظ على الرقم الهيدروجيني (pH) ثابتًا، ويجب أن يكون مبردًا بالثلج لتجنب تلف البلاستيدات الخضراء. تحتاج كذلك إلى تحضير عدة أنابيب صغيرة يكون كل منها معرضًا إلى شدة ضوء مختلفة عن غيره، أو تعريضها إلى ألوان (أطوال موجية) مختلفة من الضوء بالشدة نفسها. أضف كاشف DCPIP أو أزرق الميثيلين إلى كل أنبوبة مع حجم صغير من مستخلص الأوراق. يُعدّ الزمن الذي يستغرقه زوال لون كاشف الأكسدة والاختزال مؤشرًا على معدل التمثيل الضوئي.

(للحصول على معلومات إضافية انظر الاستقصاء العملي ٧–٤ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة).

ملخّص

يتلاءم تركيب البلاستيدات الخضراء مع إمكانية القيام بالامتصاص الفعال للضوء لاستخدام الطاقة الضوئية في عملية التمثيل الضوئي، وتوفير بيئة مناسبة لتفاعلات مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء ومرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء بحيث تحدث كل منهما بكفاءة.

يسمى التمثيل البياني الذي يمثل الأطوال الموجية المعيّنة للضوء التي تمتصها إحدى صبغات التمثيل الضوئي باسم طيف الامتصاص. كما يسمى التمثيل البياني الذي يمثل معدل التمثيل الضوئي عند أطوال موجية مختلفة من الضوء باسم طيف النشاط للتمثيل الضوئي.

يمكن فصل الصبغات المختلفة الموجودة في البلاستيدات الخضراء عن طريق عملية الكروماتوجرافيا الورقي.

يتم في عملية التمثيل الضوئي امتصاص الطاقة من الضوء بواسطة صبغات البلاستيدات الخضراء وتحويلها إلى طاقة كامنة كيميائية، والتي تُستخدم لإنتاج جزيئات عضوية معقدة. في مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء، يتم شطر الماء عن طريق التحلل الضوئي لإنتاج أيونات الهيدروجين والإلكترونات والأكسجين. تُستخدم أيونات الهيدروجين والإلكترونات لاختزال جزيء مرافق الإنزيم NADP، ويتم إطلاق الأكسجين كفضلة ناتجة.

يتم بناء ATP في مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء عن طريق الفسفرة الضوئية الحلقية والفسفرة الضوئية اللاحلقية. خلال هذه التفاعلات، تمتص صبغات التمثيل الضوئي، الموجودة في البلاستيدات الخضراء، الطاقة من الضوء فتنطلق منها إلكترونات مثارة وعالية الطاقة. تُستخدم الطاقة المخزنة في هذه الإلكترونات لبناء ATP. يمثل ATP و NADP المُختَزَل الناتجين الرئيسيَّين لمرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء، ثم ينتقلان بعد ذلك إلى مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء.

في مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء، يتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون عن طريق تفاعله مع مركب خماسي ذرات الكربون (5C) والذي يسمى رايبولوز ثنائي الفوسفات RuBP. يتم تحفيز هذا التفاعل بواسطة إنزيم الروبيسكو (Rubisco) لينتج جزيئَين من مركب (3C) هو (GP). يتم اختزال (GP) لتكوين الكربوهيدرات باستخدام ATP و NADP المُختَزَل الناتجَين من مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء. ويمكن تحويل هذه الكربوهيدرات إلى كربوهيدرات أخرى وأحماض أمينية ودهون أو استخدامها لاستعادة تكوين RuBP. يسمى هذا التسلسل من الأحداث في مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء باسم دورة كالفن.

عندما تتأثر عملية معيّنة بأكثر من عامل واحد، فإن معدل حدوث هذه العملية يكون مقيدًا بالعامل الأقرب إلى أدنى مستوى، ويعرف هذا العامل باسم العامل المحدد. تشمل العوامل المحددة لعملية التمثيل الضوئي: شدة الضوء، والطول الموجي للضوء، وتركيز ثاني أكسيد الكربون، ودرجة الحرارة.

يمكن استخدام معدل إنتاج الأكسجين من قبل نبات مائي لقياس معدل التمثيل الضوئي.

يمكن استخدام معدل زوال اللون الخاص بكواشف الأكسدة والاختزال مثل DCPIP لقياس معدل نشاط معلق البلاستيدات الخضراء.

أسئلة نهاية الوحدة

١ اشرح كيف أن نظام الغشاء الداخلي للبلاستيدات الخضراء يجعلها ملائمة بشكل جيد للقيام بعملية التمثيل الضوئي.

٢ **أ.** عندما يتم وضع البلاستيدات الخضراء المعزولة في محلول منظم مع صبغة زرقاء مثل DCPIP أو أزرق الميثيلين ويتم إسقاط الضوء عليها، يختفي اللون الأزرق. اشرح هذه الملاحظة.

ب. سمِّ المركب الموجود عادة في تفاعلات عملية التمثيل الضوئي، والذي يتم استبداله بالصبغة الزرقاء في هذا الاستقصاء.

٣ مايز بين كل من:

أ. الفسفرة الضوئية الحلقية والفسفرة الضوئية اللاحلقية.

ب. الفسفرة الضوئية والفسفرة التأكسدية.

ج. أدوار كل من NAD و NADP في النبات.

٤ **أ.** ارسم رسمًا تخطيطيًا بسيطًا لدورة كالفن لتوضيح موقع كل من الجزيئات الآتية في هذه الدورة:

- (1C) CO_2
- (3C) TP
- (3C) GP
- (5C) RuBP

ب. بيّن النقطة في الدورة التي ينشط فيها إنزيم الروبيسكو.

٥ **أ.** اشرح المقصود بالعامل المحدد.

ب. ضع قائمة بأربعة عوامل قد تكون مُحددة لمعدل التمثيل الضوئي.

ج. في شدة الضوء المنخفضة، يُلاحظ أن لزيادة درجة الحرارة تأثيرًا ضئيلًا على معدل عملية التمثيل الضوئي. بالمقابل، يلاحظ أنه في حال شدة الضوء العالية، تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة معدل عملية التمثيل الضوئي. اشرح هذه الملاحظات.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أصف العلاقة بين تركيب البلاستيدات الخضراء، كما تظهر في الرسوم التخطيطية والصور المجهرية الإلكترونية، ووظيفتها.	٧-١			
أذكر أن البلاستيدة الخضراء تحتوي على الثلايكويدات (أغشية الثايلاكويد وتجويف الثايلاكويد) التي تتكدس في أكوام تسمى جرانا هي موقع مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء في التمثيل الضوئي.	٧-١			
أذكر أن الستروما هي موقع التفاعلات غير المعتمدة على الضوء في التمثيل الضوئي.	٧-١			
أصف دور صبغات البلاستيدة الخضراء (الكلوروفيل *a*، والكلوروفيل *b*، والكاروتين، والزانثوفيل) في امتصاص الضوء في الثايلاكويدات.	٧-١			
أفسر أطياف الامتصاص لصبغات البلاستيدات الخضراء وأطياف النشاط للتمثيل الضوئي.	٧-١			
أصف كيفية استخدام الكروماتوجرافيا لفصل صبغات البلاستيدات الخضراء وحساب قيم R_f.	٧-١			
أشرح أن الطاقة المنقولة على شكل ATP و NADP المُختَزَل من مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء تُستخدم أثناء مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء (دورة كالفن) من التمثيل الضوئي لإنتاج جزيئات عضوية معقدة.	٧-٢			
أذكر أن الفسفرة الضوئية الحلقية والفسفرة الضوئية اللاحلقية تحدثان أثناء مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء من التمثيل الضوئي.	٧-٢			
أشرح أنه في الفسفرة الضوئية الحلقية: • يستخدم النظام الضوئي الأول (PSI) فقط • يحدث تنشيط ضوئي للكلوروفيل • يتم بناء ATP.	٧-٢			
أشرح أنه في الفسفرة الضوئية اللاحلقية: • يستخدم النظام الضوئي الأول (PSI) والنظام الضوئي الثاني (PSII) • يحدث تنشيط ضوئي للكلوروفيل • يحفز معقد تحرير الأكسجين عملية التحلل الضوئي للماء • يتم بناء ATP و NADP المُختَزَل.	٧-٢			

قائمة تقييم ذاتي (تابع)

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
إشرح أنه أثناء الفسفرة الضوئية: • تطلق الإلكترونات عالية الطاقة أثناء مرورها عبر سلسلة نقل الإلكترون • تستخدم الطاقة المنطلقة لنقل البروتونات عبر غشاء الثايلاكويد • تعود البروتونات إلى الستروما من فجوة الثايلاكويد عن طريق الانتشار المسهل من خلال ATP سينثيز، الأمر الذي يوفر طاقة لبناء ATP.	٢-٧			
ألخص المراحل الرئيسية الثلاث لدورة كالفن: • يحفز إنزيم روبيسكو تثبيت ثاني أكسيد الكربون عن طريق الارتباط مع جزيء من رايبولوز ثنائي الفوسفات وهو مركب خماسي الكربون (5C)، لإنتاج جزيئَين من جليسرات 3 – فوسفات (GP) وهو مركب ثلاثي الكربون (3C) • يختزل (GP) إلى تريوز فوسفات (TP) في تفاعلات تتضمن NADP المُختَزَل و ATP • يعاد تكوين (RuBP) من (TP) في تفاعلات تستخدم ATP.	٣-٧			
أذكر أن (GP) يستخدم لإنتاج بعض الأحماض الأمينية و (TP) لإنتاج الكربوهيدرات والدهون والأحماض الأمينية.	٣-٧			
أشرح تأثير التغيرات في شدة الضوء وتركيز ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة على معدل التمثيل الضوئي، مع الإشارة إلى العوامل المحدّدة.	٤-٧			
أصف وأفسر الاستقصاءات باستخدام كواشف الأكسدة والاختزال بما في ذلك DCPIP وأزرق الميثيلين ومعلق البلاستيدات الخضراء لتحديد تأثيرات الطول الموجي للضوء على معدل التمثيل الضوئي.	٤-٧			
أصف وأفسر الاستقصاءات باستخدام نباتات كاملة، بما في ذلك النباتات المائية، لتحديد تأثير تركيز ثاني أكسيد الكربون على معدل التمثيل الضوئي.	٤-٧			



الوحدة الثامنة

الأمراض المعدية والمناعة

Infectious diseases and immunity



أهداف التعلّم

٨-١ يذكر أن الأمراض المعدية تسببها مسببات مرضية وهي قابلة للانتقال.

٨-٢ يذكر اسم ونوع المسبب المرضي الذي يسبب كلًا من الأمراض الآتية:

- الملاريا- يسببها طفيليات بلازموديوم فالسيباروم، وبلازموديوم ملاريا، وبلازموديوم أوفال، وبلازموديوم فيفاكس
- HIV/الإيدز - يسببه فيروس نقص المناعة البشرية (HIV)
- السُّلّ (TB) - تسببه بكتيريا المُتَفَطِّرة السُلِّيّة وبكتيريا المُتَفَطِّرة البقرية.

٨-٣ يشرح كيفية انتقال الملاريا، و HIV، والسلّ.

٨-٤ يناقش العوامل البيولوجية والاجتماعية والاقتصادية الواجب مراعاتها للوقاية من الملاريا، وHIV/الإيدز والسلّ، والسيطرة عليها. (تفاصيل دورة حياة طفيلي الملاريا ليست مطلوبة).

٨-٥ يلخص كيف يعمل البنسلين على البكتيريا وسبب عدم تأثير المضادات الحيوية على الفيروسات.

٨-٦ يناقش عواقب مقاومة المضادات الحيوية والخطوات الواجب اتخاذها للحد من تأثيرها.

٨-٧ يشرح المقصود بالأنتيجين ويذكر الاختلافات بين الأنتيجين الذاتي والأنتيجين غير الذاتي.

٨-٨ يصف طريقة عمل الخلايا البلعمية (الخلايا البلعمية الكبيرة وخلايا الدم البيضاء المتعادلة).

٨-٩ يصف تسلسل الأحداث أثناء الاستجابة المناعية الأولية مع الإشارة إلى أدوار:

- الخلايا البلعمية الكبيرة
- الخلايا اللمفاوية البائية، بما في ذلك الخلايا البلازمية
- الخلايا اللمفاوية التائية، مقتصرًا على الخلايا التائية المساعدة والخلايا التائية القاتلة.

٨-١٠ يشرح دور خلايا الذاكرة في الاستجابة المناعية الثانوية وفي المناعة طويلة الأمد.

٨-١١ يربط التركيب الجزيئي للأجسام المضادة بوظائفها.

٨-١٢ يصف الاختلافات بين المناعة الإيجابية والمناعة السلبية وبين المناعة الطبيعية والمناعة الاصطناعية.

٨-١٣ يشرح أن اللقاحات تحتوي على أنتيجينات تحفز الاستجابة المناعية لتوفير مناعة طويلة الأمد.

٨-١٤ يشرح كيف يمكن لبرامج التطعيم المساعدة في السيطرة على انتشار الأمراض المعدية.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

- الحياة على البشر؛ توجد كائنات حية دقيقة تنمو في جميع أنحاء أسطح أجسامنا، وينمو غيرها الكثير في داخلنا. معظم هذه الكائنات غير ضارة أو فائدتها محدودة؛ أما الطفيليات فقد تسبب لنا الأذى.

ناقش كيف تعتقد أن هذه الطفيليات البشرية تعيش وكيف تنتقل من شخص إلى آخر.

- ضع قائمة بالطرائق التي يمكن للإنسان من خلالها حماية نفسه من الإصابة بالطفيليات الضارة.

العلوم ضمن سياقها

دحر الملاريا

مرض الملاريا واحد من أكثر أمراض الإنسان خطورة. وهو مرض متوطن في أكثر من 100 بلد تقريبًا في أمريكا اللاتينية وأفريقيا وجنوب شرق آسيا. ويُعدّ المرض متوطنًا في البلد إذا استمر في الانتقال بين السكان المحليين، وليس عن طريق دخوله البلد مع المسافرين. ويلاحظ العبء الأكبر لهذا المرض في البلدان الأفريقية، إذ يقدر أن 37% من جميع حالات الملاريا تحدث في نيجيريا وجمهورية الكونغو الديموقراطية.

كلمة ملاريا مشتقة من الكلمة الإيطالية mala aria، وتعني الهواء الفاسد. فقد كان يُعتقد أن مسبب الملاريا هو شيء ما موجود في الهواء. أول من شاهد طفيل الملاريا في الدم الطبيب الفرنسي شارل لافران Charles Laveran، وذلك في عام 1893م. في حين اكتشف الجراح في الجيش البريطاني رونالد روس Ronald Ross أن البعوض هو المسؤول عن نقل الطفيل من شخص إلى آخر.

إذا أردنا رفع عبء الملاريا يتوجب العمل للتغلب عليه. وفي هذا الإطار، تتعاون العديد من المنظمات الدولية مع الحكومات الأفريقية للحد من حالات الإصابة بهذا المرض. على سبيل المثال، دحر الملاريا Roll Back Malaria، وهي شراكة عالمية تنفذ إجراءات منسقة لمواجهة هذا المرض. وتؤدّي الأبحاث المختبرية التي تستخدم الأساليب الجينية الحديثة دورًا مهمًا في هذا المجال، ولكن تقييم مدى نجاح المبادرات الجديدة في حملة برنامج مكافحة الملاريا محصور بعملية تتبع الحالات المرضية وجمع البيانات الدقيقة. وتساعد التكنولوجيا هنا أيضًا في تحديد مكان حدوث الحالات بدقة (الصورة ٨-١)، إذ يمكن معرفة المزيد عن «برنامج دحر الملاريا» من خلال البحث في الإنترنت، حيث توفر معرفة مكان تفشي المرض ووقت حدوثه بيانات أساسية في مكافحة الأمراض المعدية، إذ يمكن عند تفشي الملاريا، تحذير السكان المحليين لاتخاذ الاحتياطات المناسبة لتجنب التعرض للدغات البعوض.



الصورة ٨-١ التكنولوجيا الحديثة في مكافحة الملاريا.
يستخدم هؤلاء العاملون الصحيون في كينيا نظام تحديد الموقع العالمي GPS لتحديد المواقع التي تتفشى فيها الملاريا بدقة.

ويشمل هذا التحذير النوم تحت ناموسية، وتجفيف البرك والمستنقعات المائية التي يمكن أن تضع فيها إناث البعوض بيضها، إضافة إلى رش الأماكن السكنية. يمكن للجهات الصحية المختصة من خلال تتبع مكان ووقت تفشي الملاريا، توجيه مواردها للسيطرة على انتشار المرض والحد من تأثيراته على السكان المحليين. كما تستخدم صور الأقمار الاصطناعية أيضًا في دحر الملاريا، إذ يمكن للعلماء توقع مكان تفشي المرض من دراسة بيانات الطقس التي تجمعها هذه الأقمار، الأمر الذي يساعد الجهات الصحية على تركيز الموارد في الأماكن الصحيحة وتقليل شدة تفشي العدوى. لا شك أن استخدام التكنولوجيا الحديثة قد يساعد في تقليل تأثيرات خطورة هذا المرض المخيف إلى حد كبير.

أسئلة للمناقشة

يظهر باستمرار العديد من الأمراض المعدية الجديدة التي تهدد صحة الإنسان. ناقش كيف يمكن للعلماء استخدام التكنولوجيا الحديثة للمساعدة في معرفة سبب حدوث المرض المعدي الجديد واكتشاف كيفية انتقاله.

٨-١ الأمراض المعدية

الأمراض المعدية **Infectious diseases** هي الأمراض التي تسببها كائنات حية تسمى **المسببات المرضية** **Pathogens**. وتسمّى الأمراض المعدية أحيانًا الأمراض السارية لأنها تنتقل من الأشخاص المصابين إلى الأشخاص غير المصابين - في عملية تعرف باسم **انتقال المرض** **Disease transmission**. تصيب بعض الأمراض المعدية الحيوانات أيضًا، كما إنها قد تنتقل من الحيوانات إلى الإنسان.

يعني المصطلح «مرض» أمرًا خطرًا جدًا، على الرغم من أن العديد من الحالات التي تسبب الشعور بالمرض، مثل الزكام، ليست ضارة بالصحة كالأمراض التي سوف يتم التطرّق إليها في هذه الوحدة. يصعب تعريف مصطلح «المرض» بشكل مناسب، إذ إنه يشمل مجموعة واسعة من الحالات لدى الإنسان، لكن يُعرّف غالبًا على أنه خلل أو اضطراب في الجسم أو العقل يؤدي إلى حالة صحية سيئة؛ ويترافق كل مرض مع مجموعة من العلامات والأعراض.

تصيب العديد من الأمراض المعدية مثل الزكام والحصبة والإنفلونزا الإنسان لفترة قصيرة فقط، في حين يمكن أن يدوم بعضها الآخر لفترة أطول كالسلّ (TB)، كما أنه لا يتوافر حتى الآن علاج فاعل للإيدز، والعلاجات الحالية يجب أن تؤخذ طوال الحياة. بعض الأمراض المعدية قد تنتقل من شخص إلى آخر فقط عن طريق الاتصال المباشر، لأن المسبب المرضي لا يستطيع البقاء حيًا خارج جسم الإنسان. ويمكن لمسبّبات مرضية أخرى البقاء حية في الماء أو في طعام الإنسان أو في البراز أو الحيوانات (بما فيها الحشرات)، وتنتقل بالتالي بشكل غير مباشر من شخص إلى آخر. قد ينشر بعض الناس مسبِّبًا مرضيًّا يحملونه على الرغم من عدم إصابتهم بالمرض، ويسمّى مثل هؤلاء الأشخاص الذين لا تظهر عليهم أعراض المرض **حاملين للمرض** **Disease carriers**، وقد يصعب جدًا تتبعهم كمصدر للعدوى.

الطريقة التي ينتقل بها المسبب المرضي من عائل إلى آخر تسمى **دورة الانتقال** **Transmission cycle**، وتحاول طرائق المكافحة كسر دورة الانتقال عن طريق إزالة الظروف التي تساعد على انتشار المسببات المرضية. تكون المكافحة ممكنة فقط في حالة معرفة وفهم سبب المرض وطريقة انتقاله، فالتطعيم مثلًا هو إجراء مكافحة أساسي للعديد من الأمراض المعدية، فهو يحصن الإنسان ضد بعض المسببات المرضية، بحيث لا يمكنها العيش والتكاثر داخل جسم الإنسان أو الانتقال إلى الآخرين، وبالتالي يكسر دورة الانتقال.

إن الإجراءات التي تتخذها الحكومات والمنظمات غير الحكومية بتنسيق مع منظمة الصحة العالمية (WHO) تقلِّل من تأثير هذه الأمراض. وتقوم منظمة الصحة العالمية بحملات مصمّمة لإيقاف انتقال بعض الأمراض بما يؤدي إلى **استئصالها** **Eradication**. وقد أمكن حتى الآن استئصال مرضَين، ففي عام 1980م، أعلنت منظمة الصحة العالمية استئصال الجدري Smallpox، وفي عام 2011م، أعلنت استئصال

مصطلحات علمية

المرض المعدي
Infectious disease: مرض يسببه كائن حي أولي أو بكتيريوم أو فيروس.

المسبب المرضي **Pathogen**: الكائن الذي يسبب المرض.

انتقال المرض
Disease transmission: نقل مسبّب المرض من شخص مصاب بمسبّب المرض المعدي هذا إلى شخص غير مصاب. قد يحدث الانتقال عن طريق الاتصال المباشر، أو عن طريق الهواء أو الماء، أو عن طريق الحيوانات الناقلة مثل الحشرات.

حامل المرض
Disease carrier (أو بشكل أبسط حامل Carrier): الشخص الذي يحمل مسبّب المرض المعدي ولا تظهر عليه أعراض المرض، لكن يمكن أن يكون مصدر العدوى لأشخاص آخرين (لا يقصد به الحاملين لمرض وراثي).

دورة الانتقال
Transmission cycle: انتقال المسبب المرضي من عائل إلى آخر، تتكرر باستمرار ليصيب المسبب المرضي عوائل آخرين.

استئصال المرض
Disease eradication: الكسر الكامل لدورة انتقال المسبب المرضي بحيث لا توجد حالات أخرى للمرض الناجم عن مسبب المرض في أي مكان في العالم.

الطاعون البقري Rinderpest، وهو مرض خطِر يميت الماشية. يُدرج الجدول ٨-١ الأسماء العلمية للمسببات المرضية لثلاثة أمراض.

المرض	المسبب المرضي	نوع المسبب المرضي
الملاريا	أربعة أنواع من البلازموديوم: • بلازموديوم فالسيباروم *Plasmodium falciparum* • بلازموديوم الملاريا *Plasmodium malariae* • بلازموديوم أوفال *Plasmodium ovale* • بلازموديوم فيفاكس *Plasmodium vivax*	طفيل أولي (حقيقي النواة)
الإيدز	فيروس نقص المناعة البشرية (HIV)	فيروس
السلّ	المتفطرة السُّلّية *Mycobacterium tuberculosis* المتفطرة البقرية *Mycobacterium bovis*	بكتيريوم (بدائية النواة)

الجدول ٨-١ مسميات وأنواع المسببات المرضية التي تسبّب ثلاثة أمراض معدية.

أسئلة

(١) أ. اذكر سمة تركيبية **واحدة** لخلايا البلازموديوم تدل على أنها حقيقية النواة.

ب. اذكر سبب عدم تصنيف الفيروسات على أنها بدائية النواة.

(٢) اشرح سبب أن جميع الفيروسات طفيليات لكن معظم البكتيريا ليست طفيلية.

مصطلحات علمية

المرض المتوطن Endemic disease: مرض موجود دائمًا في مجموعة من السكان.

توصف الأمراض التي توجد دائمًا في مجموعة من السكان على أنها **أمراض متوطنة Endemic diseases**. (TB) مثال على المرض المتوطن في جميع المجتمعات السكانية للإنسان، بالمقابل تستوطن الملاريا المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية.

ستتعرّف أيضًا على عدد من المصطلحات الأخرى المستخدمة لوصف حدوث المرض.

- **معدل حدوث المرض** Incidence هو عدد الأشخاص الذين جرى تشخيصهم خلال فترة زمنية معيّنة، تكون عادة أسبوعًا أو شهرًا أو سنةً.
- **انتشار المرض** Prevalence هو عدد الأشخاص المصابين بالمرض في وقت معيّن.
- **الوباء** Epidemic هو حدوث زيادة مفاجئة في عدد المصابين بالمرض.
- **الجائحة** Pandemic هي حدوث زيادة في عدد حالات الإصابة في جميع أنحاء القارة أو على مستوى العالم.
- **معدل الوفيات** Mortality rate هو عدد الوفيات خلال فترة زمنية معيّنة (عادة سنة).

تكون البيانات التي تُجمع عن معدل الحدوث ومساحة الانتشار ومعدل الوفيات معيارية، ويعبَّر عنها كنسبة من عدد السكان، على سبيل المثال، لكل 100000 شخص، ما يجعل من الممكن إجراء مقارنات صحيحة بمرور الزمن بين مختلف السكان ومختلف البلدان (ترد أمثلة في أسئلة نهاية الوحدة: ٥، ٧، ٨).

الملاريا

انتقال الملاريا

يلخص الجدول ٨-٢ خصائص مرض الملاريا. معظم حالات الملاريا يسببها واحد من أربعة أنواع من طفيل البلازموديوم، إذ يعيش الكائن الحي الطفيلي على الكائنات الحية العائلة أو فيها، ويعتمد على العائل لتلبية جميع متطلباته الغذائية، من دون أن يستفيد العائل منه. يظهر التحليل الجيني للإصابات أن بعض أنواع البلازموديوم التي تسبّب الملاريا للقرود تسبّبها للإنسان أيضًا.

المسبب المرضي	بلازموديوم فالسيباروم (*Plasmodium falciparum*)، بلازموديوم فيفاكس (*Plasmodium vivax*)، بلازموديوم أوفال (*Plasmodium ovale*)، بلازموديوم ملاريا (*Plasmodium malariae*)
طريقة الانتقال الرئيسية	الحشرة الناقلة: أنثى بعوضة الأنوفيليس (30 نوعًا مختلفًا تقريبًا)
التوزيع العالمي	في جميع المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية (تتوطن في 106 بلدان)
فترة الحضانة	من أسبوع إلى سنة
موقع نشاط المسبب المرضي	الكبد، خلايا الدم الحمراء، الدماغ
المظاهر السريرية (الأعراض)	حمّى، فقر دم، غثيان، صداع، آلام عضلية، ارتعاش، تعرّق، تضخم الطحال
طريقة التشخيص	شرائط فحص الملاريا للكشف عن أنتيجينات الملاريا في الفحص المجهري للدم (الصورتان ٨-٢، ٨-٣)
الإصابة السنوية في جميع أنحاء العالم في عام 2021 م	247 مليون حالة ملاريا في 90 بلدًا (تقديرات WHO)، 95% من الحالات في أفريقيا
الوفيات السنوية في جميع أنحاء العالم في عام 2021 م	619000 وفاة (تقديرات WHO)، 96% من الوفيات في أفريقيا

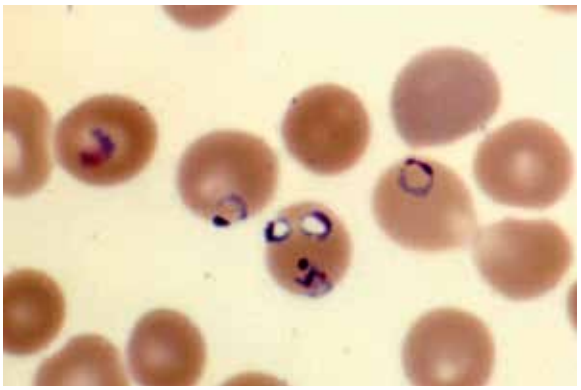
الجدول ٨-٢ خصائص مرض الملاريا.

مصطلحات علمية

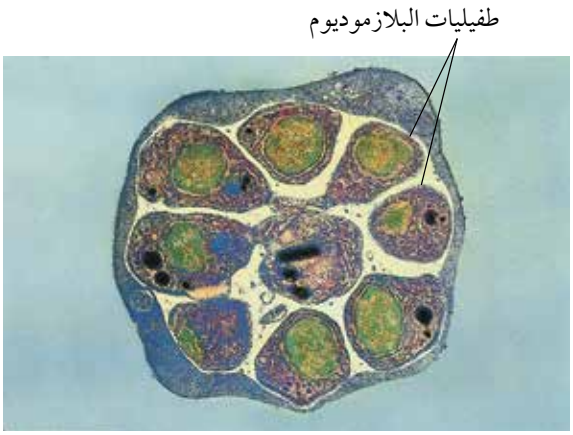
ناقل المرض Disease vector: كائن حي ينقل المراحل المعدية للمسبب المرضي من شخص إلى آخر أو من حيوان إلى إنسان.

ناقل المرض Disease vector أنثى بعوضة الأنوفيليس *Anopheles*، وهي تنقل المرض عن طريق نقل المراحل المعدية Infective stages للمسبب المرضي إلى الشخص غير المصاب. وقد تنتقل الملاريا أيضًا عن طريق نقل الدم، أو بإعادة استخدام إبر غير معقمة، ويمكن أن ينتقل البلازموديوم من الأم إلى الجنين عبر المشيمة.

تتغذى أنثى بعوضة الأنوفيليس على دم الإنسان للحصول على بروتينات لازمة لنمو بيضها. إذا كان الشخص الذي تلدغه مصابًا بالبلازموديوم، فستأخذ البعوضة بعض أمشاج المسبب المرضي مع وجبتها من الدم الذي تسحبه، فتندمج الأمشاج الذكرية والأنثوية في القناة الهضمية للبعوضة، وتتطوّر إلى المراحل المعدية، التي تنتقل إلى الغدد اللعابية للبعوضة، وعندما تتغذى مرة أخرى على عائل آخر، فإنها تحقن بعض اللعاب من غددها اللعابية عند سحب الدم. يحتوي هذا اللعاب على بعض مضادات التخثر لتمنع بذلك تخثر الدم الذي تسحبه ويسهل تدفقه من العائل إلى جسمها. فتنتقل المراحل المعدية للمسبب المرضي من الغدد اللعابية للبعوضة إلى دم الإنسان مع مضادات التخثر في اللعاب، وتدخل الطفيليات خلايا الدم الحمراء، حيث تتكاثر (الصورتان ٨-٢، ٨-٣).

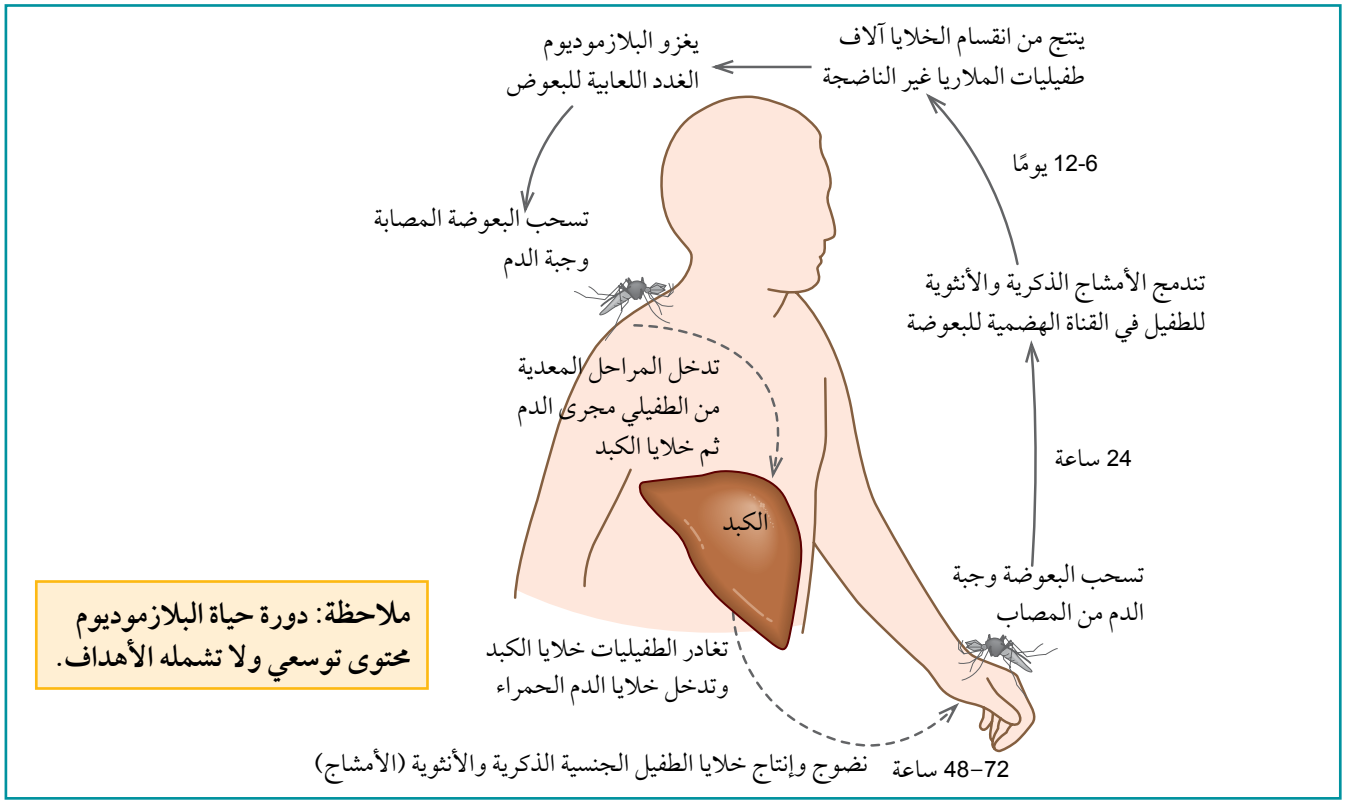


الصورة ٨- ٢ خلايا دم حمراء مصابة ببلازموديوم فالسيباروم. لاحظ شكل «الخاتم» للطفيل في خلايا الدم الحمراء (x1400).



الصورة ٨- ٣ صورة مجهرية إلكترونية (النافذ) لمقطع في خلية دم حمراء ممتلئة بطفيليات البلازموديوم . يتكاثر البلازموديوم داخل خلايا الدم الحمراء. ستنفجر هذه الخلية قريبًا، مطلقة طفيليات تغزو خلايا دم حمراء أخرى.

يتكاثر البلازموديوم في كلا العائلَين، الإنسان والبعوض، ويزداد عدد الطفيليات بشكل كبير في كل مرحلة، ما يحسّن فرص الإصابة لعائل آخر من البعوض أو الإنسان (الشكل ٨-١).



الشكل ٨-١ دورة حياة البلازموديوم. للطفيل عائلان: تحدث المرحلة الجنسية في البعوض، وتحدث المرحلة اللاجنسية في الإنسان. ويبلغ الزمن بين العدوى وظهور الطفيليات في داخل خلايا الدم الحمراء في بلازموديوم فالسيباروم 7-30 يومًا، وفترة أطول في أنواع البلازموديوم الأخرى.

يكون الانتقال مكثفًا أكثر في الأماكن التي يكون فيها عمر البعوض أطول (بحيث يكون لدى الطفيلي الوقت لاستكمال تطوره داخل البعوض)، وحيث إنها تفضل أن تلدغ الإنسان بدل الحيوان. إن العمر الطويل وعادات البعوض في اللدغ القوي للإنسان لأنواع الأنوفيليس الموجودة في أفريقيا هي الأسباب الرئيسية لنحو 95% من حالات الملاريا في العالم في أفريقيا. معظم حالات الملاريا يُسببها بلازموديوم فالسيباروم *P. falciparum*، وهو النوع الذي يسبّب الملاريا الحادة والقاتلة.

يعتمد انتقال المرض أيضًا على الظروف المناخية التي يمكن أن تؤثر على عدد البعوض وبقائه حيًا، مثل أنماط هطول الأمطار ودرجة الحرارة والرطوبة. ويكون الانتقال في العديد من الأماكن موسميًا، حيث تحدث الذروة أثناء موسم الأمطار وبعده مباشرة. ويمكن أن تحدث أوبئة الملاريا عندما يحفز المناخ وظروف أخرى فجأة الانتقال في المناطق التي تكون مناعة الناس فيها منخفضة أو معدومة. كما تحدث عندما ينتقل الناس ذوو المناعة المنخفضة إلى مناطق يكون انتقال الملاريا فيها كثيفًا؛ على سبيل المثال، عندما يهاجر الناس بحثًا عن العمل أو هروبًا من الفقر أو بسبب الحروب أو الكوارث الطبيعية.

يصبح لدى الناس مناعة ضد الملاريا إذا تكررت إصابتهم باستمرار بسلالات مختلفة منها (الموضوع ٨-٥، المناعة الإيجابية والمناعة السلبية). ومع ذلك، يحدث هذا فقط إذا بقوا أحياء في السنوات الخمس الأولى من العمر، حيث تكون نسبة الوفيات بالملاريا مرتفعة جدًا. وتدوم المناعة فقط ما دام الناس على اتصال مع المرض، وهذا يفسر سبب خطورة الأوبئة في الأماكن التي لا تتوطن فيها الملاريا، وسبب كون الملاريا أكثر خطورة في المناطق التي تحدث فيها فقط أثناء موسم الأمطار وبعده. ويتزامن هذا غالبًا مع وقت الذروة من النشاط الزراعي، لذا تكون للمرض نتائج كارثية على الاقتصاد، فالناس لا يستطيعون زراعة الأرض وهم مرضى.

أسئلة

٣ صف كيف تنتقل الملاريا.

٤ استفد من الصورتَين ٨-٢و ٨-٣ لوصف كيف تختلف خلايا البلازموديوم عن خلايا الدم الحمراء للعائل.

علاج الملاريا

توصي (WHO) بتأكيد جميع حالات الملاريا المشتبه بها عن طريق فحص يبيّن وجود البلازموديوم (الجدول ٨-٢) قبل بدء العلاج. وقد تظهر نتائج هذا الفحص في غضون 30 دقيقة أو أقل.

تستخدم الأدوية المضادة للملاريا مثل الكينين Quinine والكلوروكين Chloroquine لعلاج المصابين، ويستخدم الكلوروكين أيضًا كدواء وقائي يمنع حدوث العدوى لدى شخص عند تعرضه للدغة بعوضة مصابة. يتم تناول الأدوية الوقائية قبل زيارة منطقة تتوطن فيها الملاريا وأثناء الزيارة وبعدها، بحيث يمنع الكلوروكين بناء البروتين ويحول دون انتشار الطفيلي في الجسم. البروجوانيل Proguanil هو دواء وقائي آخر مضاد للملاريا يوفر ميزة إضافية تتمثل بتثبيط التكاثر الجنسي للبلازموديوم داخل البعوضة اللادغة، وتمنح هذه الأدوية في سلطنة عمان بالإضافة إلى أدوية أخرى لمن يرغبون في السفر إلى إحدى الدول الموبوءة بالملاريا.

تظهر سلالات بلازموديوم مقاومة للأدوية عند استخدام الأدوية المضادة للملاريا على نطاق واسع، فلا يعود الدواء فاعلًا ضد المسبب المرضي، لذا تنتشر مقاومة الكلوروكين في أجزاء من أمريكا الجنوبية وأفريقيا وجنوب شرق آسيا. وتستخدم أدوية أحدث مثل ميفلوكين Mefloquine في بعض هذه المناطق، لكنه يسبب أحيانًا آثارًا جانبية غير مرغوبة مثل الأرق والصداع والقيء واضطراب النوم، وقد تطورت مقاومة للميفلوكين في جنوب شرق آسيا.

أفضل علاج متوافر حاليًا، بخاصة للملاريا التي يسببها بلازموديوم فالسيباروم، هو العلاج المركب أساسًا من مادة الأرتيميسينين (ACT) Artemisinin، حيث تستخدم الأدوية المشتقة من نبات الشيح الحولي *Artimisia annua* في تركيبة مع دواء آخر، مثل ميفلوكين، لعلاج بلازموديوم فالسيباروم.

الأشخاص الذين يأتون من البلدان التي لا يوجد فيها ملاريا لزيارة أجزاء كثيرة من المناطق الاستوائية حيث توجد الملاريا يكونون عرضة لخطر الإصابة بهذا المرض بدرجة كبيرة. وغالبًا ما يخطئ الأطباء في البلدان التي يندر فيها وجود الملاريا، في تشخيص الإصابة معتقدين أنها إنفلونزا، نتيجة لتشابه الأعراض الأولية بينهما. والعديد من هذه الحالات تعود للأشخاص الذين يزورون أقاربهم في أفريقيا أو الهند، إذ لا يتناول هؤلاء الأدوية الوقائية لعدم معرفتهم أنهم فقدوا مناعتهم.

الوقاية من الملاريا

الملاريا أحد أكبر المخاطر التي تهدد الصحة في العالم، إذ يعيش نصف سكان العالم تقريبًا في مناطق مهددة بخطر الإصابة بالملاريا.

توجد ثلاث طرائق رئيسية لمكافحة الملاريا:

- تقليل عدد البعوض.
- تجنب لدغات البعوض.
- تناول الأدوية الوقائية.

تتمثل الطريقة الأكثر فاعلية بقتل الحشرات الناقلة وكسر دورة الانتقال. فالبعوض يضع بيضه في الماء، وتفقس اليرقات وتتطور في الماء، لكنها تتنفس الهواء باقترابها من سطح الماء، وعند نشر الزيت فوق سطح الماء قد يجعل تنفس يرقات البعوض والعذارى مستحيلًا. ويمكن تجفيف المستنقعات، وإزالة الغطاء النباتي للتقليل من مواقع تكاثر البعوض.

وقد يتم استخدام اثنين من تدابير المكافحة الحيوية:

- تربية أسماك تتغذى على يرقات البعوض في البرك وقنوات الري والصرف الصحي وغيرها من المسطحات المائية.
- رش مستحضر كيميائي يحتوي على بكتيريوم العصوية التورنجية *Bacillus thuringiensis* التي تقتل يرقات البعوض ولا تؤثر في أشكال الحياة الأخرى.

ومع ذلك، من المستحيل القضاء على مواقع التكاثر كليًا، بخاصة في مواسم الأمطار، لأن البعوض يضع بيضه في أي بقعة ماء أو بركة صغيرة.

يمثل تجنب لدغات البعوض أفضل وقاية من الملاريا، إذ يجب على الناس عدم كشف جلدهم عندما يكون البعوض أكثر نشاطًا، وعادة ما يكون ذلك وقت الغسق (غروب الشمس). وينصح الناس بالنوم تحت الناموسيات واستخدام طاردات الحشرات (الصورة ٨-٤). وقد ثبتت فاعلية استخدام ناموسيات معالجة بمبيدات حشرية



الصورة ٨-٤ ينام هؤلاء الأطفال في جمهورية فانواتو في المحيط الهادئ تحت ناموسية مُشربة بمبيد حشري طويل الأمد.

طويلة الأمد في إنقاص عدد الوفيات الناجمة عن الملاريا بشكل ملحوظ، إذ تقي هذه الناموسيات من لدغات البعوض، وتقتل أي بعوض يهبط عليها، ويستحسن استبدال هذه الناموسيات كل (2-3) سنوات. وقد لوحظت زيادة بنسبة 80% في انتشار الناموسيات المُشربة بمبيدات الحشرات في مناطق جنوب الصحراء الأفريقية بين عامي 2010 و 2015م.

رشّ مبيدات الحشرات داخل المنازل طريقة فاعلة للوقاية من البعوض تصلح ما بين ثلاثة وستة أشهر، اعتمادًا على نوع المبيد الحشري المستخدم ونوع السطح الذي يرش. فاستخدام الناموسيات والمبيدات الحشرية يحمي جميع السكان، حتى أولئك الذين لا يملكون ناموسيات ولم ترش منازلهم.

الأطفال الصغار أكثر عرضة لخطر الوفاة بالملاريا، وتقدّر (WHO) أن الأطفال دون سن الخامسة يمثلون 80% تقريبًا من جميع الوفيات الناجمة عن الملاريا في أفريقيا في عام 2021م. يمكن علاج الحوامل والأطفال الصغار بالأدوية التي تقي من العدوى بالبلازموديوم، إذ توصي (WHO) بإعطاء الحوامل أدوية وقائية Prophylactic drug في كل مرة يزرن فيها العيادة قبل الولادة في الثلثين الأخيرين من حملهن. كما توصي بإعطاء ثلاث جرعات من الأدوية الوقائية نفسها للرضع الذين يعيشون في مناطق أفريقية ترتفع فيها مخاطر انتقال العدوى، وذلك في كل مرة يذهبون فيها إلى العيادات والمراكز الصحية لتلقي التطعيمات الروتينية.

توفر العديد من التطورات الحديثة الأمل في احتمال دحر الملاريا، وخفض معدلات الوفيات الناجمة عنها بشكل ملحوظ. وبتوفير شرائح الفحص البسيطة لتشخيص الملاريا أصبحت إمكانية التشخيص أسرع ومن دون الحاجة إلى المختبرات الطبية. وسيؤدي إنجاز دراسة تتابع جينوم البلازموديوم بشكل كامل، إلى تطوير علاجات ولقاحات جديدة.

يوفر اللقاح موسكوريكس Mosquirix المضاد للملاريا، والذي يُعطى على شكل حقن، حماية جزئية ضد الملاريا لدى الأطفال الصغار. وقد أعلنت (WHO) في نوفمبر من عام 2016م، التوجّه إلى استخدام هذا اللقاح في مشاريع تجريبية في مناطق مختارة في ثلاثة بلدان في جنوب الصحراء الأفريقية، هي غانا وكينيا ومالاوي. وقد أمكن تأمين التمويل للمرحلة الأولى من البرنامج، وبدأ التطعيم في مالاوي في أوائل عام 2019م. ويوجد لقاحات أخرى وهي قيد التطوير أو يجري تجربتها. يمكنك الاستفادة من الإنترنت في تعرّف مدى التقدم في تطوير اللقاحات لوقاية الناس من الملاريا؛ كما ستدرس المزيد عن اللقاحات وآلية عملها لاحقًا في هذه الوحدة.

قد تؤدي ثلاثة عوامل إلى تحسينات في مجال مكافحة الملاريا:

- استخدام التقنيات الحديثة في التتابعات الجينية وتصميم الأدوية.
- تطوير لقاحات تستهدف مختلف مراحل دورة حياة الطفيلي.
- إرادة دولية متجددة لرفع عبء الملاريا عن أفقر بلدان العالم، بمعونة التبرعات السخية من الأفراد والأثرياء والمؤسسات.

أسئلة

٥ يبيّن الشكل ٨-٢ عدد حالات الملاريا وعدد الوفيات الناجمة عنها، والتي تم تسجيلها في مستشفيات زنجبار، جمهورية تنزانيا المتحدة بين عامَي 1999 و 2008 م (مقتبس من: تقرير الملاريا في العالم لعام 2009 م الصادر عن (WHO).

أ. ١. استفد من التمثيل البياني في وصف البيانات التي جمعت من مستشفيات زنجبار.

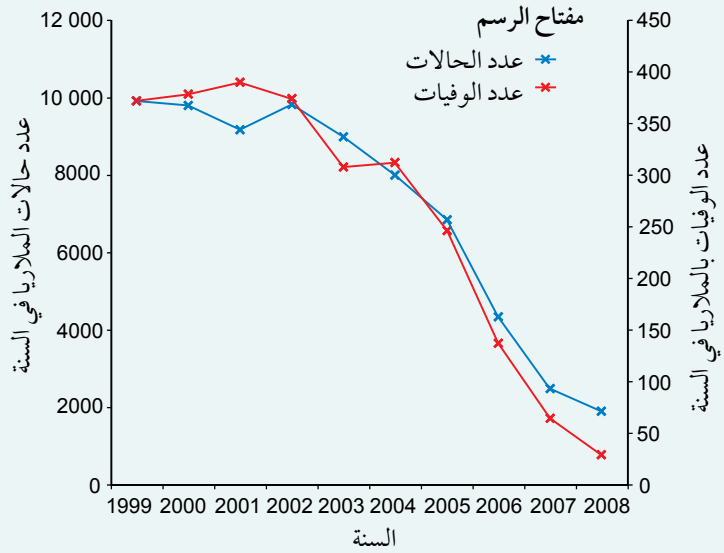
٢. اقترح الأسباب المحتملة للنمط الذي تصفه.

٣. اقترح بيانات أخرى يمكن جمعها في زنجبار لتقييم فاعلية طرائق مكافحة الملاريا.

ب. اقترح السبب الذي يدفع (WHO) إلى التوصية بأن يتم تأكيد حالات الملاريا المشتبه بها باستخدام فحوص تشخيص الطفيليات قبل إعطاء العلاج.

٦ اكتب قائمة بالعوامل التي تجعل من الملاريا مرضًا تصعب مكافحته.

٧ صف الاحتياطات التي يمكن للناس اتخاذها لتجنّب الإصابة بالملاريا.



الشكل ٨-٢ الملاريا في مستشفيات زنجبار بين عامي 1999 و 2008 م.

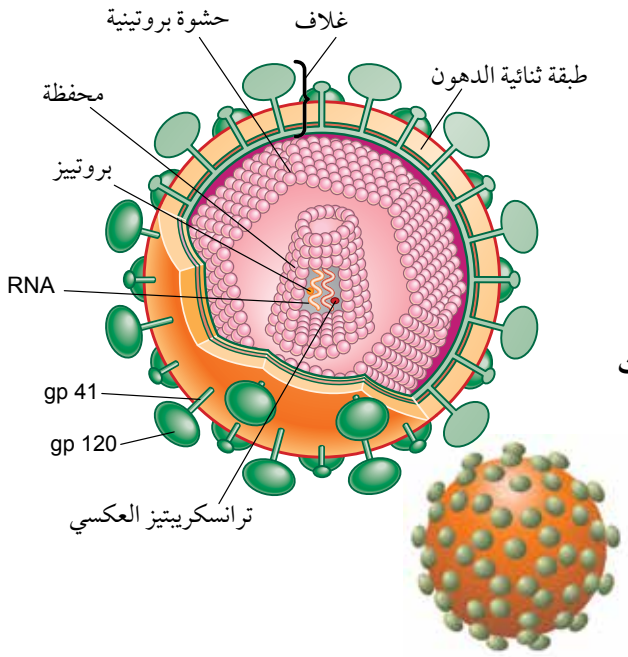
فيروس نقص المناعة البشرية HIV/الإيدز

قد تؤدي الإصابة بفيروس نقص المناعة البشرية (HIV) إلى الإصابة بمتلازمة نقص المناعة المكتسبة syndrome Acquired immunodeficiency (الإيدز AIDS) (الشكل ٨-٣). يبيّن الجدول ٨-٣ خصائص الإيدز وHIV.

مصطلحات علمية

(HIV): فيروس نقص المناعة البشرية.

الإيدز AIDS: متلازمة نقص المناعة المكتسبة.



الشكل ٨-٣ فيروس نقص المناعة البشرية (HIV). يكوّن الغشاء الخارجي الدهني الغلاف، والذي يحتوي أيضًا على نوعَين من البروتينات السكرية gp41 و gp120. يحتوي لبّ البروتين على RNA وإنزيمَين: بروتييز وترانسكريبتيز العكسي. يستخدم إنزيم ترانسكريبتيز العكسي RNA كقالب لتكوين DNA عند دخول الفيروس خلية العائل.

المسبب المرضي	فيروس نقص المناعة البشرية (HIV)
طرائق الانتقال	في المني والإفرازات المهبلية أثناء الاتصال الجنسي الدم الملوّث ومشتقات الدم المحاقن تحت الجلدية الملوثة من الأم إلى الجنين عبر المشيمة وعند الولادة من الأم إلى الرضيع في حليب الأم
التوزيع العالمي	في جميع أنحاء العالم، بخاصة جنوب الصحراء الأفريقية وجنوب شرق آسيا
فترة الحضانة	الحضانة الأولية للفيروس بضعة أسابيع، لكن أعراض الإيدز تتطور حتى عشر سنوات أو أكثر
موقع عمل المسبب المرضي	الخلايا اللمفاوية التائية المساعدة، الخلايا البلعمية الكبيرة، خلايا الدماغ
المظاهر السريرية	عدوى (HIV)– أعراض شبيهة بأعراض الإنفلونزا ثم بدون أعراض. الإيدز – العدوى الانتهازية بما في ذلك الالتهاب الرئوي والسلّ والسرطانات، فقدان الوزن، الإسهال، الحمى، التعرق، الخرف
طريقة التشخيص	فحص الدم، أو اللعاب، أو البول للكشف عن وجود الأجسام المضادة التي تكونت ضد (HIV)
العدد الإجمالي للأشخاص المصابين بـ (HIV) في جميع أنحاء العالم في 2021م	38.4 مليون (67% تقريبًا من هؤلاء في جنوب الصحراء الأفريقية) (تقدير برنامج الأمم المتحدة المشترك المعني بفيروس نقص المناعة البشرية HIV/الإيدز، UNAIDS)
العدد التقديري لحالات الإصابة الجديدة بـ (HIV) في جميع أنحاء العالم في عام 2021م	1.5 مليون (تقديرات UNAIDS)
العدد التقديري للوفيات الناجمة عن الأمراض المرتبطة بالإيدز في جميع أنحاء العالم في عام 2021م	650 000 (تقديرات UNAIDS)

الجدول ٨–٣ خصائص HIV/ الإيدز.

(HIV) هو فيروس ارتجاعي Retrovirus، بما يعني أن مادته الوراثية هي RNA وليس DNA. عند دخول الفيروس الخلية العائل، يتحول RNA الفيروسي إلى DNA (لهذا السبب يسمّى ارتجاعيًا) ليندمج مع كروموسومات الإنسان. يصيب الفيروس ويدمر خلايا في جهاز المناعة في الجسم بحيث تنخفض أعدادها تدريجيًا (الصورة ٨–٥). تُعرف هذه الخلايا باسم الخلايا اللمفاوية التائية المساعدة T-Helper lymphocytes التي تتحكم في استجابة جهاز المناعة للعدوى (ستتعرف المزيد عن هذه الخلايا في الموضوع ٨–٣). وعندما تنخفض أعداد هذه الخلايا، يصبح الجسم غير قادر على الدفاع عن نفسه ضد العدوى، الأمر الذي يتيح لعدد من المسببات المرضية التسبّب

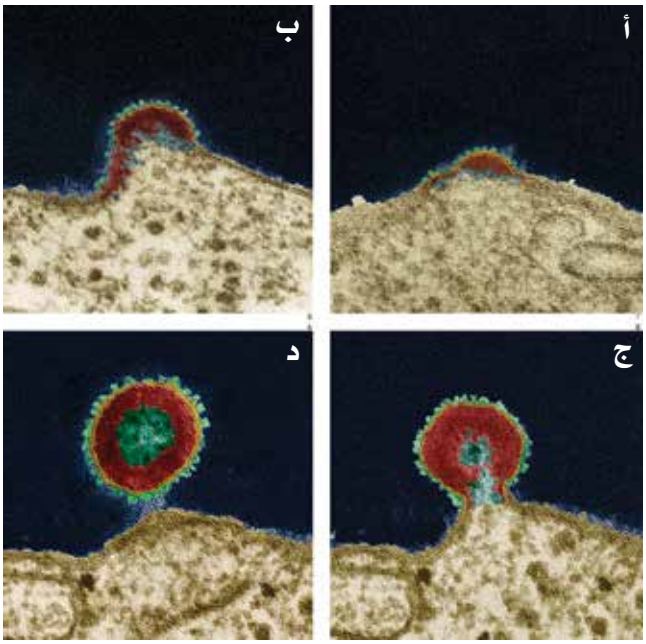
بمجموعة متنوعة من **العدوى الانتهازية** Opportunistic infections. الإيدز ليس مرضًا، بحد ذاته، وإنما هو مجموعة الأمراض الانتهازية المرتبطة بنقص المناعة الناتج من عدوى (HIV). وبما أن (HIV) هو عامل معدٍ، يسمى الإيدز (AIDS) متلازمة نقص المناعة المكتسبة لتمييزه من الأنواع الأخرى، على سبيل المثال الشكل الموروث منها.

مصطلحات علمية

العدوى الانتهازية Opportunistic infections: عدوى ناتجة من مسبّبات الأمراض المعدية التي تستفيد من العائل الذي يعاني ضعفًا في جهاز المناعة، كما قد يحدث لدى شخص مصاب بعدوى (HIV).

انتقال HIV

بعد الشكوك الأولية حول ظهور مرض جديد أصبح واضحًا في أوائل الثمانينات حدوث وباء ثم انتشر كجائحة. وقد قدّر برنامج الأمم المتحدة المشترك المعني بـ HIV/الإيدز (UNAIDS) في بداية الوباء، أن 84.2 مليون إنسان قد أصيبوا بعدوى (HIV) وأن 40.1 مليون إنسان توفوا بسبب HIV/الإيدز.



الصورة ٨-٥ مجموعة من الصور المجهرية الإلكترونية (النافذ) تظهر بروز (HIV) من سطح الخلايا اللمفاوية- T، وإحاطته بغلاف مشتق من غشاء سطح الخلية للخلية العائل (x176000). (أ) يظهر جسيم الفيروس أولًا على شكل نتوء. (ب) ثم يتبرعم. (ج) وأخيرًا ينفصل. (د) تظهر في الفيروس المنطلق المنطقة الخارجية للمادة الكثيفة، واللبّ الأقل كثافة.

ينتشر (HIV) عن طريق الاتصال الجنسي، فلا يوجد ناقل (على عكس الملاريا)، ولا يستطيع الفيروس البقاء خارج جسم الإنسان (على عكس مسببات مرض الملاريا). ويمكن انتقال العدوى فقط عن طريق التبادل المباشر لسوائل الجسم. عمليًا، هذا يعني أن (HIV) ينتشر بسهولة عن طريق الاتصال الجنسي والتبرع بالدم أو تشارك الإبر عن طريق الحقن لدى متعاطي المخدرات. ينتقل (HIV) أيضًا من الأم إلى الطفل عبر المشيمة، وفي كثير من الأحيان عن طريق اختلاط الدم أثناء الولادة.

وفي عام 2022 م تسلمت سلطنة عمان من منظمة الصحة العالمية شهادة الاعتراف الدولي بالقضاء على انتقال (HIV) من الأم إلى الطفل، لتكون أول دولة من أقليم شرق المتوسط تحصل على هذه الشهادة العالمية المرموقة.

انتشر الوباء بداية في أمريكا الشمالية وأوروبا بسبب سلوكيات تحرمها العديد من الديانات والقوانين مثل المثلية الجنسية والزنا، الأمر الذي يسمح للفيروس بالانتشار على نطاق أوسع. وأصبح انتقال (HIV) غالبًا عن طريق الاتصال الجنسي بين جنسين مختلفين، ويحدث ذلك سريعًا بشكل خاص في بعض البلدان الأفريقية، حيث تتساوى أعداد الذكور والإناث في حمل فيروس نقص المناعة البشرية (+HIV) (انظر كتاب التجارب العملية والأنشطة، نشاط ٨-٣).

وظهر من بين الأشخاص الذين يمكن أن ينتقل إليهم (HIV)، مرضى الهيموفيليا الذين عولجوا بمادة التخثر (العامل الثامن) المستخلص من مشتقات الدم المأخوذ من عدة متبرعين حاملين لـ (HIV). وفي يومنا الحالي أصبحت مادة التخثر (العامل الثامن) تنتج بواسطة تقنيات الهندسة الجينية التي توفر مصدرًا لهذه المادة أكثر أمانًا للمرضى. (الوحدة الثالثة، الموضوع ٣-٤، التقنية الجينية والطب).

يتصف (HIV) بأنه فيروس بطيء، فربما لا تظهر أعراضه بعد الإصابة حتى عدة سنوات. ويبدو أن بعض الأشخاص الذين يحملون الفيروس لا تتطوّر لديهم أية أعراض أولية، على الرغم من وجود أعراض تشبه أعراض الإنفلونزا التي تستمر في كثير من الأحيان لعدة أسابيع بعد الإصابة، حيث يكون الشخص في هذه المرحلة موجبًا للفيروس (HIV+) لكن ليس مصابًا بالإيدز.

تميل الأمراض التي يمكن أن تتطور بشكل انتهازي لظهور الإيدز إلى أن تكون من سمات الحالة، فإثنان منها سببها الفطريات: داء المبيضات الفموي الناتج من فطر المبيضة البيضاء *Candida albicans*، وشكل نادر من الالتهاب الرئوي ينجم عن المتكيّسة الرئوية الجؤجؤية *Pneumocystis jiroveci*. كان الناس في السنوات الأولى من وباء الإيدز يتوفون في غضون 12 ساعة من الإصابة بهذا الالتهاب الرئوي غير العادي، لكن الآن يتم التعامل مع هذه الحالة بشكل أفضل، وتوصف الأدوية لمنع تطور المرض (انظر أسئلة نهاية الوحدة، السؤال ١٤).

يصبح جهاز المناعة أقل فاعلية في اكتشاف وتدمير السرطانات مع استمرار انهياره، ويرتبط بالإيدز شكل نادر من سرطان الجلد هو ساركوما كابوسي الناجم عن الإصابة بفيروس مثل فيروس الهربس. ساركوما كابوسي وسرطانات الأعضاء الداخلية هي الآن الأسباب الأكثر احتمالاً لوفيات المصابين بالإيدز في البلدان المتطورة، بالإضافة إلى أمراض الدماغ التنكسية مثل الخرف.

عندما تم الإبلاغ عن حالات الإيدز في الساحل الغربي للولايات المتحدة وفي أوروبا لأول مرة، أفاد الأطباء في أفريقيا الوسطى برؤية أشخاص لديهم أمراض انتهازية شبيهة بـ HIV/الإيدز، تنتشر على نطاق واسع في جميع أنحاء جنوب الصحراء الأفريقية من أوغندا إلى جنوب أفريقيا. وهي تمثل مشكلة صحية خطرة في تلك المناطق لأن الإصابة بـ (HIV) تجعل السكان أكثر عرضة للإصابة بالأمراض الموجودة مثل سوء التغذية والسلّ والملاريا. للإيدز تأثير سلبي على التطور الاقتصادي في بلدان المنطقة، حيث إنه يصيب غالبًا الأشخاص في العشرينات والثلاثينات من العمر، والذين هم أكثر فئات المجتمع إنتاجية من الناحية الاقتصادية، كما أنه يستنزف أموال الحكومة عبر شراء الأدوية باهظة الثمن. ويقدّر البنك الدولي أن مرض الإيدز أدى إلى تراجع النمو الاقتصادي لبعض البلدان الأفريقية 10–15 سنة مع نهاية القرن العشرين.

علاج HIV/ الإيدز

لا يتوافر حتى الآن علاج شافٍ للإيدز ولا لقاح لـ (HIV). ومع ذلك، تحققت نجاحات كثيرة في السنوات الأخيرة في علاج الناس بالأدوية بحيث أصبحوا يعيشون مدة طويلة بالرغم من إصابتهم بـ (HIV). يمكن أن يبطئ العلاج الدوائي ظهور مرض الإيدز بشكل كبير لدرجة أن متوسط العمر المتوقع للعديد من الأشخاص الحاملين للفيروس (HIV+) قد يكون طبيعيًا.

ومع ذلك، فإن الأدوية باهظة الثمن، وتتصف بعدة آثار جانبية متنوعة تتراوح بين خفيفة ومؤقتة (طفح جلدي، صداع، إسهال)، إلى شديدة ودائمة (تلف الأعصاب، توزع غير طبيعي للدهون). يتوافر أكثر من دواءَين تم استخدامهما في تركيبة واحدة لمنع تكاثر الفيروس داخل خلايا العائل، وقد تساعده هذه الأدوية للعيش مدة أطول بالرغم من إصابته، لكنها لا تعدّ علاجًا شافيًا. تشبه الأدوية نيوكليوتيدات DNA (على سبيل المثال، يشبه زيدوفيدين Zidovudine النيوكليوتيدات المحتوية على القاعدة ثايمين). يرتبط زيدوفيدين بإنزيم ترانسكريبتيز العكسي للفيروس ويثبط عمله، فيوقف تضاعف المادة الوراثية الفيروسية ويؤدي إلى زيادة عدد بعض الخلايا اللمفاوية في الجسم. قد يكون من الصعب الالتزام بفترة علاج تتضمن تناول عدة أدوية، إذ يجب اتباع نمط وتوقيت العلاج خلال اليوم بدقة. وقد يصبح الناس الذين لا يمكنهم الالتزام بهذا النمط العلاجي عرضة لسلالات من (HIV) طورت مقاومة لهذه الأدوية.

يمثل التوسع في رفع المستوى العالمي للأدوية المضادة للفيروسات الارتجاعية المساهم الرئيسي في خفض الوفيات الناجمة عن الأمراض المرتبطة بالإيدز بنسبة 68%، من ذروة بلغت مليوني إنسان في عام 2004 م إلى 650000 في عام 2021 م (تقديرات UNAIDS). وانخفضت نسبة وفيات الأطفال (في عمر 0-14 سنة) بالأمراض المرتبطة بالإيدز بأكثر من 50% خلال فترة 10 سنوات فقط، بين الذروة في عام 2004 م من 259734 إلى 121440 في عام 2014 م. واستمر هذا الانخفاض ليصل في عام 2019 م إلى 76420 وفاة بين الأطفال، بانخفاض 70% من الذروة في عام 2004 م. يرجع الكثير من الانخفاض إلى النقص الحاد في الإصابات الجديدة بـ (HIV) بين الأطفال، مع زيادة توفر العلاج بالأدوية المضادة للفيروسات الارتجاعية للحوامل (انظر كتاب التجارب العملية والأنشطة، نشاط ٨-٢).

الوقاية من HIV/الإيدز

من الصعب مكافحة انتشار HIV/الإيدز. فالمرحلة الكامنة الطويلة للفيروس تعني أنه يمكن أن ينتقل بين موجبي الفيروس (+HIV)، والذين لا تظهر عليهم أية أعراض للإيدز ولا يعرفون أنهم مصابون. يغير الفيروس من بروتينات سطحه، بحيث يصعب على جهاز مناعة الجسم تمييزه (الموضوع ٨-٣، الدفاع ضد المرض)؛ وهذا يجعل أيضًا من تطوير اللقاح أمرًا صعبًا جدًا.

لقيت التجارب نجاحًا كبيرًا في علاج الحوامل، بحيث لا يصيب (HIV) الأجنة، ما أدى إلى انخفاض كبير في عدد ولادات الأطفال المصابين بـ (HIV).

تستخدم تدابير الصحة العامة لمنع انتشار (HIV)، وأولها تثقيف الناس حول انتشار العدوى، وتشجيعهم على تغيير سلوكهم لحماية أنفسهم والآخرين. ويمثل الواقي الذكري والعازل الأنثوي الأدوات الوحيدة الفاعلة في تقليل مخاطر الإصابة أثناء الاتصال الجنسي، إذ تشكل حاجزًا لسوائل الجسم، وتقلل من احتمال انتقال الفيروس. وتشجع بعض البلدان على استخدام الواقي الذكري بالإضافة إلى تدابير أخرى، الأمر الذي أدى إلى تراجع معدلات الإصابة بالمرض، وانخفض عدد الحالات الجديدة المسجلة كل سنة أو بقي كما هو سنة بعد أخرى. وتشير التقديرات إلى انخفاض معدل الإصابة بـ (HIV) في العالم بنسبة 25% بين عامي 2001 و 2009 م، ولكن بنسبة 18% فقط بين عامي 2010 و 2017 م.

يُعدّ تتبع المخالطين جزءًا مهمًا من مكافحة انتشار (HIV)، فإذا تم تشخيص أحدهم على أنه (+HIV) وكان راغبًا وقادرًا على تحديد الأشخاص المعرضين لخطر الإصابة عن طريق الاتصال الجنسي أو تشارك الإبر، فسيمكن عندها إجراء فحص (HIV) لهؤلاء الأشخاص. سيحدد الفحص الأجسام المضادة لـ (HIV) على الرغم من أنها تظهر بعد عدة أسابيع من الإصابة الأولية. كما تتوافر حاليًا أدوات الفحص المختبري المنزلي لـ (HIV) (الصورة ٨-٦).



الصورة ٨-٦ عدة اختبار منزلي لفحص (HIV).

يفحص الدم الذي يؤخذ من المتبرعين للكشف عن (HIV)، ويعالج بالحرارة لقتل أي فيروسات فيه. والأشخاص الذين يعتقدون أنهم قد تعرضوا للفيروس يُمنعون من التبرع بالدم. ففي بعض البلدان منخفضة الدخل، لا يتم فحص كافة الدم الذي تم التبرع به ولذلك يفضل لأي شخص يخشى الإصابة عبر نقل دم متبرّع أثناء عملية جراحية، أن يتبرع بدمه قبل العملية لاستخدامه بدلاً من استخدام دم من بنك الدم.

إن إجراء الفحص واسع النطاق للسكان لتحديد المصابين بـ (HIV) ليس مكلفًا، لكن الحكومات تحجم عن إجراء الفحص خشية التعدي على الحرية الشخصية. بالمقابل تشجع بعض الحكومات في البلدان المتطورة على إجراء فحص (HIV) للأشخاص الذين ينتمون إلى المجموعات المعرضة لخطر الإصابة، مثل متعاطي المخدرات بالحقن. ويمكن توفير الدعم الطبي والنفسي اللازم إذا كانت نتيجة الفحوصات إيجابية. ففي أفريقيا وجنوب شرق آسيا، لا يقتصر الوباء على الأشخاص ضمن هذه المجموعات المعرضة لخطر الإصابة والتي يسهل العثور عليها، ولا يمكن إجراء الفحص على نطاق واسع لصعوبة الوصول إلى غالبية السكان وصعوبة تنظيم الفحص. ويكتشف الناس في هذه المناطق أن لديهم (+HIV) عندما تظهر عليهم أعراض الإيدز.

تم العثور على الجسيمات الفيروسية والخلايا اللمفاوية المصابة في حليب الأم، ولذلك أمكن تقليل انتقال الفيروس من الأم إلى الطفل من خلال معالجة نساء (+HIV) وأطفالهن بالأدوية. ومع ذلك، تُنصح نساء (+HIV) في الدول ذات الدخل المرتفع بعدم إرضاع أطفالهن، بسبب خطر انتقال العدوى ولو كانت الأدوية متوافرة خلال هذه الفترة. بالمقابل، تنصح نساء (+HIV) في البلدان منخفضة الدخل ومتوسطة الدخل بإرضاع أطفالهن، بخاصة عند توافر الأدوية خلال هذه الفترة، لأن الحماية التي توفرها الرضاعة ضد أمراض أخرى ونقص المياه النظيفة لتحضير حليب الرضع صناعيًّا، يمكن أن تفوق مخاطر نقل (HIV).

أسئلة

(٨) يبيّن الجدول ٨-٤ عدد الأشخاص الذين يقدّر أنهم مصابون بـ (HIV)، وعدد أولئك الذين يقدّر أنهم سيتلقون العلاج لـ (HIV) بين عامي 2000 و 2017 م؛ في جميع أنحاء العالم.

السنة	تقديرات أعداد الأشخاص الذين يتعايشون مع (HIV) بالمليون	تقديرات أعداد الأشخاص الذين يتلقون العلاج بالمليون	نسبة الأشخاص الذين يتعايشون مع (HIV) ويتلقون العلاج
2000	28.9	0.8	0.03
2005	31.8	2.2	0.07
2010	33.3	7.5	0.23
2013	35.3	13.0	0.37
2014	35.9	15.0	0.42
2015	36.7	17.0	0.46
2016	36.7	19.5	0.53
2017	36.9	21.7	0.59

الجدول ٨-٤ تقديرات أعداد المتعايشين مع (HIV)، والذين يتلقون العلاج بين عامي (2017 – 2000) م.

أ. ١. احسب النسبة المئوية للتغير في عدد الأشخاص المتعايشين مع (HIV) بين عامي 2000 و 2017 م.

٢. استفد من الجدول ٨-٤ في شرح المقصود بعبارة «المتعايشين مع (HIV)».

ب. ١. لخص البيانات الواردة في الجدول ٨-٤.

٢. اقترح سبب كون الأرقام الواردة في الجدول تقديرية.

(٩) اقترح أنواع النصائح التي يمكن تقديمها كجزء من برنامج تعليمي حول HIV/الإيدز.

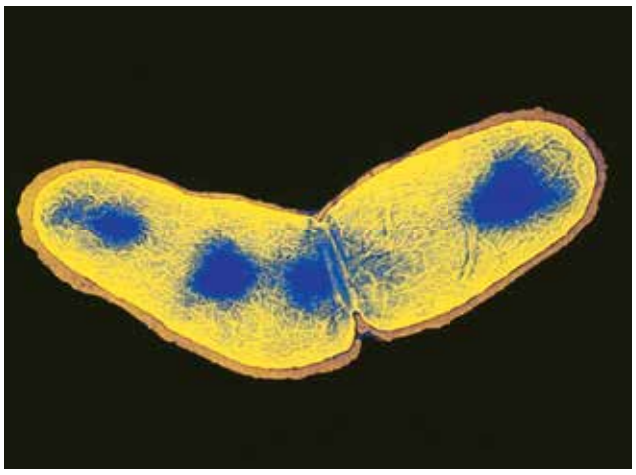
(١٠) غالبًا ما يخضع الأطفال المصابون بفقر الدم المنجلي أو الملاريا في أفريقيا لإجراء نقل الدم. اشرح كيف يعرضهم ذلك لخطر الإصابة بعدوى (HIV).

(١١) اشرح السبب من فائدة المعرفة المبكرة بعدوى (HIV) في مكافحة انتقال العدوى.

السُّلّ (TB)

يوضح الجدول ٨-٥ الخصائص الرئيسية لمرض السّل (TB) *Tuberculosis*، الذي تسببه أي من نوعَي البكتيريا، المتفطرة السُّليّة *Mycobacterium tuberculosis* (الصورة ٨-٧)، والمتفطرة البقرية *Mycobacterium bovis*. وهي المسببات المرضية التي تعيش داخل خلايا جسم الإنسان، بخاصة في الرئتين. وتمثل الرئتان الموقع الأول للعدوى، لكن يمكن أن تنتشر البكتيريا في جميع أنحاء الجسم حتى تصيب أنسجة العظام.

يصاب بعض الناس بالعدوى وتظهر عليهم أعراض مرض (TB) بسرعة كبيرة، في حين تبقى البكتيريا غير نشطة في مصابين آخرين لعدة سنوات. وتشير التقديرات إلى أن 30% تقريبًا من سكان العالم مصابون بـ (TB) من دون أن يظهر لديهم أيّ من أعراض العدوى. ولا ينشر الأشخاص المصابون بهذه العدوى غير النشطة أو الكامنة المرض للآخرين.



الصورة ٨-٧ صورة مجهرية إلكترونية (النافذ) بألوان زائفة لبكتيريا المتفطرة السُلِّيّة تنقسم إلى خليتين. قد تتكاثر البكتيريوم مثل هذه داخل الرئتين ثم تنتشر في جميع أنحاء الجسم أو تصبح خامدة، لتنشط بعد عدة سنوات (x67000).

المسبب المرضي	المُتَفَطِّرة السُلِّيّة، المُتَفَطِّرة البقرية
طرائق الانتقال	قطيرات محمولة في الهواء (المُتَفَطِّرة السُلِّيّة) عن طريق اللحوم غير المطبوخة جيدًا أو الحليب غير المبستر (المُتَفَطِّرة البقرية)
التوزيع العالمي	في جميع أنحاء العالم
فترة الحضانة	أسابيع قليلة أو حتى عدة سنوات
موقع عمل المسبب المرضي	العدوى الأولية في الرئتين، الأمراض الثانوية في الغدد اللمفاوية والعظام والأمعاء
المظاهر السريرية	سعال شديد، سعال الدم، ألم في الصدر، ضيق تنفس، حمّى، تعرق، فقدان وزن
طرائق التشخيص	الفحص الجزيئي السريع للكشف عن وجود DNA من المُتَفَطِّرة السُلِّيّة الفحص المجهري للبلغم للكشف عن البكتيريا صور أشعة للصدر زراعة البكتيريا على المدى الطويل (حتى 12 أسبوعًا)
الإصابات السنوية في جميع أنحاء العالم في عام 2021 م	10.6 ملايين (تقديرات WHO) 88% من الحالات بين البالغين، عدد الرجال (6 ملايين) ضعف عدد النساء (3.4 مليون) تقريبًا
معدل الوفيات السنوي في جميع أنحاء العالم في عام 2021 م	1.6 مليون، بمن فيهم 187000 وفاة لأشخاص +HIV (تقديرات WHO)

الجدول ٨-٥ خصائص مرض السُّلّ (TB).



الصورة ٨– ٨ مريض بـ (TB) يعالج في مستشفى في روسيا.

ومع ذلك، يمكن أن تنشط البكتيريا في وقت لاحق، ومن المرجح أن يحدث ذلك عندما يضعف الأشخاص نتيجة الإصابة بأمراض أخرى، كالمعاناة من سوء التغذية، والتدخين، والسكري، أو نتيجة لتناولهم كميات كبيرة من الكحول، أو الإصابة بـ (HIV). يعاني مَن لديهم الشكل النشط من (TB) في كثير من الأحيان مرضًا موهنًا لفترة طويلة، إذ يصابون بسعال مستمر، وتطلق الخلايا كجزء من دفاعهم، مركبات شبيهة بالهرمونات تسبب الحمى وتُفقد الشهية. فيفقد المصابون بـ (TB) الوزن، وغالبًا ما يبدون هزيلين (الصورة ٨–٨).

غالبًا ما يكون (TB) هو أول عدوى انتهازية تصيب الأشخاص (+HIV)، وقد تعيد عدوى (HIV) تنشيط العدوى الكامنة ببكتيريا المتفطرة السُّليّة التي يمكن أن تكون موجودة منذ الطفولة، أو تجعل الأشخاص غير المصابين عرضة للإصابة، حيث إن (TB) هو السبب الرئيسي للوفيات بين المتعايشين مع (HIV) ولذلك جرى متابعة جائحة (HIV) عن كثب مع جائحة (TB).

انتقال مرض (TB)

ينتشر (TB) عندما يقوم الأشخاص المصابون بالشكل النشط لـ (TB) بالسعال أو العطس فتنتقل البكتيريا النشطة في قطيرات صغيرة من السائل في الهواء. وعندما يستنشق الناس غير المصابين هذه القطيرات، يصابون بالعدوى وتكتمل دورة الانتقال. تنتشر العدوى بسرعة أكبر بين الأشخاص الذين يعيشون في أماكن مزدحمة؛ فالأشخاص الذين ينامون متقاربين بأعداد كبيرة معرضون للخطر أكثر من سواهم. ويهاجم المرض بالدرجة الأولى المشردين والناس الذين يعيشون في مساكن فقيرة دون المستوى، فهؤلاء الذين يعانون ضعف المناعة بسبب سوء التغذية والإصابة بـ (+HIV) معرَّضون للخطر بشكل خاص.

يحدث أحد أشكال (TB) الذي تسببه بكتيريا المُتَفَطِّرة البقرية أيضًا في الماشية، وينتقل إلى الإنسان في اللحوم والحليب. وتشير التقديرات بحدوث 800 000 حالة وفاة تقريبًا في المملكة المتحدة بين عامي 1850 و 1950م نتيجة الإصابة بشكل من أشكال (TB) انتقل من الماشية. كما يحدث عدد قليل من حالات الإصابة بـ (TB) بهذه الطريقة في البلدان المتطورة لأسباب توضح لاحقًا، على الرغم من أن اللحوم والحليب لا يزالان مصدرًا للعدوى في بعض البلدان النامية.

انخفض معدل الإصابة بـ (TB) في المملكة المتحدة بشكل كبير قبل إدخال اللقاح في خمسينيات القرن العشرين، نتيجة للتحسينات في ظروف السكن والنظام الغذائي. وجرى استخدام المضاد الحيوي ستربتومايسين Streptomycin في أربعينيات القرن نفسه، ما أدى إلى تسريع الانخفاض في معدل الإصابة بـ (TB). وقد تكرر هذا النمط في جميع أنحاء العالم المتطور.

وعلى الرغم من الاعتقاد أنه عمليًا، قد تم استئصال مرض (TB)، إلا أن هذا المرض آخذ بالازدياد، بحيث توجد معدلات مرتفعة من الإصابة في جميع البلدان النامية وروسيا والبلدان المجاورة. كما توجد معدلات مرتفعة من الإصابة في المدن التي يسكنها مهاجرون من البلدان التي يكون فيها (TB) أكثر شيوعًا؛ على سبيل المثال، توجد مناطق في لندن ترتفع فيها معدلات الإصابة بـ (TB) كثيرًا مقارنة ببقية المناطق في المملكة المتحدة، فمعدل الإصابة في هذه المناطق مرتفع كما هو في البلدان الأقل نموًّا اقتصاديًا، وتعود هذه الزيادة جزئيًا إلى العوامل الآتية:

- بعض سلالات البكتيريا مقاومة للأدوية.
- جائحة HIV/الإيدز.
- سوء السكن داخل المدن أو التشرد.
- انهيار برامج مكافحة (TB). فالعلاج الجزئي لـ (TB) يزيد من احتمال مقاومة البكتيريا المتفطرة للدواء.

علاج (TB)

عندما يعاين الطبيب لأول مرة شخصًا يُظهر أعراضًا محتملة لـ (TB) يطلب إجراء تحليل عيّنات من البلغم Sputum تؤخذ من الرئتين، ويمكن إجراء تحديد بكتيريا (TB) بسرعة عن طريق الفحص المجهري. وإذا تأكدت الإصابة فيجب عزل المرضى في المرحلة الأكثر خطورة (والتي تتراوح بين أسبوعين وأربعة أسابيع)، بخاصة إذا كانت إصابتهم بسلالة بكتيريوم مقاومة للأدوية. يتضمن العلاج استخدام عدة أدوية للتأكد من قتل جميع البكتيريا، لأنه إذا لم يتم قتلها، فستواصل السلالات المقاومة للدواء العدوى.



الصورة ٨-٩ برنامج DOTS لـ (WHO) قيد التطبيق: يتناول مرضى (TB) أدويتهم بإشراف عيادة مستشفى تومسك، روسيا. يساعد DOTS في الحد من انتشار سلالات (TB) المقاومة للأدوية المتعددة.

يكون العلاج طويل الأمد (ستة إلى عشرة أشهر أو أكثر)، لأن قتل البكتيريا يستغرق وقتًا، إذ إنها بطيئة النمو وليست حساسة جدًا للأدوية المستخدمة. ولسوء الحظ، لا يكمل الكثير من المصابين فترة العلاج لأنهم عندما يشعرون بتحسن، يعتقدون أنهم نالوا الشفاء. فقد يكون الناس الذين لا يكملون العلاج ملاذًا للبكتيريا المقاومة للدواء، وقد ينقلونها إلى الآخرين إذا أصبحت البكتيريا نشطة (انظر الموضوع ٨-٢ المضادات الحيوية لمزيد من المعلومات عن (TB) المقاوم للدواء).

تشجع (WHO) تطبيق خطة لضمان إكمال المرضى فترة تناول الدواء، إذ تتضمن الخطة برنامج DOTS (العلاج قصير الأمد تحت الإشراف المباشر Directly observed therapy, Short course) الذي يشمل العاملين الصحيين أو أفراد الأسرة المسؤولين، لضمان تناول المرضى لأدويتهم بانتظام لمدة ستة إلى ثمانية أشهر (الصورة ٨-٩). الأدوية المستخدمة على نطاق واسع هي أيزونيازيد Isoniazid وريفامبيسين Rifampicin، مع أدوية أخرى غالبًا. يشفي هذا العلاج الدوائي 95% من المرضى، ويضاعف من فاعلية استراتيجيات المعالجة الأخرى.

الوقاية من (TB)

يُعدّ (TB) مشكلة عالمية، لا سيما مع ظهور مقاومة للأدوية. لذلك، من المهم منع انتشار (TB) قبل حصول الإصابات واللجوء إلى المعالجة. حيث (TB) هو أحد الأسباب العشرة الأولى للوفيات في جميع أنحاء العالم. ومع ذلك، فإن غالبية الأشخاص الذين يصابون بـ (TB) في واحدة من ثمانية بلدان يبقون على قيد الحياة. يعيش نصف من يصابون بـ (TB) المقاوم للأدوية المتعددة (MDR-TB) تقريبًا في ثلاثة بلدان فقط؛ ومن الضروري تتبع المخالطين وإجراء الفحوصات اللاحقة للبكتيريا لمكافحته، وذلك بالكشف عن أية أعراض للعدوى، لكن قد يستغرق التشخيص حتى أسبوعين.

لقد جرى اختبار 12 لقاحًا لـ (TB) في عام واحد، لكن اللقاح الوحيد المتاح حاليًا هو اللقاح BCG، المشتق من المتطفرة البقرية، ويحمي حتى 70% - 80% من الناس الذي يتلقونه، إلا أن فاعلية اللقاح تنخفض مع التقدم في السن

ما لم يحدث تعرض لـ (TB) سابقًا. وتستخدم بلدان عديدة تكثر فيها أعداد مرضى (TB) اللقاح BCG لحماية الأطفال من الإصابة بالمرض. وفي عام 2021 م تلقى في سلطنة عمان 99% من الأطفال في عمر سنة واحدة لقاح BCG كجزء من برنامج التطعيم، إذ لا توجد لقاحات لحماية البالغين. يشار إلى أن سلطنة عُمان تعد من الدول ذات المعدل المنخفض في الإصابة بـ (TB)، وقد تناقص تدريجيًّا حتى وصل إلى 2% تقريبًا من مجموع السكان في السنوات العشر الماضية، وقد أطلقت المديرية العامة لمراقبة ومكافحة الأمراض، بالتعاون مع نخبة من المتخصّصين من مختلف المجالات المتعلقة بالوقاية والتشخيص والعلاج «الدليل الوطني للسُّلّ» تنفيذًا للاستراتيجية الوطنية للقضاء على هذا المرض. تهدف الاستراتيجية الوطنية للقضاء على (TB) إلى خفض نسبة الإصابة إلى 90%، وخفض الوفيات أيضًا بنسبة 95% مقارنةً بالوضع الوبائي لعام 2015 م.

يمكن أن ينتقل (TB) من الماشية إلى الإنسان، لذا يتم فحص الماشية بشكل روتيني لحماية الناس من الإصابة بهذا المرض، مع إتلاف أي إصابة يتم اكتشافها. وتموت بكتيريا (TB) عندما تتم بسترة الحليب. هذه الطرائق كانت فعالة، فقد خفضت معدل الإصابة بـ (TB) عند الإنسان الناجمة عن المتطفرة البقرية إلى حد كبير، بحيث أمكن القضاء عليه فعليًا في البلدان التي تطبق فيها طريقة المكافحة هذه.

أسئلة

(١٢) تجمع (WHO) البيانات عن تأثير (TB) من بلدان مختلفة في جميع أنحاء العالم، وقد نشرت التقديرات الآتية لبلد واحد من جنوب شرق آسيا. **كان عدد السكان في عام 2018 م، 69 مليونًا. وحدثت في البلد 106000 إصابة جديدة بـ (TB) في ذلك العام، وتبيّن أن 10% من هؤلاء مصابون بـ (HIV). وقد بلغ مجموع الوفيات في عام 2018 م بـ (TB) 11500.**

أ. اقترح كيف يجب أن تعالج البيانات عن هذا البلد لإجراء مقارنات دقيقة مع بيانات مشابهة من بلدان أخرى في العالم.

ب. اقترح البيانات التي يمكن جمعها لتقييم مدى نجاح برامج علاج (TB) في هذا البلد.

(١٣) اشرح سبب ارتفاع معدل الوفيات بـ (TB) في البلدان التي توجد فيها نسبة مرتفعة من السكان (+HIV).

(١٤) صف الاحتياطات التي يجب على الزائر اتخاذها عند السفر إلى بلد به معدل انتشار مرتفع لـ (TB).

٨-٢ المضادات الحيوية

مصطلحات علمية

المضاد الحيوي

Antibiotic: مادة مشتقة من كائن حي يمكنها قتل أو تثبيط نمو كائن حي دقيق.

المضاد الحيوي Antibiotic دواء يقتل البكتيريا أو يوقف نموها من دون أن يضر بخلايا الكائن الحي المصاب. المضادات الحيوية مشتقة من كائنات حية، على الرغم من أنها تصنع غالبًا بشكل أكثر فاعلية بواسطة عمليات كيميائية متنوعة. توجد مجموعة واسعة من المضادات الحيوية لعلاج العدوى البكتيرية، وتوجد أدوية أخرى اصطناعية (تصنع في المختبرات) مضادة للميكروبات مثل آيزونيازيد Isoniazid المستخدم في علاج (TB).

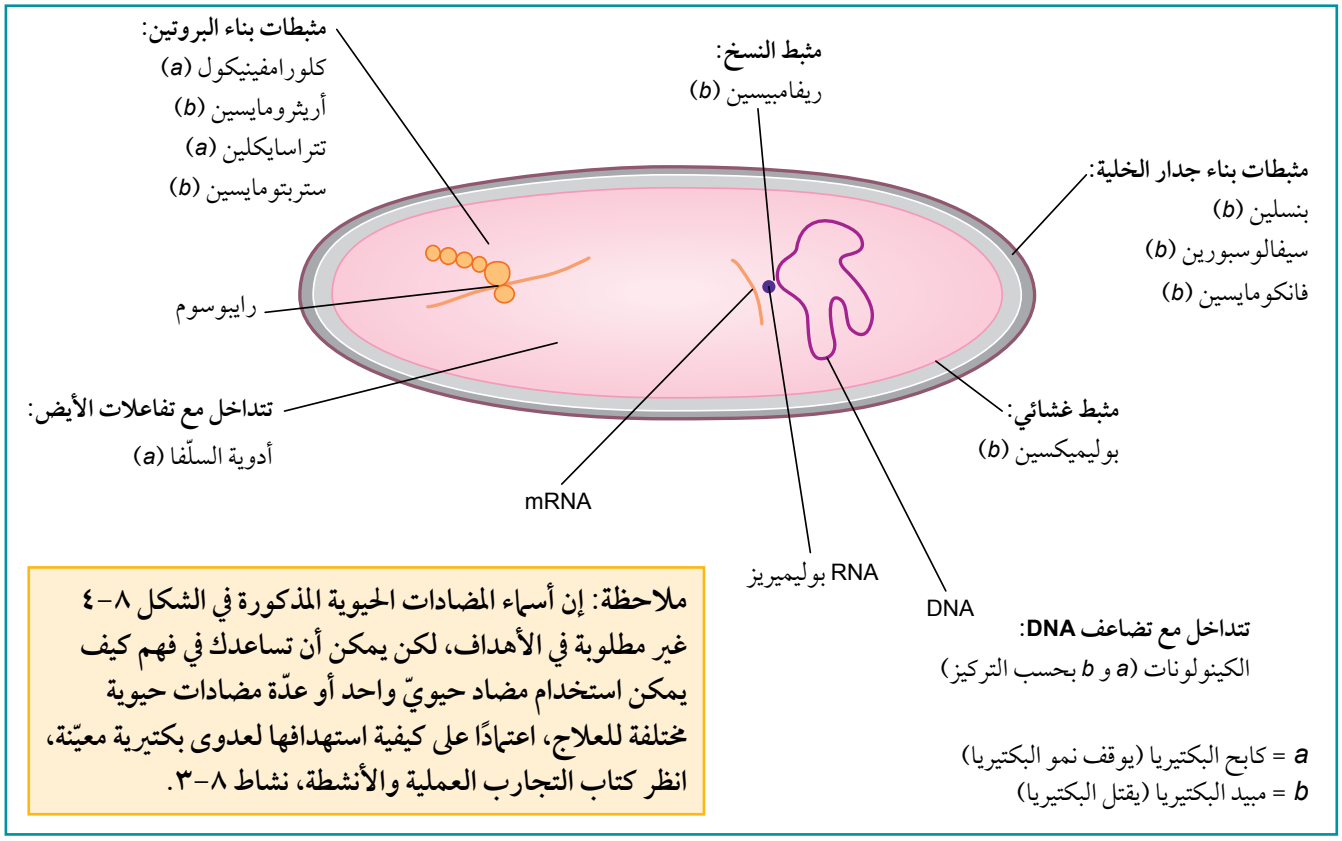
كيف تعمل المضادات الحيوية؟

تتداخل المضادات الحيوية مع بعض جوانب نمو أو أيض الغذاء للبكتيريا المستهدفة (الشكل ٨-٤). وتشمل:

- بناء جدران الخلايا البكتيرية.
- نشاط البروتينات في غشاء سطح الخلية (الصف ١١، الوحدة الخامسة).

- عمل الإنزيم (الصف ١١، الوحدة الثالثة).
- بناء DNA (الوحدة الأولى، الموضوع ١-٢، تضاعف DNA).
- بناء البروتين (الوحدة الأولى، الموضوع ١-٤، بناء البروتين).

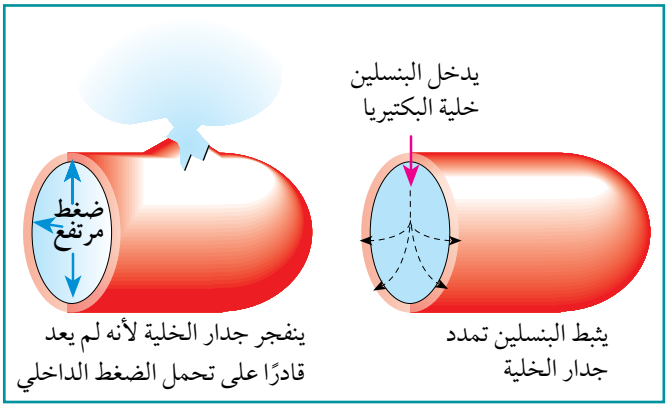
للخلايا البكتيرية جدران مكوّنة من ببتيدوجلايكان، وهي جزيئات طويلة تحتوي على ببتيدات (سلاسل من الأحماض الأمينية) والسكريات. تترابط سلاسل الببتيدوجلايكان في جدار الخلية البكتيرية ببعضها بروابط عرضية Cross-links تتكوّن فيما بينها. يمنع البنسلين بناء هذه الروابط العرضية بين سلاسل الببتيدوجلايكان في جدران خلايا البكتيريا عن طريق تثبيط الإنزيمات التي تبني هذه الروابط العرضية، ما يعني أن يكون البنسلين نشطًا فقط ضد البكتيريا أثناء نموها.



ملاحظة: إن أسماء المضادات الحيوية المذكورة في الشكل ٨-٤ غير مطلوبة في الأهداف، لكن يمكن أن تساعدك في فهم كيف يمكن استخدام مضاد حيويّ واحد أو عدّة مضادات حيوية مختلفة للعلاج، اعتمادًا على كيفية استهدافها لعدوى بكتيرية معيّنة، انظر كتاب التجارب العملية والأنشطة، نشاط ٨-٣.

الشكل ٨-٤ مواقع عمل المضادات الحيوية في البكتيريا.

عندما تنمو خلية بكتيرية حديثة التكوين تفرز إنزيمات تسمّى أوتوليزينات Autolysins تُحدث ثقوبًا صغيرة في جدارها الخلوي، فتوفر للجدار إمكانية التمدد بحيث يمكن لسلاسل الببتيدوجلايكان الجديدة أن تترابط ببعضها. يمنع البنسلين ارتباط سلاسل الببتيدوجلايكان معًا، لكن الأوتوليزينات تواصل إحداث ثقوب جديدة، وبالتالي يصبح جدار الخلية أضعف بشكل تدريجي ما يجعل الخلية غير قادرة على تحمّل ضغط الامتلاء الداخلي، فتنفجر (الشكل ٨-٥).



الشكل ٨-٥ آلية عمل البنسلين.

هذا يفسر سبب عدم تأثير البنسلين على خلايا الإنسان؛ فخلايا الإنسان لا تحتوي على جدران خلوية. وهذا يفسر أيضًا سبب عدم تأثير البنسلين والمضادات الحيوية الأخرى على الفيروسات التي لا تحتوي على خلايا ولا جدران خلوية، إذ لا تمتلك الفيروسات المواقع المستهدفة الموضحة في الشكل ٨-٤. على سبيل المثال، يستخدم الفيروس عندما يتضاعف آليات خلية العائل للنسخ والترجمة، ولا ترتبط المضادات الحيوية بالبروتينات التي تستخدمها الخلايا العائل في هذه العمليات. تحتوي الخلايا حقيقية النواة على بروتينات تختلف عن تلك الموجودة في البكتيريا، لذا لا تتأثر بهذه المضادات الحيوية. تستخدم أدوية أخرى لمكافحة العدوى الفيروسية، تسمى الأدوية المضادة للفيروسات، ويوجد عدد قليل منها مقارنة بالمضادات الحيوية.

سؤال

(١٥) اشرح: لماذا لا تكون المضادات الحيوية فاعلة ضد الفيروسات؟

مقاومة المضادات الحيوية

مصطلحات علمية

مقاومة المضادات الحيوية Antibiotic resistance: قدرة البكتيريا أو الفطريات على النمو بوجود مضاد حيوي، والذي يمكنه عادة إيقاف نموها أو قتلها. تنشأ مقاومة المضاد الحيوي بفعل طفرة، وتنتشر عند الإفراط في استخدام المضادات الحيوية.

أصبح البنسلين متاحًا لأول مرة لعلاج الأمراض في الأربعينات من القرن العشرين، واعتبر دواءً رائعًا يمكن استخدامه للقضاء على جميع الأمراض التي تسببها البكتيريا. بدا الأمر صحيحًا في البداية، لكن سرعان ما تبدلت المفاهيم وحلت مكانه مضادات حيوية أخرى مثل ستربتومايسين.

بعض أنواع البكتيريا ليست حساسة لمضادات حيوية معيّنة. فعلى سبيل المثال، البنسلين ليس فاعلًا ضد بكتيريا المُتَفَطِّرة السُلِّيّة. وهناك سلالات معيّنة من بين أنواع البكتيريا التي قتلها البنسلين لم تتأثر به وأصبحت مقاومة له. وفي خلال 70 عامًا من إدخال المضادات الحيوية في العلاج، أصبحت معظم البكتيريا الممرضة مقاومة لنوع واحد أو أكثر من المضادات الحيوية، لقد طورت **مقاومة للمضادات الحيوية Antibiotic resistance**.

لا يؤثر البنسلين في بكتيريا المُتَفَطِّرة السُلِّيّة، لأن جدار خلية هذه البكتيريا السميك ليس منفذًا جدًا، إضافة إلى وجود جين في هذه البكتيريا يشفر لإنزيم يحفز تكسير البنسلين. وتحتوي أغشية بعض أنواع البكتيريا الأخرى على بروتينات يمكنها تعطيل نشاط المضادات الحيوية فلا يكون لها أي تأثير. كما تحتوي أغشية البكتيريا أيضًا على بروتينات تضخ المضادات الحيوية التي تدخل السيتوبلازم إلى الخارج. وفي بعض الحالات، لا يستطيع المضاد الحيوي الارتباط بموقع العمل المستهدف في الخلية البكتيرية.

البكتيريا الحساسة للمضادات الحيوية هي بكتيريا معرضة لهذا المضاد الحيوي (أي أن المضاد الحيوي فعّالٌ ضدها)، وقد تصبح لها مقاومة إذا وجد فيها جين يشفر لبروتين يحميها منه.

تمتلك بكتيريا التربة العديد من آليات المقاومة، حيث إنها تنمو في بيئة يوجد فيها العديد من الجزيئات التي تتداخل مع عمليات أيضها. تشبه آليات المقاومة هذه كثيرًا تلك الموجودة في بعض البكتيريا الممرضة. لم تكن الإنزيمات بيتا (β)- لاكتاميز Beta (β)-lactamase شائعة بين البكتيريا المسببة للأمراض قبل ظهور المضادات الحيوية؛ وقد انتشرت جينات هذه الإنزيمات في العديد من أشكال البكتيريا المختلفة، ويعتقد أنها أتت من بكتيريا التربة.

يحتوي البنسلين على تركيب يمكن لإنزيمات بيتا(β)- لاكتاميز (بنسلينيز Penicillinase) تكسيره. وفي كثير من الأحيان تصبح البكتيريا المسبّبة للأمراض المعدية مقاومة للبنسلين لأنها اكتسبت الجينات التي تشفر لهذه الإنزيمات.

توجد جينات مقاومة المضادات الحيوية غالبًا في البلازميدات، والتي هي حلقات صغيرة من DNA المزدوج.

تنتقل البلازميدات كثيرًا من خلية بكتيرية إلى أخرى، حتى بين الأنواع المختلفة. ويحدث الانتقال أثناء عملية الاقتران، عندما تتكوّن أنبوبة بين خليتين بكتيريتين يمر عبرها البلازميد، من خلية مانحة إلى خلية مستقبلة. وبذلك، يمكن ظهور مقاومة لمضاد حيوي معيّن في نوع من البكتيريا ثم تنتقل إلى نوع آخر منه (انظر كتاب التجارب العملية والأنشطة، نشاط ٨-٣).

عواقب مقاومة المضادات الحيوية

مع إساءة استخدام المضادات الحيوية، تظهر باستمرار سلالات من البكتيريا مقاومة لهذه المضادات (الصورة ٨-١٠). وتزيد العدوى المقاومة للمضادات الحيوية من مخاطر الوفاة، وتستدعي علاجًا طويل الأمد في المستشفى، وتنذر بمضاعفات خطرة أحيانًا.

يخوض الإنسان سباقًا مستمرًا لتطوير مضادات حيوية جديدة، في ظل استمرار ظهور السلالات المقاومة.

تنتشر مقاومة المضادات الحيوية بسرعة بين أنواع البكتيريا المختلفة، مع انتشار استخدام المضادات الحيوية على نطاق واسع كما في المستشفيات أو المزارع. وقد تظهر المقاومة أولًا في بكتيريوم غير ممرضة، لكنها تنتقل بعد ذلك إلى الأنواع المسببة لهذه الأمراض. وقد تحتوي البكتيريا التي تعيش في بيئة تستخدم المضادات الحيوية بشكل واسع على بلازميدات تتضمن جينات مقاومة لعدة أنواع مختلفة من المضادات الحيوية، الأمر الذي يكسبها مقاومة متعددة. تسبب مثل هذه المقاومة مشكلات كبيرة للأطباء؛ فعلى سبيل المثال، أصبحت بكتيريا المكورة العنقودية الذهبية *Staphylococcus aureus* المقاومة للميثيسيلين Methicillin resistant (MRSA) تمثل مشكلة في المستشفيات في جميع أنحاء العالم، وفي سجون الولايات المتحدة الأمريكية، وهي الآن تصيب الناس بشكل عام. فبكتيريا MRSA تسبب عدوى خطرة بعد الجراحة، إذ تعالج غالبًا بالمضاد الحيوي فانكومايسين Vancomycin الذي يُعدّ الملاذ الأخير في علاج الأمراض المعدية، بعد أن يفشل كل علاج آخر، ويقلل بالتالي من احتمال ظهور المزيد من هذه الكائنات الحية المقاومة. وقد طورت بكتيريا أخرى شائعة في المستشفيات هي البكتيريا الكروية العنقودية المعوية *Enterococcus faecalis* مقاومة للمضاد الحيوي فانكومايسين، والتي انتقلت إلى MRSA.



الصورة ٨-١٠ تمثل المناطق الرمادية على هلام الآجار في طبق بتري مستعمرات لبكتيريا الإشريكية القولونية. الأقراص البيضاء مشبعة بمضادات حيوية مختلفة. وتمثل المناطق الصافية حول الأقراص مضادات حيوية تمنع نمو البكتيريا. ومع ذلك، يمكن ملاحظة أن سلالة الإشريكية القولونية هذه تقاوم اثنين من المضادات الحيوية على الأقراص في الأسفل، وأنها قادرة على النمو وصولًا إلى الأقراص.

(TB) المقاوم للأدوية

تم تحديد سلالات من المُتَفَطِّرة السُلِّيّة مقاومة للأدوية عندما بدأ العلاج بالمضادات الحيوية في الخمسينيات من القرن العشرين. تعمل المضادات الحيوية كعوامل انتقائية، حيث تقتل السلالات الحساسة للأدوية، وتترك تلك المقاومة لها. تحدث مقاومة الأدوية بفعل طفرة في DNA البكتيري، وهي حدث عشوائي يتكرر مرة تقريبًا من كل ألف بكتيريا. فعند استخدام ثلاثة أدوية معًا في العلاج ينخفض احتمال حدوث المقاومة لجميع هذه الأدوية الثلاثة الناشئة عن طريق الطفرة إلى واحد من كل ألف مليون. ويقل الاحتمال إلى واحد بالبليون عند استخدام أربعة أدوية معًا. إذا لم تتم معالجة (TB)، أو توقف المريض عن تناول العلاج قبل القضاء على جميع البكتيريا تمامًا، فسوف تنتشر البكتيريا في كل الجسم، ما يؤدي إلى زيادة احتمال ظهور الطفرات، مع بقاء البكتيريا لفترة طويلة وتكاثرها. فوقف العلاج في وقت مبكر يعني أن بكتيريا المُتَفَطِّرة السُلِّيّة تُطوِّر مقاومة لجميع الأدوية المستخدمة. ويكون الناس الذين لا يكملون فترة العلاج أكثر احتمالًا لنقل عدوى (TB) المقاومة للأدوية للآخرين. ويقدر أن شخصًا واحدًا ينقل المرض إلى 10–15 شخصًا آخر، بخاصة إذا كان الشخص يعيش في أماكن مزدحمة.

توجد الآن سلالات (TB) المقاوم للأدوية المتعددة Multiple-drug-resistant (MDR-TB)، والتي تقاوم دواءَين رئيسيين على الأقل يستخدمان في علاج (TB) هما أيزونيازيد وريفامبيسين، وهما من خط العلاج الدوائي الأول. وقد ظهر أيضًا (TB) المقاوم للأدوية على نطاق واسع Extensively drug-resistant (XDR-TB) كتهديد خطر جدًا على الصحة، بخاصة للأشخاص المصابين بـ (+HIV) فسلالات (XDR-TB) مقاومة لأدوية الخط الأول المضادة لـ (TB) وللأدوية المستخدمة في علاج (MDR-TB). وهذه السلّالات المقاومة لـ (TB) لا تستجيب لفترة العلاج القياسية لمدة ستة أشهر بأدوية الخط الأول المضادة لـ (TB)، ويمكن أن يستغرق علاجها بالأدوية الأقل فاعلية والأكثر كلفة بكثير مدة عامين أو أكثر. يستغرق علاج (MDR-TB) وقتًا أطول، ويستخدم أدوية أكثر سمية وأغلى ثمنًا. ويتوافر الآن دواء جديد لعلاج (MDR-TB) يسمى بيداكويلين Bedaquiline.

يمثل (TB) المقاوم للأدوية أزمة صحية عامة، ويشار إلى أن 450 000 شخص في جميع أنحاء العالم، طوروا في عام 2021 م (TB) المقاوم لريفامبيسين (RR-TB)، وهو الدواء الأكثر فاعلية حاليًا. ولا شك أن 3.6% تقريبًا من حالات (TB) الجديدة و 18% من حالات (TB) الموجودة في عام 2021 م، كانت لأشخاص مصابين بـ (RR-TB) أو (MDR-TB). وهذا يزيد عن تقديرات العام السابق، وقد يكون راجعًا إلى الزيادة في العدد الإجمالي لحالات (TB) في عام 2021 م بعد تأثير جائحة كوفيد–19 على كشف حالات (TB).

وأظهرت نتائج دراسة مراجعة منهجية نشرتها مجلة عمان الطبية التابعة للمجلس العماني للاختصاصات الطبية، في 2022 م عن فاعلية وسلامة نظام قصير المدى في علاج (MDR-TB)، من حيث معدل نجاح العلاج وقصر مدة العلاج. ويُعدّ آمنًا نسبيًا وله آثار جانبية ضئيلة يتحمّلها معظم المرضى.

أسئلة

١٦ صف الطرائق التي يمكن للبكتيريا فيها مقاومة تأثيرات المضادات الحيوية.

١٧ اقترح سبب اكتساب الكائن الحي مقاومة للعديد من المضادات الحيوية في المستشفيات، وشيوعها في السجون.

التقليل من تأثير مقاومة المضادات الحيوية

يجب اختيار المضادات الحيوية بعناية، ويضمن اختبار هذه المضادات ضد سلالة البكتيريا المأخوذة من الناس أنه يمكن استخدام المضاد الحيوي الأكثر فاعلية في العلاج.

يبدو أن البكتيريا تطور مقاومة لأي مضادات حيوية يجري تطويرها. ويترتب على ذلك إجراء أبحاث مستمرة للتوصل إلى مضادات حيوية جديدة، بخاصة تلك التي تعمل بطريقة مختلفة تمامًا عن المضادات الحيوية المستخدمة حاليًا.

لحسن الحظ، ربما لا تكون البكتيريوم المقاومة لمضاد حيوي معيّن، قادرة على مقاومته عند إجراء تغيير طفيف في تركيبه الكيميائي. فالكيميائيون يستطيعون صنع مثل هذه المضادات الحيوية شبه الاصطناعية لتوسيع النطاق المتاح. لكن، يعتقد العديد من الخبراء أنه لا يمكن مواكبة ذلك، وأنه لن توجد قريبًا مضادات حيوية متبقية لعلاج الأمراض. وهذه الحال سرعان ما تتطور مع الالتهاب الرئوي وتسمم الدم والسيلان وبعض أشكال (TB).

من الواضح أنه يجب محاولة تقليل عدد الظروف التي تطور فيها البكتيريا مقاومة للمضادات الحيوية. تشمل بعض الطرائق التي يمكن اتباعها ما يأتي:

- استخدام المضادات الحيوية فقط عند الحاجة، وعدم وصفها للعدوى الفيروسية.
- تقليص عدد البلدان التي تباع فيها المضادات الحيوية بدون وصفة طبية.
- تجنب استخدام ما يسمى المضادات الحيوية واسعة الطيف Wide-spectrum antibiotics، واستخدام مضاد حيوي لعدوى محددة (يسمى ضيق الطيف Narrow spectrum).
- التأكد من إكمال المرضى لفترة العلاج، وهذا ضروري في حالة علاج (TB).
- التأكد من عدم الاحتفاظ بالمضادات الحيوية غير المستخدمة للتداوي الذاتي مستقبلًا أو لإعطائها لشخص آخر.
- تغيير نوع المضادات الحيوية الموصوفة لأمراض معيّنة بحيث لا يوصف دائمًا نفس المضاد الحيوي للمرض نفسه.
- تجنب استخدام المضادات الحيوية في الزراعة لمنع العدوى، بدلًا من علاجها.

أسئلة

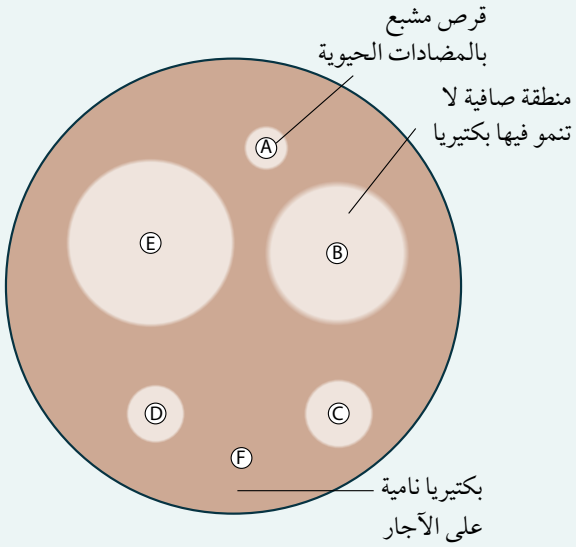
(١٨) اقترح كيف يخفض كل ممّا يأتي احتمال تطور سلالة بكتيريا مقاومة للمضادات الحيوية:

أ. حصر استخدام المضادات الحيوية في الحالات التي تحتاج إليها فعلًا.

ب. تغيير نوع المضادات الحيوية التي توصف لمرض معيّن بانتظام.

ج. استخدام نوعين أو أكثر من المضادات الحيوية معًا لعلاج العدوى البكتيرية.

(١٩) يبيّن الشكل ٨-٦ نتائج اختبار حساسية مضاد حيوي أجري على سلالة مسبب مرضي من بكتيريا أمعاء الإنسان الإشريكية القولونية *Escherichia coli O157*.



الشكل ٨- ٦ اختبار حساسية المضادات الحيوية لسلالة من الإشريكية القولونية *E. coli*. المسببة للمرض.

جمعت البكتيريا من البراز والطعام والماء وتمّت تنميتها في وسط من آجار. ثم وضعت أقراص من ورق ترشيح مشبعة بمضادات حيوية مختلفة على طبق الآجار. بعد ذلك تم احتضان الطبق في حاضنة، وقيست أقطار مناطق التثبيط التي لا تنمو فيها بكتيريا.

إذا كان قطر منطقة التثبيط لمضاد حيوي يساوي أو أقل من (≤) الرقم الوارد في العمود الأول من الجدول ٨-٦، تكون البكتيريا مقاومة له. وإذا كان القطر يساوي أو أكبر من (≤) الرقم في العمود الثاني، تكون البكتيريا حساسة، ويمكن اختيار المضاد الحيوي للعلاج.

أي من المضادات الحيوية في الشكل ٨-٦ والجدول ٨-٦ سيتم اختياره لعلاج مريض بسلالة الإشريكية القولونية *O157* الممرضة؟ اشرح إجابتك.

المضاد الحيوي	قطر منطقة التثبيط/ mm	
	مقاومة	حساسة
A	≤ 11	≥ 14
B	≤ 12	≥ 18
C	≤ 9	≥ 14
D	≤ 11	≥ 22
E	≤ 12	≥ 15
F	≤ 14	≥ 19

يبيّن الجدول ٨-٦ أقطار مناطق التثبيط للمضادات الحيوية التي جرى اختبارها في الشكل ٨-٦.

٨-٣ الدفاعات ضد المرض

نظام الدفاع الخارجي

توجد في جسم الإنسان مجموعة متنوعة من الآليات لحمايته من الأمراض المعدية. فالعديد من المسببات المرضية لا تضر الإنسان إذا كان بصحة جيدة، إذا تتوفر في جسمه دفاعات فيزيائية وكيميائية وخلوية تمنع دخولها؛ على سبيل المثال، يمثل النسيج الطلائي الذي يغطي المجرى التنفسي عائقًا فاعلًا أمام دخول المسببات المرضية، ويقتل حمض الهيدروكلوريك في المعدة الكثير من البكتيريا التي تدخل مع الطعام والشراب، ويمثل تخثر الدم آلية دفاع توقف فقدان الدم وتمنع دخول المسببات المرضية من خلال جروح الجلد.

مصطلحات علمية

جهاز المناعة Immune system: جهاز الدفاع الداخلي للجسم.

أنتيجين Antigen: مادة غريبة عن الجسم تحفز الاستجابة المناعية (على سبيل المثال، أي جزيء كبير مثل البروتين).

نظام الدفاع الداخلي

يمكن أن تمر المسببات المرضية في بعض الأحيان من خلال نظام الدفاع الخارجي وتدخل الوسط الداخلي للجسم. هنا، يبدأ نظام الدفاع الداخلي في محاربة المسبب المرضي.

تميز خلايا الدم البيضاء أي مسبب مرضي يدخل الجسم باعتباره جسمًا غريبًا فتدمره. لقد تعرفت تركيب خلايا الدم البيضاء في الصف الحادي عشر، الوحدة الثامنة، النقل في الثدييات.

خلايا الدم البيضاء جزء من **جهاز المناعة Immune system**، وهي تميز المسببات المرضية عن طريق الجزيئات الكبيرة المميزة التي تغطي سطح المسبب المرضي. تشمل هذه الجزيئات البروتينات والبروتينات السكرية والدهون السكرية وعديدات التسكر والسموم والفضلات التي تنتجها بعض المسببات المرضية. فأي جزيء يميزه الجسم كجسم غريب يسمى **أنتيجين Antigen**.

يوجد نوعان من خلايا الدم البيضاء: **الخلايا البلعمية Phagocytes**، و**الخلايا اللمفاوية Lymphocytes**. وقبل التعرف على وظائفها بالتفصيل، سيكون من المفيد التطرق إلى مثال على الاستجابة المناعية عند الإنسان. يقدم هذا المثال ميزات أخرى مهمة لجهاز المناعة وهي: القدرة على التمييز بين **الأنتيجين الذاتي Self antigen** و **الأنتيجين غير الذاتي Non-self antigen**، وعلى إنتاج الأجسام المضادة. **الأجسام المضادة Antibodies** هي جزيئات بروتينية سكرية تعمل ضد أنتيجينات معيّنة.

على سطح خلايا كل شخص جزيئات لا توجد لدى أي شخص آخر، أو حتى أي كائن حي آخر. وتسمى هذه الجزيئات غالبًا أنتيجينات غشاء سطح الخلية. وعلى الرغم من أن هذه الإنتيجينات لا تحفز إنتاج أجسام مضادة، إلا أنها قد تقوم بذلك إذا دخلت جسم أي شخص آخر. أنتيجينات غشاء سطح الخلية لفصائل دم الإنسان ABO هي مثال جيد على ذلك. فالشخص الذي فصيلة دمه A، لديه على خلايا الدم الحمراء سلسلة كربوهيدرات معيّنة على الدهون السكرية والبروتينات السكرية، لا توجد على خلايا الدم الحمراء للشخص الذي فصيلة دمه B. فإذا أعطي دم من الفصيلة A لشخص فصيلة دمه B في عملية نقل دم، فسيتعرف جهاز المناعة للمتلقي على خلايا الدم الحمراء على أنها غريبة، ويبدأ بإنتاج الأجسام المضادة لها. ويعود ذلك إلى أن جهاز مناعة المتلقي ميّز أنتيجينات على خلايا الدم من الفصيلة A على أنها أنتيجينات غير ذاتية. بالمقابل، إذا استُخدم دم من شخص فصيلة دمه B في عملية نقل الدم كما ينبغي أن يكون، فسيميز جهاز مناعة المتلقي الأنتيجينات على سطح خلايا الدم الحمراء على أنها أنتيجينات ذاتية ولا تنتج أجسامًا مضادة.

تسمى استجابة الخلايا اللمفاوية لوجود أنتيجين غريب **الاستجابة المناعية Immune response**. تستجيب الخلايا اللمفاوية في بعض الحالات بإنتاج الأجسام المضادة، وتستجيب في حالات أخرى بقتل الخلايا التي أصيبت بمسببات مرضية.

سؤال

(٢٠) أ. غالبًا ما يتم الخلط بين الأجسام المضادة والمضادات الحيوية. اذكر الاختلافات بينهما.

ب. اشرح سبب تمييز خلايا الدم الحمراء على أنها أنتيجينات ذاتية أو أنتيجينات غير ذاتية باستخدام نظام فصائل الدم ABO كمثال.

ج. اشرح: لماذا لا يتم إعطاء دم من فصيلة دم B إلى شخص فصيلة دمه A أثناء نقل الدم؟

مصطلحات علمية

الخلية البلعمية Phagocyte: خلية دم بيضاء تدمر الكائنات الحية الدقيقة الغازية عن طريق البلعمة. يوجد نوعان منها: خلايا الدم البيضاء المتعادلة والخلايا البلعمية الكبيرة.

الخلية اللمفاوية Lymphocyte: خلية دم بيضاء تحتوي على نواة تكاد تملأ الخلية، وتستجيب للأنتيجينات وتساعد في تدمير الأنتيجينات أو التراكيب التي تحملها.

الأنتيجين الذاتي Self antigen: يشير إلى المواد التي ينتجها الجسم ولا يميزها جهاز المناعة على أنها غريبة، لذا لا تحفز استجابة مناعية.

الأنتيجين غير الذاتي Non- self antigen: يشير إلى أي مادة أو خلية يميزها جهاز المناعة على أنها غريبة وتحفز استجابة مناعية.

الجسم المضاد Antibody: بروتين سكري تُنتجه خلايا لمفاوية متخصصة استجابة لوجود أنتيجين معيّن، ولكل نوع من جزيئات الأجسام المضادة شكل مكمل للأنتيجين المتخصص له.

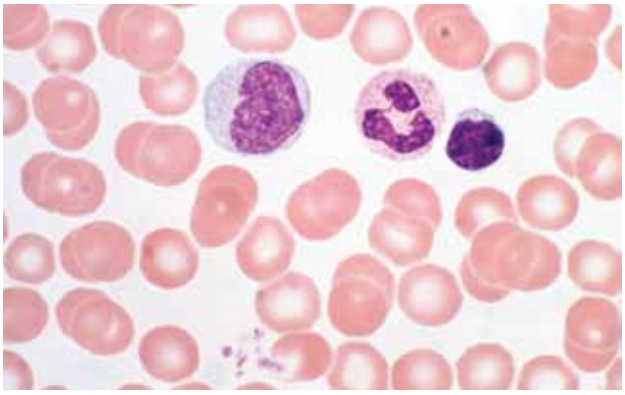
الاستجابة المناعية Immune response: سلسلة معقدة من استجابات الجسم لدخول أنتيجين غريب، ويتضمن نشاط الخلايا اللمفاوية والخلايا البلعمية.

٨-٤ خلايا جهاز المناعة

تنتج خلايا جهاز المناعة من خلايا جذعية في نخاع العظم. توجد مجموعتان من هذه الخلايا تشارك في الدفاع:

- الخلايا البلعمية (خلايا الدم البيضاء المتعادلة والخلايا البلعمية الكبيرة).
- الخلايا اللمفاوية.

يمكن مشاهدة جميع هذه الخلايا بين خلايا الدم الحمراء عند صبغ مسحة دم لإظهار النوى (الصورة ٨-١١).



الصورة ٨-١١ يبدو في مسحة الدم التي صورت بالمجهر الضوئي خلية وحيدة النواة (إلى اليسار) ستتطور إلى خلية بلعمية كبيرة، وخلية دم بيضاء متعادلة (في المركز)، وخلية لمفاوية (إلى اليمين)، إضافة إلى خلايا الدم الحمراء. يحتوي سيتوبلازم خلايا الدم البيضاء المتعادلة على فجوات ممتلئة بإنزيمات التحلل المائي (x1000).

الخلايا البلعمية

تنتج الخلايا البلعمية Phagocytes طوال الحياة في نخاع العظم، وهي تخزن فيه قبل أن تنتشر في جميع أنحاء الجسم عبر الدم. وهذه الخلايا، تزيل الخلايا الميتة والكائنات الحية الدقيقة الغازية.

خلايا الدم البيضاء المتعادلة Neutrophils نوع من الخلايا البلعمية تشكل 60% تقريبًا من عدد خلايا الدم البيضاء في الدم (الصورتان ٨-١١ و ٨-١٢). تنتقل هذه الخلايا في جميع أنحاء الجسم، وغالبًا ما تغادر الدم عن طريق انضغاطها عبر جدران الشعيرات الدموية لتمر عبر الأنسجة لتبتلع أي مسبب مرضي تجده. وأثناء الإصابة بالعدوى، يتم إطلاق خلايا الدم البيضاء المتعادلة من مخازنها بأعداد كبيرة، لكنها خلايا قصيرة العمر.

الخلايا البلعمية الكبيرة Macrophages هي أيضًا خلايا بلعمية، لكنها أكبر من خلايا الدم البيضاء المتعادلة. توجد غالبًا في أعضاء مثل الرئتين والكبد والطحال والكُلية والعقد اللمفاوية، بدلًا من بقائها في الدم. بعد أن تتكوّن الخلايا البلعمية الكبيرة في نخاع العظم تنتقل في الدم على شكل خلايا وحيدة النواة Monocytes (الصورة ٨-١١)، التي تتطور إلى خلايا بلعمية كبيرة عند مغادرتها الدم والاستقرار في الأعضاء، لتزيل أي مادة غريبة تجدها فيها.

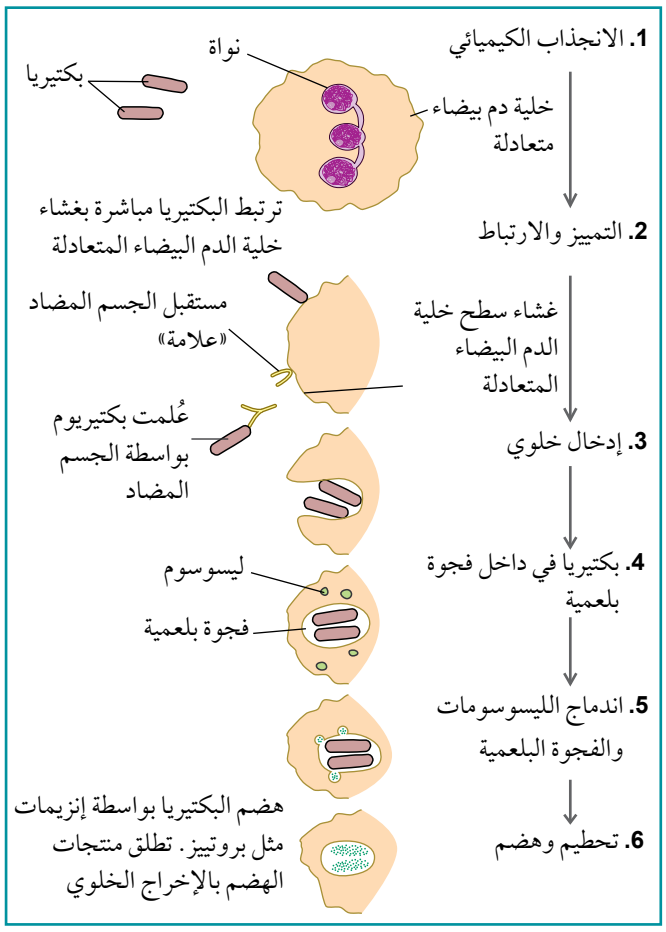
الخلايا البلعمية الكبيرة طويلة العمر تؤدي دورًا حاسمًا في بدء الاستجابات المناعية، لكنها لا تدمر المسبّبات المرضية تمامًا، بل تقطعها لإبراز الأنتيجينات التي يمكن أن تميزها الخلايا اللمفاوية.

البلعمة

عندما تغزو المسببات المرضية الجسم وتتسبب في حدوث عدوى، تستجيب بعض الخلايا التي تعرضت للغزو بإطلاق مواد كيميائية مثل الهستامين. وتجذب هذه المواد – مع المواد الكيميائية التي يمكن أن تطلقها المسببات المرضية نفسها – خلايا الدم البيضاء المتعادلة التي قد تكون قريبة إلى الموقع (تسمى هذه الحركة باتجاه المنبّه الكيميائي، الانجذاب الكيميائي Chemotaxis)، فتدمر خلايا الدم البيضاء المتعادلة المسببات المرضية عن طريق البلعمة (الشكل ٨-٧).

تتحرك خلايا الدم البيضاء المتعادلة باتجاه المسببات المرضية، والتي يتم تجميعها معًا وإحاطتها بالأجسام المضادة ليسهل ابتلاعها. وتحفز الأجسام المضادة أيضًا خلايا الدم البيضاء المتعادلة لتهاجم المسببات المرضية، ويعود ذلك إلى وجود بروتينات مستقبلة على سطح خلايا الدم البيضاء المتعادلة تميز الأجسام المضادة وترتبط بها؛ عندها يبتلع غشاء سطح خلية الدم البيضاء المتعادلة المسببات المرضية، وتحتجزها داخل فجوة بلعمية في عملية تسمى الإدخال الخلوي Endocytosis. ثم تندمج الليسوسومات مع الفجوات البلعمية مطلقة إنزيمات تحطم المسببات المرضية.

عمر خلايا الدم البيضاء المتعادلة قصير، إذ تموت بعد قتل وهضم بعض المسببات المرضية، وغالبًا ما تتجمع خلايا الدم البيضاء المتعادلة الميتة في موقع الإصابة على شكل صديد.



الشكل ٨-٧ مراحل البلعمة. لم يرسم الجسم المضاد ومستقبل الجسم المضاد بالمقياس نفسه لباقي الرسم التخطيطي.

أسئلة

(٢١) صف الاختلافات بين خلية الدم البيضاء المتعادلة والخلية اللمفاوية كما تراهما في الصورة ٨-١١.

(٢٢) احسب من الصورة ٨-١٢ العرض الحقيقي لـ:

أ. خلية بكتيرية واحدة.

ب. خلية الدم البيضاء المتعادلة على يمين الصورة المجهرية الإلكترونية.

(٢٣) اذكر كيف يمكن تحديد الخلايا في الصورة ٨-١٢ على أنها خلايا دم بيضاء متعادلة.



الصورة ٨-١٢ صورة مجهرية إلكترونية (النافذ) لخليتَي دم بيضاء متعادلتَين ابتلعتا عدة خلايا من بكتيريا المكورات العنقودية (x6000). تبدو في أقصى اليمين خلية بكتيريا على وشك أن تُبتلع. قارن هذه الصورة مع الشكل ٨-٧.

الخلايا اللمفاوية

الخلايا اللمفاوية أصغر من الخلايا البلعمية، وتحتوي على نواة كبيرة تملأ معظم الخلية (الصورة ٨-١١). يوجد نوعان من الخلايا اللمفاوية، تنتجان في نخاع العظم قبل الولادة:

- الخلايا اللمفاوية البائية B-lymphocytes (خلايا B) تبقى في نخاع العظم وتنضج فيه، ثم تنتشر في جميع أنحاء الجسم، وتتركز في العقد اللمفاوية والطحال.
- الخلايا اللمفاوية التائية T-lymphocytes (خلايا T) تغادر نخاع العظم وتتجمع في الغدة الزعترية (الثيموسية) حيث تنضج. تقع الغدة الزعترية في الصدر، أسفل عظم القص مباشرة. ويتضاعف حجمها بين الولادة والبلوغ، وتعود لتتكمش بعد البلوغ.

تستطيع الخلايا اللمفاوية الناضجة فقط القيام باستجابة مناعية، وتتطور خلال عملية النضوج فينتج الكثير من أنواع الخلايا اللمفاوية البائية والتائية، إلى ما يقارب عدة ملايين. ويكون كل نوع متخصصًا للاستجابة إلى أنتيجين واحد، ما يوفر لجهاز المناعة القدرة على الاستجابة لأي نوع من المسببات المرضية قد يدخل الجسم. وعند النضج، جميع هذه الخلايا البائية والتائية تدور متنقلة بين الدم واللمف، ما يضمن توزيعها في جميع أنحاء الجسم بحيث تكون على تلامس مع أي مسبب مرضي ومع بعضها.

تعتمد الاستجابة المناعية على تفاعل الخلايا البائية والخلايا التائية بعضها مع بعض لتحقيق دفاع فاعل. ستتعرف بالتفصيل إلى أدوار الخلايا البائية والخلايا التائية وكيفية تفاعلها في الموضوعات التالية. وبشكل مختصر، تنسق بعض الخلايا التائية استجابة مناعية تحفز الخلايا البائية على الانقسام وإفراز الأجسام المضادة إلى الدم. تميز الأجسام المضادة الأنتيجينات على المسببات المرضية وتساعد على تدميرها، وتبحث خلايا تائية أخرى عن أي خلايا جسمية مصابة بمسببات مرضية وتقتلها. ولكي تقوم بذلك عليها أن تكون على تماس مباشر مع الخلايا المصابة.

سؤال

(٢٤) اشرح الاختلاف بين المسبب المرضي والأنتيجين.

الخلايا اللمفاوية البائية

تكتسب كل خلية بائية عند نضجها القدرة على تكوين نوع واحد فقط من الأجسام المضادة. يتطور العديد من الأنواع المختلفة من الخلايا البائية في جسم كل إنسان، وبعدد قد يصل إلى 10 ملايين. وتتغير الجينات التي تشفر للأجسام المضادة المختلفة أثناء نضج الخلايا البائية بعدة طرائق لتشفر للأجسام المضادة المختلفة، ثم تنقسم كل خلية لينتج عدد صغير من الخلايا القادرة على تكوين النوع نفسه من الأجسام المضادة. وكل مجموعة صغيرة من الخلايا المتطابقة تسمى نسيلة Clone، بحيث تستخدم كل خلية بائية في هذه المرحلة جزءًا من جزيء الجسم المضاد لتكوين مستقبلات في غشاء سطح الخلية. قد ترتبط مستقبلات الخلايا البائية هذه مع أنتيجين واحد معيّن، وإذا دخل الأنتيجين الجسم، فسيكون هناك بعض الخلايا البائية الناضجة مع مستقبلات على سطح الخلية لتمييزه (الشكل ٨-٨).

يبيّن الشكل ٨-٩ ما يحدث للخلايا البائية أثناء الاستجابة المناعية عندما يدخل أنتيجين إلى الجسم مرتين منفصلتين. فعندما يدخل أنتيجين الجسم لأول مرة، تحفز الأعداد الصغيرة من الخلايا البائية التي تحتوي على مستقبلات غشاء الخلية المكملة للأنتيجين، لتنقسم عن طريق الانقسام المتساوي. تعرف هذه المرحلة باسم **الانتقاء النسيلي Clonal selection**. النسيلة الصغيرة من الخلايا مع المستقبلات الخاصة بأنتيجين المسبب المرضي على سطحها، تنقسم بشكل متكرر بالانقسامات المتساوية في مرحلة تسمى **التوسع النسيلي Clonal expansion**، بحيث تَنتج أعداد كبيرة من الخلايا البائية في غضون أسابيع قليلة.

أسئلة

(٢٥) يعتقد بعض الناس أن المسببات المرضية في الاستجابة المناعية تختار الخلايا اللمفاوية التي ستدمرها. هل تتفق مع هذا الاعتقاد؟ ولماذا؟

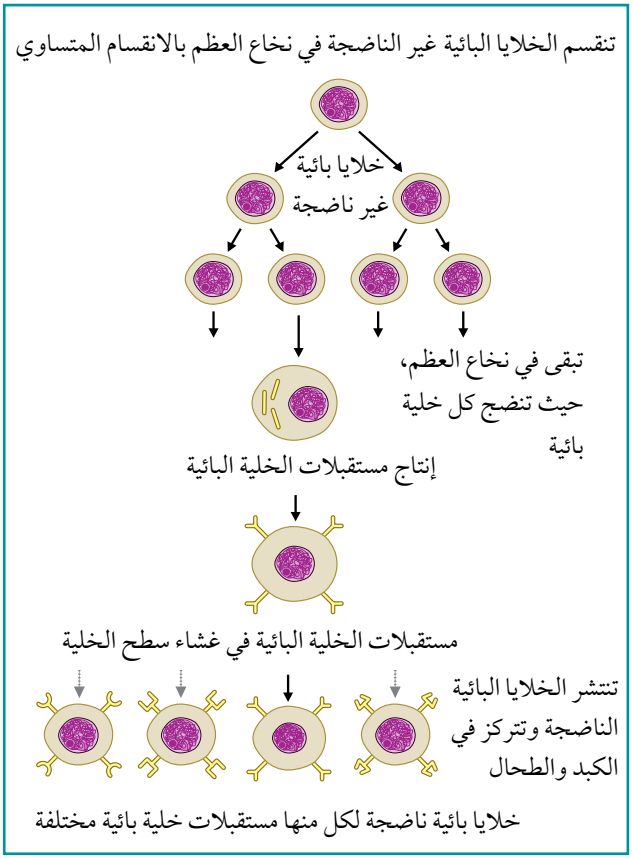
(٢٦) لم ترسم المستقبلات الموجودة على سطح الخلايا البائية الناضجة المبيّنة في الشكل ٨-٨ بحسب المقياس. لا تشاهد المستقبلات على أسطح الخلايا بهذا التكبير، لكن يمكن أن تشاهد في الرسوم التخطيطية مثل هذا الرسم. ناقش مع زملائك سبب وجود نوع واحد فقط من مستقبلات خلايا B في كل نسيلة.

(٢٧) غالبًا ما تفيد المقارنات في العلوم، إذ يستخدم التشبيه لمحاولة شرح موضوع غير مألوف بمقارنته بشيء مألوف أكثر، على سبيل المثال يقارن عمل القلب بمضخة. حاول التفكير بتشبيه لشرح الانتقاء النسيلي.

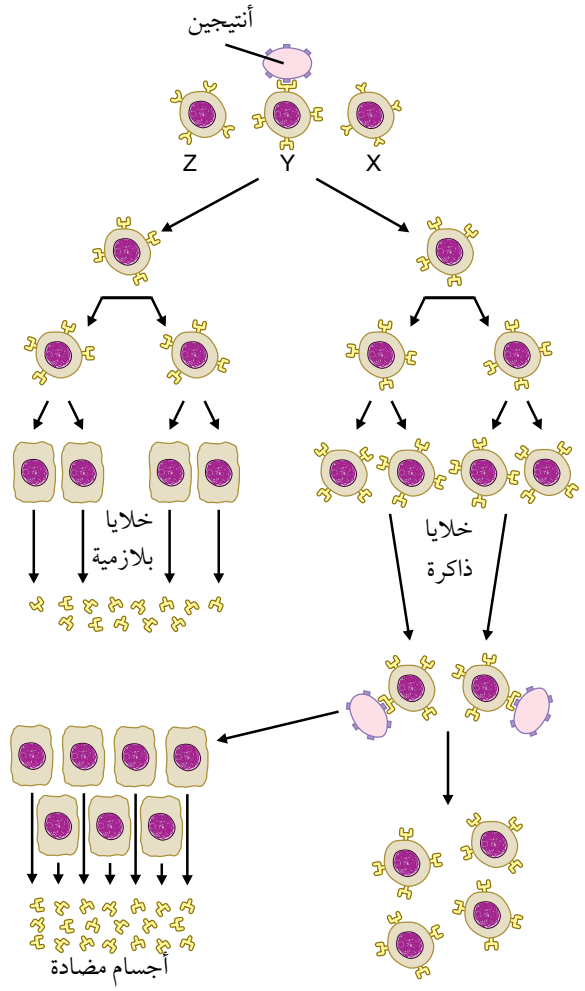
مصطلحات علمية

الانتقاء النسيلي Clonal selection: خلايا لمفاوية مفردة مع مستقبلات على سطح الخلية خاصة لنوع واحد من الأنتيجينات. يتم تحديد هذا التخصص عندما تنضج الخلايا اللمفاوية وقبل دخول الأنتيجين إلى الجسم (الخلايا اللمفاوية الوحيدة التي تستجيب أثناء الاستجابة المناعية هي تلك التي تحمل مستقبلات معيّنة بالأنتيجينات على سطح المسبب المرضي الغازي).

التوسع النسيلي Clonal expansion: الزيادة في عدد نسيلات خلايا لمفاوية معيّنة بالانقسام المتساوي أثناء الاستجابة المناعية.



الشكل ٨-٨ أصل ونضج الخلايا اللمفاوية البائية. عندما تنضج الخلايا في نخاع العظم تصبح قادرة على إفراز نوع واحد من جزيئات الأجسام المضادة ذات شكل محدد. تصبح بعض هذه الجزيئات بروتينات مستقبلة في غشاء سطح الخلية وتعمل كعلامات تمييز. وعند ولادة الطفل، يكون هناك ملايين من الخلايا البائية المختلفة، بكل منها مستقبلات خلية بائية معيّنة. يبيّن الرسم التخطيطي أربعة من هذه المستقبلات فقط.



1. خلية واحدة فقط من هذه الخلايا البائية تحتوي على مستقبل سطح خلية بائية، وهو متخصص بشكل الأنتيجين الذي دخل الجسم.

2. تنقسم الخلية البائية المتخصصة بالانقسام المتساوي. وتتمايز بعض الخلايا الناتجة إلى خلايا بلازمية، ويتمايز بعضها الآخر إلى خلايا ذاكرة.

3. تفرز الخلايا البلازمية أجسامًا مضادة ترتبط بشكل خاص مع الأنتيجين الذي دخل الجسم.

في وقت لاحق...

4. يدخل الأنتيجين الجسم للمرة الثانية، فتستجيب خلايا الذاكرة التي نتجت أثناء المرحلة (2)، وتنقسم لتنتج خلايا بلازمية تفرز أجسامًا مضادة. تكون الاستجابة في المرحلة (4) أسرع بكثير من المراحل 1–3 لوجود العديد من خلايا الذاكرة من النسيلة Y في الجسم.

الشكل ٨–٩ دور الخلايا اللمفاوية البائية أثناء الاستجابة المناعية. X و Y و Z خلايا من ثلاث نسيلات من الخلايا اللمفاوية البائية. تظهر التغيرات الناتجة في تركيز الأجسام المضادة في الشكل ٨–١٠.

مصطلحات علمية

خلية بلازمية Plasma cell: خلية لمفاوية بائية منشطة قصيرة العمر يتم إنتاجها أثناء التوسع النسيلي. تُنتج هذه الخلايا، وتطلق الأجسام المضادة.

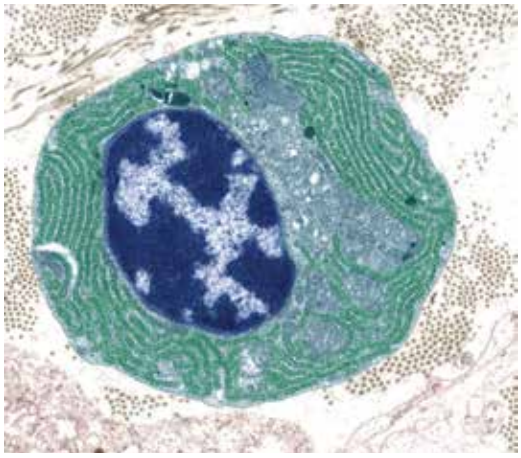
خلية بائية ذاكرة Memory B cell: خلية لمفاوية بائية عمرها طويل ومُنشطَة وخاصة لأنتيجين واحد. خلايا الذاكرة منشطة لتتمايز (تتطور) إلى خلايا بلازمية أثناء الاستجابة المناعية الثانوية لأنتيجين معيّن.

سؤال

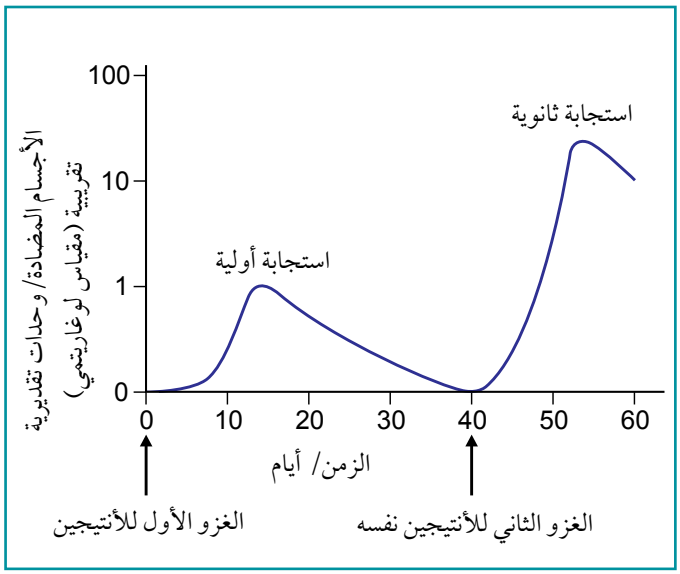
(٢٨) استفد من الشكل ٨–٩ لشرح سبب استجابة الخلايا في النسيلة Y فقط للأنتيجين.

تصبح بعض الخلايا البائية النشطة **خلايا بلازمية Plasma cells** تنتج الأجسام المضادة بسرعة كبيرة– تصل إلى عدة آلاف في الثانية. تفرز الخلايا البلازمية الأجسام المضادة في الدم واللمف أو على بطانة الرئتين والأمعاء (الصورة ٨–١٣). لا تعيش هذه الخلايا البلازمية لفترة طويلة، إذ تنخفض أعدادها بعد عدة أسابيع، وتبقى جزيئات الأجسام المضادة التي أنتجتها في الدم لفترة أطول، حتى ينخفض تركيزها في النهاية أيضًا.

تصبح الخلايا البائية الأخرى **خلايا ذاكرة Memory cells**. تبقى هذه الخلايا تدور متنقلة في الجسم لفترة طويلة، ثم تنقسم بسرعة كبيرة وتتمايز إلى خلايا



الصورة ٨-١٣ صورة مجهرية إلكترونية (نافذ) بألوان زائفة لمحتوى خلية بلازمية (x6000). توجد شبكة إندوبلازمية خشنة واسعة في السيتوبلازم (بالأخضر) لإنتاج الأجسام المضادة، والتي تفرزها الخلايا البلازمية في الدم أو اللمف بالإخراج الخلوي. توفر الميتوكندريا (الأزرق الفاتح) الـ (ATP) لبناء البروتين وحركة الحويصلات الإفرازية.



الشكل ٨-١٠ التغيرات في تركيز الأجسام المضادة في الدم أثناء الاستجابة الأولية والثانوية للأنتيجين نفسه.

مصطلحات علمية

الاستجابة المناعية الأولية Primary immune response: الاستجابة المناعية الأولى لأنتيجين معيّن.

الاستجابة المناعية الثانوية Secondary immune response: الاستجابة المناعية الثانية واللاحقة للأنتيجين نفسه.

الذاكرة المناعية Immunological memory: قدرة جهاز المناعة على تكوين استجابة أكبر وأكثر سرعة للأنتيجين الذي تعرّض له سابقًا.

بلازمية والمزيد من خلايا الذاكرة، إذا دخل الأنتيجين نفسه مرة أخرى بعد بضعة أسابيع أو أشهر من العدوى الأولى. ويتكرر ذلك مع كل غزو لاحق لمسبب مرضي بالأنتيجين نفسه، ما يعني أنه يمكن تدمير مسببات المرض الغازية وإزالتها قبل أن تطوّر أية أعراض للمرض.

يبيّن الشكل ٨-١٠ التغيرات في تركيز الأجسام المضادة في الدم عندما يواجه الجسم أنتيجينًا. تكون أول استجابة **الاستجابة المناعية الأولية Primary immune response** بطيئة، لوجود عدد قليل جدًا من الخلايا البائية المتخصصة بالأنتيجين هذا في هذه المرحلة. وتكون **الاستجابة المناعية الثانوية Secondary immune response** أسرع، لوجود العديد من خلايا الذاكرة، التي تنقسم وتتمايز بسرعة إلى خلايا بلازمية. يزداد عدد الخلايا في كل نسيلة منتقاة من الخلايا البائية أثناء الاستجابة المناعية الأولية، حيث يوجد العديد من الخلايا البائية المتخصصة بالمسبب المرضي الذي غزا الجسم. وكما يبيّن الشكل ٨-١٠، يُنتَج العديد من الأجسام المضادة في الاستجابة المناعية الثانوية، وهي تقريبًا تُنتج فورًا عند الكشف عن الأنتيجين.

خلايا الذاكرة هي أساس **الذاكرة المناعية Immunological memory**. تدوم خلايا الذاكرة لعدة سنوات، وغالبًا مدى الحياة. ويفسر ذلك سبب عدم احتمال إصابة شخص بالحصبة مرتين. توجد سلالة واحدة فقط من الفيروس المسبب للحصبة، وتحدث استجابة مناعية سريعة في كل مرة تصيب فيها الجسم. ومع ذلك، يعاني الناس إصابات متكررة بالزكام والإنفلونزا، لوجود العديد من السلّالات المختلفة والجديدة من الفيروسات التي تسبب هذه الأمراض، ولكل منها أنتيجينات مختلفة. عند إصابة شخص بمسبب مرضي يحتوي على أنتيجينات مختلفة يجب حدوث استجابة مناعية أولية قبل أن تتكوّن لديه مناعة، ومن الممكن أن يصبح مريضًا أثناء هذه الفترة.

أسئلة

(٢٩) احسب قطر الخلية البلازمية في الصورة ٨-١٣ في أقصى عرض لها.

(٣٠) اشرح سبب انقسام الخلايا البائية بالانقسام المتساوي أثناء الاستجابة المناعية.

(٣١) اشرح كيف تتلاءم الخلايا البلازمية، مثل تلك الظاهرة في الصورة ٨-١٣، لإفراز أعداد كبيرة من الأجسام المضادة.

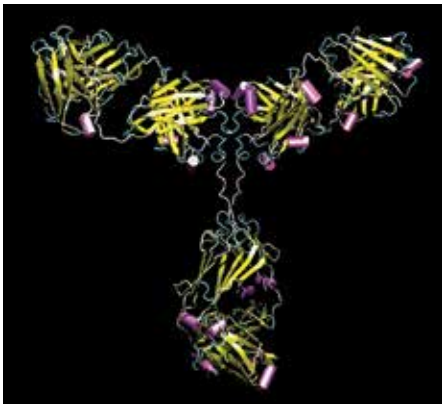
(٣٢) استفد من الشكل ٨-١٠، واذكر كيف تختلف الاستجابة المناعية الثانوية عن الاستجابة المناعية الأولية.

مصطلحات علمية

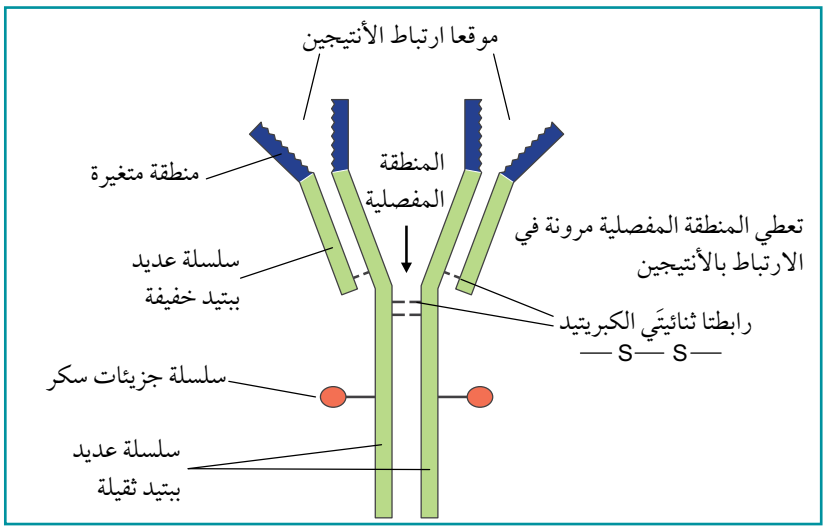
المنطقة المتغيرة Variable region: منطقة من الجسم المضاد تتكوّن من سلاسل عديد ببتيد خفيفة وثقيلة تشكل موقع ارتباط الأنتيجين. تكوّن سلسلة الأحماض الأمينية للموقع المتغير شكلًا محددًا مكملًا لأنتيجين معيّن.

الخلايا البائية والأجسام المضادة

جميع الأجسام المضادة بروتينات سكرية كروية ذات تركيب رابعي. وهي تشكل مجموعة من البروتينات البلازمية تسمى الجلوبيولينات المناعية Immunoglobulins. يتكوّن كل جزيء جسم مضاد من أربع سلاسل من عديد الببتيد: سلسلتَين «طويلتَين» أو «ثقيلتَين»، وسلسلتَين «قصيرتَين» أو «خفيفتَين» (الشكلان ٨-١١ و ٨-١٢)، وتربط روابط ثنائي الكبريتيد السلاسل معًا. ويحتوي كل جزيء على **منطقتين متغيرتين Variable regions** متطابقتين تكوّنتا من بعض أجزاء السلاسل الخفيفة والثقيلة. تأخذ سلاسل الأحماض الأمينية في هذه المناطق أشكالًا ثلاثية الأبعاد محددة ترتبط مع أنتيجين واحد. تكوّن كل نسيلة من الخلايا البائية أجسامًا مضادة لدى جميعها المناطق المتغيرة نفسها، والتي تكون ذات شكل مكمل لأنتيجين واحد. توفر منطقة «المفصل» المرونة للجسم المضاد ليرتبط مع الأنتيجين الموجود على سطح المسبب المرضي.



الشكل ٨-١١ نموذج لجسم مضاد جرى تكوينه باستخدام رسوم الحاسوب. يكون الجزيء على شكل Y مع المنطقة الثابتة التي تشكل الجزء الأسفل، والمنطقتَين المتغيرتَين في نهايات فروع Y. كما تظهر لوالب- ألفا باللون الأرجواني وصفائح بيتا باللون الأصفر. قارن هذا الشكل مع الشكل ٨-١٢. يعرف هذا النوع من الأجسام المضادة المكون من أربعة جزيئات عديد الببتيد باسم الجلوبيولين المناعي G، واختصارًا IgG. الأنواع الأكبر من جزيئات الأجسام المضادة هي IgA (أربعة مواقع ربط للأنتيجين) و IgM (عشرة مواقع ربط للأنتيجين).



الشكل ٨-١٢ رسم تخطيطي لجزيء الجسم المضاد. يحدث ارتباط الأنتيجين- الجسم المضاد في المناطق المتغيرة. يتلاءم الأنتيجين مع موقع الارتباط مثل ملاءمة المادة المتفاعلة مع الموقع النشط في الإنزيم. الجزء من الجسم المضاد المبيّن باللون الأخضر يكون متطابقًا في جميع الأجسام المضادة المسماة IgG، التي تحتوي على أربعة من عديد الببتيد.

أسئلة

(٣٣) اشرح سبب معاناة الناس من المرض في كثير من الأحيان لعدة أسابيع بعد إصابتهم بالمرض، على الرغم من قدرتهم على إنتاج أجسام مضادة ضد المرض.

(٣٤) استفد مرة أخرى من الشكل ٨-٧، واقترح سبب أهمية كون المنطقة الثابتة لجميع الأجسام المضادة هي نفسها.

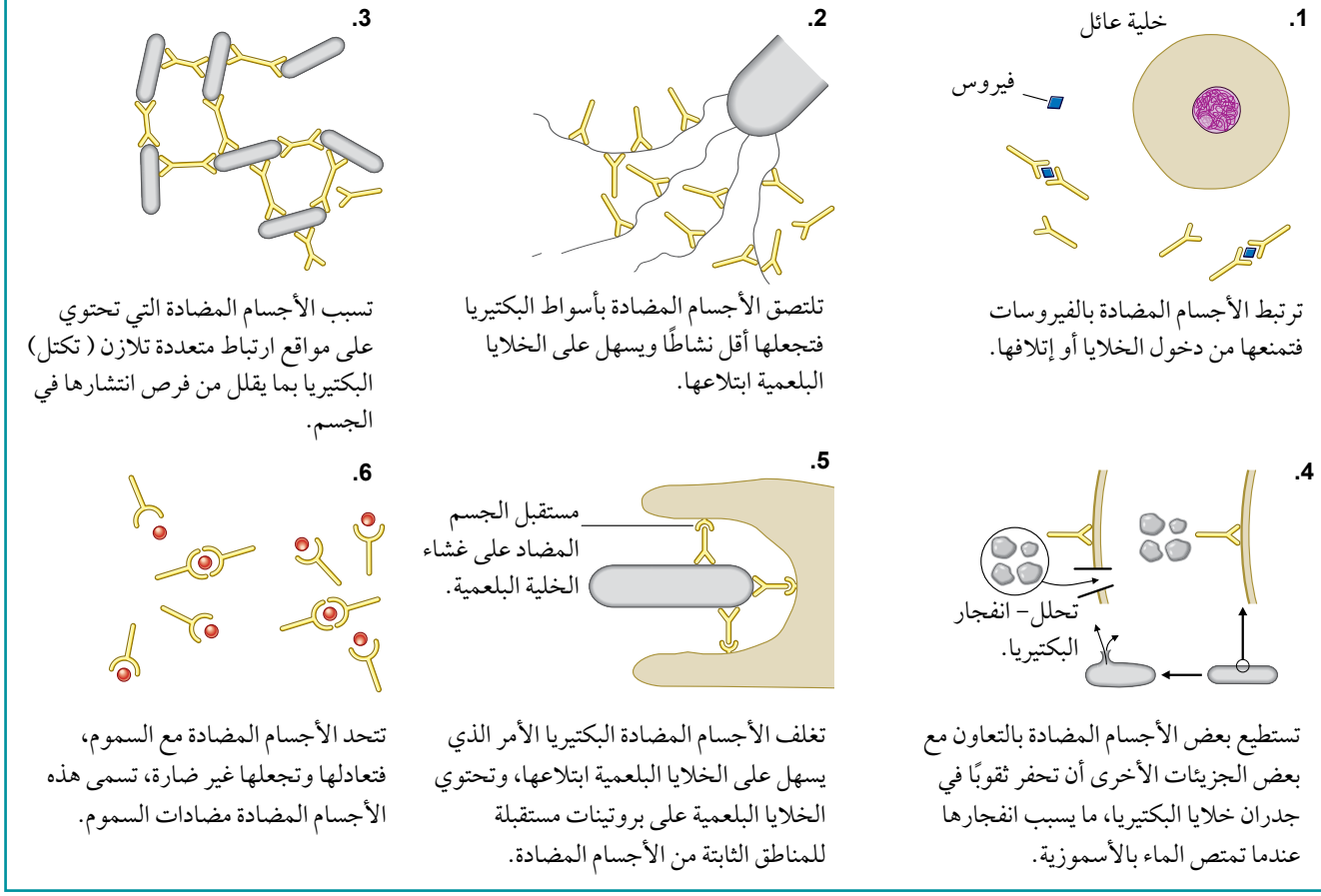
(٣٥) اقترح سبب كون جزيء الجسم المضاد الظاهر في الشكل ٨-١٢:

أ. يُظهر المستويات الأربعة لتركيب البروتين.

ب. بروتين سكري.

(٣٦) اشرح سبب عدم مناسبة عديدات التسكر لتكوين جزيئات أجسام مضادة.

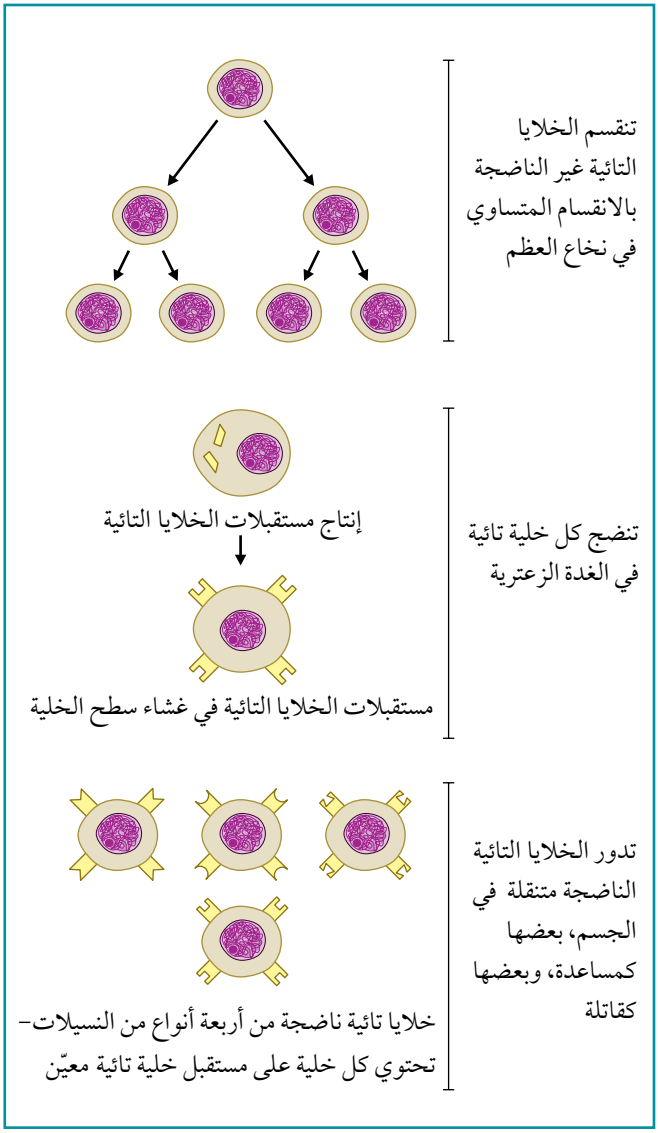
يبيّن الشكل ٨-١٣ الطرائق المختلفة التي تعمل بها الأجسام المضادة لحماية الجسم من المسببات المرضية. وكما درست سابقًا، تعمل بعض الأجسام المضادة كعلامات لتحديد الأنتيجينات للخلايا البلعمية كأهداف مناسبة لتدميرها (الرسم التخطيطي 5، الشكل ٨-١٣). توجد مجموعة خاصة من الأجسام المضادة تسمّى مضادات السموم، ترتبط مع السموم وتوقف البكتيريا عن إفرازها، مثل البكتيريا التي تسبب الكوليرا والدفتيريا والكزاز، لمنعها من إتلاف خلايا العائل (الرسم التخطيطي 6، الشكل ٨-١٣).



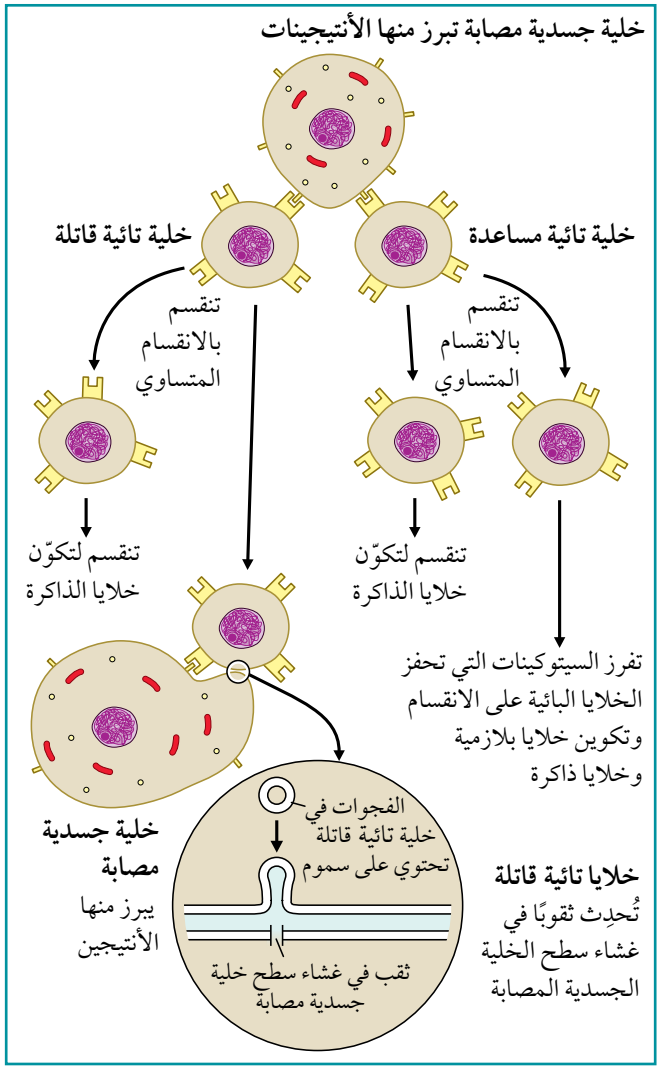
الشكل ٨- ١٣ وظائف الأجسام المضادة. للأجسام المضادة وظائف مختلفة تبعًا لنوع الأنتيجين الذي ترتبط به.

الخلايا اللمفاوية التائية

تحتوي الخلايا التائية (خلايا- T) الناضجة على مستقبلات محددة على سطح الخلية تسمى مستقبلات خلايا- T (الشكل ٨-١٤). لمستقبلات خلايا- T تركيب يشبه تركيب الأجسام المضادة، ويتخصص كل منها بأنتيجين واحد. تنشط الخلايا -T عندما تُميز وجود هذا الأنتيجين على خلية أخرى من العائل (أي في خلايا الشخص نفسه). تكون هذه الخلية في بعض الأحيان بلعمية كبيرة تبتلع المسبب المرضي وتجزئه لإبراز جزيئات سطح المسبب المرضي، أو قد تكون خلية جسمية جرى غزوها من مسبب مرضي، فتبرز الأنتيجين بنفس الطريقة على غشاء سطح الخلية كنوع من إشارة «المساعدة». يُعرف إبراز الأنتيجينات على سطح الخلية بهذه الطريقة باسم **إشهار الأنتيجين Antigen presentation**. وتستجيب خلايا- T التي تحمل مستقبلات مكملة للأنتيجين بالانقسام المتساوي لتزيد عدد الخلايا.



الشكل ٨-١٤ أصل ونضج الخلايا اللمفاوية التائية. عندما تنضج الخلايا T في الغدة الزعترية، تنتج المستقبلات البروتينية للخلايا التائية. لكل خلية مستقبل معيّن. بعض الخلايا تصبح خلايا تائية مساعدة، وبعضها الآخر تصبح خلايا تائية قاتلة.



الشكل ٨- ١٥ وظائف الخلايا اللمفاوية التائية أثناء الاستجابة المناعية. تستجيب الخلايا التائية المساعدة والخلايا التائية القاتلة ذات مستقبلات خلايا تائية بروتينية متخصصة بالأنتيجين وتنقسم بالانقسام المتساوي. تحفز الخلايا التائية المساعدة المنشطة الخلايا البائية للانقسام والتطور إلى خلايا بلازمية (الشكل ٨-٩). ترتبط الخلايا التائية القاتلة بالخلايا المصابة وتقتلها.

وكنُسيلات الخلايا البائية، تمر الخلايا التائية بمرحلتي الانتقاء النسيلي والتوسع النسيلي (الشكل ٨-٥). يوجد نوعان رئيسيان من الخلايا التائية:

- **الخلايا التائية المساعدة T- helper cells**.
- **الخلايا التائية القاتلة T-killer cells** (تعرف أيضًا باسم الخلايا T – السامة T-cytotoxic cells).

عندما تنشط الخلايا التائية المساعدة تُطلق **السيتوكينات Cytokines**– جزيئات تأشير خلوي تحفز الخلايا البائية المناسبة على الانقسام، والتمايز إلى خلايا ذاكرة وخلايا بلازمية تفرز الأجسام المضادة. تفرز بعض الخلايا التائية المساعدة السيتوكينات التي تحفز الخلايا البلعمية الكبيرة على البلعمة بنشاط أكبر. وتبحث الخلايا التائية القاتلة في الجسم عن الخلايا التي غزتها مسببات مرضية وتبرز أنتيجينات غريبة من المسببات المرضية على أغشية سطح الخلايا المصابة. تُميز الخلايا التائية القاتلة الأنتيجينات، وترتبط بسطح الخلايا المصابة، وتفرز مواد سامة مثل بيروكسيد الهيدروجين، فتقتل خلايا الجسم والمسببات المرضية بداخلها (الشكل ٨-١٥). كما تفرز بعض الخلايا التائية المساعدة سيتوكينات تحفز الخلايا التائية القاتلة لتنقسم بالانقسام المتساوي وتتمايز لتكوين الخلايا التائية القاتلة مع فجوات ممتلئة بالسموم.

تُنتج الخلايا التائية المساعدة الذاكرة والخلايا التائية القاتلة الذاكرة وتبقى في الجسم، وتنشط بسرعة كبيرة أثناء الاستجابة الثانوية للأنتيجينات.

مصطلحات علمية

إشهار الأنتيجين
Antigen presentation: عملية إبراز أنتيجينات على سطح خلايا العائل (على سبيل المثال، الخلايا البلعمية الكبيرة) لتُميزها الخلايا اللمفاوية التائية.

الخلية التائية المساعدة
T- helper cell: نوع من الخلايا اللمفاوية التائية يفرز سيتوكينات لتنسيق نشاط خلايا أخرى أثناء الاستجابة المناعية.

الخلية التائية القاتلة
T-killer cell: نوع من الخلايا اللمفاوية التائية ترتبط بالخلايا، تفرز مواد سامة لتقتل الخلايا المصابة والخلايا السرطانية.

السيتوكين Cytokine: أي جزيء تأشير تطلقه الخلايا ليؤثر في تمايز الخلايا نفسها أو خلايا أخرى.

أسئلة

(٣٧) استفد مما تعلمته في الصف ١١ عن التأشير الخلوي لتكوين رسم تخطيطي يبيّن كيف تنسق الخلايا التائية المساعدة نشاط خلايا لمفاوية أخرى أثناء الاستجابة المناعية. شارك رسمك مع زملائك.

(٣٨) لخص تسلسل الأحداث التي تتبع:

أ. إطلاق السم من البكتيريا الوتدية الخناقية *Corynebacterium diphtheriae*، هو الكائن الحي المسبب للدفتيريا (الخناق).

ب. غزو الفيروس المسبب للحصبة لخلايا في جهاز تبادل الغازات.

(٣٩) يوجد العديد من السلّالات المختلفة للفيروس الأنفي *Rhinovirus*. اشرح السبب الذي يؤدّي إلى إصابة الناس بعدة أنواع مختلفة من الزكام خلال أشهر قليلة.

٨-٥ المناعة الإيجابية والمناعة السلبية

يحدث نوع المناعة الذي تم وصفه في الموضوع ٨-٤ أثناء مسار العدوى، ويسمى **المناعة الإيجابية** **Active immunity** لأن الشخص ينتج أجسامه المضادة الخاصة. ويحدث هذا عندما تُنشَط الخلايا اللمفاوية بواسطة أنتيجينات على سطح المسببات المرضية التي غزت الجسم. وبما أن هذا التنشيط يحدث بشكل طبيعي أثناء العدوى فهو يسمى **المناعة الإيجابية الطبيعية** **Natural active immunity**.

يمكن أيضًا تنشيط الاستجابة المناعية اصطناعيًا، إذ توجد طريقتان لذلك: عن طريق حقن **لقاحات** **Vaccines** في الجسم أو بتناولها عن طريق الفم (لأمراض معيّنة مثل شلل الأطفال أو الكوليرا). هذا هو الأساس **للمناعة الإيجابية الاصطناعية** **Artificial active immunity**، والتي تسمى أيضًا **التطعيم** **Vaccination**. تكون الاستجابة المناعية مشابهة لتلك التي تحدث بعد العدوى، والتأثير نفسه- مناعة طويلة الأمد. تتغير تراكيز الأجسام المضادة في الدم في كل من المناعة الإيجابية الطبيعية والاصطناعية بالطريقة الموضحة في الشكل ٨-١٠.

يستغرق إنتاج ما يكفي من الخلايا البائية والخلايا التائية لتوفير تأثير مناعي فاعل في كلا نوعي المناعة الإيجابية بعض الوقت. فإذا أصيب شخص بمرض يمكن أن يكون قاتلًا، مثل الكزاز Tetanus، فمن الضروري توفير دفاع فوري أكثر من ذلك الذي توفره المناعة الإيجابية للبقاء على قيد الحياة، إذ يمكن أن يتسبب الكزاز بالوفاة بسرعة قبل أن تتكوّن المناعة الأولية الطبيعية. لذلك يعطى الأشخاص الذين يصابون بجرح قد يكون ملوثًا بالبكتيريوم المسببة للكزاز حقنة من مضادات السموم Antitoxins، وهي مستحضر من الأجسام المضادة البشرية لسم الكزاز، يتم الحصول عليه من دم أشخاص متبرعين تم تطعيمهم مؤخرًا ضد الكزاز. يوفر مضاد السم حماية فورية، لكنها مؤقتة فقط لأن الأجسام المضادة لم تنتج من الخلايا البائية في الجسم، وبالتالي فهي غير ذاتية ويتم إزالتها من الدورة الدموية عن طريق الخلايا البلعمية في الكبد والطحال.

يسمى هذا النوع من المناعة، **المناعة السلبية** **Passive immunity**، لأن الشخص لا ينتج الأجسام المضادة ذاتيًا. لم تنشط الخلايا البائية والخلايا التائية، ولم تنتج الخلايا البلازمية أي أجسام مضادة. وبشكل أكثر تحديدًا، توفر مضادات السموم **المناعة السلبية الاصطناعية** **Artificial passive immunity**، لأن الأجسام المضادة لم تتكون في الجسم بشكل طبيعي، إنما حُقنت الأجسام المضادة من شخص آخر تعرض للأنتيجين.

الجهاز المناعي للرضيع حديث الولادة ليس فاعلًا مثل الطفل أو الشخص البالغ. ومع ذلك، يكون الرضّع محميين في الغالب ضد المسببات المرضية، لوجود الأجسام المضادة من أمهاتهم عبر المشيمة أثناء الحمل، والتي تبقى في

مصطلحات علمية

المناعة الإيجابية **Active immunity**: المناعة المكتسبة نتيجة دخول أنتيجين إلى الجسم، تحدث استجابة مناعية بواسطة الخلايا البلازمية.

المناعة الإيجابية الطبيعية **Natural active immunity**: المناعة المكتسبة نتيجة الإصابة بمسبب مرضي.

اللقاح **Vaccine**: مستحضر يحتوي على أنتيجينات لحفز المناعة الإيجابية ضد مرض أو عدة أمراض.

المناعة الإيجابية الاصطناعية **Artificial active immunity**: مناعة تكتسب عن طريق إدخال أنتيجينات في الجسم، سواء عن طريق الحقن أو الفم.

التطعيم **Vaccination**: إعطاء لقاح يحتوي على أنتيجينات للمرض عن طريق الحقن أو الفم، يوفر التطعيم مناعة إيجابية اصطناعية من دون تطور أعراض المرض.

المناعة السلبية **Passive immunity**: مناعة مؤقتة تُكتسب من دون وجود استجابة مناعية.

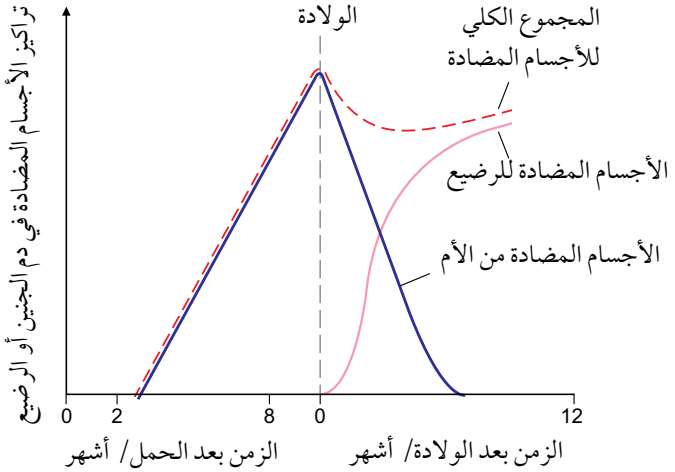
المناعة السلبية الاصطناعية **Artificial passive immunity**: مناعة مكتسبة عن طريق حقن الأجسام المضادة.

دم الرضيع لعدة أشهر (الشكل ٨-١٦). على سبيل المثال، قد تستمر الأجسام المضادة ضد الحصبة في دم الرضيع لمدة أربعة أشهر أو أكثر. تسمى هذه **مناعة سلبية طبيعية Natural passive immunity**.

اللبأ Colostrum هو السائل السميك المصفر الذي ينتجه ثدي الأم في الأيام الأربعة أو الخمسة التي تلي الولادة، وهو يحتوي على نوع من الأجسام المضادة يسمى الجلوبيولين المناعي IgA. تبقى بعض هذه الأجسام المضادة على سطح جدار أمعاء الرضيع، في حين تمر أخرى لم يتم هضمها إلى الدم. يعمل (IgA) في الأمعاء لمنع نمو البكتيريا والفيروسات، وينتشر أيضًا في الدم. هذه أيضًا مناعة سلبية طبيعية. يقارن الجدول ٨-٧ والشكل ٨-١٧ ميزات المناعة الإيجابية والسلبية.

مصطلحات علمية

مناعة سلبية طبيعية Natural passive immunity: مناعة مكتسبة للجنين عن طريق انتقال الأجسام المضادة من الأم عبر المشيمة، أو المناعة التي يكتسبها الرضيع من حليب الأم.



الشكل ٨-١٦ تراكيز الأجسام المضادة في دم الجنين والرضيع.

المناعة	الميزات				
	التعرض للأنتيجين	الاستجابة المناعية	الزمن قبل ظهور الأجسام المضادة في الدم	إنتاج خلايا الذاكرة	الحماية
إيجابية	نعم	نعم	١-٢ أسبوع أثناء الاستجابة المناعية	نعم	دائمة
سلبية	لا	لا	مباشرة	لا	مؤقتة

الجدول ٨- ٧ ميزات المناعة الإيجابية والسلبية.

المناعة الإيجابية

مناعة تطورت بعد تعرض الجسم لأنتيجين ما



طبيعية
عدوى



اصطناعية
حقنة مسبب مرضي حي مضعّف أو ميت.

المناعة السلبية

مناعة توفرها أجسام مضادة أو مضادات السموم أعطيت من خارج الجسم



طبيعية
أجسام مضادة من حليب الأم أو عبر المشيمة



اصطناعية
حقن أجسام مضادة (على سبيل المثال، مضادات السموم)

الشكل ٨-١٧ المناعة الإيجابية والمناعة السلبية.

اللقاحات

اللقاح مستحضر يحتوي على أنتيجينات تستخدم لحفز الاستجابة المناعية الاصطناعية. يمكن أن يحتوي على كائن حي دقيق كامل، أو ميت، أو كائن حي دقيق غير ضار (جرى إضعافه)، أو الشكل غير الضار من السم Toxoid (يعرف باسم الذيفان) أو مستحضر من أنتيجينات سطحية. يعطى اللقاح بالحقن في الوريد أو العضلات أو يؤخذ فمويًا (عن طريق الفم). ينتج بعضها باستخدام تقنيات الهندسة الجينية (الوحدة الثالثة، الموضوع ٣-١، الهندسة الجينية).

أسئلة

٤٠ اكتب تعريف **المناعة الطبيعية والمناعة الاصطناعية**.

٤١ اشرح الاختلاف بين المناعة الإيجابية الاصطناعية (التطعيم)، والمناعة السلبية الاصطناعية.

٤٢ **أ.** اشرح نمط الأجسام المضادة للأم والطفل المبيّنة في الشكل ٨-١٦.

ب. اشرح مزايا المناعة السلبية الطبيعية للأطفال حديثي الولادة.

٤٣ اشرح الاختلاف بين المناعة ضد المرض ومقاومة المضادات الحيوية.

غالبًا ما توفر المناعة المستمدة من العدوى الطبيعية حماية جيدة، لأن جهاز المناعة يواجه كائنات حية تبقى في الجسم لفترة من الزمن، يكفي بأن يطور جهاز المناعة استجابة فاعلة. ويحاول التطعيم محاكاة العدوى الطبيعية ما أمكن، إذ يعمل بشكل جيد جدًا أحيانًا، عندما تحتوي اللقاحات على كائنات حية دقيقة. وتتكاثر الكائنات الحية الدقيقة غالبًا ببطء إلى حد ما، بحيث يكون جهاز المناعة بمواجهة مستمرة لجرعة كبيرة من الأنتيجينات. اللقاحات التي لا تحاكي أي عدوى أقل فاعلية، لأنها تتكوّن من بكتيريا ميتة أو فيروس لا يستطيع التكاثر داخل خلايا الجسم. تحتوي بعض اللقاحات على أنتيجينات مستمدة فقط من مسبب مرضي، وليس المسبب المرضي (الميت أو الحي) نفسه.

بعض اللقاحات فاعلة جدًا، وتوفر حقنة واحدة منها فقط حماية طوال العمر. في حين تتطلب لقاحات أخرى أقل فاعلية عدة حقن معززة لحفز الاستجابات الثانوية التي توفر مزيدًا من الحماية (الشكل ٨-١٠). من الجيد غالبًا تلقي حقن معززة إذا كان محتملًا تعرض الشخص للمرض، ولو جرى تطعيمه في الطفولة.

مصطلحات علمية

المناعة المجتمعية Herd immunity: تطعيم نسبة كبيرة من السكان، يوفر الحماية لمن لم يُطعّموا مع تقليل انتقال المسبب المرضي.

تكتسب **المناعة المجتمعية Herd immunity** عن طريق تطعيم جميع السكان تقريبًا. فمن غير المحتمل أن ينتقل مسبب مرضي معيّن إلى من ليس لديهم مناعة لأي سبب إذا كان معظم السكان محصنين ضد هذا المرض. تقطع المناعة المجتمعية (مناعة القطيع) دورة الانتقال في مجموعة سكانية، بحيث لا يحتمل مطلقًا أن يصاب أولئك الأشخاص المعرضون للإصابة بمسببات مرضية معيّنة. على سبيل المثال، لا يستجيب بعض الأشخاص للقاح بتكوين أجسام مضادة؛ وقد يكون بعض الأطفال الصغار فقدوا مناعتهم السلبية ضد الحصبة، لكن لم يُطعّموا بعد. وقد يكون لبعض الأشخاص حالة طبية تمنع تطعيمهم. كالأطفال الذين يتلقون علاج السرطان أو يتناولون أدوية تثبط جهاز المناعة.

سؤال

(٤٤) ناقش سبب عدم حدوث استجابة مناعية أولية لمسبب مرضي مباشرة، في حين تكون كذلك في الاستجابة المناعية الثانوية.

برامج التطعيم

التطعيم أحد أكثر طرائق الحكومات فاعلية في حماية صحة السكان، إذ توصي (WHO) بجدول لقاحات يمكن للسلطات الصحية في جميع أنحاء العالم مواءمته ليتناسب مع ظروفها الخاصة. على سبيل المثال، يوصي الجدول بأن يتلقى الأطفال أول جرعة من اللقاح الثلاثي MMR المناعي ضد الحصبة والنكاف والحصبة الألمانية بحدود تسعة أشهر من العمر، ثم تلقي الجرعة الثانية بعد ذلك خلال فترة لا تقل عن أربعة أسابيع. تعطى الجرعة الثانية عادة بين عمر 15 شهرًا و 4 سنوات. وتتحقق المناعة المجتمعية إذا كانت نسبة الأطفال في الفئة العمرية المستهدفة قد تلقت اللقاح. يجب أن تحاول برامج التطعيم ضد الأمراض المعدية المدرجة على جدول (WHO) تأمين تغطية دائمة بنسبة 100% تقريبًا لتحقيق مناعة جماعية جيدة. وبالرغم من أنه لم يواجه الكثير من الأشخاص الأمراض المدرجة في الجدول، وأن نسبة حدوث الأمراض منخفضة جدًا في العديد من البلدان، فلا يزال من المحتمل للزائرين والمهاجرين أو المسافرين العائدين إدخال هذه الأمراض.

تقدم (WHO) أيضًا توصيات للقاحات تحمي من أمراض غير مدرجة في الجدول. وتوجد فائدة قليلة من التطعيم الروتيني للأطفال ضد الكوليرا، حيث تحدث الإصابة بالمرض بشكل نادر وفي ظروف معيّنة فقط، كما يوفر اللقاح حماية قصيرة الأمد، لذلك يجب إعطاء الأطفال اللقاح المعزز كل ستة أشهر.

مصطلحات علمية

المناعة الحلقية

Ring immunity: تطعيم كل المخالطين لمصاب بمرض معيّن لمنع انتقال المرض في المنطقة الفعلية.

تُستخدم اللقاحات أيضًا لاحتواء تفشي الأمراض. فلا يعطى لقاح (BCG) في المملكة المتحدة لجميع الأطفال بشكل روتيني للوقاية من السلّ. ومع ذلك، في حالة تفشي السلّ، يتم تطعيم كل من هم على اتصال بالمصابين وغيرهم من سكان المنطقة لوقف انتشاره. هذا مثال على **المناعة الحلقية** **Ring immunity** لضمان تكوين «منطقة مناعة» لدى من يعيشون في المنطقة لمنع انتشار العدوى على نطاق واسع. وقد استخدمت هذه الاستراتيجية في المراحل الأخيرة من برنامج استئصال الجدري في إثيوبيا والصومال.

ستتغير جداول التطعيم في المستقبل، إذا تم استئصال بعض الأمراض، وظهرت أمراض جديدة. فلقاح الإيبولا الجديد أعطي في عام 2019م للعمال الصحيين في أفريقيا الوسطى لتطعيمهم ضد سلالة من فيروس هذا المرض الناشئ الذي تأمل منظمة الصحة العالمية في احتوائه. ومن الممكن أن يصبح اللقاح متوفرًا على نطاق واسع لعامة السكان كلما تفشى المرض.

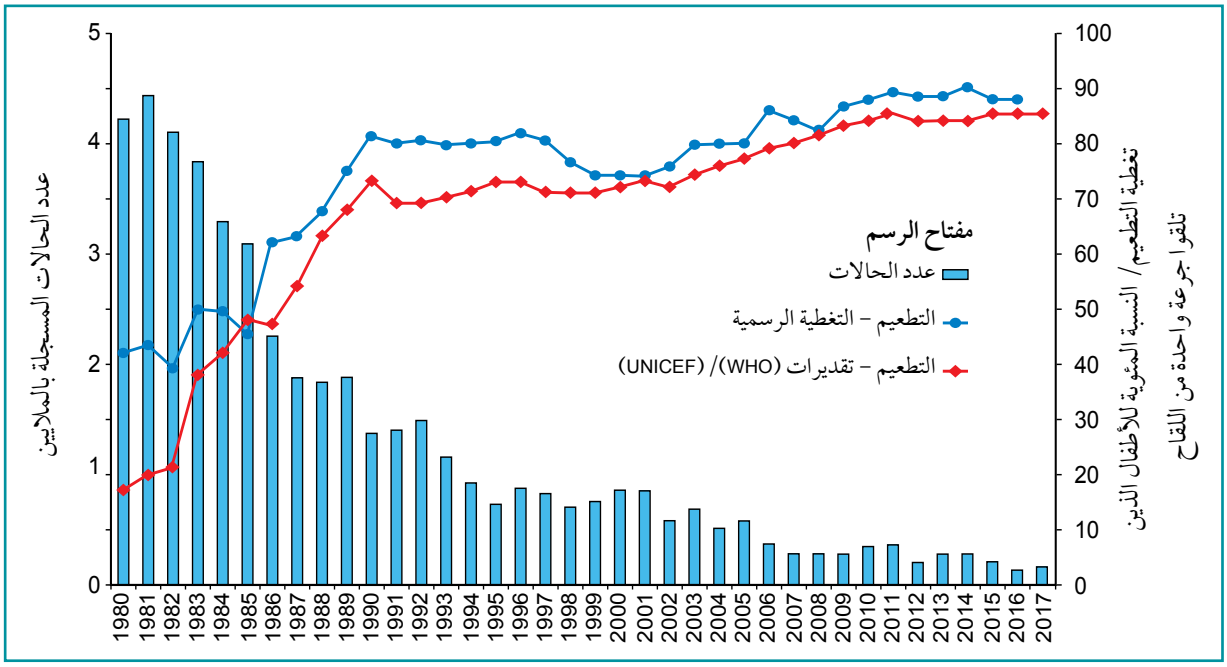
لم يحقق أي برنامج تطعيم منذ عام 2019م النجاح الذي حققه برنامج استئصال الجدري. لقد توفر لقاح الحصبة في الستينيات من القرن الماضي بجرعة لقاح واحدة، لكنه لم يقضِ على المرض في أي بلد، على الرغم من التغطية العالية للسكان. ويفسر ذلك ضعف استجابة بعض الأطفال للقاح والذين يحتاجون إلى جرعة معززة واحدة على الأقل، لتطوير مناعة كاملة. قد يكون من الصعب في المدن الكبيرة حيث ترتفع معدلات الولادات ويحدث التغير السكاني إعطاء الجرعات المعززة ومتابعة حالات الحصبة وتتبّع المخالطين (الصورة ٨-١٤). فالحصبة شديدة العدوى،

ويمكن للمهاجرين واللاجئين تكوين مستودعات للعدوى، والمعاناة من الأوبئة داخل مجتمعاتهم، ثم نشر المرض إلى السكان المحيطين.

تشير التقديرات إلى أن المناعة المجتمعية يجب أن تتراوح بين 93% و 95% لمنع انتقال العدوى بين السكان. وحيث إن لقاح الحصبة المتاح حاليًا يحقق نجاحًا بمعدل 95%، فهذا يعني أن جميع السكان بحاجة إلى التطعيم. تكافح العديد من البلدان لتحقيق تغطية بنسبة 80% في التطعيم ضد الحصبة، ومن المرجح بالتالي أن يستمر المرض لسنوات عديدة قادمة (الأشكال ٨-١٨).



الصورة ٨-١٤ يعتمد نجاح برامج التطعيم على أشخاص مثل هؤلاء العاملين في الصليب الأحمر في نيروبي - كينيا، لضمان معرفة جميع العائلات موعد توافر اللقاحات ومكانها.



الشكل ٨-١٨ التقدم في البرنامج العالمي للتطعيم ضد الحصبة الذي تنسقه(WHO). يبيّن التمثيل البياني عدد حالات الحصبة بين عامَي 1980 و 2017 م، والتغطية العالمية بالتطعيم بجرعة واحدة.

أسئلة

(٤٥) **أ.** استفد من الإنترنت لمعرفة جدول تطعيم (WHO) وجدول التطعيم المتبع حاليًا في بلدك، وتعرّف على الأمراض التي يجب أن تكون محميًا من الإصابة بها.

ب. استخدم الشكل ٨-١٨ لوصف فاعلية تلقي جرعة واحدة من برنامج التطعيم ضد الحصبة.

(٤٦) اشرح:

أ. لماذا توصي (WHO) بأن يتلقى الأطفال جرعة ثانية (معززة) من لقاح الحصبة؟

ب. مزايا تحقيق معدلات تطعيم عالية جدًا من الأمراض التي يمكن الوقاية منها بالتطعيم، مثل الحصبة.

ملخّص

الأمراض المعدية تسببها كائنات حية تسمى المسببات المرضية التي تغزو الجسم.

تُعدّ الملاريا، و HIV/الإيدز، والسلّ أمثلة على الأمراض المعدية.

الملاريا يسببها أحد أربعة أنواع من طفيل بلازموديوم، أكثرها خطورة بلازموديوم فالسيباروم. تنتقل الملاريا عن طريق الحشرات الناقلة، كأنثى بعوضة الأنوفيليس التي تنقل البلازموديوم من الأشخاص المصابين إلى غير المصابين. تقاوم الملاريا بثلاث طرائق: تقليل أعداد البعوض باستخدام المبيدات الحشرية من خلال رش وتجفيف مواقع التكاثر، واستخدام الناموسيات (تكون أكثر فاعلية إذا تشربت بمبيدات حشرية طويلة الأمد)، واستخدام الأدوية التي تمنع البلازموديوم من إصابة الناس.

الإيدز مجموعة من الأمراض يسببها تدمير جهاز المناعة نتيجة العدوى بفيروس نقص المناعة البشرية (HIV). ينتقل (HIV) في سوائل معيّنة في الجسم: الدم، المني، الإفرازات المهبلية، حليب الأم. يصيب (HIV) في الدرجة الأولى الأشخاص النشيطين اقتصاديًا (المنتجين) في البلدان النامية، وله تأثير سلبي جدًا على التنمية الاجتماعية والاقتصادية.

يمكن مكافحة انتقال (HIV) باستخدام الموانع (على سبيل المثال، الواقيات الذكرية والأنثوية) أثناء الاتصال الجنسي. وطريقة المكافحة الوحيدة المتاحة الآن للمؤسسات الصحية، المتمثلة بتثقيف الناس. يمكن تتبّع المخالطين لتحديد الأشخاص الذين قد يكونون أصيبوا بعدوى (HIV)، ليتمكنوا من إجراء الفحوصات الطبية وتلقي المشورة.

يمكن إطالة متوسط العمر المتوقع للمصابين بمرض الإيدز بشكل كبير باستخدام مجموعات من الأدوية التي تتداخل مع تكاثر (HIV). ومع ذلك، فإن هذا العلاج مكلف ويصعب الاستمرار فيه، وبعض آثاره الجانبية مزعجة. لا يتوافر حتى الآن لقاح ضد (HIV)، ولا علاج للإيدز.

مرض السُّلّ (TB) تسببه بكتيريا المُتَفَطِّرة السُلِّيّة *Mycobacterium tuberculosis* و المتفطرة البقرية *Mycobacterium bovis*. تنتشر بكتيريا المُتَفَطِّرة السُلِّيّة عندما يصاب الأشخاص ببكتيريا (TB) النشطة، فتنطلق البكتيريا في قطيرات من السائل عند السعال أو العطس. ويحدث الانتقال عندما يستنشق الأشخاص غير المصابين البكتيريا. من المرجح أن يحدث ذلك للأشخاص الذين يعيشون في ظروف سكنية مزدحمة، بخاصة عندما ينام أعداد كثيرة من الأشخاص في مساحات ضيقة. بكتيريا المتفطرة البقرية تسبب (TB) في الماشية، ولكن يمكن أن ينتقل إلى الإنسان.

كثير من الأشخاص رئاتهم مصابة ببكتيريا (TB) غير النشطة، لكنهم لا يعانون المرض ولا ينشرونه. البكتيريا غير النشطة قد تصبح نشطة في الأشخاص المصابين بسوء التغذية أو بـ (HIV). تُستخدم الأدوية لعلاج الأشخاص المصابين ببكتيريا (TB) النشطة، وقد يستغرق العلاج تسعة أشهر أو أكثر، حيث يصعب قتل البكتيريا. يستخدم تتبع المخالطين لتحديد الأشخاص المحتمل إصابتهم بالمرض، ويفحص هؤلاء للكشف عن (TB)، ويعالجون في حال ثبوت إصابتهم به. يوفر اللقاح BCG بعض الحماية من (TB)، لكن فاعليته تختلف في أجزاء العالم المختلفة، وتنخفض مع التقدم في السن.

تُتخذ تدابير الصحة العامة للحد من انتقال جميع هذه الأمراض المعدية، لكن يجب معرفة دورة انتقال كل مسبب مرضي لكي تكون التدابير فاعلة.

المضادات الحيوية أدوية تستخدم لعلاج الأمراض التي تسببها البكتيريا الممرضة، وهي مركبات تصنع من كائنات حية دقيقة ومعدلة كيميائيًا لزيادة فاعليتها. يمنع البنسلين تكوين جدران خلوية جديدة في البكتيريا، وبالتالي لا يؤثر في الفيروسات أو خلايا الإنسان، إذ لا يحتوي كلاهما على جدران خلوية. ليست جميع المضادات الحيوية فاعلة ضد جميع أنواع البكتيريا.

يمكن أن تنشأ مقاومة المضادات الحيوية لأن البكتيريا قد تحتوي صدفة على جين مقاوم. وعند تعرض هذه البكتيريا للمضاد الحيوي، تبقى على قيد الحياة، ويمكنها بعد ذلك التكاثر لتكوين عدد كبير من البكتيريا التي تحتوي جميعها على هذا الجين. وقد تنتشر المقاومة أيضًا بين البكتيريا عند انتقال البلازميدات خلال الاقتران.

ملخّص (تابع)

أدى الاستخدام واسع النطاق والعشوائي للمضادات الحيوية إلى نمو سلالات مقاومة من البكتيريا. وهذا الأمر يشكل تحديًا خطرًا للمحافظة على الخدمات الصحية في القرن 21.

يمكن اتخاذ تدابير مختلفة لتقليل تأثير مقاومة المضادات الحيوية. ومن ذلك تقييد استخدام المضادات الحيوية، والتأكد من توفرها فقط بوصفة طبية، وتقييد استخدام مزيج من المضادات الحيوية.

الخلايا البلعمية والخلايا اللمفاوية هي خلايا جهاز المناعة. تنشأ الخلايا البلعمية من خلايا جذعية في نخاع العظم، ويستمر تكوينها في نخاع العظم طوال الحياة. يوجد نوعان من الخلايا البلعمية: خلايا الدم البيضاء المتعادلة، تدور متنقلة في الدم وتدخل الأنسجة المصابة، والخلايا البلعمية الكبيرة، تبقى داخل الأنسجة. تبتلع خلايا الدم البيضاء المتعادلة والخلايا البلعمية الكبيرة البكتيريا والفيروسات بالبلعمة، وتدمرها بالهضم الخلوي داخل الخلايا باستخدام إنزيمات من الليسوسومات.

الأنتيجينات هي جزيئات «غريبة» (غير ذاتية) تحفز جهاز المناعة.

تنشأ الخلايا اللمفاوية أيضًا من خلايا جذعية في نخاع العظم، ويوجد نوعان: الخلايا اللمفاوية البائية (خلايا B) والخلايا اللمفاوية التائية (خلايا T). تكتسب الخلايا البائية والخلايا التائية مستقبلات بروتينات سكرية خاصة بكل خلية عند نضجها. تنضج الخلايا البائية في نخاع العظم، وتنضج الخلايا التائية في الغدة الزعترية. وتكتسب الخلايا البائية الفردية والخلايا التائية الفردية عند نضوجها مستقبلات بروتينية سكرية معيّنة. أثناء النضج، يتم تدمير الخلايا التائية التي تحمل مستقبلات تتفاعل مع أنتيجينات ذاتية. فإذا لم يتم التخلص منها فسوف تنتشر في الجسم وتحطم خلاياه وأنسجته. ولا يتم تدمير الخلايا التائية التي تميز وتتفاعل مع الأنتيجينات غير الذاتية، مثل تلك التي على سطوح المسببات المرضية. تتمايز الخلايا التائية إلى خلايا تائية مساعدة أو خلايا تائية قاتلة، إذ تنقسم كل خلية تائية وخلية بائية لتكوين نسيلة صغيرة من الخلايا تنتشر عبر الجسم في الدم وفي الأنسجة اللمفاوية (على سبيل المثال، العقد اللمفاوية والطحال).

يتم تنشيط الخلايا البائية والخلايا التائية التي تحمل المستقبلات الخاصة بالأنتيجين أثناء الاستجابة المناعية. وعندما تُنشَّط الخلايا البائية، تكوّن خلايا بلازمية تفرز الأجسام المضادة؛ بالمقابل لا تفرز الخلايا التائية أجسامًا مضادة، بل تفرز الخلايا التائية المساعدة جزيئات تأشير خلوي (سيتوكينات) تتحكم في جهاز المناعة عن طريق تحفيز الخلايا البائية/ والخلايا التائية لتنقسم وتصبح نشطة. تبحث الخلايا التائية القاتلة النشطة عن أي خلايا عائل مصابة بمسببات مرضية وتدمرها.

تتكوّن خلايا الذاكرة أثناء الاستجابة المناعية، وتحتفظ بالقدرة على الانقسام السريع والتطور إلى خلايا بائية وخلايا تائية نشطة عند دخول الأنتيجين نفسه الجسم مرة ثانية (الذاكرة المناعية).

تعرف الأجسام المضادة أيضًا باسم الجلوبيولين المناعي. وهي بروتينات سكرية كروية. IgG فئة من الأجسام المضادة ذات تركيب رابعي تتكوّن من سلسلتَي عديد الببتيد متطابقتين طويلتَين (سلاسل ثقيلة)، وسلسلتَي عديد الببتيد قصيرتَين متطابقتين (سلاسل خفيفة). تشكل المنطقتان المتغيرتان لجزيء الجسم المضاد مواقع ارتباط الأنتيجين. ويمكن أن يرتبط كل نوع من الجسم المضاد IgG بجزيئَين من الأنتيجين. تُلازن (تُكتِّل) الأجسام المضادة البكتيريا، وتمنع إصابة الخلايا بالفيروسات، وتغلف البكتيريا والفيروسات لتساعد عملية البلعمة، كما تعمل مع بروتينات البلازما لتفجير البكتيريا، ومعادلة السموم.

تتمثل المناعة الإيجابية، بإنتاج أجسام مضادة وخلايا تائية نشطة خلال الاستجابة المناعية الأولية لأنتيجين دخل إلى الجسم بشكل طبيعي عن طريق العدوى أو بشكل اصطناعي عن طريق التطعيم، وهي توفر مناعة طويلة الأمد. أما المناعة السلبية فتتمثل بإدخال أجسام مضادة بشكل طبيعي عبر المشيمة أو في حليب الأم، أو بشكل اصطناعي عن طريق الحقن، وتوفر مناعة مؤقتة.

يوفر التطعيم مناعة إيجابية اصطناعية بإدخال كمية صغيرة من الأنتيجين عن طريق الحقن أو عن طريق الفم. قد يكون اللقاح كائنًا حيًا كاملًا، أو كائنًا ميتًا، أو نسخة غير ضارة من مادة سامة (ذيفان).

أسئلة نهاية الوحدة

١ الملاريا، و HIV/ الإيدز و TB، أمراض معدية. أي صف يبيّن نوع الكائن الذي يسبب كلًّا من هذه الأمراض؟

المرحلة	الملاريا	HIV/ الإيدز	TB
أ	طفيل بلازموديوم	فيروس	بكتيريوم
ب	فيروس	بكتيريوم	طفيل بلازموديوم
ج	حشرة	بكتيريوم	فيروس
د	فيروس	طفيل بلازموديوم	بكتيريوم

٢ أفضل تعريف للأمراض المعدية هو:

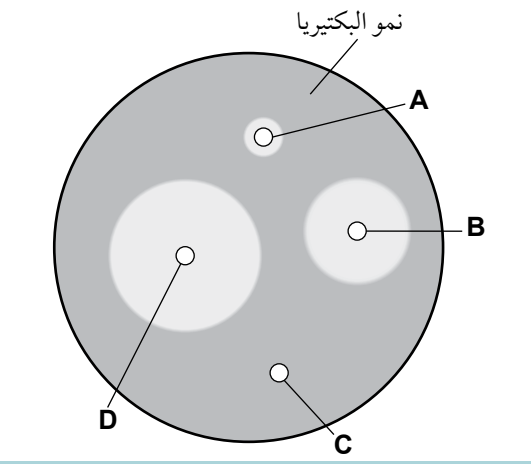
أ. جميع الأمراض التي تنتقل عن طريق الهواء.

ب. جميع الأمراض التي تسببها بكتيريا وفيروسات.

ج. جميع الأمراض التي يسببها مسبب مرضي.

د. جميع الأمراض التي تنتقل من الأم إلى الطفل.

٣ أجري فحص حساسية للمضادات الحيوية على البكتيريا المعزولة من مريض مصاب بمرض في الدم. تم اختبار أربعة مضادات حيوية **A, B, C, D**. يبيّن الرسم التخطيطي النتائج. أي مضاد حيوي من المحتمل أن يكون أكثر فاعلية في علاج هذا النوع من أمراض الدم؟



٤ أي من الأمراض الآتية ينتقل عن طريق ناقل حشري؟

أ. الإنفلونزا

ب. HIV/الإيدز

ج. الملاريا

د. TB

تابع

٥ **أ.** اذكر **ثلاث** طرائق ينتقل بها (HIV).

يبيّن الجدول إحصاءات نشرت في عام 2017 م لأربع مناطق في العالم، والمجاميع العالمية HIV/الإيدز في عام 2016 م (البيانات من UNAIDS).

المنطقة	العدد التقديري للأشخاص الذين أصيبوا حديثًا بـ (HIV)	العدد التقديري للأشخاص المتعايشين مع (HIV)	العدد التقديري للأشخاص الذين توفوا بالإيدز
1 أوروبا الشرقية وآسيا الوسطى	190000	1.6 مليون	40000
2 جنوب الصحراء الأفريقية	1.16 مليون	25.5 مليون	730000
3 آسيا والمحيط الهادئ	270000	5.1 مليون	170 000
4 أمريكا الشمالية، غرب ووسط أوروبا	73000	2.1 مليون	18 000
المجموع العالمي	1.8 مليون	36.7 مليون	1.0 مليون

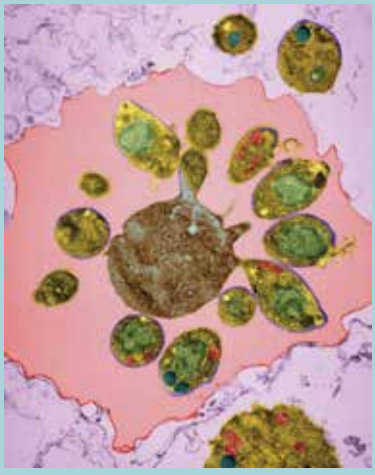
ب. اقترح **ثلاثة** مصادر للبيانات قد يكون برنامج UNAIDS استخدمها لتجميع البيانات في الجدول.

ج. اشرح سبب أهمية جمع البيانات عن جائحة HIV/الإيدز المبيّنة في الجدول.

د. ١. نسبة عدد الأشخاص الذين توفوا بالإيدز في المنطقة 4 إلى عدد الأشخاص المتعايشين مع (HIV) في عام 2016 م هي (2 100 000 : 18 000) أو (1 : 0.009). (تقرأ النسبة من اليسار إلى اليمين) احسب النسبة للمنطقة 2.

٢. اقترح أسباب الاختلاف بين نسب المنطقتين 2 و 4.

٦ الصورة إلى اليسار هي صورة مجهرية إلكترونية لبلازموديوم فالسيباروم في خلية دم حمراء في جسم عائل، بعد انقسامها مباشرة وانشطارها إلى خليتين.



تابع

أ. صف كيف ينتقل بلازموديوم فالسيباروم من عائل إلى آخر.

ب. اقترح التأثير المحتمل على العائل من تدمير خلايا الدم الحمراء المبيّنة في الصورة المجهرية.

ج. توصي (WHO) بالتدابير الآتية لمكافحة الملاريا:

- استخدام جميع الأشخاص المعرضين لخطر الإصابة بالملاريا ناموسيات متشربة بالمبيدات الحشرية.
- الرش الداخلي بالمبيدات الحشرية طويلة الأمد كل ثلاثة أشهر إلى ستة أشهر.
- توفير الأدوية الوقائية للأطفال دون سن الخامسة أثناء موسم الأمطار.

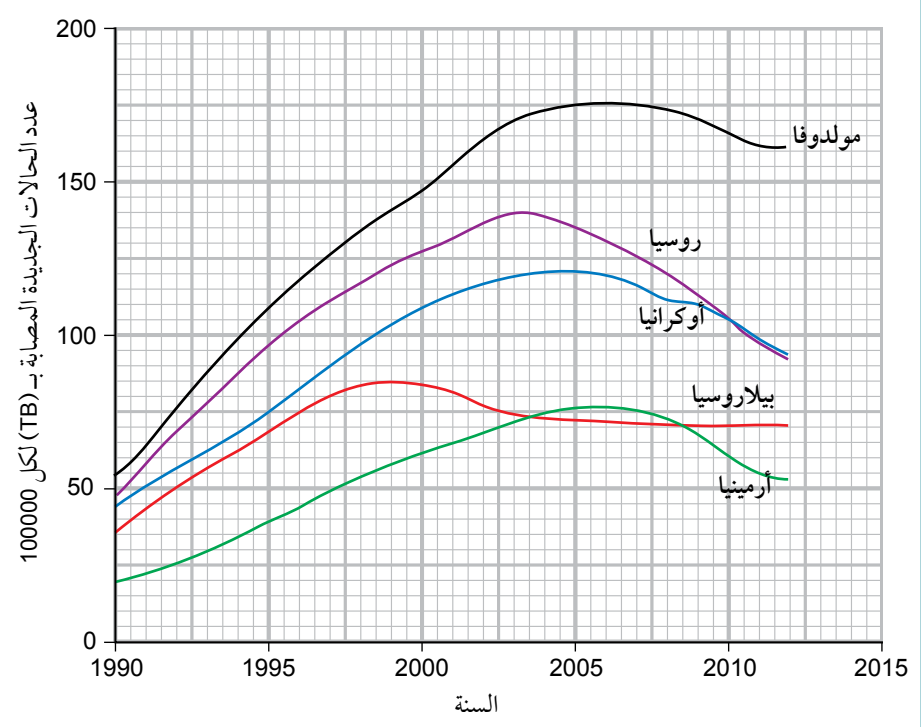
١. اشرح أسباب هذه التدابير.

٢. اقترح المشكلات المحتملة مع هذه التدابير.

٧ **أ.** ١. اذكر الكائن الحي المسبب لـ (TB).

٢. اشرح كيف ينتقل (TB).

ب. يبيّن التمثيل البياني عدد حالات (TB) الجديدة بين عامي 1990 و 2012 م في خمسة بلدان من دول الكومنولث- رابطة البلدان المستقلة (CIS).



١. اشرح: لماذا تم عرض عدد الحالات الجديدة على أنه «لكل 100000».

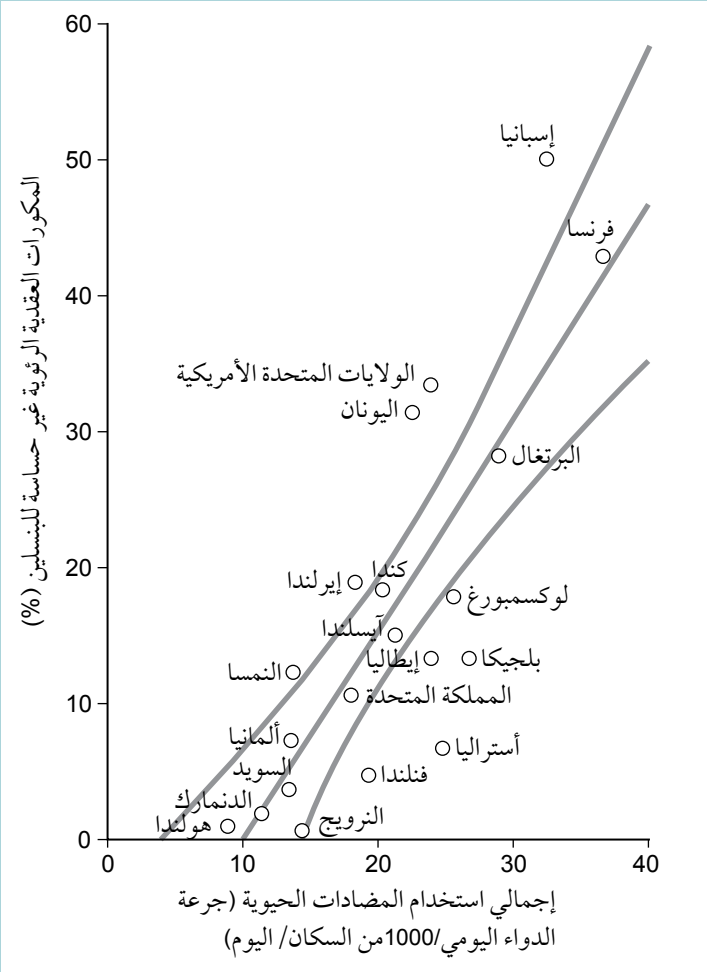
٢. صف الاتجاهات المبيّنة في التمثيل البياني.

٣. وجدت بلدان «CIS» صعوبة في مكافحة انتشار (TB). اشرح سبب صعوبة مكافحة (TB).

تابع

٨ نشر علماء في سويسرا في عام 2004 م نتائج دراسة لمعرفة ما إذا كان هناك ارتباط بين استخدام المضادات الحيوية وعدد حالات مقاومة المضادات الحيوية. وقد سجلوا استخدام البنسلين في العيادات الخارجية للمستشفيات، ومقاومة البنسلين في البكتيريا المسجلة لدى المرضى المترددين على تلك العيادات. جمع العلماء البيانات من مستشفيات في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا وأستراليا و17 بلدًا أوروبيًا.

يبيّن التمثيل البياني المبعثر نتائج الدراسة.



أ. استنتج العلماء أن المقاومة البكتيرية ترتبط ارتباطًا مباشرًا باستخدام المضادات الحيوية.

١. اذكر الدليل الذي يدعم استنتاجات العلماء من التمثيل البياني المبعثر.

٢. اذكر دليلًا واحدًا من التمثيل البياني المبعثر لا يدعم استنتاجهم.

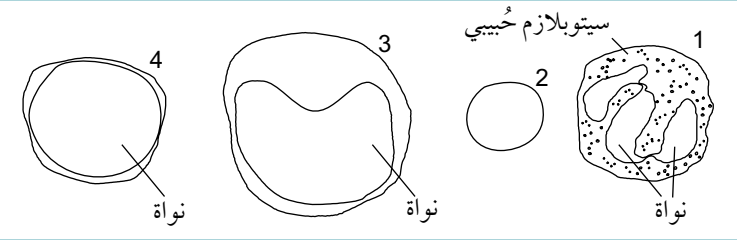
ب. تشكل مقاومة المضادات الحيوية تهديدًا خطرًا لصحة سكان العالم. ناقش الخطوات التي يمكن أن تتخذها السلطات الصحية في جميع أنحاء العالم لتقليل انتشار مقاومة المضادات الحيوية.

أفعال إجرائية

ناقش Discuss: اكتب حول الموضوع بطريقة منظمة.

تابع

٩ رسم طالب أربع خلايا دم كما هو مبيّن في الرسوم التخطيطية.



التحديد الصحيح للخلايا هو:

	1	2	3	4
أ	خلية لمفاوية	خلية وحيدة النواة	خلية دم حمراء	خلية دم بيضاء متعادلة
ب	خلية وحيدة النواة	خلية لمفاوية	خلية دم بيضاء متعادلة	خلية دم حمراء
ج	خلية دم بيضاء متعادلة	خلية دم حمراء	خلية وحيدة النواة	خلية لمفاوية
د	خلية دم حمراء	خلية دم بيضاء متعادلة	خلية لمفاوية	خلية وحيدة النواة

١٠ أثناء الاستجابة للعدوى، يحدث الآتي:

1. ارتباط البكتيريا بغشاء سطح الخلية البلعمية.
2. انتقال الخلية البلعمية إلى موقع الإصابة بالبكتيريا.
3. تكوين فجوة بلعمية.
4. اندماج الليسوسومات بالفجوة البلعمية.
5. انثناء غشاء سطح الخلية.
6. إطلاق الإنزيمات في الفجوة البلعمية.

بأي ترتيب تحدث هذه الأحداث؟

أ. 1، 2، 3، 4، 6، 5.

ب. 1، 2، 3، 5، 4، 6.

ج. 2، 1، 3، 6، 5، 4.

د. 2، 1، 5، 3، 4، 6.

تابع

١١ أي مما يأتي يفسر السبب في أن لجزيئات الجسم المضاد مستوى تركيب رابعيًّا؟

أ. تحتوي الأجسام المضادة على منطقة متغيرة.

ب. للأجسام المضادة أشكال معقدة ثلاثية الأبعاد.

ج. للأجسام المضادة تسلسلات مختلفة من الأحماض الأمينية.

د. تحتوي الأجسام المضادة على أكثر من عديد ببتيد واحد.

١٢ ما نوع المناعة التي يوفرها التطعيم؟

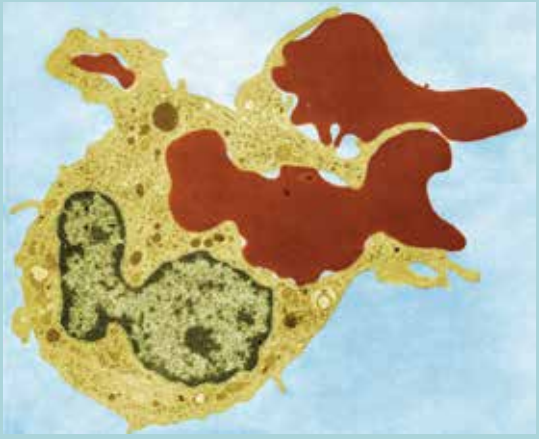
أ. إيجابية اصطناعية.

ب. سلبية اصطناعية.

ج. إيجابية طبيعية.

د. سلبية طبيعية.

١٣ الخلايا البلعمية الكبيرة في الكبد والطحال تزيل خلايا الدم الحمراء من الدورة الدموية وتدمرها. يبيّن الشكل صورة مجهرية إلكترونية (نافذ) لخلية بلعمية كبيرة تلتهم اثنتين من خلايا الدم الحمراء.



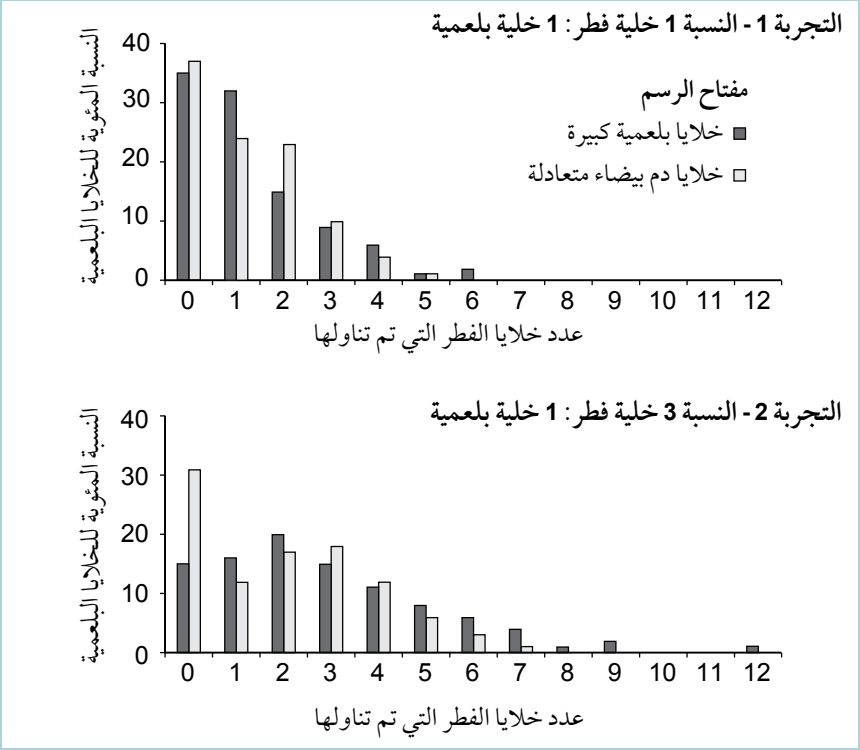
أ. اشرح سبب إزالة الخلايا البلعمية الكبيرة خلايا الدم الحمراء من الدورة الدموية.

ب. لخص كيف تتناول الخلايا البلعمية الكبيرة خلايا الدم الحمراء وتدمرها.

تابع

١٤ المبيضّة البيضاء *Candida albicans* فطر يشبه الخميرة يسبب أمراضًا انتهازية. قارن الباحثون فاعلية الخلايا البلعمية الكبيرة وخلايا الدم البيضاء المتعادلة في إزالة خلايا فطر المبيضّة البيضاء. وقد عملوا على تنمية خلايا بلعمية كبيرة وخلايا دم بيضاء متعادلة بشكل منفصل، وأضافوا خلايا من فطر المبيضّة البيضاء لكلا الزراعتَين. ثم أضافوا في التجربة 1 خلايا فطر بنسبة 1 خلايا فطر: 1 خلايا بلعمية؛ وفي التجربة 2 استخدموا النسبة 3 خلايا فطر: 1 خلايا بلعمية.

استخدم الباحثون طريقة تصوير فيديو لصور مجهرية لتسجيل سلوك الخلايا البلعمية لمدة ست ساعات. ثم حللوا مقطعَي الفيديو التي سجلت عن عدد خلايا الفطر التي تناولتها كل خلية بلعمية في كل زراعة. وقد عالج الباحثون البيانات بحساب النسبة المئوية للخلايا البلعمية التي تناولت خلايا الفطر في كل زراعة. يبيّن التمثيل البياني بالأعمدة نتائج المعالجة.

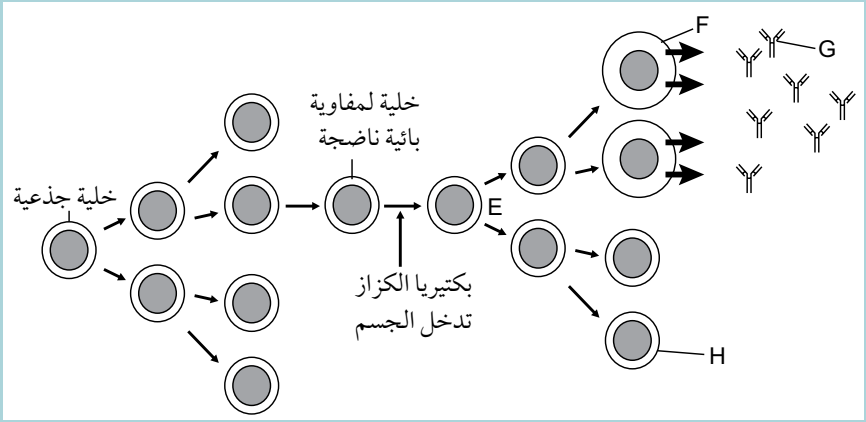


أ. اذكر خمسة استنتاجات يمكن استخلاصها من النتائج المبيّنة في التمثيل البياني بالأعمدة.

ب. اقترح محددات الاستقصاء فيما يرتبط بتطبيق النتائج لفاعلية نوعَي الخلايا البلعمية في توفير الحماية من العدوى بفطر المبيضّة البيضاء.

تابع

١٥ الكزاز مرض بكتيري يمكن أن ينتقل أثناء الحوادث التي يتعرض فيها الجرح للتربة.
تنشأ الخلايا اللمفاوية البائية من خلايا جذعية في نخاع العظم، وتنتشر عبر الدم في جميع أنحاء الجسم. بعد الإصابة ببكتيريا الكزاز تنشط بعض الخلايا اللمفاوية البائية كما يبيّن الرسم التخطيطي.



أ. اشرح دور الخلايا الجذعية في إنتاج الخلايا اللمفاوية.

ب. مستعينًا بالرسم التخطيطي، سمّ كلًا من:

١. نوع الانقسام الذي يحدث عند E.

٢. الخلايا اللمفاوية البائية المنشطة F.

٣. الجزيء G.

ج. استخدم المعلومات في الرسم التخطيطي لشرح الاختلافات بين أزواج المصطلحات الآتية:

١. الأنتيجين والجسم المضاد.

٢. أنتيجين ذاتي وأنتيجين غير ذاتي.

د. اشرح كيف تكون الخلية H مسؤولة عن المناعة طويلة الأمد ضد الكزاز.

١٦ ناقش العوامل البيولوجية والاجتماعية والاقتصادية الواجب مراعاتها للوقاية من الملاريا، والإيدز، و (TB) والسيطرة عليها.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أذكر أن الأمراض المعدية تسببها مسببات مرضية تنتقل من شخص مصاب إلى آخر.	٨–١			
أذكر مسميات المسببات المرضية التي تسبب الملاريا و HIV /الإيدز و TB وأشرح كيف تنتقل.	٨–١			
أذكر أن المسببات المرضية في الإنسان يمكن أن تكون فيروسات أو بكتيريا أو طفيليات أولية.	٨–١			
أناقش العوامل البيولوجية والاجتماعية والاقتصادية الواجب مراعاتها للوقاية من الملاريا والإيدز و TB.	٨–١			
ألخص الطريقة التي يؤثر فيها المضاد الحيوي البنسلين على البكتيريا.	٨–٢			
أشرح سبب عدم تأثير المضادات الحيوية على الفيروسات.	٨–٢			
أناقش عواقب مقاومة المسببات المرضية للمضادات الحيوية.	٨–٢			
ألخص التدابير التي يمكن اتخاذها للحد من تأثير مقاومة المضادات الحيوية.	٨–٢			
أشرح المقصود بالمصطلح أنتيجين وأذكر الاختلاف بين الأنتيجينات الذاتية والأنتيجينات غير الذاتية.	٨–٣، ٨–٥			
أصف طريقة عمل الخلايا البلعمية الكبيرة وخلايا الدم البيضاء المتعادلة.	٨–٤			
أصف ما يحدث أثناء الاستجابة المناعية الأولية متضمنًا دور الخلايا البلعمية الكبيرة والخلايا اللمفاوية البائية والتائية المساعدة والقاتلة.	٨–٤			
أشرح دور خلايا الذاكرة في الاستجابة المناعية الثانوية وفي المناعة طويلة الأمد.	٨–٤			
أصف تسلسل الأحداث أثناء الاستجابة المناعية الأولية مع الإشارة إلى أدوار: • الخلايا البلعمية الكبيرة • الخلايا اللمفاوية البائية، بما في ذلك الخلايا البلازمية • الخلايا اللمفاوية التائية، مقتصرًا على الخلايا التائية المساعدة والخلايا التائية القاتلة.	٨–٤			

قائمة تقييم ذاتي (تابع)

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أصف الاختلافات بين المناعة الإيجابية والمناعة السلبية، وبين المناعة الطبيعية والمناعة الاصطناعية.	٨-٥			
أشرح أن اللقاحات تحتوي على أنتيجينات تحفز الاستجابات المناعية لتوفير مناعة طويلة الأمد.	٨-٥			
أشرح أن برامج التطعيم تستخدم لمكافحة انتشار الأمراض المعدية.	٨-٥			



الوحدة التاسعة

التصنيف والتنوع البيولوجي والحفاظ عليه

Classification, biodiversity and conservation



أهداف التعلّم

٩-١ يناقش مصطلح النوع، مقتصرًا على مفهوم النوع البيولوجي، ومفهوم النوع المورفولوجي ومفهوم النوع البيئي.

٩-٢ يصف تصنيف الكائنات الحية في ثلاثة نطاقات: العتائق والبكتيريا وحقيقية النواة.

٩-٣ يصف أن العتائق والبكتيريا، هي بدائية النواة، وأنه توجد اختلافات بينها، مقتصرًا على الاختلافات في دهون الغشاء و RNA الرايبوسومي ومكونات جدران الخلية.

٩-٤ يصف تصنيف الكائنات الحية في نطاق حقيقية النواة وفقًا للتسلسل الهرمي التصنيفي: المملكة، الشعبة، الطائفة، الرتبة، العائلة، الجنس، النوع.

٩-٥ يلخِّص الخصائص الرئيسية لممالك الأوليات، والفطريات، والنباتات، والحيوانات.

٩-٦ يلخِّص كيفية تصنيف الفيروسات، مقتصرًا على نوع الحمض النووي (RNA أو DNA) ووجود شريط مفرد أو شريط مزدوج.

٩-٧ يشرح معنى المصطلحَين: نظام بيئي، وإطار بيئي.

٩-٨ يشرح إمكانية تقييم التنوع البيولوجي على مستويات مختلفة بما في ذلك:
- عدد ونطاق الأنظمة البيئية والمواطن البيئية المختلفة
- عدد الأنواع ووفرتها النسبية
- التنوع الجيني في النوع الواحد.

٩-٩ يشرح أهمية العيّنات العشوائية في تحديد التنوع البيولوجي في المنطقة.

٩-١٠ يصف ويستخدم الطرائق المناسبة لتقييم توزيع ووفرة الكائنات الحية في المنطقة، مقتصرًا على المقاطع الخطية، وتقنية ضع علامة – أطلق – أعد إمساك باستخدام مؤشر لينكولن (سيتم توفير صيغة لمؤشر لينكولن).

٩-١١ يشرح لماذا يمكن أن تصبح الجماعات والأنواع مهددة بالانقراض أو منقرضة نتيجة لما يأتي:
- تغير المناخ
- المنافسة
- الصيد الجائر
- تدهور وفقدان المواطن البيئية.

٩-١٢ يلخص أسباب الحاجة إلى الحفاظ على التنوع البيولوجي.

٩-١٣ يلخص أدوار الحدائق الحيوانية والحدائق النباتية والمحميات (بما في ذلك المتنزهات الوطنية والمتنزهات البحرية)، و"الحدائق الحيوانية المجمدة" وبنوك البذور، في حماية الأنواع.

٩-١٤ يصف طرائق المساعدة على الإنجاب المستخدمة في حماية الثدييات، مقتصرًا على التلقيح الاصطناعي ونقل الأجنّة والأرحام البديلة.

٩-١٥ يشرح أسباب ضبط الأنواع الغريبة الغازِيَة.

٩-١٦ يلخص دور كل من الاتحاد الدولي لحماية الطبيعة (IUCN) واتفاقية التجارة الدولية حول الأنواع المهددة بالانقراض من الحيوانات والنباتات البرية (CITES)، في حماية البيئة.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

لخص أسباب التنوع الجيني في الجماعات الأحيائية الحيوانية والنباتية، ثم قارن الأسباب التي ذكرتها مع الأسباب التي ذكرها زملاؤك الآخرون في الصف. بعد ذلك قدّم عرضًا تقديميًّا عن التنوع الجيني لاستخدامه في عملية المراجعة، مضمِّنًا بعض الأمثلة لتوضيح عرضك التقديمي.

العلوم ضمن سياقها

الطيور المحاكية

تتواجد الطيور المحاكية Mocking birds في جميع أنحاء القارتَين الأمريكيتَين، وفي جزر الغالاباغوس التي تقع في المحيط الهادئ يوجد أربعة أنواع من الطيور المحاكية منها طائر فلوريانا المحاكي Floreana mockingbird وهي أندرها (الصورة ٩-١). وقد انقرضت الجماعة الأحيائية لهذا النوع في جزيرة فلوريانا في النصف الثاني من القرن التاسع عشر، ويرجع ذلك أساسًا إلى استعمار البشر للجزيرة وإدخال أنواع مثل الفئران التي دمرت أعشاش هذه الطيور، فضلًا عن أن الناس يقومون أيضًا بقطع نباتات التين الشوكي الذي يُعدّ مصدر طعام لهذه الطيور وموقع التعشيش المفضل لديها. ولا تزال هناك مجموعتان صغيرتان لا تتعدّى المئات منها في جزيرتين صغيرتين قريبتين من جزر الغالاباغوس، وهما جزيرة شامبيون Champion وجزيرة غاردنر-باي-فلوريانا Gardner-by-Floreana. وقد حققت برامج الحماية بعض النجاح في زيادة أعداد هذا النوع من الطيور، وتم رسم خطط لإعادة إدخاله إلى فلوريانا. يمكن متابعة تقدم المشروع على موقع الإنترنت الخاص بصندوق الحفاظ على جزر الغالاباغوس Galapagos Conservation Trust.



الصورة ٩-١ واحد من أندر الطيور في العالم – طائر فلوريانا المحاكي، *Nesomimus trifasciatus*.

أسئلة للمناقشة

ما هي الأسباب الأخلاقية، أو الاجتماعية، أو الفكرية، أو الاقتصادية التي تحفز على الأخذ بالإجراءات اللازمة لمنع انقراض الأنواع المختلفة من الكائنات الحية؟ ناقش مع أحد زملائك أسباب وجوب اتخاذ التدابير المناسبة لحماية الأنواع النادرة والمهددة بالانقراض.

٩-١ التصنيف

مفهوم النوع

في هذه الوحدة سوف تتعرّف على تنوع الحياة على الأرض، وبشكل مبسط، يمكنك اعتبار أن التنوع هو بمثابة منشور مصوّر يحتوي أسماء وأوصاف جميع الأنواع المختلفة من الكائنات الحية.

غالبًا ما يستخدم مصطلح النوع species للإشارة إلى مجموعة من الكائنات الحية التي تبدو متشابهة فيما بينها، والتي يمكنها أن تتكاثر معًا بنجاح لإنتاج أفراد جديدة خصبة. يصف هذا التعريف مفهوم **النوع البيولوجي** **Biological species**، وعندما يقوم العلماء بوصف العديد من الأنواع لأول مرة، فإنه من المستحيل تطبيق هذا التعريف لأن معظم هذه الأنواع توصف باستخدام الخصائص المادية، مثل المورفولوجيا (الشكل الخارجي) والتركيب التشريحي. وفي هذه الحالة، يستخدم علماء الأحياء مفهوم **النوع المورفولوجي** **Morphological species**. يطبق علماء الأحياء أيضًا مفهوم **النوع البيئي** **Ecological species** عندما يجدون **جماعة أحيائية** **Population** تشترك أفرادها في الخصائص نفسها، وتعيش جميعها في الموطن الأحيائي نفسه وفي الوقت نفسه، إذ يمكن أن يكون لبعض الأنواع شكل خارجي متشابه جدًا، ولكن نظامها البيئي وأنماط تكاثرها وخصائصها التشريحية مختلفة، ويمكن تصنيفها بشكل منفصل (الصورة ٩-٢، انظر أيضًا فقرة «العلوم ضمن سياقها: تتشابه من الخارج وتختلف من الداخل» الواردة في الوحدة الأولى).

عندما يتم اكتشاف نوع جديد من الكائنات الحية، يتم إعطاؤه اسمًا علميًا باستخدام نظام التسمية الثنائية Binomial nomenclature system الذي طوره العالم السويدي لينيوس Linnaeus في القرن الثامن عشر. يمثل الاسم الأول اسم الجنس Genus، الذي يشير إلى مرتبة أعلى من مرتبة النوع Species في نظام التصنيف.

مصطلحات علمية

النوع البيولوجي
Biological species: مجموعة من الكائنات الحية التي تتشابه مورفولوجيًا (الشكل الخارجي) وفسيولوجيًا (وظائف أعضاء الجسم)، والتي يمكن أن تتكاثر معًا لإنتاج ذرية خصبة، وهي معزولة تكاثريًا عن الأنواع الأخرى.

النوع المورفولوجي
Morphological species: مجموعة من الكائنات الحية تشترك في العديد من الخصائص المادية التي تميزها من الأنواع الأخرى.

النوع البيئي
Ecological species: مجموعة من الأفراد من النوع نفسه تعيش في المنطقة نفسها وفي الوقت نفسه.

الجماعة الأحيائية **Population**: جميع الكائنات الحية من النوع نفسه الموجودة في المكان نفسه وفي الوقت نفسه ويمكن أن تتزاوج مع بعضها.





الصورة ٩-٢ قد تكون المظاهر الخارجية خداعة. يبدو هذان الحيوانان الثدييان متشابهَين جدًا، لكنهما يمثلان نوعين مختلفين، مصنفين في رتبتين مختلفتين. (أ) يعيش هذا الفأر في جنوب أفريقيا؛ (ب) يمثل هذا الحيوان الفأر الجرابي **Antechinus** ويعيش في أستراليا. يصنف الفأر ضمن الثدييات المشيمية ويصنف الفأر الجرابي ضمن الثدييات ذات الجراب.

عندما تتشابه الأنواع في العديد من الصفات وترتبط ارتباطًا وثيقًا معًا تُصنف ضمن الجنس نفسه. الاسم الثاني هو لقب خاص Epithet للنوع. اسم الجنس يتكوّن من كلمة واحدة (مثل *Nesomimus*)، واسم النوع يتكوّن من كلا الكلمتَين: اسم الجنس واللقب الخاص للنوع (على سبيل المثال *Nesomimus trifasciatus*). وللتوضيح، فإن *Nesomimus trifasciatus* هو أحد الأنواع ضمن الجنس *Nesomimus*، والذي يشمل جميع أنواع الطيور المحاكية الأربعة في جزر الغالاباغوس. وعند استخدام الاسم العلمي لكائن حي معيّن لأول مرة أثناء الكتابة عنه، يجوز اختصاره لاحقًا إذا استخدمته مرة أخرى. فالشكل المختصر للاسم العلمي يتكوّن من الحرف الأول من اسم الجنس، متبوعًا بلقب النوع (مثل *N. trifasciatus*). وإذا كان يترتب أي غموض أو خلط عند القيام بذلك (على سبيل المثال، قد تكتب عن نوعَين بأسماء جنس مختلفة تبدأ بالحرف *A*)، فعليك كتابة الاسم بالكامل. وإذا طُلب إليك كتابة اسم أحد الأنواع، فاذكر دائمًا اسمَين: اسم الجنس متبوعًا باللقب الخاص للنوع.

لا أحد يعرف على وجه اليقين عدد الأنواع من الكائنات الحية المختلفة والموجودة على الأرض. لقد تم وصف وتسمية أكثر من 1.5 مليون نوع من الحيوانات حتى الآن، إلا أن تقديرات العدد الإجمالي للأنواع المختلفة من الكائنات الحية قد تصل إلى 100 مليون نوع.

التسلسل الهرمي للتصنيف

مع وجود هذا العدد الهائل من الكائنات الحية التي تعيش على الأرض، أراد علماء الأحياء دومًا ترتيبها في مجموعات لتسهيل عملية دراستها، وهي عملية تسمى التصنيف. ونجد صعوبة في حفظ أو استيعاب المعلومات المتعلقة بآلاف الأشياء المختلفة والتي لا ترتبط ببعضها، ولكن من خلال تجميعها في فئات مختلفة، يكون فهمها وتذكر ميزاتها الرئيسية أسهل بكثير.

علم التصنيف Taxonomy هو دراسة وممارسة تحديد الفئات، التي تتضمن وضع الكائنات الحية في سلسلة من الوحدات التصنيفية، أو **الأُصْنوفات Taxa** (المفرد: **أُصْنوفَة Taxon**). في **التصنيف البيولوجي Biological classification**، تشكل هذه الأُصْنوفات تسلسلًا هرميًا Hierarchy. بالنسبة لحقيقيات النوى، يتم تحديد الكائنات الحية تبعًا لأنواعها الخاصة، ويتم تجميع الأنواع المتشابهة في جنس واحد (الجمع: أجناس). ويتم تجميع الأجناس المتشابهة في عائلة (الجمع: عائلات)، والعائلات المتشابهة في رتبة (الجمع: رتب)، والرتب المتشابهة في طائفة (الجمع: طوائف)، والطوائف المتشابهة في شعبة (الجمع: شُعب) والشُعب المتشابهة في **مملكة Kingdom** (الجمع: ممالك). وهكذا يحتل **النطاق Domain** أعلى **مرتبة تصنيفية Taxonomic rank** في نظام **التسلسل الهرمي للتصنيف Hierarchical classification** هذا.

مصطلحات علمية

علم التصنيف Taxonomy: دراسة وممارسة تسمية وتصنيف الأنواع ومجموعات الأنواع المختلفة ضمن التسلسل الهرمي للتصنيف.

أُصْنوفَة Taxon: مجموعة تصنيفية من أي مرتبة مثل نوع معيّن (مثل الزرافة النوبية التي تعيش في السودان Giraffa camelopardalis)، أو عائلة (مثل الفيليات Elephantidae)، أو طائفة (مثل الثدييات Mammalia) أو مملكة (مثل النباتات Plantae).

التصنيف البيولوجي Classification biological: تنظيم الكائنات الحية والمنقرضة في مجموعات منتظمة بناء على أوجه التشابه والاختلاف بين الأنواع المختلفة.

المملكة Kingdom: المرتبة التصنيفية التي تقع تحت النطاق.

النطاق Domain: أعلى مرتبة تصنيفية ضمن النظام الهرمي للتصنيف.

المرتبة التصنيفية Taxonomic rank: إحدى المجموعات المستخدمة في النظام الهرمي لتصنيف الكائنات الحية، على سبيل المثال: النوع، والجنس، والعائلة، والرتبة، والطائفة، والشعبة، والمملكة، والنطاق.

يوضح الجدول ٩-١ كيف يتم تصنيف أفيال الأدغال الأفريقية ونباتات الكركديه (الصورة ٩-٣).

المرتبة التصنيفية	فيل الأدغال الأفريقي	نبات الكركديه الخطمي
النطاق Domain	حقيقة النواة Eukarya	حقيقة النواة Eukarya
المملكة Kingdom	الحيوانات Animalia	النباتات Plantae
الشعبة Phylum	الحبليات Chordata	النباتات الزهرية Angiospermae
الطائفة Class	الثدييات Mammalia	ثنائية الفلقة Dicotyledonae
الرتبة Order	الخرطوميات Proboscidea	الخبازيات Malvales
العائلة Family	الأفيال Elephantidae	الخبازية Malvaceae
الجنس Genus	الفيل الأفريقي *Loxodonta*	الخطمي *Hibiscus*
النوع Species	فيل الأدغال الأفريقي *Loxodonta africana*	الكركديه الخطمي *Hibiscus rosa-sinensis*

الجدول ٩-١ تصنيف أفيال الأدغال الأفريقية ونباتات الكركديه الخطمي.

مصطلحات علمية

التسلسل الهرمي للتصنيف

Hierarchical classification: ترتيب الكائنات الحية في مجموعات ذات مراتب مختلفة، وأدنى مرتبة هي النوع. يتم تجميع الأنواع المتشابهة معًا في المرتبة التالية وهي الجنس؛ ويستمر هذا التصنيف ضمن مراتب أعلى حتى الوصول إلى أعلى مرتبة وهي النطاق الذي يتم فيه تجميع العديد من الأنواع معًا.



الصورة ٩-٣ الاسم العلمي لنبات الكركديه الخطمي هو *Hibiscus rosa-sinensis* وقد انتشر هذا النبات في الماضي من قارة آسيا إلى الكثير من المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية. يمثل لون الزهرة في هذا النبات مثالًا جيدًا على التنوع الجيني في هذا النوع من النباتات.

سؤال

١ **أ.** الزرافة النوبية، واسمها العلمي *Giraffa camelopardalis*، هي نوع من الحيوانات الثديية تنتمي إلى رتبة مزدوجات الأصابع Artiodactyla وعائلة الزرافيات Giraffidae. ارسم جدولًا يوضح كيفية تصنيف الزرافة.

ب. استخدم أمثلة من الجدول ٩-١ لشرح:

١. مصطلح **المرتبة التصنيفية**.

٢. لماذا يُعدّ نظام التصنيف نظامًا هرميًا.

النطاقات الثلاثة

تعوّد علماء الأحياء على تقسيم الكائنات الحية إلى مجموعتين كبيرتين بناءً على تركيب الخلية لكل منهما. في الصف الحادي عشر، رأيت أن الكائنات الحية بدائية النوى وتلك حقيقية النوى لها تراكيب خلوية مختلفة اختلافًا مهمًا. ففي السبعينيات من القرن الماضي، تم اكتشاف أنواع جديدة من الكائنات الحية بدائية النوى، وتتميز بأنها تعيش في بيئات متطرفة (قاسية جدًا)، مثل الينابيع الساخنة حيث تتجاوز درجات الحرارة في كثير من الأحيان 100 °C. تسمى هذه الكائنات الحية باسم الكائنات الحية المحبة للظروف البيئية المتطرفة، وهي ليست مثل البكتيريا النموذجية. وقد كشفت الدراسات أن الجينات التي تشفر للحمض النووي RNA المسؤول عن تركيب رايبوسوماتها، كانت أشبه بجينات الكائنات الحية حقيقية النوى. ووجد أن الكائنات المحبة للظروف البيئية المتطرفة تشترك في الميزات مع كل من البكتيريا النموذجية (بدائية النوى) والكائنات الحية حقيقية النوى. خلال هذا الوقت، اتخذت دراسات البيولوجيا الجزيئية إجراءً أكبر أهمية في التصنيف، ما عنى أنه يجب إدخال أُصْنوفَة جديدة على مرتبة النطاق، ليعكس الاختلافات بين الكائنات المحبة للظروف البيئية المتطرفة والبكتيريا النموذجية. النطاق هو المرتبة الأعلى في التسلسل الهرمي للتصنيف (الجدول ٩-١). ففي التصنيف الحديث، تم تقسم بدائيات النوى إلى نطاقين: نطاق **البكتيريا** Bacteria ونطاق **العتائق** Archaea، وتصنف جميع الكائنات الحية حقيقية النواة في نطاق **حقيقية النوى** Eukarya.

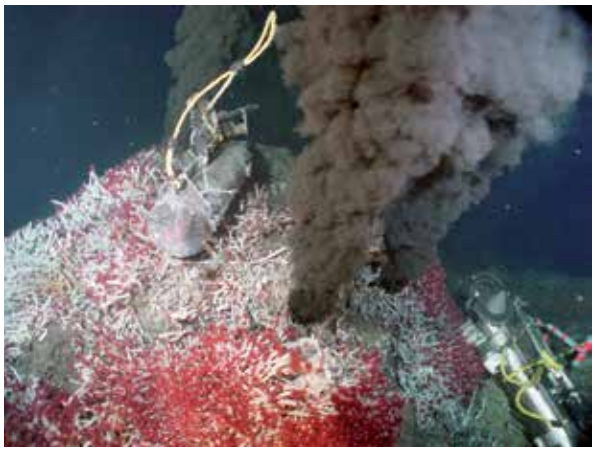
مصطلحات علمية

البكتيريا Bacteria: النطاق الذي يضم جميع الكائنات الحية بدائية النواة باستثناء تلك المصنفة على أنها من العتائق.

العتائق Archaea: نطاق الكائنات بدائية النواة التي تشبه البكتيريا، ولكنها تشترك في بعض الميزات مع الكائنات الحية حقيقية النوى.

حقيقية النوى Eukarya: النطاق الذي يضم جميع الكائنات الحية حقيقية النوى، ويشمل الأوليات والفطريات والنباتات والحيوانات.

تعيش العديد من العتائق في بيئات متطرفة، مثل الينابيع الساخنة، وحول الفتحات البركانية العميقة (فوهات حرارية مائية) في المحيطات (الصورة ٩-٤) والبحيرات حيث يوجد تركيز عالٍ جدًا من الملح. وينتج بعض هذه الكائنات الحية غاز الميثان، ولا يمكنها البقاء على قيد الحياة حيث يوجد الأكسجين، كما أن لديها العديد من الإنزيمات غير العادية. ومنذ أن تم اكتشافها في البيئات القاسية، تم العثور عليها أيضًا في العديد من البيئات الأقل قسوة؛ فهي على سبيل المثال تشكل جزءًا مهمًا من العوالق *Planktons* في المحيطات.



الصورة ٩-٤ فتحة حرارية مائية في أعماق البحار (فوهة الدخان الأسود) محاطة بالديدان الأنبوبية العملاقة. يعتمد المجتمع الأحيائي هنا على الطاقة التي توفرها البكتيريا والعتائق.

نطاق البكتيريا Domain Bacteria

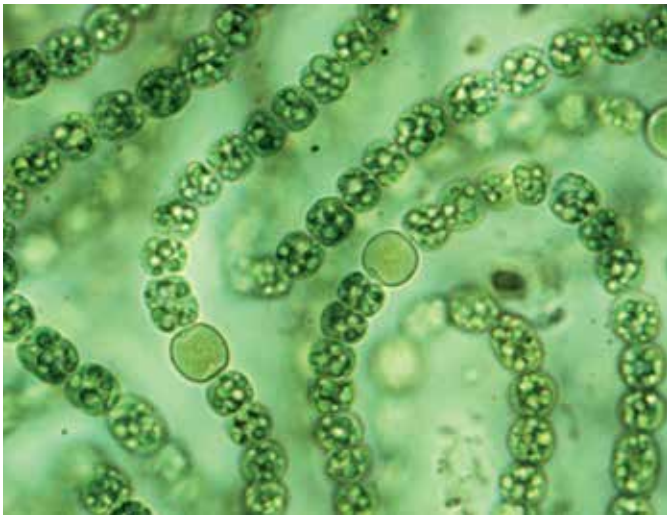
كائنات حية بدائية النواة لأن خلاياها لا تحتوي على نواة محددة بغشاء، وهي كائنات صغيرة الحجم، تتنوع في حجمها بين حجم أكبر الفيروسات وحجم أصغر الكائنات الحية أحادية الخلية حقيقية النوى. في الوحدة الثامنة، توجد صورة مجهرية إلكترونية لنوع من البكتيريا المسببة للأمراض (الصورة ٨–٧) وتُظهر الصورة ٩–٥ البكتيريا الخضراء المزرقة المعروفة باسم نوستوك *Nostoc*.

نطاق العتائق Domain Archaea

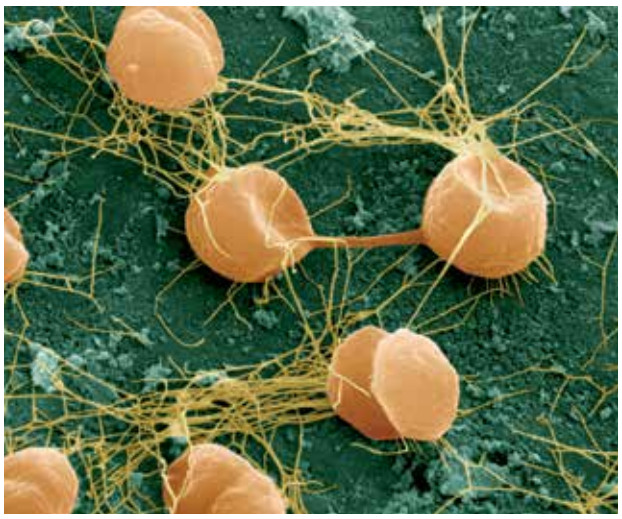
هي أيضًا كائنات حية بدائية النواة؛ حيث لا تحتوي خلاياها على نواة محددة بغشاء، ومدى أحجام خلاياها مشابه لمدى أحجام خلايا البكتيريا. يعيش الكثير منها في بيئات قاسية (الصورتان ٩–٤ و ٩–٦)، وتتشابه عمليات الأيض في خلايا العتائق مع عمليات الأيض في البكتيريا، غير أن الطريقة التي تحدث بها عملية النسخ فيها الكثير من القواسم المشتركة مع طريقة النسخ في خلايا الكائنات حقيقية النوى.

نطاق حقيقيات النوى Domain Eukarya

جميع الكائنات الحية المصنفة في هذا النطاق تحتوي على خلايا ذات نوى محددة وعضيات محاطة بالأغشية.



الصورة ٩–٥ البكتيريا الخضراء المزرقة الخيطية نوستوك Nostoc. يقوم هذا النوع من البكتيريا بتثبيت ثاني أكسيد الكربون خلال عملية التمثيل الضوئي. كما أنه يقوم بتثبيت النيتروجين N_2 الموجود في الهواء بتحويله إلى مركبات عضوية نيتروجينية في الخلايا الكبيرة ذات اللون الأخضر الفاتح الموجودة في خيوطه (600×).



الصورة ٩–٦ صورة مجهرية إلكترونية (الماسح) لعتائق المكورات النارية *Pyrococcus furiosus* (12 500 ×). على الرغم من أنها تشبه البكتيريا، إلا أن هذه الكائنات الحية تتميز بوجود اختلافات في التركيب وفي عمليات الأيض وفي تركيب الجينات وآلية نسخها. تم العثور على البكتيريا المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة جدًا *P. furiosus* فقط في الماء القريب من درجة الغليان (الينابيع الساخنة). إذا انخفضت درجة الحرارة عن 70°C، فإن هذه الكائنات الحية تتجمد وتموت. يتنفس هذا الكائن الحي في ظروف لاهوائية باستخدام الكبريت بدلًا من الأكسجين كمستقبل نهائي للإلكترونات.

مهمّ

الخصائص المميزة للبكتيريا

- لا تحتوي خلاياها على نواة محددة بغشاء.
- DNA حلقي ملتف الشكل ولا يرتبط ببروتينات الهستون.
- غالبًا ما توجد جزيئات حلقية صغيرة من DNA تسمى البلازميدات.
- لا توجد في خلاياها عضيات محاطة بأغشية (مثل الميتوكندريا، والشبكة الإندوبلازمية، وجهاز جولجي، والبلاستيدات الخضراء).
- يكون حجم الرايبوسومات (70S) أصغر من تلك التي في الخلايا حقيقية النواة.
- جدران الخلايا موجودة دائمًا وتحتوي على مادة الببتيدوجلايكان (وليس السليلوز).
- تنقسم الخلايا عن طريق الانشطار الثنائي، وليس بالانقسام المتساوي.
- توجد عادة كخلايا مفردة أو كمجموعات صغيرة من الخلايا.

الخصائص المميزة للعتائق

- لا تحتوي خلاياها على نواة محددة بغشاء.
- DNA على شكل «كروموسوم» حلقي الشكل ويرتبط ببروتينات الهستون.
- غالبًا ما توجد جزيئات حلقية صغيرة من DNA تسمى البلازميدات.
- لا توجد في خلاياها عضيات محاطة بأغشية.
- يكون حجم الرايبوسومات (70S) أصغر من تلك التي في الخلايا حقيقية النواة، ولكن الوحدة الصغيرة للرايبوسوم لها خصائص مشابهة لتلك الموجودة في رايبوسومات الخلايا حقيقية النواة ولا تشبه الرايبوسومات البكتيرية؛ التسلسل الأساسي للحمض النووي rRNA ومستوى التركيب الأولي للبروتينات المرتبطة به في الرايبوسومات تشبه تلك الموجودة في الخلايا حقيقية النواة أكثر من البكتيريا.
- الدهون في أغشيتها الخلوية فريدة – لا توجد في أغشية خلايا البكتيريا ولا في أغشية الخلايا حقيقية النواة.
- جدران الخلايا موجودة دائمًا لكنها لا تحتوي على مادة الببتيدوجلايكان.
- تنقسم الخلايا عن طريق الانشطار الثنائي، وليس بالانقسام المتساوي.
- توجد عادة كخلايا مفردة أو كمجموعات صغيرة من الخلايا.

الخصائص المميزة لحقيقيات النوى

- الخلايا ذات نواة محددة محاطة بغلاف، وبها عضيات محاطة بأغشية.
- يترتب الحمض النووي DNA في النواة على شكل خيوط مستقيمة تسمى الكروموسومات، مرتبطة مع بروتينات الهستون.
- الرايبوسومات (80S) في السيتوسول تكون أكبر من الموجودة في بدائية النوى (70S). وتحتوي البلاستيدات الخضراء والميتوكندريا على رايبوسومات (70S)، مثل تلك الموجودة في البكتيريا.
- يوجد في البلاستيدات الخضراء وفي الميتوكندريا جزيئات DNA حلقية خاصة بهما كما هي الحال في الخلايا بدائية النواة.
- لها تنوع كبير في أشكالها: كائنات أحادية الخلية (صورة ٩-٧)، وكائنات مستعمرية (صورة ٩-٨)، وكائنات متعددة الخلايا.
- تنقسم خلاياها عن طريق الانقسام المتساوي للنمو وتعويض الخلايا التالفة وليس عبر الانشطار الثنائي (تكوين الخلايا التكاثرية يتم عبر الانقسام الاختزالي).
- توجد جدران الخلايا في بعض الكائنات حقيقية النوى.
- تتكاثر بطرائق عديدة ومختلفة – التكاثر اللاجنسي والتكاثر الجنسي.

أسئلة

٢ ارسم جدولًا تقارن فيه خصائص النطاقات الثلاثة: البكتيريا، والعتائق وحقيقيات النوى.

٣ اذكر **ثلاث** طرائق تختلف بها الكائنات المصنفة على أنها من العتائق، عن الكائنات الحية المصنفة ضمن نطاق البكتيريا.

الممالك

ينقسم كل من النطاقات الثلاثة المذكورة سابقًا إلى مجموعة من الممالك، ويصف هذا القسم ميزات الممالك الأربع لحقيقيات النوى:

- مملكة الأوليات Protista
- مملكة الفطريات Fungi
- مملكة النباتات Plantae
- مملكة الحيوانات Animalia

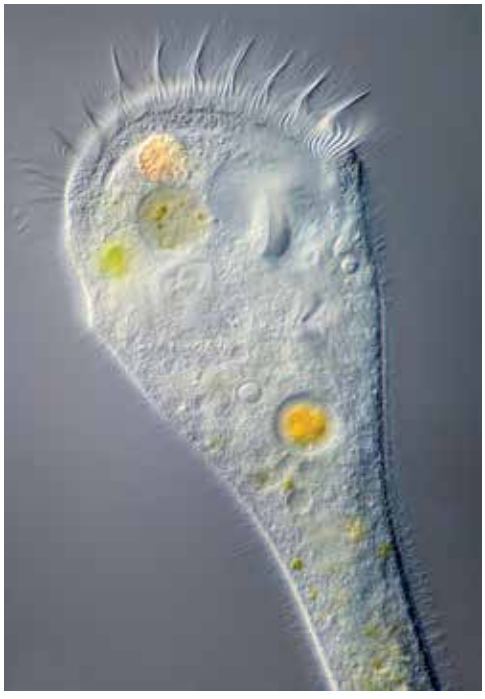
مصطلحات علمية

مملكة الأوليات Protista: مملكة تتضمن كائنات حية حقيقية النواة، تتكوّن أجسامها من خلية مفردة (أحادية الخلية) أو من مجموعات من الخلايا المتشابهة.

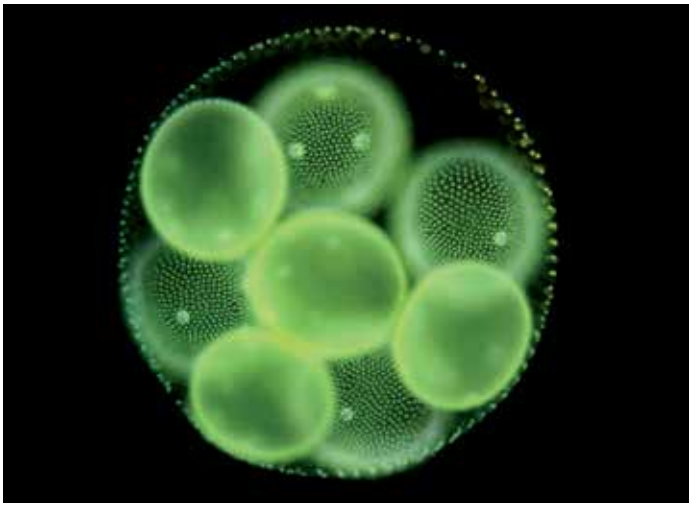
كائن حي أولي Protist: كائن حي مصنف ضمن مملكة الأوليات.

مملكة الأوليات

تصنف ضمن **مملكة الأوليات Protista** مجموعة متنوعة جدًا من الكائنات حقيقية النواة، والتي تشمل تلك التي غالبًا ما تسمى الكائنات الأولية Protozoans («الحيوانات البسيطة» مثل طفيلي البلازموديوم الذي يسبب الملاريا) والطحالب، مثل الأعشاب البحرية. ومن ناحية عملية، يتم تصنيف أي كائنات حية حقيقية النواة ليست من الفطريات أو النباتات أو الحيوانات على أنها **كائنات حية أولية protist** (الصورتان ٩–٧ و ٩–٨). في الواقع قد تكون العديد من الكائنات الحية في هذه المملكة أكثر ارتباطًا بالكائنات الموجودة في الممالك الأخرى مقارنة بارتباطها بعضها ببعض، فعلى سبيل المثال، هناك جدال عميق وحجج قوية من أجل تصنيف الطحالب كنباتات.



الصورة ٩–٧ الهدبيات *Stentor roseli* تغطيها العديد من الأهداب التي يستخدمها هذا الكائن الحي في الحركة والتغذية. وعلى الرغم من أنه أحادي الخلية، إلا أنه يتميز بوجود مناطق شديدة التخصص داخل خليته (**240×**).



الصورة ٩–٨ الطحلب الأخضر *Volvox globator* هو كائن حي أولي يشكل مستعمرات كروية خضراء من الخلايا. يتكوّن جسم هذا الكائن الحي من آلاف الخلايا ذات الأسواط، تعمل معًا بطريقة منسقة، إنما مع قليل من التخصص في الخلايا. مثلًا، تتحسس الخلايا الموجودة في أحد أقطاب المستعمرة الكروية الضوء بحيث تسبح هذه المستعمرة ككتلة واحدة باتجاه الضوء. الخلايا الموجودة في القطب الآخر متخصصة بالتكاثر، ويوجد في داخل المستعمرة الواحدة عدد من المستعمرات الجديدة التي تكون على وشك التحرر والانطلاق لتنمو إلى مستعمرات جديدة (**60×**).

مهمّ

الخصائص المميزة للأوليات

- خلاياها حقيقية النواة.
- وحيدة الخلية في الغالب، أو توجد كمجموعات من الخلايا المتشابهة.
- يتكوّن بعضها من خلايا شبيهة بالخلايا الحيوانية Animal-like cells (لا يحيط بها جدار خلوي) وتسمى أحيانًا الحيوانات الأولية Protozoa.
- يتكوّن بعضها الآخر من خلايا شبيهة بالخلايا النباتية Plant-like cells (لها جدران خلوية من مادة السليلوز وتحتوي على بلاستيدات خضراء) وتسمى أحيانًا الطحالب.

مملكة الفطريات

ثمّة بعض أوجه الشبه بين **الفطريات Fungi** والنباتات، ولكن لا يوجد أي نوع من الفطريات قادر على القيام بعملية التمثيل الضوئي. فمن حيث تغذيتها، تتميز جميع الفطريات بأنها غير ذاتية التغذية، وتحصل على الطاقة التي تحتاج إليها وعلى عنصر الكربون (كأساس لبناء المواد العضوية) من خلال تغذيتها على المواد الميتة والمتحللة أو عن طريق تطفلها على الكائنات الحية. هناك مدى واسع في حجم أجسام الفطريات؛ من الخمائر مجهرية الحجم إلى ما قد يكون أكبر كائن حي في العالم. تنمو عيّنة من فطر العسل، *Armillaria bulbosa*، في إحدى غابات ولاية ويسكونسن في الولايات المتحدة الأمريكية، وتنتشر على مساحة تزيد عن 160,000 m^2 ولا يُحتمل أن يكون فطر العسل أكبر كائن حي في العالم فحسب، بل قد يكون أيضًا الأقدم بعمر يتراوح بين 1500 و 10,000 سنة؛ كما أن كتلته تقدر بنحو 100 طن.

مهمّ

الخصائص المميزة للفطريات

- خلاياها حقيقية النواة.
- لا تحتوي على الكلوروفيل ولا تقوم بعملية التمثيل الضوئي.
- غير ذاتية التغذية – فهي تستخدم المركبات العضوية التي تصنعها الكائنات الحية الأخرى كمصدر للطاقة ومصدر للجزيئات من أجل عمليات الأيض.
- تتكاثر بواسطة الأبواغ (الجراثيم) (الصورة ٩-٩).
- تركيب أجسامها بسيط، فقد تكون أحادية الخلية أو تتكوّن من خيوط طويلة من الخلايا تسمى هيفا Hyphae (مع أو بدون جدران عرضية) (الشكل ٩-١)؛ جميع الهيفا التي تنمو أصلًا من

مصطلحات علمية

مملكة الفطريات Fungi: مملكة تتضمن جميع الكائنات حقيقية النواة التي لا تقوم بعملية التمثيل الضوئي، ولها جدران خلوية، ولكنها تخلو من السليلوز.

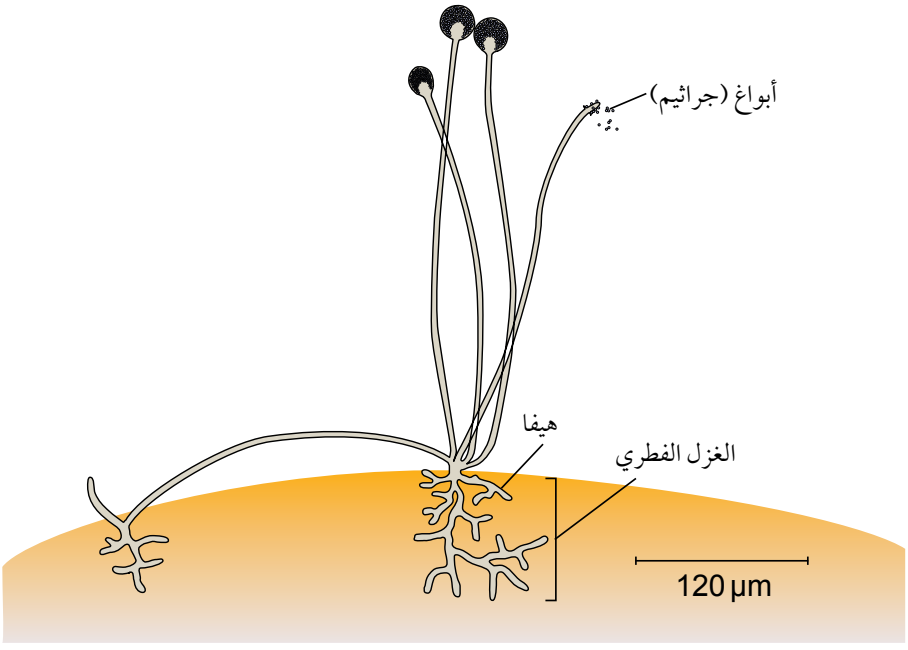


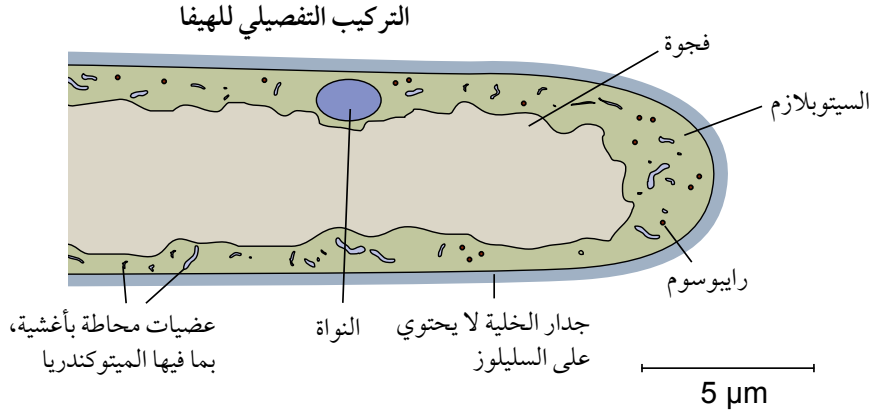
الصورة ٩-٩ الأجسام الثمرية لفطر النفاث، *Lycoperdon perlatum*، تطلق الملايين من الأبواغ(الجراثيم) المجهرية. إن طريقة التغذية في هذا الفطر المعتمدة على المواد الميتة والمتحللة تعني أن الطعام في النهاية قد استنفد بالكامل. قد يهبط عدد قليل من الأبواغ (الجراثيم) على مصدر غذاء مناسب وتكون قادرة على النمو لإنتاج أفراد جديدة.

تابع

بوغ (جرثوم) واحد تشكل الغزل الفطري Mycelium (جسم الفطر)؛ تنتج الفطريات كبيرة الحجم، مثل فطر المشروم، كتلًا كبيرة مضغوطة من الهيفا تسمى «الأجسام الثمرية Fruiting bodies» التي تطلق الأبواغ (الجراثيم).

- لخلاياها جدران خلوية مكونة من مادة الكيتين أو مواد أخرى، وليس من السليلوز.
- لا يمكن أن تمتلك خلاياها الأهداب.





الشكل ٩-١ فطر عفن الخبز *Rhizopus nigricans*، وتفاصيل طرف أحد الهيفا.

مملكة النباتات

مملكة النباتات Plantae هي كائنات حية متعددة الخلايا تقوم بعملية التمثيل الضوئي (الصورتان ٩-١٠ و ٩-١١). تمتلك النباتات أجسامًا معقدة التركيب، وغالبًا ما تكون شديدة التفرع فوق الأرض وتحتها.

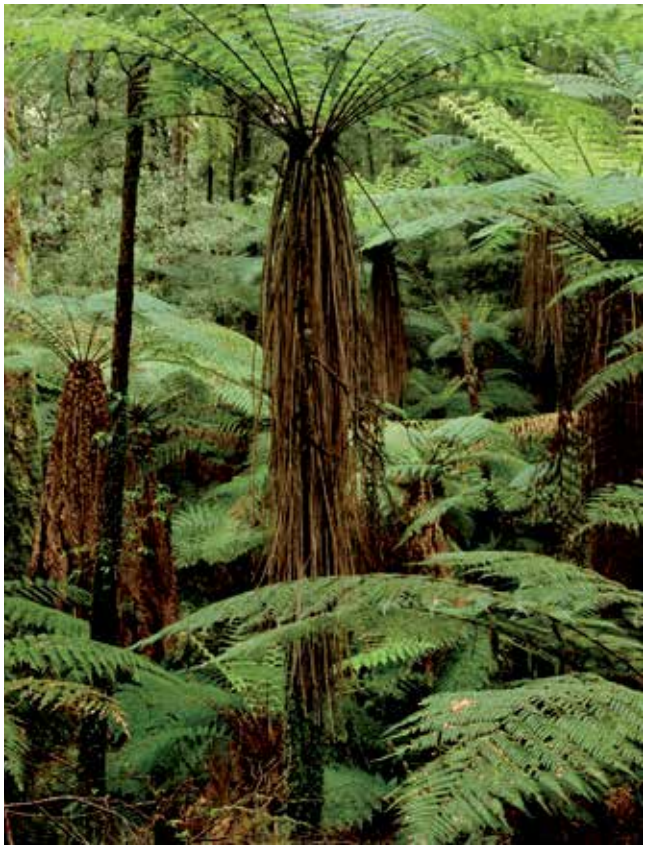
مصطلحات علمية

مملكة النباتات Plantae: مملكة تتضمن الكائنات الحية حقيقية النواة وعديدة الخلايا، ولها جدران خلوية تحتوي على السليلوز ويمكنها القيام بعملية التمثيل الضوئي.

مهمّ

الخصائص المميزة للنباتات

- حقيقية النواة، عديدة الخلايا، مع خلايا تتمايز لتشكل الأنسجة والأعضاء.
- تحتوي على أنواع قليلة من الخلايا المتخصصة.
- تحتوي بعض الخلايا على بلاستيدات خضراء وتقوم بعملية التمثيل الضوئي (انظر الصورتين ٩-١٠ و ٩-١١).
- ذاتية التغذية.
- تحتوي خلاياها على فجوات كبيرة، وهي في كثير من الأحيان دائمة حيث تقوم بتوفير الدعم للخلية.
- تحتوي خلاياها دائمًا على جدار خلوي يتكون أساسًا من السليلوز.
- قد تحتوي الخلايا أحيانًا على أسواط (مثل الأمشاج الذكرية في السرخسيات).



الصورة ٩-١٠ نوع من أشجار السرخس، *Cyathea sp*، تنمو في حديقة ويريناكي المحمية *Whirinaki Conservation Park*، في نيوزيلندا.



الصورة ٩-١١ أشجار الصنوبر بريستليكون **Bristlecone pines** هي بعض أقدم الأشجار على وجه الأرض، ويقدر أن عمرها يتراوح بين **2000** و **3000** سنة. تنمو الأشجار المبيّنة في الصورة على ارتفاع يزيد عن **2900 m** في الغابة الملتوية **Twisted Forest** في منطقة أشداون جورج البرية **Ashdown Gorge wilderness** في غابة ديكسي الوطنية **Dixie National Forest**، في يوتاه، الولايات المتحدة الأمريكية.

مملكة الحيوانات

تتضمن **مملكة الحيوانات** **Animalia** كائنات حية عديدة الخلايا، غير ذاتية التغذية ولديها طرائق عديدة للحصول على طعامها. هناك تنوع كبير في الأشكال ضمن هذه المملكة (صورة ٩-١٢)، ويتميز أفراد هذه المملكة بوجود جهاز عصبي فريد.



الصورة ٩-١٢ يتغذى نجم البحر المكلل بالشوك، *Acanthaster planci*، على الشعاب المرجانية في الحاجز المرجاني العظيم. لقد مرت هذه الجماعة الأحيائية بالعديد من الانفجارات السكانية (زيادة كبيرة في أعداد أفرادها) خلال السنوات الأخيرة، ما تسبب في تدمير الكثير من حيوانات المرجان في أجزاء من الشعاب المرجانية (انظر الموضوع ٩-٢).

مصطلحات علمية

مملكة الحيوانات **Animalia**: مملكة من الكائنات الحية حقيقية النواة، عديدة الخلايا، وغير ذاتية التغذية، وتتميز بامتلاكها لجهاز عصبي.

مهمّ

الخصائص المميزة للحيوانات

- حقيقية النواة، وعديدة الخلايا مع العديد من الأنواع المختلفة من الخلايا المتخصصة.
- تتمايز الخلايا لتشكيل الأنسجة والأعضاء.
- لا تحتوي الخلايا على بلاستيدات خضراء، ولا يمكنها القيام بعملية التمثيل الضوئي (على الرغم من أن بعض الخلايا، مثل خلايا حيوان المرجان البولب Polyp، تعيش في داخل أنسجتها أوليات تقوم بعملية التمثيل الضوئي).
- تحتوي خلاياها على فجوات صغيرة ومؤقتة (مثل الليسوسومات والفجوات الغذائية).
- غير ذاتية التغذية.
- لا تحتوي خلاياها على جدران خلوية.
- يتم الاتصال الداخلي في جسم الحيوانات عن طريق الجهاز العصبي والتأشير الكيميائي.
- تحتوي بعض الخلايا المتخصصة على أهداب.

سؤال

٤ **أ.** أي الممالك حقيقية النوى تحتوي على:

١. كائنات حية ذاتية التغذية؟

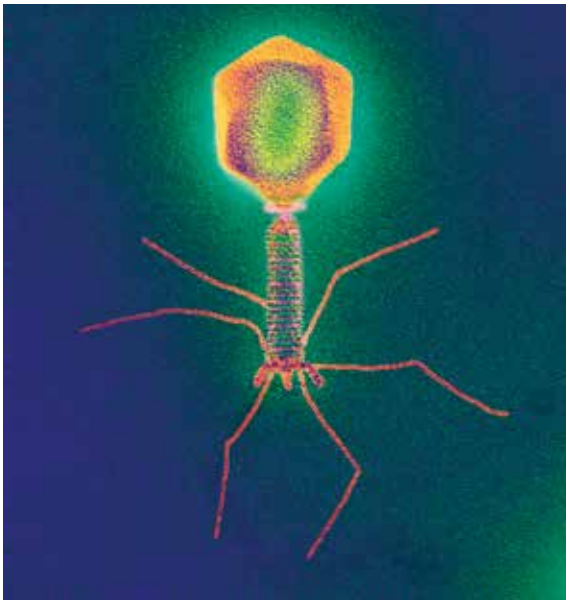
٢. كائنات حية غير ذاتية التغذية؟

ب. ارسم جدولًا لمقارنة الخصائص المميزة للممالك الأربع لحقيقيات النوى.

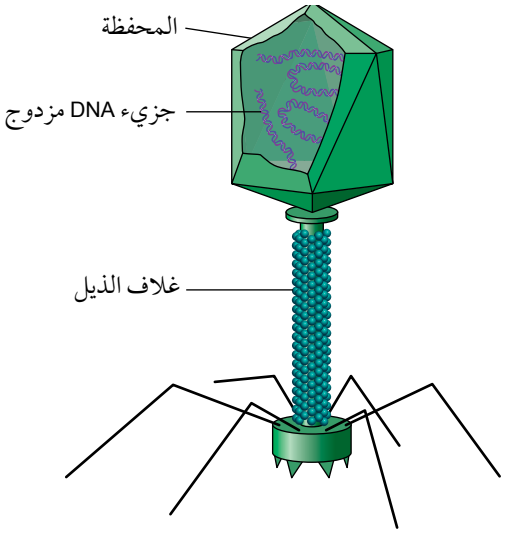
الفيروسات

الفيروسات كائنات مجهرية صغيرة جدًا بحيث لا يمكن رؤيتها ورؤية تركيبها إلا باستخدام المجاهر الإلكترونية (الصورتان ٩-١٣ و ٩-١٤ والشكل ٩-٢). تُعدّ الفيروسات لا خلوية Acellular، أي ليس لديها تركيب خلوي مثل خلايا البكتيريا والفطريات. لقد درست في الصف الحادي عشر تركيب الفيروسات، وفي الوحدة الثامنة بعض المسببات المرضية الفيروسية البشرية، وفي الوحدة الثالثة رأيت أن للفيروسات دورًا مهمًا في تقنية الجينات.

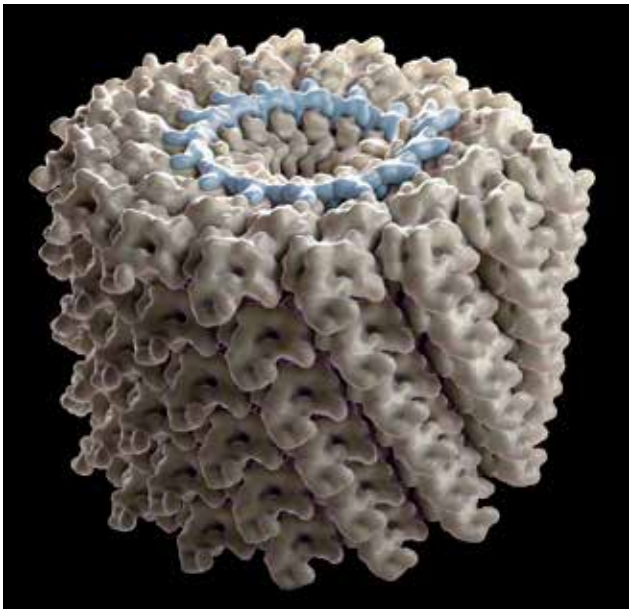
لم تُصنَّف الفيروسات ضمن نظام التصنيف ذي النطاقات الثلاثة، والسبب في ذلك هو أنها لا تمتلك أيًا من الميزات التي تستخدم تقليديًا في التصنيف. فعندما تكون الفيروسات حرة في البيئة، فإنها تكون معدية، ولكنها لا تستطيع القيام بأي عملية من العمليات الأيضية. وعندما تصيب الخلايا الحية وتتكاثر في داخلها، فإنها لا تستطيع القيام بذلك ذاتيًا، فهي تستخدم الآلية الكيميائية الحيوية (Biochemical machinery) للخلية العائل لنسخ الأحماض النووية الفيروسية ولصنع البروتينات الفيروسية. هذا الأمر غالبًا ما يؤدي إلى تدمير الخلايا العائل، لأنه يتم توفير الطاقة لهذه العمليات عن طريق عملية التنفس الخلوي في الخلية المضيفة.



الصورة ٩-١٣ صورة مجهرية إلكترونية (النافذ) للفيروس آكل البكتيريا **T4** – وهو فيروس يصيب بكتيريا الإشيريكية القولونية *Escherischia coli*، ويستخدم كناقل في الهندسة الجينية. يمثل شريط المقياس **50 nm**.



الشكل ٩-٢ رسم تخطيطي للفيروس آكل البكتيريا **T4**.



الصورة ٩-١٤ نموذج يوضح بنية جزء من فيروس تبرقش أوراق التبغ **Tobacco mosaic virus (TMV)**. الشريط الأزرق، الشريط المفرد من **RNA** والباقي يتكون من جزيئات البروتينات. في دراسة استقصائية شملت علماء أمراض النبات في عام **2011** م، تمّ التصويت على أن **TMV** يُعدّ أهم الفيروسات النباتية.

يعتمد النظام التصنيفي لتصنيف الفيروسات على نوع الحمض النووي الذي يحتويه الفيروس (DNA أو RNA) وما إذا كان الحمض النووي شريطًا مفردًا أو مزدوجًا. ففي الكائنات الحية التي تتكوّن من خلايا، يكون الحمض النووي DNA مزدوج الشريط، في حين يكون الحمض النووي RNA مفرد الشريط. ولكن في الفيروسات، قد يكون كل من DNA و RNA إما مفردًا أو مزدوج الشريط، وهذا يعني أن هناك أربع مجموعات من الفيروسات. يوضح الجدول ٩-٢ بعض الأمثلة على الفيروسات في هذه المجموعات الأربع.

الحمض النووي	عدد الشرائط	مثال	العائل	المرض
DNA	1	فيروس بارفو الكلاب النوع 2 Canine parvovirus type 2	الكلاب	بارفو الكلاب Canine parvovirus
		فيروس تبرقش الكسافا الأفريقي African cassava mosaic virus	نبات الكسافا	مرض التبرقش
	2	فيروس جدري الماء النطاقي Varicell zoster virus (VZV)	الإنسان	جدري الماء Chickenpox
		فيروس آكل البكتيريا T4 (الصورة ٩-١٣ والشكل ٩-٢)	بكتيريا الإشريكية القولونية Escherischia coli	
RNA	1	الفيروس العَجَلِيّ Rotavirus	الإنسان	التهاب معوي Gasroenteritis
		فيروس الحصبة Morbillivirus	الإنسان	الحصبة
	2	فيروس تبرقش أوراق التبغ TMV	نبات التبغ، الطماطم، الفلفل	تبرقش أوراق التبغ (الصورة ٩-١٥)
		فيروس (HIV)	الإنسان	HIV/الإيدز

الجدول ٩-٢ تصنف الفيروسات إلى أربع مجموعات بحسب نوع وتركيب الحمض النووي في كل منها.

سؤال

٥ **أ.** اشرح أسباب عدم تضمين الفيروسات في نظام تصنيف النطاقات الثلاثة الذي وُصف في هذه الوحدة.

ب. اذكر الخصائص المستخدمة في تصنيف الفيروسات.

ج. هل ينبغي اعتبار الفيروسات كائنات حية أم لا؟



صورة ٩-١٥ الفيروسات هي الأكثر تطفلًا على الكائنات الحية المختلفة، إذ يمكنها فقط التكاثر داخل خلايا العائل. يُظهر نبات التبغ المبيّن في الصورة علامات الإصابة بفيروس تبرقش أوراق التبغ TMV. يقلل TMV بشكل كبير من نمو النباتات، وينتشر بشكل سريع بين نباتات المحاصيل المختلفة مثل التبغ.

٢-٩ التنوع البيولوجي

يمكن تعريف **التنوع البيولوجي** **Biodiversity** على أنه درجة التباين في أشكال الحياة الموجودة في نظام بيئي معيّن. ومع ذلك، يُعدّ هذا المفهوم أوسع بكثير من تمثيله بقائمة الأنواع التي تعيش في ذلك النظام البيئي. وفي العادة يستخدم هذا المفهوم ليشمل التنوع على ثلاثة مستويات:

- عدد نطاق النظم البيئية والمواطن البيئية.
- عدد الأنواع المختلفة في النظام البيئي ووفرتها النسبية.
- التنوع الجيني بين أفراد كل نوع.

تتمتع بعض مناطق العالم بتنوع بيولوجي مرتفع جدًا؛ ومن الأمثلة على ذلك حوض الكونغو في أفريقيا، وجنوب شرق آسيا، ومنطقة البحر الكاريبي، وأمريكا الوسطى، والأمازون، وجنوب غرب أستراليا. كما تحتوي هذه المناطق على العديد من **الأنواع المتوطنة** **Endemic** – أي الأنواع التي توجد فقط في هذه المناطق وليس في أي مكان آخر في العالم (الصورة ٩-١٦).

الأنظمة البيئية والمواطن البيئية

لا يعيش أي نوع من أنواع الكائنات الحية المختلفة في عزلة عن غيره؛ ولكنه يتشارك مساحة معيشته مع سواه من الأنواع الأخرى لتشكيل مجتمعات مثل تلك المجتمعات الموجودة في الغابة مثلًا (الصورة ٩-١٧)، فتتفاعل مجتمعات الكائنات الحية هذه بعضها مع بعض ومع بيئتها.

النظام البيئي **Ecosystem** يتضمن **مجتمعًا أحيائيًا** **Community** مستقلّ بذاته نسبيًا، ويتكوّن من مجموعة من الكائنات الحية حيث تتفاعل معًا وتتأثر فيما بينها،

مصطلحات علمية

التنوع البيولوجي
Biodiversity: تنوع النظم البيئية وأنواع الكائنات الحية في منطقة ما، إضافة إلى التنوع الجيني بين أفراد كل نوع.

نوع متوطن **Endemic**: فيما يخص النوع، هو النوع الذي يوجد فقط في منطقة معيّنة وليس في أي مكان آخر.

النظام البيئي **Ecosystem**: هو مجتمع أحيائي من الكائنات الحية يتميز بأنه مستقل بذاته نسبيًا ومتفاعل، إضافة إلى البيئة التي يعيش فيها ويتفاعل معها.

المجتمع الأحيائي
Community: جميع الكائنات الحية، من جميع الأنواع، الموجودة في نظام بيئي معيّن في وقت معيّن.



الصورة ٩-١٦ نيوزيلندا كانت معزولة لعدة ملايين من السنين، لذا يعيش فيها العديد من الأنواع المتوطنة، وأيضًا بعض الأنواع التي انقرضت في مكان آخر، مثل حيوان التوتارا tuatara من النوع *Sphenodon sp.* المبيّن في الصورة.



الصورة ٩-١٧ الأشجار في الغابات الاستوائية، كتلك التي في كوستاريكا والمبيّنة في الصورة، تكون غالبًا مغطاة بالنباتات الهوائية Epiphytes ، وهي نباتات تنمو على نباتات أخرى. وتوفر مواطن بيئية للحيوانات الصغيرة، مثل الخنافس، أكثر بكثير مما يوفره لحاء الأشجار المكشوف في الغابات المعتدلة. يمكن أن تحتوي شجرة واحدة في الغابات الاستوائية المطيرة على ما يصل إلى 1200 نوع من الخنافس.

والبيئة التي تعيش فيها هذه الكائنات الحية وتتفاعل معها كذلك. يشمل النظام البيئي للغابات المجتمع الأحيائي للكائنات الحية، إضافة إلى التربة، والأوراق الميتة المتناثرة، والمياه في المطر والجداول، والهواء، والصخور وجميع العوامل الفيزيائية والكيميائية التي تؤثر في الكائنات الحية. لا يوجد نظام بيئي قائم بذاته تمامًا؛ حيث تتفاعل الكائنات الحية في نظام بيئي معيّن مع تلك الموجودة في نظام بيئي آخر، فعلى سبيل المثال، تهاجر العديد من أنواع الطيور من نظام بيئي إلى آخر، وغالبًا عبر مسافات كبيرة جدًا، للعثور على الغذاء وللتكاثر.

يمكنك التفكير في الأنظمة البيئية على مستوى مقياس الحجم والتعقيد: فمثلًا، البركة الصغيرة هي نظام بيئي لأن الماء يوفر بيئة مختلفة تمامًا عن التربة والهواء حولها، وبالتالي فإن الكائنات الحية في المجتمع الأحيائي في البركة تختلف اختلافًا كبيرًا عن تلك الموجودة في النظام البيئي المحيط بها، في الجهة الأخرى من هذا المقياس، يوجد المحيط المفتوح، وهو نظام بيئي ضخم. بشكل عام، تتميز بعض الأنظمة البيئية (مثل الغابات المطيرة الاستوائية والشعاب المرجانية) بأنها معقدة جدًا، ويتميز بعضها الآخر (مثل الصحاري الرملية) بأنه بسيط جدًا.

يصف مفهوم **الموطن البيئي** **Habitat** المكان الذي يعيش فيه نوع معيّن داخل نظام بيئي ما. في حين يصف مفهوم **الإطار البيئي** **Niche** ما هو أكثر من الوصف المادي للمكان الذي يشغله نوع معيّن. فالإطار البيئي يعبّر عن الدور الذي يؤدّيه كائن حي محدد في النظام البيئي؛ وهو يعبّر كذلك عن الطريقة التي «يتلاءم» بها الكائن الحي وينسجم مع النظام البيئي الذي يعيش فيه (الصورة ٩-١٨). يصف الإطار البيئي للكائن الحي مكانه، وكيفية حصوله على الطاقة، وكيف يتفاعل مع كل من بيئته المادية ومع الأنواع الأخرى من الكائنات الحية، إذ تحتاج الكائنات الحية إلى الحصول على الموارد المختلفة من محيطها، ولديها تكيفات خاصة تمكنها من الحصول عليها.

لا يمكن تقديم وصف كامل للإطار البيئي لأي كائن حي، لأن هناك العديد من الطرائق التي يتفاعل بها كائن حي مع المكونات الأخرى للنظام البيئي الذي يعد جزءًا منه.

مصطلحات علمية

الموطن البيئي **Habitat**: المكان الذي يعيش فيه كائن حي، أو جماعة أحيائية، أو مجتمع أحيائي.

الإطار البيئي **Niche**: الدور الذي يؤديه كائن حي معيّن في نظام بيئي معيّن.



الصورة ٩-١٨ يشمل الإطار البيئي لطائر البلشون الأبيض (مالك الحزين) المبيّن في الصورة النظام البيئي للمياه العذبة، حيث يقضي معظم وقته في التغذية. كما يشمل هذا الإطار البيئي الأشجار المحيطة به حيث تجثم هذه الطيور وتبني أعشاشها.

سؤال

٦ ميّز بين المصطلحين: **النظام البيئي والإطار البيئي**.

تنوع الأنواع

مصطلحات علمية

تنوع الأنواع

Species diversity: جميع الأنواع التي تعيش في نظام بيئي معيّن، وهو يشير إلى الأنواع ومدى وفرة كل منها.

يعرف عدد الأنواع التي تعيش في مجتمع أحيائي معيّن بأنه «ثراء الأنواع» Species richness. لا يأخذ **تنوع الأنواع** **Species diversity** في الاعتبار ثراء الأنواع فقط، ولكنه يشمل أيضًا مقياسًا للتوزيع المتكافئ Evenness لوفرة الأنواع المختلفة. فكلما زاد عدد الأنواع التي تعيش في المجتمع الأحيائي وتوزع عدد الكائنات الحية من الأنواع المختلفة بشكل متكافئ، كان تنوع الأنواع أكبر. يوضح الجدول ٩-٣ عدد الأشجار من الأنواع المختلفة التي تم تسجيلها في نظامَين بيئيَّين متشابهَين.

نوع الأشجار	النظام البيئي 1	النظام البيئي 2
A	45	65
B	23	10
C	55	20
D	14	0
E	19	5
F	23	4

الجدول ٩-٣ يتمتع هذان النظامان البيئيان بثراء الأنواع نفسه، لكن النظام البيئي 1 يتمتع بتنوع أعلى، حيث إن تكافؤ الأنواع فيه أكبر من النظام البيئي 2.

تتمتع الشعاب المرجانية بمستوى مرتفع جدًا من التنوع البيولوجي، إذ يوفر مثل هذا النظام البيئي العديد من الأطر البيئية المختلفة، والتي تستغلها الأنواع المختلفة. فالتنوع البيولوجي مهم جدًا لأن النظم البيئية ذات التنوع الكبير في الأنواع تكون أكثر استقرارًا من تلك ذات التنوع المحدود في الأنواع. تتمتع النظم البيئية شديدة التنوع بمرونة Resilience أكبر تمكنها من البقاء ومقاومة التغير وبالتالي الثبات النسبي، لأنها تتميز بأنها قادرة على مقاومة التغيرات في العوامل البيئية.

قد يطغى نوع واحد أو نوعان من الكائنات الحية على بعض الأنظمة البيئية، وقد تكون الأنواع الأخرى نادرة. هذه هي الحال في غابات الصنوبر الطبيعية في ولاية فلوريدا في الولايات المتحدة الأمريكية، وكذلك في الغابات المعتدلة في كندا، والتي يسودها عدد قليل من أنواع الأشجار.

تُعدّ المناطق الاستوائية مراكز مهمة للتنوع البيولوجي، وقد يكون السبب في ذلك هو أن الظروف المعيشية ليست شديدة القسوة (لا يوجد صقيع أو ثلج أو جليد)، وهناك ضوء ذو شدة عالية على مدار السنة، ولا تحتاج الطيور والثدييات إلى استخدام الطاقة للحفاظ على دفء أجسامها. فعلى سبيل المثال، هناك نحو 1500 نوع من الطيور في أمريكا الوسطى، ولكن هناك 300 نوع فقط في الأقاليم الشمالية الغربية لكندا.

التنوع الجيني

مصطلحات علمية

التنوع الجيني

Genetic diversity: جميع الأليلات الخاصة بجميع الجينات المكوّنة لجينوم نوع من الكائنات الحية.

التنوع الجيني Genetic diversity هو تنوع الأليلات داخل الجينات الموجودة في جينوم نوع محدد من الكائنات الحية. تمتلك جميع الأفراد ضمن نوع ما الجينات نفسها، ولكنهم لا يمتلكون جميعًا الأليلات نفسها لتلك الجينات. يمكن تقييم التنوع الجيني داخل نوع ما من خلال حساب نسبة الجينات التي لها أليلات مختلفة، ومن خلال عدد الأليلات الموجودة لكل جين من هذه الجينات.

يتميز التنوع الجيني الموجود بين أنواع النباتات المزروعة والحيوانات الأليفة بأنه واضح لأنه يمكننا رؤية الاختلافات بين أفراد هذه الأنواع (على سبيل المثال بين أنواع ورد الحديقة أو سلالات الكلاب). يوجد تنوع جيني مماثل، ليس واضحًا دائمًا، في الجماعات الأحيائية الطبيعية (الصورة ٩-١٩)؛ كما توجد اختلافات جينية بين الجماعات الأحيائية من النوع نفسه، هناك أيضًا تنوع جيني داخل الجماعة الأحيائية، وهذا التنوع مهم جدًا في تزويد الجماعات الأحيائية بالقدرة على التأقلم مع التغيرات التي تحدث في العوامل الحيوية Biotic والعوامل غير الحيوية Abiotic. وتشمل هذه العوامل التنافس مع الأنواع الأخرى، وتجنب المفترسات الجديدة، ومقاومة سلالات جديدة من الأمراض، والتغيرات في درجات الحرارة، والملوحة، والرطوبة، أو معدل سقوط الأمطار.



الصورة ٩-١٩ التنوع المظهري في أصداف قواقع الحلزون البري *Cepaea nemoralis*. السبب في الاختلافات المظهرية بينها ناتجة من أليلات مختلفة للجينات التي تتحكم في لون الصدفة وفي عدد الأشرطة الموجودة على الأصداف.

سؤال

(٧) **أ.** تبدو الحلزونات المبيّنة في الصورة ٩-١٩ مختلفة بشكل كبير بعضها عن بعض. اشرح السبب في كونها تنتمي جميعًا إلى النوع نفسه.

ب. أحد مقاييس التنوع الجيني في جماعة أحيائية ما هو تكرار الأليلات المختلفة، ونسبة الأفراد غير متماثلة الأليلات. اقترح كيف يمكنك استقصاء ذلك في جماعة أحيائية من الحلزونات الموضحة في الصورة ٩-١٩.

ج. اقترح وناقش تأثير كل مما يلي على التنوع الجيني: التكاثر الانتقائي، تدمير الموطن البيئي، وإطلاق الأسماك المستزرعة إلى الحياة البرية.

تقييم التنوع البيولوجي

جمع الكائنات الحية وإعداد قوائم الأنواع

تخيل أنك في نظام بيئي مثل ذلك الذي في الصورة ٩-٢٠. من أكثر أنواع الكائنات الحية وضوحًا هي النباتات الكبيرة وربما بعض الحيوانات الكبيرة أيضًا، خصوصًا بعض أنواع الطيور. فالمهمة الأولى التي يجب القيام بها عند تقييم التنوع البيولوجي للأنواع هي تحديد وفهرسة أنواع الكائنات الحية الموجودة في ذلك النظام البيئي، ثم القيام ببناء قائمة بهذه الأنواع.

يستخدم علماء الأحياء مفاتيح التعريف لتسمية الكائنات الحية التي يجدونها. وثمّة أشكال مختلفة من هذه المفاتيح، بعضها يحتوي على رسوم أو صور فوتوغرافية مع تعريفات لتحديد الهوية؛ كما تطرح مفاتيح أخرى سلسلة من الأسئلة، ولكن المفتاح الأكثر شيوعًا هو مفتاح التشعيب الثنائي Dichotomous key. ففي عملك الميداني الخاص، يمكنك استخدام أحد هذه الأنواع لتحديد بعض أنواع النباتات التي تتطلب قدرة ومهارات جيدة في الملاحظة.

في البداية، من المستحسن إجراء بحث محدد بزمن معيّن في جميع أنحاء المنطقة التي تدرسها لمعرفة عدد الأنواع التي يمكنك جمعها ثم تحديد هويتها. وإذا لم تتمكن من تعريف وتحديد هوية أنواع معيّنة، فالتقط صورًا لها وقم بتسميتها على أنها النوع أ، والنوع ب، وما إلى ذلك. سوف تجد أنه من الصعب العثور على بعض الحيوانات وجمعها، بخاصة الحيوانات الصغيرة مثل الخنافس. الشفاط Pooter هو جهاز بسيط يستخدم لجمع هذه الحيوانات الصغيرة (الصورة ٩-٢١). وعند شفط الهواء، يشفط الجهاز بعض الحيوانات الصغيرة من أماكن تواجدها ويجمعها في وعاء بلاستيكي ليمكن إخراجها ودراستها وتعريفها باستخدام عدسة يدوية، ثم إعادتها إلى موطنها البيئي.



الصورة ٩-٢٠ كيف ستبدأ باستقصاء وفهرسة التنوع البيولوجي في منطقة مثل هذه المبيّنة في الصورة؟



الصورة ٩-٢١ يستخدم عالم البيئة الظاهر في الصورة الشفاط، لجمع الحيوانات الصغيرة من أعلى قمم الأشجار في غابة يونغاس Yungas forest، على طول المنحدرات الشرقية لجبال الأنديز في الأرجنتين.

من النادر محاولة تصنيف كل كائن حي تتم ملاحظته أو مشاهدته. إذ، في منطقة معيّنة من الأراضي العشبية أو الغابات، قد تختار التركيز على مجموعة واحدة أو مجموعتَين فقط من الكائنات الحية، مثل النباتات الزهرية والحشرات. في المقابل، على الشاطئ الصخري، قد تشمل الملاحظة والدراسة الكائنات الحية الأكثر وضوحًا وظهورًا مثل الأعشاب البحرية والرخويات (انظر المثال المحلول ٢).

ثمّة سؤالان يجب طرحهما:

- **توزيع** الأنواع – Species distribution: كيف تنتشر الأنواع المختلفة من الكائنات الحية في جميع أنحاء النظام البيئي؟
- **وفرة** الأنواع – Species abundance: كم عدد الأفراد من كل نوع موجود في النظام البيئي؟

الإجابات عن هذه الاسئلة تصف التوزيع والوفرة.

سؤال

٨ قام بعض الطلبة بمسح تنوع الأنواع في منطقة من غابة وبعض الأراضي العشبية القريبة. أجرى الطلبة البحث المحدد بتوقيت زمني مدته عشرون دقيقة.

أ. اشرح سبب استخدامهم التقنية نفسها في المنطقتين.

ب. وجد الطلبة 56 نوعًا مختلفًا من الكائنات الحية في الغابة و 12 نوعًا في الأراضي العشبية. ما هي البيانات الأخرى التي كان يمكنهم أن يجمعوها لمقارنة التنوع البيولوجي للنظامَين البيئيَّين؟

مصطلحات علمية

عيّنات عشوائية Random sampling: طريقة لاستقصاء الوفرة و/أو توزيع الجماعات الأحيائية والتي يتم تحديدها باستخدام مبدأ الصدفة، ولا تتضمن أي تحيز من جانب الشخص الذي يقوم بجمع العيّنات.

عيّنات منتظمة Systematic sampling: طريقة غير عشوائية لاستقصاء الوفرة و/ أو توزيع الجماعات الأحيائية، حيث يتم تحديد موضع نقاط جمع العيّنات من قبل الشخص الذي يقوم بجمعها – أي يمكن أن يكون هناك تحيز من قبل هذا الشخص – (على سبيل المثال: تحديد عملية جمع العيّنات كل 2 m على طول مقطع محدد).

جمع العيّنات

كيف يمكنك معرفة الأنواع الموجودة في نظام بيئي، وحجم الجماعة الأحيائية لكل منها؟ من الناحية المثالية، سوف تجد، وتحدد، وتسجل أعداد أفراد كل كائن حي يعيش هناك. هذا الأمر ممكن فقط في بعض الأحيان إذا كانت المنطقة التي تتم دراستها صغيرة جدًا من حيث المساحة، أو كانت الأنواع الموجودة فيها ذات أحجام كبيرة جدًا. إنما في العادة يمكنك أن تجمع عيّنات من المنطقة التي تهتم بدراستها، وتستخدمها لتقدير العدد الإجمالي في المنطقة التي يوجد فيها ذلك النظام البيئي.

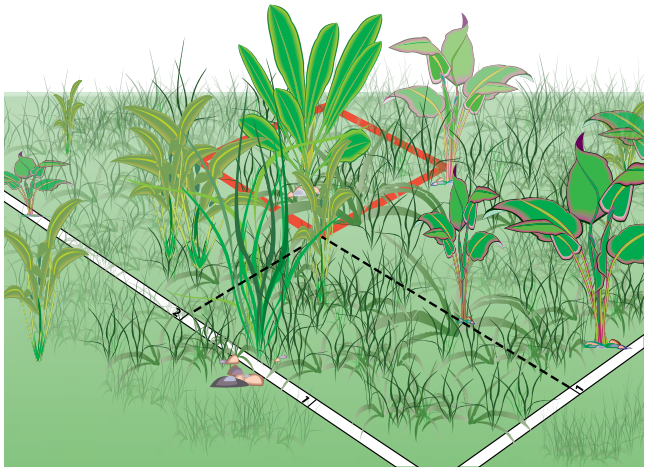
ويتم جمع العيّنات بعدة طرائق منها جمع **عيّنات عشوائية Random sampling** أو **عيّنات منتظمة Systematic sampling**. إذا بدت منطقة ما متجانسة بشكل معقول، أو إذا لم يكن هناك نمط واضح للطريقة التي تتوزع فيها الأنواع في هذه المنطقة، فمن الأفضل استخدام أسلوب جمع العيّنات العشوائية.

جمع العيّنات العشوائية باستخدام المربعات

المربع القياسي Quadrat هو إطار مربع الشكل (مصنوع من مادة مناسبة مثل الخشب أو الألمنيوم أو من الحبال) يحدد مساحة من الأرض أو الماء حيث يمكنك تحديد الأنواع المختلفة الموجودة هناك، وقياس مدى وفرتها. تحتاج إلى تحديد القياس المناسب للمربع، وتحديد عدد العيّنات التي ستجمعها. يجب جمع العيّنات بشكل عشوائي لتجنب أي تحيز في البيانات التي تم جمعها. فعلى سبيل المثال، قد تختار جمع جميع عيّناتك من مكان به عدد قليل من الأنواع لمجرد أنه من الأسهل القيام بذلك، ولكن العيب في طريقة جمع العيّنة هذه هو أنه لن يكون ممثلًا للمنطقة بأكملها. فالطريقة المعتادة للتأكد من أن العيّنة التي يتم جمعها أو عدّها عشوائية، هي تحديد منطقة بأشرطة قياس واستخدام برنامج مولد للأرقام العشوائية، مثل أحد التطبيقات المناسبة على الهاتف المحمول. تعطيك الأرقام العشوائية إحداثيات نقاط جمع العيّنات اعتمادًا على موقع كل من الشريطَين اللذين تستخدمهما لتحديد المنطقة (الشكل ٩-٣).

مصطلحات علمية

المربع القياسي Quadrat: إطار مربع الشكل يستخدم لتحديد منطقة جمع عيّنات من الجماعات الأحيائية لمجموعات الكائنات الحية.



الشكل ٩-٣ في عملية جمع العيّنات العشوائية، يتم وضع المربعات بشكل عشوائي في منطقة تم تمييزها عن طريق أشرطة القياس. يقلل ذلك من فرص حدوث التحيز في جمع عيّنات من النظام البيئي من قبل الشخص الذي يقوم بجمعها.

يمكنك استخدام نتائجك التي تحصل عليها بطريقتَين مختلفتَين: الأولى لحساب تكرار الأنواع والثانية لحساب كثافة الأنواع. فتكرار الأنواع هو مقياس احتمال وجود نوع معيّن داخل أي مربع من المربعات المستخدمة. ويمكنك ببساطة تسجيل ما إذا كان أي من الأنواع المختلفة موجود (أم لا) في كل مربع تقوم بتحليله. فعلى سبيل المثال، إذا وضعت المربع الخاص بك 50 مرة (في 50 بقعة من المنطقة نفسها) ووجدت نباتات الأقحوان في 22 من عيّناتك الخمسين، فإن تكرار أنواع الإقحوانات هو:

$$\frac{22}{50} \times 100 = 44\%$$

تُعدّ كثافة الأنواع مقياسًا لعدد الأفراد التي تتواجد في كل وحدة مساحة – على سبيل المثال، لكل متر مربع. وتحسب بقسمة عدد الأفراد التي قمت بعدّها على المساحة الإجمالية لجميع المربعات التي استخدمتها في عدّ هذه الأفراد.

على سبيل المثال، إذا تبيّن أن هناك 96 نبتة أقحوان فردية متواجدة في 50 مربعًا قياسيًّا كل منها مساحته $1\ m^2$، بالتالي تكون كثافة النوع:

$\frac{96}{50} = 1.92$ فردًا في المتر المربع الواحد.

ليس ممكنًا دائمًا عدّ النباتات والحيوانات المنفردة بسبب الطريقة التي تنمو بها. فعلى سبيل المثال، تنمو العديد من الحيوانات والنباتات فوق الأسطح لتشكل غطاءً من عدد كبير من الأفراد المتراصة بحيث يكون من المستحيل تقريبًا إحصاء عدد الأفراد. كيف يمكنك مثلًا أن تقرر عدد نباتات العشب المنفردة الموجودة في المربع الذي وضعته على مرج من العشب؟ في هذه الحالة، يمكنك تقدير النسبة المئوية لمقدار تغطية هذا النوع من العشب داخل المربع الخاص بك (الصورة ٩-٢٢). للمساعدة في ذلك وتسهيل هذه العملية، يمكنك استخدام مربع بحجم

100 cm × 100 cm تكون المسافة الفاصلة بين الأسلاك المكوّنة للشبكة فيه مقدارها 10 cm في كل اتجاه، يمكنك بعد ذلك أن تقرر النسبة المئوية تقريبًا التي يشغلها كل نوع داخل المربع القياسي. ربما لا يصل مجموع هذه النسب المئوية إلى 100%. على سبيل المثال، قد تكون هناك أرضية عارية من النباتات في المربع، لذا فإن الأرقام ستكون أقل من 100%. وبالمقابل، قد تكون هناك نباتات يغطي بعضها بعضًا (تنمو فوق بعضها)، وفي هذه الحالة قد تصل الأرقام إلى أكثر من 100%. البديل في هاتَين الحالتَين وأمثالهما عن تقدير النسبة المئوية لتغطية كل نوع، هو استخدام مقياس الوفرة، مثل مقياس براون–بلانكيه لعدد النباتات ونسبة تغطيتها (الجدول ٩–٤).



الصورة ٩–٢٢ تقدير النسبة المئوية للتغطية. هذا المربع الذي تبلغ مساحته 1 m² مقسم إلى 100 مربع صغير لتسهيل تقدير كل نوع.

مقياس براون–بلانكيه لعدد النباتات ونسبة تغطيها	
الوصف	القيمة
عدد قليل جدًا من النباتات، تغطي أقل من 1%	+
العديد من النباتات، تغطي 1-5%	1
نباتات كثيرة جدًا، تغطي 6-25%	2
أي عدد من النباتات، يغطي 26-50%	3
أي عدد من النباتات، تغطي 51-75%	4
يغطي أكثر من 75%	5

الجدول ٩–٤ مقياس براون–بلانكيه Braun-Blanquet لتسجيل التغطية النباتية داخل المربعات القياسية.

سؤال

(٩) أجريت عملية مسح لنوع من شقائق نعمان البحر الحمراء *Isactinia tenebrosa* (الصورة ٩–٢٣)، على شاطئ صخري في نيوزيلندا، باستخدام مربع قياسي بمساحة 0.25 m². أعطت عملية المسح تلك، النتائج المبيّنة في الجدول ٩–٥.

المربع القياسي	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
عدد أفراد شقائق النعمان البحري	0	3	0	1	0	0	5	2	0	1

الجدول ٩–٥ نتائج مسح لشقائق نعمان البحر الحمراء *Isactinia tenebrosa* باستخدام مربع قياسي بمساحة 0.25 m².



الصورة ٩–٢٣ شقائق نعمان البحر الحمراء التي تعيش بين المد والجزر على الشواطئ الصخرية.

أ. احسب:

١. تكرار الأنواع.

٢. كثافة النوع *I. tenebrosa* من نتائج هذا المسح.

ب. اقترح: متى يكون من الأنسب استخدام تكرار النوع بدلًا من كثافة النوع لتسجيل وفرة أحد الأنواع؟

سؤال

(١٠) تم إجراء مسح لنباتات زهرة النهار البنغالية، *Commelina benghalensis*، التي تنمو في مرج عشبي وفي حقل من نباتات فول الصويا اليافعة، وتم وضع عشرة مربعات قياسية مساحة كل منها 1.0 m^2 بشكل عشوائي في كل من المنطقتَين، وتم حساب عدد نباتات زهرة النهار البنغالية في كل مربع. يوضح الجدول ٩-٦ النتائج التي تم الحصول عليها.

المربع القياسي	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
عدد نباتات زهرة النهار البنغالية في المرج	0	0	4	3	0	1	2	4	0	3
عدد نباتات زهرة النهار البنغالية في الحقل	0	0	0	2	5	0	0	1	0	0

الجدول ٩-٦ نتائج مسح نبات زهرة النهار البنغالية *Commelina benghalensis* باستخدام مربعات قياسية مساحة كل منها 1.0 m^2.

أ. احسب:

١. تكرار الأنواع.

٢. كثافة نوع نباتات زهرة النهار البنغالية في كل من المنطقتين.

ب. اشرح سبب أهمية استخدام مربعات قياسية موزعة عشوائيًا في هذا المسح.

ج. اقترح عيبَين في عملية حساب النسبة المئوية للتغطية أو استخدام مقياس الوفرة، مثل مقياس براون-بلانكيه *Braun-Blanquet*.

مصطلحات علمية

ضع علامة - أطلق - أعد إمساك Mark–Release–Recapture: طريقة لتقدير أعداد الأفراد في جماعة أحيائية من الحيوانات المتنقلة.

تقدير وفرة الحيوانات المتنقلة

من الواضح أن المربعات القياسية لا تفيد كثيرًا في إيجاد أو عدّ الحيوانات المتنقلة، لذلك يجب استخدام طرائق مختلفة لهذا الغرض.

من الطرائق الجيدة لتقدير حجم جماعة أحيائية من الكائنات الحية المتنقلة هي استخدام مؤشر لينكولن Lincoln Index الذي يعتمد على تقنية مكوّنة من ثلاث مراحل: **ضع علامة - أطلق - أعد إمساك Mark–Release–Recapture**. أولًا، يتم الإمساك بأكبر عدد ممكن من الأفراد، ثم يتم تمييز كل فرد بعلامة وبطريقة لا يفترض أن تؤثر على بقائه على قيد الحياة في المستقبل. وأخيرًا يتم إحصاء الأفراد المميزة بعلامة وإعادتها إلى موطنها البيئي وتركها للاختلاط بشكل عشوائي مع بقية الجماعة الأحيائية.

وبعد مرور زمن كافٍ لحدوث الاختلاط مع أفراد الجماعة الأحيائية الأخرى، يتم التقاط عيّنة كبيرة أخرى، حيث يتم احتساب أعداد الأفراد المميزة والأفراد غير المميزة بعلامات، ويتم بعد ذلك استخدام النسبة بين عدد الأفراد المميزة إلى عدد الأفراد غير المميزين لحساب تقدير إجمالي عدد أفراد الجماعة الأحيائية (انظر المثال المحلول ١). على سبيل المثال، إذا وجدت أنه تم وضع علامة على فرد واحد من عشرة من العيّنة الثانية، فيمكنك أن تفترض أنك قد أمسكت في الأصل بواحد من عشرة من الجماعة الأحيائية التي تم الإمساك بها في العيّنة الأولى. لذلك، فإن أفضل تقدير لك هو أن العدد في الجماعة الأحيائية هو عشرة أضعاف العدد الذي التقطته وميزته بعلامات في عيّنتك الأولى.

صيغة حساب العدد المقدر في الجماعة الأحيائية هي:

$$N = \frac{n_1 \times n_2}{m_2}$$

N = تقدير عدد الجماعة الأحيائية.

n_1 = عدد الأفراد المميزة بعلامات والتي تم إطلاقها.

n_2 = عدد الأفراد التي أُعيد الإمساك بها (بعلامة وبدون علامة).

m_2 = عدد الأفراد المميزة بعلامة والتي أُعيد الإمساك بها.

مثال

تقنية ضع علامة – أطلق– أعد إمساك

١. نطّاطات النبات البنية هي آفة حشرية خطرة تصيب نبات الأرز. استخدم بعض الطلبة شبكات الكنس (شبكات تجميع الحشرات) للإمساك بعيّنة كبيرة من نطاطات النبات البنية في حقل من نبات الأرز. تم تمييز كل حشرة ببقعة صغيرة جدًا من طلاء مقاوم للماء وغير سام، ثم تم إطلاق الحشرات المميزة في الحقل. في اليوم التالي، تم الإمساك بعيّنة كبيرة ثانية من هذه الحشرات.

العدد الذي تم التقاطه وتمييزه بعلامات في العيّنة الأولى = 247

العدد الذي تم الإمساك به في العيّنة الثانية = 259

عدد الحشرات المميزة بعلامات في العيّنة الثانية = 16

لذا فإن العدد التقديري للجماعة الأحيائية

$$= \frac{247 \times 259}{16}$$

= 3998

مصطلحات علمية

المقطع Transect: خط يتم تحديده بواسطة شريط قياس يستخدم لجمع العيّنات على طوله، إما عن طريق ملاحظة الأنواع على مسافات متساوية (مقطع خطي) أو وضع مربعات على فترات منتظمة (مقطع حزامي).

جمع عيّنات منتظمة

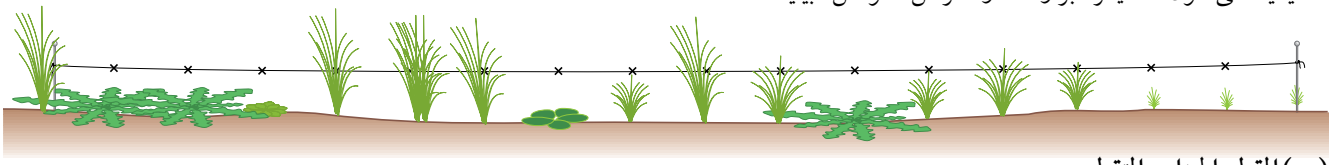
جمع العيّنات العشوائية ليس مناسبًا لكل مكان قد ترغب في مسحه؛ فقد ترغب في استقصاء كيفية توزيع الأنواع في منطقة تتغير فيها الظروف الفيزيائية البيئية السائدة، ومنها: الارتفاع عن سطح البحر، المحتوى المائي للتربة، نوع التربة، درجة حموضة (pH) التربة، مقدار التعرض للضوء أو شدة الضوء. على سبيل المثال، لنفترض أنك تريد استقصاء التغييرات التي تحدث على حافة حقل عندما أصبحت مستنقعًا. في هذه الحالة، يجب أن تحدد عشوائيًا نقطة بداية في الحقل، وتضع شريط قياس في خط مستقيم باتجاه المنطقة المستنقعة، ثم تقوم بعد ذلك بجمع عيّنات من الكائنات الحية الموجودة على طول هذا الخط الذي يسمى **المقطع Transect**. إن أبسط طريقة للقيام بذلك هي تحديد وتسجيل هوية الكائنات الحية التي تلامس الخط على مسافات محددة – على سبيل المثال، كل مترَين (الصورة ٩–٢٤). سيمكّنك المقطع الخطي Line transect من جمع بيانات نوعية يمكن تقديمها على شكل رسم تخطيطي (الشكل ٩–٤ أ). يمكنك أيضًا استخدام تقنية المقطع الحزامي Belt transect عن طريق وضع مربعات قياسية على مسافات منتظمة على طول الخط، وتسجيل وفرة كل نوع داخل المربع القياسي (الشكل ٩–٤ ب). ويمكن تمثيل البيانات من المقطع الحزامي بمخططات الأعمدة Bar charts أو مخططات الطائرة الورقية Kite diagram (المثال ٢) (انظر كتاب التجارب العملية والأنشطة، نشاط ٩–١).



الصورة ٩-٢٤ استخدام تقنية المقطع الخطي لتسجيل التغيرات في توزيع النباتات مع زيادة الارتفاع عن سطح البحر في منطقة سيرا دي جريدوس Sierra de Gredos في إسبانيا.

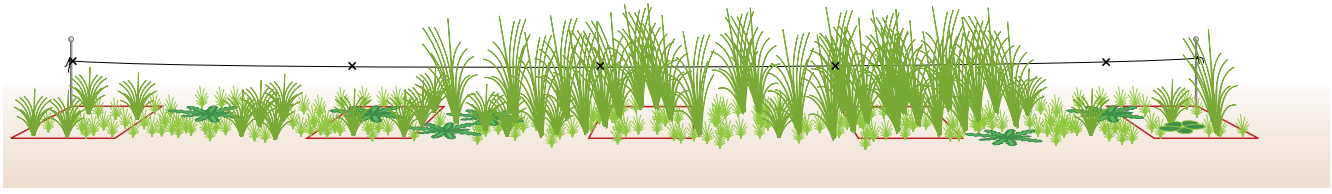
(أ) مقطع خطي - خط عبر موطن بيئي واحد أو أكثر

يتم ملاحظة وتسجيل الكائنات الحية الموجودة عند نقاط منتظمة التوزيع على طول الخط. تستخدم المقاطع للكشف عن التغيرات في تكوين المجتمعات الأحيائية على طول خط يمر عبر واحد أو أكثر من المواطن البيئية.



(ب) المقطع الحزامي المتقطع

تتم ملاحظة وتسجيل وفرة الكائنات الحية داخل مربعات موضوعة في نقاط منتظمة على طول خط محدد بشريط قياس.



الشكل ٩-٤ جمع عيّنات منتظمة باستخدام المقاطع: (أ) مقطع خطي؛ (ب) مقطع حزامي متقطع.

مثال

رسم مخططات طائرة ورقية لعرض البيانات عن وفرة الأنواع

٢. قام بعض الطلبة باستقصاء وجود الأنواع على طول شاطئ صخري، من خلال وضع أربعة مقاطع خطية، كل منها بطول 200 m، بدءًا من 20 m تحت مستوى سطح البحر عندما ينحسر المد. أرادوا بذلك دراسة توزيع أنواع الرخويات Molluscs على طول الشاطئ (الصورة ٩-٢٥) فتحركوا على طول المقطع الخطي وسجلوا عدد وأنواع الأفراد التي تلامس الخط، وقسموا الخط إلى أقسام طولها 20 m. ويبيّن الجدول ٩-٧ البيانات التي تم جمعها. تم عرض البيانات في مخطط الطائرة الورقية في الشكل ٩-٥.

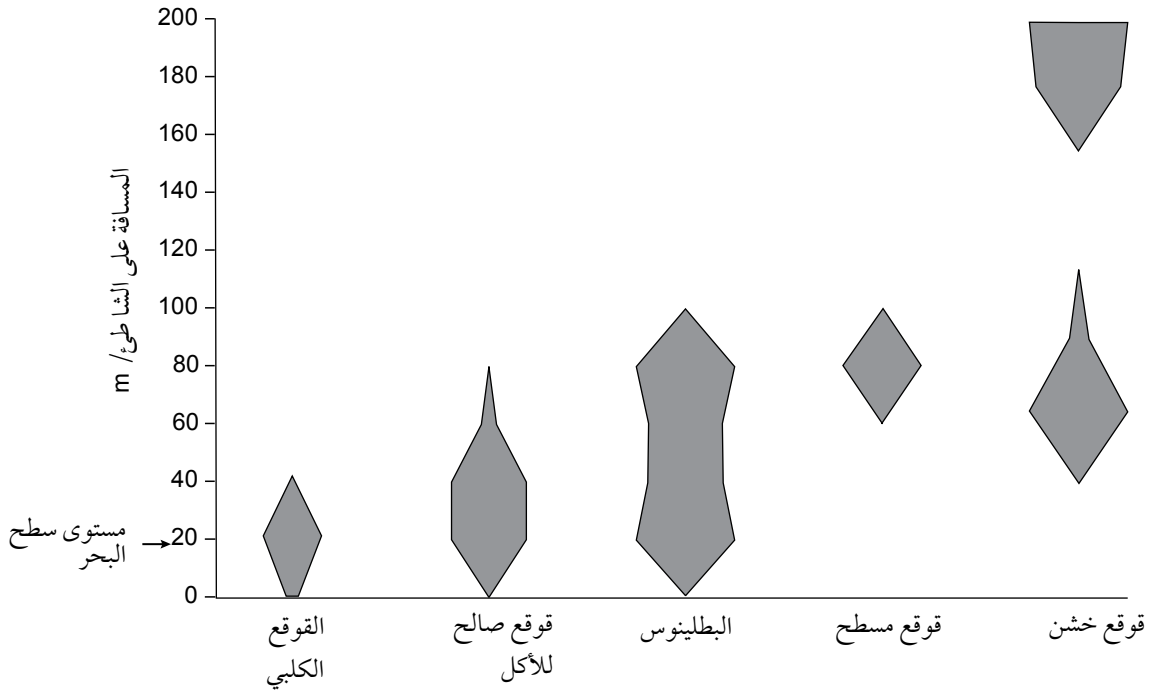


الصورة ٩-٢٥ الأنواع المختلفة من القواقع التي وُجدت على الشاطئ.

المسافة على الشاطئ m /	القوقع الكلبي Dog whelk				قوقع صالح للأكل Edible periwinkle				البطلينوس Limpet				قوقع مسطح Flat periwinkle				قوقع خشن Rough periwinkle				إجمالي الأفراد التي عُثر عليها
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
180-199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6	3	-	14
160-179	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6	2	13
140-159	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
120-139	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
100-119	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
80-99	-	-	-	-	-	-	-	-	6	5	-	-	4	-	4	4	-	2	-	-	25
60-79	-	-	-	-	1	-	-	-	5	5	4	5	-	-	-	-		3	4	2	29
40-59	-	-	-	-	2	3	5	-	4	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
20-39	1	3	-	2	-	6	3	5	-	-	5	6	-	-	-	-	-	-	-	-	31
0-19	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
المجموع	7				25				51				12				38				133

الجدول ٩-٧ البيانات التي تم جمعها من خلال المقاطع الخطية على الشاطئ الصخري.

مثال (تابع)



الشكل ٩-٥ يوضح مخطط الطائرة الورقية البيانات التي تم جمعها من مقطع خطي. إن توزيع الرخويات بدءًا من المد المنخفض إلى أعلى الشاطئ الصخري تبيّنها أطوال «الطائرات الورقية»؛ وتتضّح وفرتها من خلال عرض «الطائرات الورقية». يمثل هذا المخطط النظام البيئي بطريقة تسهل رؤيتها.

سؤال

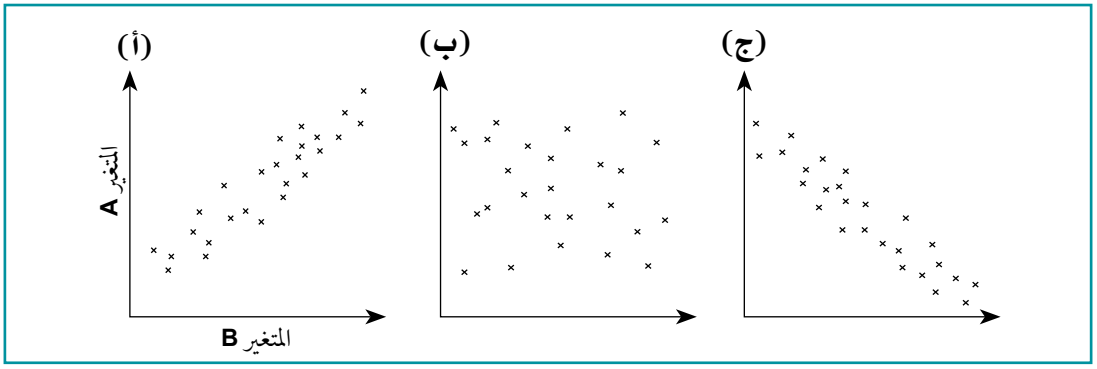
(١١) تأمّل الجدول ٩-٧ والشكل ٩-٥، ثم اكتب مجموعة من التعليمات لكيفية عمل مخطط طائرة ورقية.

الارتباط (إثرائي)

أثناء القيام بجمع عيّنات عشوائية أو إجراء مسح لمقطع حزامي، قد تلاحظ أن هناك نوعَين من النباتات يبدوان وكأنهما يتواجدان معًا دائمًا. هل هناك أي ارتباط بينهما؟ وقد ترغب في معرفة ما إذا كانت هناك أي علاقة أو ارتباط بين توزيع ووفرة أحد الأنواع مع أحد العوامل غير الحيوية، مثل مقدار التعرض للضوء، أو درجة الحرارة، أو المحتوى المائي للتربة، أو درجة ملوحة التربة. ولمعرفة وتحديد ما إذا كانت هناك علاقة بين النسبة المئوية للتغطية لكل من هذين النوعَين النباتيَّين، فإن المهمة الأولى هي وضع فرضية صفرية تفيد «بعدم وجود ارتباط بين النسبة المئوية للتغطية من قبل كل من النوعَين النباتيَّين». ولتحديد ما إذا كان هناك ارتباط أو علاقة كهذه، يمكنك رسم تمثيلات بيانية مبعثرة وإصدار حكم بواسطة النظر إلى هذه الرسوم (الشكل ٩-٦).

يكون الارتباط الذي قد تحصل عليه أقوى ما يمكن عندما تقع جميع النقاط التي قمت بتحديدها على التمثيل البياني على خط مستقيم واحد: في هذه الحالة هناك ارتباط خطي مثالي، ويقال إن معامل الارتباط هنا يساوي 1. فإذا زاد

المتغير **A** مع زيادة المتغير **B**، فإن العلاقة هي علاقة ارتباط خطي موجب (الشكل ٩-٦ أ)؛ أمّا إذا زاد المتغير **A**، مع انخفاض المتغير **B**، فإن العلاقة تكون ارتباطًا خطيًا سلبيًا (الشكل ٩-٦ ج). معامل الارتباط الذي قيمته (صفر) 0 يعني عدم وجود ارتباط على الإطلاق (الشكل ٩-٦ ب).



الشكل ٩-٦: ثلاثة أنواع من الارتباط: (أ) ارتباط خطي موجب؛ (ب) لا يوجد ارتباط ؛ (ج) ارتباط خطي سلبي

مع تقدم الأشجار في العمر، يظهر هناك ميل إلى حدوث تشققات في لحائها. قامت إحدى الطالبات بقياس عرض الشقوق على العديد من أشجار الصنوبر في منطقة ما، ووجدت أن هذه القياسات تتنوع بشكل كبير، بحيث أظهرت البيانات التي جمعتها الطالبة توزيعًا طبيعيًا. وقد لاحظت كذلك أن الأشجار الأكبر حجمًا، والتي على الأرجح أقدم وأكبر عمرًا، تميل إلى وجود تشققات في لحائها أوسع من الأشجار الأصغر عمرًا. أرادت الطالبة معرفة ما إذا كان هناك ارتباط بين حجم الأشجار وحجم هذه الشقوق في لحائها، فاختارت قياس محيط جذع كل شجرة كمقياس للتعبير عن حجمها الكلي، وقامت بقياس عرض الشقوق في اللحاء. يعني ذلك أنها جمعت بيانات متصلة (مستمرة) لكل من المتغيرَين – محيط الشجرة وعرض الشق، وقامت بتنفيذ استقصائها باختيار اثنتي عشرة شجرة عشوائيًا وقياس محيط جذع كل منها، وقياس عرض ثلاثة شقوق في اللحاء على ارتفاع يساوي ارتفاع رأسها. يبيّن الجدول ٩-٨ النتائج التي حصلت عليها (انظر كتاب التجارب العملية والأنشطة، النشاط ٩-٣).

رقم الشجرة	قياس محيط جذع الشجرة / m	متوسط عرض الشق / mm
1	1.77	50
2	1.65	28
3	1.81	60
4	0.89	24
5	1.97	95
6	2.15	51
7	0.18	2
8	0.46	15
9	2.11	69
10	2.00	64
11	2.42	74
12	1.89	69

الجدول ٩-٨ عرض الشقوق على أشجار الصنوبر في منطقة ما.

سؤال

(١٢) **أ.** اذكر الفرضية الصفرية لهذا الاستقصاء.

ب. ارسم تمثيلًا بيانيًا عشوائيًا للبيانات الواردة في الجدول ٩-٨.

ج. اذكر الاستنتاج الذي يمكن أن تتوصل إليه الطالبة من هذا الاستقصاء.

٩-٣ الحفاظ على التنوع البيولوجي

الانقراضات

هناك العديد من الأنواع الحية التي تُعدّ كلها مهددة بالانقراض – أي بالاختفاء إلى الأبد من الأرض. لقد انقرضت ملايين الأنواع من الكائنات الحية في الماضي، وأحيانًا كانت تنقرض أعداد ضخمة منها في وقت واحد فيما يسمى بالانقراضات الجماعية. ومع ذلك، كانت هذه الأحداث كلها طبيعية، ويُعتقد أن بعضها على الأقل كان ناتجًا من تغيرات مفاجئة في الظروف البيئية، مثل اصطدام كويكب كبير بالأرض، والذي ربما أدى إلى انقراض الديناصورات قبل 65 مليون سنة.

تواجه الأرض حاليًا احتمال حدوث انقراض جماعي آخر، لكن هذه المرة يسببها الإنسان. فالسبب الرئيسي لذلك هو دمار وفقدان المواطن البيئية (الصورة ٩-٢٦)، إذ تتكيف العديد من أنواع الكائنات الحية للبقاء على قيد الحياة في موطن بيئي معيّن مع نطاقات محددة لمجموعة معيّنة من الظروف البيئية، لكن الإنسان يقوم بتدمير المواطن البيئية لهذه الكائنات عن طريق قيامه بالعديد من الأنشطة كتجفيف الأراضي الرطبة، وقطع الأشجار في الغابات المطيرة، وتلويث الهواء، والماء، والتربة. سبب آخر لانقراض نوع ما من هذه الكائنات هو أن الإنسان يقتل الكثير منها، سواء لممارسة رياضة الصيد أو من أجل الطعام. كما أنه من المتوقع كذلك أن يتسبب تغير المناخ في حدوث انقراضات، مع الزيادة الحاصلة في متوسط درجات الحرارة العالمية، مثل الزيادات في مستوى سطح البحر وفي درجات حرارة المحيطات ودرجة حموضة مياه المحيطات – وكلها نتيجة لزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي – وبالتالي تؤدّي إلى إلحاق الضرر بالشعاب المرجانية في أجزاء كثيرة من العالم. هذه المناطق ذات تنوع بيولوجي مرتفع جدًا، ومن المحتمل في النهاية أن يحدث انقراض بعض أنواع المرجان واللافقاريات والأسماك التي تعيش في هذه الشعاب المرجانية. إضافة إلى ذلك هناك سبب آخر لحدوث الانقراض يتمثل في إدخال نوع جديد إلى المواطن البيئية؛ ففي نيوزيلندا، على سبيل المثال، أدى وصول الأوروبيين في القرنَين السابع عشر والثامن عشر إلى إدخال حيوانات مفترسة مثل القطط والفئران في نظام بيئي لم يكن فيه أي مفترسات تقيم على الأرض.



الصورة ٩-٢٦ تعيش القرود من عائلة البونجو Orangutan فقط في غابة استوائية كثيفة في جزيرة بورنيو Borneo. تهدد إزالة الغابات في هذه الجزيرة بقاء هذه الحيوانات على قيد الحياة، وتعرضها للانقراض.

وقد انقرض ثلاثة وخمسون نوعًا من الطيور التي لا تطير، والتي عاشت على هذه الجزر منذ ذلك الحين، نتيجة لافتراسها من قبل الحيوانات المفترسة المدخلة.

يمكن أن يتسبب التنافس بين أنواع الكائنات الحية أيضًا في حدوث حالات الانقراض، إذ يحدث التنافس بين الأنواع عندما يحتاج كلا النوعَين إلى مورد شحيح. على سبيل المثال، تظهر الأحافير أن عددًا كبيرًا من الأنواع المختلفة من الكلاب قد عاشت في أمريكا الشمالية منذ نحو 30 مليون سنة. يوجد اليوم تسعة أنواع فقط من الكلاب في أمريكا الشمالية (الصورة ٩-٢٧). وقد تم وضع العديد من الاقتراحات حول الأسباب المحتملة لانقراض العديد من أنواع هذه الكلاب، أحدها هو انتقال أنواع من القطط التي تعيش أصلًا في آسيا إلى أمريكا الشمالية. فالقطط والكلاب من آكلات اللحوم، ويبدو أن العديد من القطط كانت قادرة على منافسة الكلاب على كمية محدودة من الفرائس المتوافرة. وبالطبع، فالعديد من الأنواع تجد نفسها الآن في منافسة مع الإنسان *Homo sapiens*، على موارد مثل المواطن البيئية، أو الماء، أو مصادر المواد الغذائية.





الصورة ٩-٢٧ (أ) ذئب البراري، **Canis latrans**، هو أحد الأنواع القليلة من الكلاب التي تعيش الآن في أمريكا الشمالية. (ب) أحد الأسباب الكامنة وراء انقراض العديد من أنواع الكلاب في أمريكا الشمالية على مدى عدة ملايين من السنين في الماضي هو تنافس هذه الذئاب مع أنواع القطط التي وصلت من آسيا. هذا هو القط البري الأمريكي الشمالي، **Lynx rufus**.

أسباب الحفاظ على التنوع البيولوجي

أسباب فكرية أخلاقية

بالنسبة إلى الكثير من الناس، يُعدّ فقدان التنوع البيولوجي ببساطة مسألة فكرية أخلاقية: فنحن نتشارك بالعيش على كوكبنا مع مجموعة كبيرة من الكائنات الحية الأخرى، وليس لدينا الحق في دفعها إلى الانقراض. يعتقد بعضنا أن للإنسان حق الوصاية على الأرض، وبالتالي يجب عليهم تقدير قيمة الكائنات الحية التي تشاركنا كوكب الأرض وحمايتها.

أسباب إيكولوجية

هناك أسباب إيكولوجية تجعل التنوع البيولوجي مهمًا جدًا، فكلما زاد التنوع الأحيائي في النظام البيئي، قل احتمال عدم توازنه بسبب التغيرات في الظروف (البيئية مثلًا) أو بسبب تهديدات مثل حدوث التلوث. وقد يكون لفقدان نوع واحد من الكائنات الحية آثار مدمرة على بقية الأنواع التي تعيش في ذلك المجتمع الأحيائي. على سبيل المثال،

قندس البحر الهادئ Pacific sea otter، هو حيوان مفترس لقنافذ البحر sea urchins التي تعيش في غابات من عشب البحر Kelp (الصورتان ٩-٢٨ و ٩-٢٩). ففي القرن التاسع عشر، تم اصطياد قنادس البحر للحصول على فرائها، وأدّى الانخفاض في أعداد القنادس إلى زيادة أعداد قنافذ البحر بسرعة كبيرة، فأكلت قنافذ البحر «سيقان» عشب البحر في الغابات التي يشكلها، ما قلل من أعدادها بشكل سريع، وتسبب في حدوث تغيير في الشبكة الغذائية بأكملها، حيث انخفضت أعداد الكائنات الحية التي تتغذى على عشب البحر. لقد أدى فقدان نوع واحد، وهو قنادس البحر، إلى خسارة فادحة للعديد من الأنواع الأخرى. تُعرف الكائنات الحية مثل قنادس البحر التي تؤدّي دورًا رئيسيًا في النظام البيئي باسم الأنواع الأساسية. حاليًا، باتت لقنادس البحر حماية مؤمنة وأصبحت محمية، فزادت أعدادها مرة أخرى في النصف الأخير من القرن العشرين. ومع ذلك، فإن الحيتان القاتلة تفترسها لأن الصيد الجائر للأسماك قد قلل من مصادر غذاء هذه الحيتان.

فيل الأدغال الأفريقي *Loxodonta africana* هو من الأنواع الأساسية التي تعيش في أراضي السافانا العشبية في شرق وجنوب أفريقيا. فأفيال الأدغال الأفريقية مدمرة للنباتات بشكل كبير، لأنها تندفع بشدة وتأكل العديد من أنواع الأشجار. يساعد هذا الشكل المتطرف من الرعي في الحفاظ على النظام البيئي المعروف بتنوع الثدييات الكبيرة والعديد من الأنواع الأخرى التي تعيش فيه. ويوفر روث الأفيال موطنًا بيئيًا غنيًا جدًا - حيث يكاد يُكوِّن نظامًا بيئيًا في حد ذاته - للعديد من الكائنات الحية، بما في ذلك الفطريات وخنافس الروث. لقد تم اصطياد الأفيال على نطاق واسع للحصول على عاجها، فتناقصت أعدادها بشكل كبير. ومع أنها الآن محمية بموجب الاتفاقات الدولية، إلا أن هذه الأفيال لا تزال عرضة لخطر الصيد الجائر من أجل توفير العاج للتجارة غير المشروعة.



الصورة ٩-٢٨ حيوان قندس البحر *Enhydra lutris*.



الصورة ٩-٢٩ غابة من أعشاب البحر **Kelp** التي تعيش في المحيط الهادئ قبالة سواحل كاليفورنيا. توفر هذه الأعشاب البحرية العملاقة مواطن بيئية للعديد من أنواع الكائنات الحية، بما في ذلك قنافذ البحر، والأسماك، وقنادس البحر.

الأسباب الاقتصادية

للنظم البيئية قيمة مباشرة وكبيرة للإنسان. فالعديد من الأدوية التي نستخدمها مصدرها كائنات حية، على سبيل المثال، استخراج المضادات الحيوية من الفطريات والبكتيريا. كذلك يتم استخراج الأدوية المضادة للسرطان من نباتات مثل نبات الونكا المدغشقرية *Catharanthus roseus*، وشجرة الطقسوس الباسيفيكي *Taxus brevifolia*، وهي مصدر عقار باكليتاكسيل Paclitaxel الذي يستخدم لعلاج عدة أنواع من السرطان. لقد فُقدت المواطن البيئية الطبيعية لنبات الونكا Periwinkle في مدغشقر تقريبًا، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى استخدام أسلوب القطع والحرق في الزراعة. لحسن الحظ، فإن هذا النبات قادر على البقاء على قيد الحياة في المواطن البيئية الاصطناعية، مثل جوانب الطرق، إذ يتم زراعته الآن في العديد من البلدان. إضافة إلى ذلك، فإن نبات طقسوس جبال الهيمالايا، والذي يُعدّ أيضًا مصدرًا لعقار الباكليتاكسيل، هو الآخر مهدد بالحصاد المفرط لاستخدامه في الأغراض الطبية وكبديل للوقود.

يوجد حاليًا اهتمام كبير بفهرسة النباتات المستخدمة في الحصول على الأدوية في الطب الصيني والهندي التقليديَّين لمعرفة ما إذا كان بإمكانها توفير الأدوية التي يمكن إنتاجها بكميات كبيرة. لا شك أن هناك الكثير مما لا نعرف عنه حول الاستخدامات المحتملة للنباتات في إنتاج العلاجات، فإذا سمحنا باختفاء الغابات الاستوائية بتنوعها الحيوي الكبير، فإننا بلا شك سوف نفقد الكثير من الأنواع التي يمكن أن تكون ذات فائدة لنا.

تشكل الحياة البرية مصدر دخل للعديد من البلدان، حيث تزداد حاليًا شعبية السياحة البيئية، إذ تشجع دول مثل بليز، وماليزيا، وجزر المالديف، وكوستاريكا السياح على زيارة منتزهاتها الوطنية، ما يوفر هذا الشكل من السياحة فرص العمل لمواطني هذه الدول، كما يساهم في نمو اقتصاداتها. وفي عام 2010 م حازت سلطنة عمان المركز الأول عالميًا في مجال السياحة البيئية، التي تمنحها صحيفة برلينا تاج زاوتون الإلكترونية الألمانية المتخصصة. تُعدّ الجائزة مؤشرًا إيجابيًا على سلامة النهج الذي تنتهجه السلطنة في مجال حماية وصون البيئة، والذي يرتكز بشكل أساس على مبدأ تحقيق التوازن بين متطلبات التنمية الشاملة وحماية وصون الموارد الطبيعية.

قلة هم الذين يفكرون في مساهمة الكائنات الحية الدقيقة في تحسين حياة الإنسان. فهي تُعدّ مصدر العديد من المنتجات المفيدة، مثل المضادات الحيوية. وقد تم اكتشاف الإنزيم المستقر حراريًا *Taq* بوليمريز Taq polymerase، في نوع من البكتيريا المحبة للحرارة *Thermus aquaticus*، وتم استخراج هذه الكائنات الحية من ينبوع ساخن في متنزه يلوستون الوطنية Yellowstone national park في الولايات المتحدة الأمريكية، ويتم حاليًا إنتاج هذا الإنزيم بكميات كبيرة بواسطة بكتيريا معدلة جينيًا لاستخدامه في تفاعل PCR الذي يستخدمه علماء الطب الشرعي وغيرهم من العلماء لمضاعفة وتكثير كميات DNA لاستخدامه للتحليل لغايات عديدة (الوحدة الثالثة، الموضوع ٣-٤، فصل وتكثير وتضخيم DNA). من المحتمل أن يكون هناك العديد من مثل هذه المركبات، وبخاصة الإنزيمات، في أنواع من العتائق التي تعيش في ظروف قاسية لا تختلف عن تلك المستخدمة في بعض العمليات الصناعية.

أسباب جمالية

تتعلق الجماليات بتقديرنا للجمال وإحساسنا به. هناك حجج تتعلق بالجمالية وراء الدعوة إلى الحفاظ على التنوع البيولوجي، إذ يستمتع الكثير من الناس بدراسة العالم الطبيعي أو على الأقل تقدير جماله، وهو يستمر في توفير الكثير من الإلهام للفنانين والمصورين والشعراء والكتاب وغيرهم من المبدعين.

أسباب زراعية

لا تتمتع نباتات المحاصيل الزراعية التي نقوم بزراعتها بالقدر نفسه من التنوع الجيني مقارنة بأقاربها البرية، والسبب في ذلك هو أن ذلك التنوع قد فقد بسبب التكاثر الانتقائي لمحاصيل منتظمة الصفات وعالية الإنتاجية. فالأقارب البرية لنبات الذرة تنمو في ولايتي أواكساكا وبويبلا في المكسيك، ويمكن لهذه النباتات البرية أن توفر الموارد الجينية التي قد نحتاج إليها لتوسيع التنوع الجيني لمحاصيل الذرة المزروعة إذا تأثرت بمرض أو بكوارث أخرى. كما تواجه العديد من هذه الأقارب البرية لنبات الذرة تهديدات متعددة بسبب تغيرات الطقس، وتدمير المواطن البيئية، وربما انتشار المحاصيل المعدلة جينيًا.

يتميز نوع من الأرز *Oryza longistaminata*، الذي ينمو في البرية في مالي في شمال أفريقيا، بأنه غير مناسب لزراعته للحصول على محصول نباتي من الأرز، وذلك بسبب قلة إنتاجيته وطعمه غير المستساغ. ومع ذلك، فهو مقاوم للعديد من السلالات المختلفة من البكتيريا التي تسبب مرض اللفحة البكتيرية للأرز. وقد تم تهجين هذا النبات بنجاح مع الأرز المستخدم لإنتاج محاصيل الأرز، *O. sativa*، لإنتاج أصناف من أرز المحاصيل مقاومة للمرض.

مثال نباتي آخر هو نبات البطاطا، إذًا هناك نحو 150 نوعًا من البطاطا تنمو في جبال الأنديز. وخارج تلك المنطقة، يأتي محصول البطاطا في العالم من نوع واحد فقط، *Solanum tuberosum*، وهذا يعني أن محصول البطاطا في العالم معرض للإصابة بالأمراض مثل مرض لفحة البطاطا *Potato blight*. لقد استخدم المركز الدولي للبطاطا (International Potato Center-CIP) في البيرو أنواع الأنديز كمصدر للأليلات المقاومة لمرض لفحة البطاطا، وتم إدخال هذه الأليلات إلى أنواع محاصيل البطاطا عن طريق التهجين وباستخدام تقنيات الهندسة الجينية (الوحدة الثالثة). إذًا، من المهم الحفاظ على جميع أنواع بطاطا الأنديز وعلى تنوعها البيولوجي والجيني.

أسباب بيئية

توفر الأنظمة البيئية المختلفة خدمات بيئية للإنسان. فمن المعروف أن الغابات ومستنقعات الخث Peat bogs تمتص غاز ثاني أكسيد الكربون من أجل عملية البناء الضوئي، وقد تساعد في تقليل تأثير الزيادات المطردة لكميات غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

تقوم الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في المياه، مثل مياه البحيرات والأنهار، بتحطيم النفايات العضوية المضافة إلى تلك المياه. كما تساهم عملية النتح في النباتات في دورة الماء في الطبيعة، وفي تزويدنا بمياه الشرب والري. ويقوم النمل الأبيض والنمل الأسود جنبًا إلى جنب مع العديد من أنواع الفطريات والبكتيريا بإعادة تدوير بعض العناصر في الطبيعة، مثل عناصر الكربون، والنيتروجين، والكبريت، والفوسفور. فبدون إعادة التدوير هذه، يصبح توفير النترات والكبريتات والفوسفات للنباتات محدودًا؛ وإذا حدث ذلك، فسوف يتباطأ نمو النبات وسيكون هناك القليل من الغذاء المتاح للكائنات الحية في المستويات الغذائية الأخرى.

سؤال

(١٣) **أ.** اكتب قائمة ببعض التهديدات التي تتعرض لها النظم البيئية.

ب. اذكر **خمسة** أسباب تبيّن فيها أهمية الحفاظ على التنوع البيولوجي.

٩-٤ إدارة أعداد الأنواع

النوع المهدد بالانقراض هو النوع المهدد بالزوال والاختفاء من النظام البيئي. هناك العديد من الطرائق المعروفة لحماية الأنواع المهددة بالانقراض من الزوال.

إن أفضل طريقة للحفاظ على أي نوع تكمن في إبقائه في بيئته الطبيعية، وذلك بحماية المواطن البيئية الطبيعية بشكل عام والحفاظ عليها، وتوفير جميع "أنظمة دعم الحياة" لضمان استمرارية هذه المواطن البيئية. يميل عامة الناس في الغالب إلى التفكير في عمليات الحماية كبرامج رفيعة المستوى تركز على حماية الثدييات فقط، مثل الباندا العملاقة والحيتان. فحماية الأنظمة البيئية كاملة والمهددة من التنمية التي يقوم بها الإنسان، تشكل أمرًا مهمًا بالقدر نفسه. وضمن هذا السياق، من الأمثلة الأكثر وضوحًا للكثيرين هي الجهود المبذولة لحماية الغابات الاستوائية المطيرة. ومع ذلك، هناك العديد من الأنظمة البيئية الأخرى الأقل شهرة والتي يجب الحفاظ عليها (مثل المناطق الطبيعية المكونة من الحجر الجيري لأنها معرضة بشدة للتلوث).

المتنزهات الوطنية

توفر معظم بلدان العالم حاليًا الحماية لمناطق محددة يكون فيها للحياة البرية والبيئة شكل من أشكال الحماية، وحيث تكون أنشطة الإنسان محدودة. فعلى سبيل المثال، يمكن إنشاء المناطق المحمية حيث توجد قيود صارمة على أعمال البناء، أو رعي الحيوانات، أو الصيد، أو الأنشطة الأخرى التي قد تؤثر سلبًا على الحيوانات والنباتات التي تعيش هناك.

المتنزهات الوطنية هي مناطق من الأرض تسيطر عليها حكومة بلد ما وتحميها تشريعات خاصة، وتخضع عمليات الزراعة والبناء والتعدين والأنشطة الصناعية الأخرى فيها لرقابة صارمة. في بعض البلدان، مثل كينيا، تحدد المتنزهات الوطنية كمناطق محمية حيث يتم الحفاظ على تجمعات الحيوانات البرية.

تم إنشاء أول متنزه وطني في العالم، وهو متنزه يلوستون في الولايات المتحدة الأمريكية، في عام 1872 م، ويعدُّ هذا المتنزه آخر نظام بيئي سليم تقريبًا في المنطقة المناخية المعتدلة الشمالية، وتستخدم كمنطقة ترفيهية وكمنطقة محمية. وتم إدراج ثلاثة من أنواع الحيوانات التي يمكن العثور عليها هناك، في قائمة الحيوانات المهددة بالانقراض في الولايات المتحدة الأمريكية (النسر الأصلع، والدب الأشيب، والوشق) واثنَين على أنهما على وشك الانقراض (طائر الكركي الصياح والذئب الرمادي).

إن محمية الحياة البرية في محافظة الوسطى العمانية هي محمية طبيعية، وقد تم إنشاؤها للمساعدة في الحفاظ على المها العربي *Arabian Oryx* (الصورة ٩-٣٠)، بحيث يمكن للزوار الوصول إلى الموقع والدخول إليه فقط من خلال تصريح مسبق من هيئة البيئة، الذي يساعد على التحكم في تأثير السياحة على المنطقة.



الصورة ٩-٣٠ قصة نجاح الحماية. تم الحفاظ على المها العربي *Oryx leucoryx* وحمايتها من الانقراض، وتربيتها وتكثيرها في الأسر، وهي تصان الآن في محميات طبيعية عبر شبه الجزيرة العربية. ومع ذلك، لا يزال هذا الحيوان عرضة لخطر الصيد.

ومع ذلك، فإن المحمية ليست مهمة فقط لحيوانات المها العربي، بل هناك عدد من الأشجار والحشرات والثدييات والزواحف والطيور التي تعيش في المنطقة، مثل الوعل النوبي، وغرير العسل، والسحالي (الورل). كذلك تُعدّ التكوينات الصخرية والتركيبات الجيولوجية في المحمية ذات أهمية علمية. ستوفر الحماية الإضافية للمنطقة الفائدة للنظام البيئي المحلي فيها، ويمكن أن تولد أيضًا دخلًا من خلال السياحة البيئية.

هناك قيود على الأنشطة البشرية المختلفة في المتنزهات الوطنية. تجلب السياحة البيئية الأموال اللازمة لدفع تكاليف صيانة المتنزهات، وتساعد أيضًا على توعية الناس حول كيفية تنفيذ إجراءات الحماية. ويؤدي هذا الأمر إلى زيادة الوعي بالقضايا المهمة، وقد يساعد على استقطاب الدعم من الناس. يكون لهذه الجهود نتائج أفضل إذا شارك السكان المحليون بطريقة ما فيها، فبذلك يشعرون أن المتنزه «ملكهم» ويمكنهم الاستفادة منه. وقد يشمل ذلك السماح لهم باستخدام بعض مناطق المتنزه لرعي حيواناتهم، أو لزراعة محاصيلهم، أو توظيفهم كحراس أمن، أو مراقبين، أو استخدام بعض الأموال التي يتم جمعها من السياحة البيئية لتحسين المرافق الصحية أو التعليمية المحلية.

تم إنشاء المتنزهات البحرية، مثل محمية رأس الحد للسلاحف في جنوب الشرقية، سلطنة عمان، في العديد من الأماكن للحفاظ على النظم البيئية الهشة والمناطق المعرضة لخطر الصيد الجائر والانجرافات والتلوث. غالبًا ما تشتمل المتنزهات البحرية على مناطق فوق الأرض المحيطة، إضافة إلى أنها تغطي جزءًا من البحر. فمحمية رأس الحد للسلاحف هي واحدة من التجمعات القليلة غير المضطربة (السليمة) المتبقية في العالم التي تعيش فيها السلاحف الخضراء *Chelonia mydas* (الصورة ٩-٣١)، وهي تضم نحو 20,000 سلحفاة خضراء تعشش في أكثر من 275 شاطئًا، كما تحوي المحمية أيضًا مناطق من شجيرات المنغروف والشعاب المرجانية، ما يوفر البيئة الضرورية لتكاثر الأسماك. ولتقليل فرص الصيد الجائر أو الإضرار بالنظام البيئي من خلال ممارسات الصيد، تم وضع لوائح وتنظيمات مطبقة للتحكم في طرائق الصيد على طول هذا الخط الساحلي. والكثير من الناس الساكنين في هذه المنطقة، الذين ربما يعتمدون في رزقهم على تجارة صيد الأسماك، يشاركون الآن في الدراسة العلمية حول السلاحف الخضراء، أو في تجارة السياحة البيئية. فآلاف الزوار يأتون سنويًا من جميع أنحاء العالم لمشاهدة صغار السلاحف الخضراء وهي تندفع بعد خروجها من البيض من الشواطئ باتجاه البحر.



الصورة ٩-٣١ سلحفاة بحرية خضراء (*Chelonia mydas*) تعود إلى البحر بعد وضع بيضها في رأس الجنز Ras Al Jinz، سلطنة عمان.

تختلف مستويات إدارة المتنزهات والمحميات في الأماكن والدول المختلفة من العالم، إذ تمتلك بعض البلدان الموارد والإرادة الوطنية لتوفير حماية ممتازة وإدارة دقيقة، بالمقابل هناك بلدان ما زالت مقصرة في تحمل مسؤولياتها في هذا المجال.

سؤال

(١٤) اشرح أهمية إدارة المتنزهات الوطنية والمناطق المحمية المماثلة الأخرى.

حدائق الحيوان

لحدائق الحيوان مجموعة متنوعة من الأدوار، بالإضافة إلى توفير المتعة والاهتمام والتشويق للزوار الذين يمكنهم مشاهدة ودراسة الحيوانات التي لن يتمكنوا من مشاهدتها لولا ذلك.

توفر حدائق الحيوان الحماية للأنواع المهددة بالانقراض وللأنواع Vulnarable والتي قد تصبح عرضة للانقراض، وقد نجحت العديد من برامج التربية والتكاثر في الأسر، والتي تعمل غالبًا على تحقيق هدف طويل الأمد يتمثل في إعادة الحيوانات إلى موطنها البيئي. على سبيل المثال، شارك صندوق دوريل لحماية الحياة الطبيعية Durrell Wildlife Conservation Trust في حديقة حيوان جيرسي في جزر القنال في تطبيق برنامج للتربية والتكاثر في الأسر لأنواع مختلفة من قرود الطمارين الأسدية الذهبية *Leontopithecus rosalia* التي تم إحضارها من البرازيل (الصورة ٩-٣٢).

المشكلة الرئيسية في تربية الحيوانات من مجموعات صغيرة لتكثيرها هي مشكلة التزاوج الداخلي. إذ يصنف نوع الفهد *Acinonyx jubatus* من قبل الاتحاد الدولي لحماية الطبيعة (IUCN) على أنه من الأنواع المهددة بالانقراض؛ ويتميز التنوع الجيني بين الفهود بأنه منخفض جدًا لأنها انقرضت تقريبًا منذ 10000 عام ولم يبقَ منها سوى عدد قليل على قيد الحياة. من أهم أهداف عمليات الحماية للأنواع المختلفة والمحافظة عليها هو الحفاظ على التنوع الجيني بين أفرادها، بما في ذلك حيوان الفهد. ففي البرية، تميل إناث الفهود إلى التزاوج مع العديد من الذكور المختلفة، ما يساعد على زيادة التنوع الجيني في الجماعة الأحيائية.



الصورة ٩-٣٢ قرد الطمارين الأسدي الذهبي *Leontopithecus rosalia* الذي يعيش في الغابات الساحلية في البرازيل. حيث إن الموطن البيئي لهذه القردة قد تم تدميره، فقد بذلت الجهود لإنقاذها، وتربيتها في الأسر، وإعادة إدخالها إلى محميات.

تؤدّي حدائق الحيوان أيضًا دورًا مهمًا في الأبحاث العلمية، لا سيما في محاولة اكتساب فهم أفضل لعادات التكاثر ومتطلبات المواطن البيئية، وطرائق زيادة التنوع الجيني. وتمتلك جمعية علم الحيوان في لندن (ZSL)، مثل العديد من حدائق الحيوان الكبيرة، برنامجًا مهمًا للبحث العلمي ضمن هذا الإطار.

الهدف الرئيسي للتربية والتكاثر في الأسر هو إعادة إدخال الحيوانات إلى بيئتها الطبيعية. قد يكون هذا صعبًا جدًا نظرًا إلى وجود العديد من العوامل التي تؤثر على نجاح تطبيق مخططات برامج كهذه. ففي أوائل السبعينيات من القرن الماضي، تم إعلان انقراض حيوان المها العربي *Oryx leucoryx* (الصورة ٩-٣٠) واختفائه من البرية، بسبب تدمير مواطنه البيئية والصيد الجائر له. لكن لحسن الحظ، كانت هناك جماعات أحيائية من هذه الحيوانات تم الاحتفاظ بها في حدائق الحيوان وفي المحميات الخاصة، حيث تمّت تربيتها وتكثيرها، ما مكّن من إعادة إدخالها إلى بيئتها الطبيعية في البرية بدءًا من الثمانينيات من ذلك القرن. وكانت عملية الإطلاق الأولى للمها العربي التي تمّت تربيتها في حديقة الحيوانات البرية في سان دييغو في الولايات المتحدة الأمريكية، في سلطنة عُمان في العام 1982 م، وقد ازدادت أعداد هذه الحيوانات البرية في جميع أنحاء شبه الجزيرة العربية الآن، ما دفع الاتحاد الدولي لحماية الطبيعة (IUCN) إلى إعادة تصنيف حيوان المها العربي على أنه نوع «معرّض للانقراض» بدلًا من «منقرض» في

البرية – على أمل أن تستمر هذه الجماعات الأحيائية بالزيادة في العدد. ومع ذلك، لا يزال هناك خطر من الصيد الجائر، ومن استغلال البيئة الصحراوية لاستخدامات أخرى.

لم تكن جميع محاولات الحماية ناجحة، فبعض الحيوانات، على سبيل المثال، ترفض ببساطة التكاثر في الأسر. وفي كثير من الأحيان ولأسباب مختلفة، لا يمكن إنشاء مواطن بيئية مناسبة للحيوانات، لذلك لا يمكن إعادتها إلى البرية. وفي بعض الأحيان، وحتى في حالة وجود موطن بيئي لها، يكون من الصعب جدًا على الحيوانات التكيّف مع العيش فيه بعد رعايتها في حديقة الحيوانات. الباندا العملاقة، مثال جيد على ذلك. ففي عام 2011 م، كان هناك أكثر من 300 من حيوانات الباندا العملاقة في حدائق الحيوان ومراكز الأبحاث في موطنها البيئي الأصلي في الصين وغيرها من حدائق الحيوان في جميع أنحاء العالم، حيث أعطيت على سبيل الإعارة. بدأ برنامج التربية والتكاثر في الأسر لهذه الحيوانات في عام 1963 م، ومنذ ذلك الحين وُلد نحو 300 من حيوانات الباندا في الأسر، ولكن حتى الآن لم تنجح عملية إعادة أي حيوان باندا إلى البرية. لقد قُتل أول حيوان باندا تم إطلاقه إلى البرية بعد تكاثره في الأسر، وكان عمره خمس سنوات ربما من قبل حيوانات الباندا الأخرى. وغالبًا ما تموت إناث قرد الطمارين الأسدي الذهبي التي يتم إطلاقها في محميات الغابات في البرازيل قبل تكاثرها، لأنها لا تملك مهارات التسلق والبحث عن الغذاء اللتين تحتاج إليهما للبقاء على قيد الحياة. ولا تعرف بعض الحيوانات التي يتم تربيتها وتكثيرها في الأسر كيفية تجنب الحيوانات المفترسة، أو العثور على الغذاء، أو تربية صغارها.

المساعدة على الإنجاب

المساعدة على الإنجاب Assisted reproduction هو حل لمشكلة التكاثر الداخلي. لقد تعوّدت حدائق الحيوان على نقل الثدييات الكبيرة من حديقة حيوان إلى أخرى كجزء من برامج التربية والتكاثر في الأسر وهذه العملية صعبة ومكلفة، كما أن التزاوج لم يكن يحدث دائمًا. ومن الخيارات المتاحة والأقل كلفة بكثير هو جمع السائل المنوي وتجميده في بنوك الحيوانات المنوية، إذ يتم جمع العيّنات من الذكور، وفحص نشاط الحيوانات المنوية ثم تخفيفها باستخدام وسط خاص يحتوي على محلول منظم وبروتين الألبومين، فتوضع كميّات صغيرة منها لتحفظ في أنابيب رفيعة تسمى القصيبات، ويتم تخزينها في النيتروجين السائل عند درجة حرارة 196 °C–.

مصطلحات علمية

المساعدة على الإنجاب
Assisted reproduction: أي تقنية من تقنيات علاج العقم، أو حماية أنثى ثديية من نوع مهدد بالانقراض، من المخاطر الصحية للحمل.

التلقيح الاصطناعي (AI)
Artificial insemination: حقن السائل المنوي المأخوذ من الذكر مباشرة إلى داخل رحم الأنثى.

تحل الطرائق المختلفة للمساعدة على الإنجاب مشكلة الذكور والإناث التي لا تظهر للآخر أيًّا من السلوكيات المحفزة للتزاوج. ففي عملية **التلقيح الاصطناعي (AI) Artificial insemination** ، يتم سحب قصيبة من بنك الحيوانات المنوية وتوضع في ماء دافئ حتى تصبح الحيوانات المنوية نشطة، ثم توضع القصيبة التي تحتوي على الحيوانات المنوية النشطة في أنبوب قسطرة ويتم إدخاله إلى رحم الأنثى عبر المهبل ثم عنق الرحم. قد يتم تنفيذ عملية التلقيح الاصطناعي عندما تكون الأنثى مستعدة بشكل طبيعي للتزاوج، ولكنها في الغالب تتبع عملية العلاج الهرموني للأنثى حتى تتم الإباضة في الوقت نفسه. وبعد إتمام عملية التلقيح الاصطناعي، يمكن «إخراج» الأجنة الناتجة من رحم الأنثى الملقحة اصطناعيًا ونقلها إلى إناث أخريات خضعت للعلاج الهرموني لإعدادها للحمل. ليس بالضرورة أن تكون هذه الإناث من نوع الأنثى الملقحة اصطناعيًا، حيث يمكن أن تكون من الأنواع ذات الصلة (القريبة) ولكنها

ليست مهددة بالانقراض. تحمي عملية **نقل الأجنة** Embryo transfer هذه إناث الحيوانات المهددة بالانقراض من الأخطار الناجمة من الحمل، وتعني أن هذه الإناث يمكن أن تكون مصدرًا للعديد من أفراد النسل. فالإناث التي تتلقى أجنة مثل هذه هي **الأرحام البديلة** Surrogate. تم استخدام تقنية نقل الأجنة هذه في العديد من أنواع الثدييات بما في ذلك الثور البري وأنواع مختلفة من الظباء الأفريقية.

من أجل إجراء عملية **إخصاب خارج الجسم** (IVF) In vitro fertilisation، يتم جمع البويضات من الأنثى عن طريق إدخال إبرة في مبايضها وسحب بعض الحويصلات الناضجة، ويتم حفظ البويضات في وسط غذائي لفترة قصيرة، ثم تُمزج مع السائل المنوي. تنقسم الزيجوتات الناتجة لتكوين أجنة، حيث يتم زرعها لعدة أيام ثم توضع في رحم الأم أو في أرحام عدة إناث من النوع نفسه أو من نوع مختلف.

يمكن أيضًا تخزين البويضات والأجنة بطريقة تخزين الحيوانات المنوية، إذ يصعب تجميد البويضات مقارنة بالحيوانات المنوية لأنها أكثر عرضة للتلف بسبب عمليات التجميد أو الذوبان. فالبويضات عبارة عن خلايا كبيرة تحتوي على الكثير من الماء، وهي تميل إلى تكوين بلورات ثلجية بداخلها تتسبب بتلف وتمزق الأغشية الداخلية. يتم تخصيب البويضات في المختبر (خارج الجسم) ثم يتم تجميدها حتى يحين وقت توفر الأرحام البديلة. تحتوي **حديقة الحيوانات المجمدة** Frozen zoo، مثل تلك الموجودة في حديقة حيوان سان دييغو في الولايات المتحدة، على موارد جينية في شكل حيوانات منوية وبويضات وأجنة وعيّنات أنسجة من العديد من الأنواع المهددة بالانقراض والمعرضة للانقراض بحيث تكون متوافرة عندما تكون هناك حاجة إليها. ويمكن أن تحتوي حدائق الحيوان المجمدة على تنوع أكبر بكثير من حديقة الحيوانات العادية، كما يمكن الاحتفاظ بالمواد فيها مجمدة لفترات طويلة جدًا من الزمن.

مصطلحات علمية

نقل الأجنّة Embryo transfer: تتم إزالة الأجنّة من رحم أنثى الثدييات ومن الأنواع المهددة بالانقراض بعد فترة وجيزة من الإخصاب، ونقلها إلى الأرحام البديلة لإكمال نضوجها التام وولادتها.

الأرحام البديلة Surrogacy: تصبح الأنثى حاملًا بجنين أنثى أخرى، وتحمله إلى أن يكتمل نضوجه وتتم ولادته؛ يمكن الحمل بالأجنّة بشكل طبيعي، أو اصطناعي عن طريق الإخصاب خارج الجسم IVF.

الإخصاب خارج الجسم (IVF) In vitro fertilisation: عملية إخصاب البويضة التي تحدث خارج جسم الأنثى (على سبيل المثال في طبق بتري).

حديقة الحيوانات المجمدة Frozen zoo: منشأة يتم فيها تخزين الموارد الوراثية المأخوذة من الحيوانات في درجات حرارة منخفضة جدًا (196 °C–)؛ وقد تشمل هذه المواد عيّنات من الحيوانات المنوية، والبويضات، والأجنة، والأنسجة.

أسئلة

(١٥) **أ.** اقترح: لماذا لا تتكاثر بعض الحيوانات في الأسر.

ب. اشرح المصطلحات التالية: التلقيح الاصطناعي، الإخصاب خارج الجسم، بنك الحيوانات المنوية، عملية نقل الأجنة، والأرحام البديلة وحديقة الحيوانات المجمدة.

ج. اشرح سبب أهمية عدم احتفاظ حدائق الحيوان بأعداد صغيرة من الجماعات الأحيائية المعزولة تكاثريًا لأغراض التكاثر.

(١٦) يعتقد الكثير من الناس أنه يجب منع الاحتفاظ بالحيوانات في حدائق الحيوان. لخص الحجج المتعلقة بأهمية حدائق الحيوان.

الحدائق النباتية وبنوك البذور

تؤدي الحدائق النباتية دورًا مشابهًا فيما يتعلق بالنباتات المهددة بالانقراض، كالدور الذي يكون لحدائق الحيوان بالنسبة إلى الحيوانات المهددة بالانقراض. في العادة، تُجمع البذور أو العُقَل من الأنواع النباتية الموجودة في البرية، ثم تُستخدم لتكوين جماعة أحيائية من النباتات التي يمكن إعادة إدخال بعضها إلى مواطنها الطبيعية في المستقبل إذا اقتضى الأمر. من الممكن أيضًا جمع عيّنات صغيرة من الخلايا وتنميتها في وسط آجار غذائي معقّم. تنقسم الخلايا عن طريق الانقسام المتساوي لإعطاء كتلة من الخلايا التي يمكن استنساخها عن طريق تقسيمها إلى قطع أصغر. وعندما يتم نقل الخلايا إلى وسط يحتوي على مزيج مناسب من الهرمونات النباتية، فإنها تنمو وتُطور السيقان والجذور ويمكن بعد ذلك نقلها لتنمو في التربة. تُستخدم تقنيات زراعة الأنسجة والاستنساخ لإنتاج أعداد كبيرة من النباتات من عدد قليل من العيّنات الأصلية. تتمثل أدوار الحدائق النباتية بما يلي:

- حماية أنواع النباتات المهددة بالانقراض؛ ينمو في الحدائق النباتية في العالم بالفعل ما يقرب من ثلث الأنواع النباتية المعروفة حتى الآن على سطح الأرض، وهناك الكثير منها مهدد بشكل متزايد في البرية (في بيئاتها الطبيعية) بسبب التدهور البيئي وتغير المناخ.
- تطوير طرائق البحث العلمي في تكاثر ونمو النباتات بحيث يمكن تنمية الأنواع المزروعة في الحدائق النباتية في الظروف المناسبة وتكثيرها.
- تطوير البحث العلمي في طرائق الحماية، بحيث يمكن إدخال النباتات إلى مواطن بيئية جديدة إذا ما حدث تدمير لموطنها الأصلي.
- إعادة إدخال الأنواع إلى المواطن البيئية الخاصة بها حيث أصبحت نادرة جدًا أو منقرضة.
- توعية عامّة الناس بالأدوار العديدة للنباتات في النظم البيئية وبقيمتها الاقتصادية.

غالبًا ما يستغرق إعادة إدخال الأنواع النباتية إلى بيئاتها الطبيعية وضمان بقائها، زمنًا طويلًا. وهذا الأمر صحيح بشكل خاص مع النباتات بطيئة النمو، مثل نباتات نخيل سارجنت الكرزي *Pseudophoenix sargentii*. تمّت تنمية عيّنات من هذا النوع في حدائق فيرتشايلد النباتية الاستوائية Fairchild Tropical Botanical Gardens في ميامي، الولايات المتحدة الأمريكية، قبل إعادة إدخالها إلى موطنها الطبيعي في منطقة فلوريدا كيز Florida Keys.

مصطلحات علمية

بنك البذور Seed bank: مُنشأة يتم فيها تجفيف البذور وحفظها تحت ظروف تخزين باردة، للحفاظ على التنوع البيولوجي للنبات وحمايته.

بنوك البذور

بالإضافة إلى زراعة النباتات وتنميتها، قد تُجمع بذور نباتات الحدائق لتخزن وتحفظ في **بنك البذور Seed bank**. تدير هيئة الحدائق النباتية الملكية في كيو، في المملكة المتحدة، مشروعًا طموحًا جدًا يسمى بنك الألفية للبذور (MSB)، والذي تم إنشاؤه وبدأ العمل فيه عام 2000 م (الصورتان ٩-٣٣ و ٩-٣٤). يمتد طموح البنك إلى القيام بجمع وتخزين البذور من 25% على الأقل من نباتات العالم حتى عام 2020 م. وبالتالي، إذا انقرضت بعض أنواع النباتات التي تعيش في البرية، فستكون هناك بذور أخذت منها مسبقًا، ويمكن زراعتها وإدخال هذه النباتات إلى مواطنها البيئية مرة أخرى. إذا أمكن ذلك، يتم جمع بذور النباتات من النوع نفسه من مواقع مختلفة، بحيث يمكن ضمان احتواء العيّنات المختلفة والمخزنة على نسبة جيدة من إجمالي المجمع الجيني Gene pool لتلك الأنواع.



الصورة ٩-٣٣ بنك الألفية للبذور Millennium Seed Bank (MSB)، ويكهورست، في المملكة المتحدة. يتم فحص البذور التي تصل إلى بنك البذور بحثًا عن الآفات والأمراض، وتقييم حيويتها وصلاحيتها، وتجفيفها، ثم تخزينها في أوعية محكمة الإغلاق (الصورة ٩-٣٤) وحفظها في قبو تخزين البذور في درجة حرارة -20 °C.

من بنوك البذور في العالم قبو سفالبارد العالمي للبذور Svalbard Global Seed Vault، وهو بنك بذور تديره حكومة النرويج. يقع القبو في نهاية نفق، بطول 120 مترًا، وهو محفور في صخور جبل في جزيرة سبيتسبيرجين Spitsbergen داخل الدائرة القطبية الشمالية. يُعتقد أن القبو يتمتع بظروف تخزين مثالية، ولا تفتح أبوابه إلا في فصل الشتاء عندما تنخفض درجة حرارة البيئة المحيطة إلى ما يقرب من درجة حرارة تشغيل القبو والتي تعادل -18 °C. لقد تم تخزين عيّنات البذور الأولى فيه في شهر يناير 2008 م، وبحلول عام 2018 م، احتوى القبو على أكثر من 900000 عيّنة بذور مختلفة من أصناف المحاصيل من جميع أنحاء العالم.



الصورة ٩-٣٤ عالم نبات يحمل إحدى مجموعات البذور المخزنة في بنك البذور في قبو بارد في بنك الألفية للبذور (MSB).

تقوم العديد من المنظمات الوطنية والدولية بما فيها بنك البذور في السلطنة بجمع البذور، وتخزينها حتى لا يضيع التنوع الجيني في نباتات المحاصيل التي نزرعها. ويتم تخزين البذور من كل من هذه العيّنات في قبو سفالبارد العالمي للبذور. فإذا فُقد نوع البذور المخزنة في مكان آخر لأي سبب كان سواء كارثة بيئية أو سوء الإدارة أو فقدان التمويل أو الحوادث أو فشل المعدات – فستكون هناك دائمًا عيّنات مكررة متاحة من سفالبارد. يمتلك بنك البذور المودِع البذور التي يودعها، ولا يمكن لأي منظمة أو جهة أخرى الوصول إليها. يجب على أي منظمة أو جهة بحثية ترغب في استخدام أي من البذور المحفوظة في البنك أن تتقدم إلى بنك البذور الأصلي (المودِع) لأخذ الموافقة على استخدام عيّنات منها للأغراض البحثية. يتم تخزين البذور مجانًا، حيث يتم تغطية تكاليف صيانة القبو من قبل الحكومة النرويجية والصندوق العالمي لتنوع المحاصيل Global Crop Diversity Trust. يساعد هذا الصندوق أيضًا البلدان النامية على اختيار البذور وتوضيبها بعد ذلك إلى سفالبارد وتخزينها هناك.

من بنوك البذور المهمة الأخرى بنك الأرز الدولي في الفلبين International Rice Institute in the Philippines، والذي يحتفظ من جميع أنواع وسلالات الأرز المعروفة في العالم.

تنتج العديد من النباتات بذورًا تظل قادرة على الحياة (تبقى صالحة) لمدة 15 عامًا على الأقل، إذا تم تجفيفها بدقة حتى تحتوي على نحو 5% من الماء، وتم تخزينها في درجة حرارة تتراوح بين 15- °C و 20- °C. مع هذا المحتوى المائي الصغير، هناك خطر ضئيل من تعرض الخلايا الموجودة في البذرة إلى التلف بسبب تكون بلورات الجليد فيها أثناء التجميد والإذابة.

الطريقة الوحيدة لمعرفة ما إذا كانت البذور المخزنة لا تزال صالحة هي محاولة إنباتها. تجري بنوك البذور اختبارات الإنبات على فترات تمتد على خمس سنوات. عندما تنبت أقل من 85% من بذور أحد أنواع النباتات بنجاح، تتم زراعة هذا النبات من هذه البذور بحيث يمكن جمع البذور الطازجة وتخزينها.

عندما تنمو مثل هذه النباتات من عيّنات البذور المخزنة، هناك إمكانية لحدوث تغيير في التنوع الجيني الذي تم تخزينه في الأصل. وتمثل العيّنات الصغيرة من بذور النباتات النادرة مشكلة خاصة، وذلك لأن عددًا قليلًا من البذور الأصلية يتم اختبار صلاحيته أو تنميته إلى نباتات عند محاولة زيادة عدد البذور الذي سيخزن في بنك البذور. من غير المحتمل أن تحتوي هذه العيّنات على كل التنوع الجيني للعيّنة الأصلية، لكن الحل الوحيد لهذه المشكلة هو تخزين عيّنة كبيرة ومتنوعة قدر الإمكان من البذور في المقام الأول.

يسهل تخزين معظم البذور، لكن بعض النباتات تكون بذورًا لا يمكن تجفيفها وتجميدها. وتسمى هذه باسم «البذور المستعصية» «Recalcitrant seeds»، وتشمل بذور الأنواع الاستوائية المهمة اقتصاديًا مثل نبات المطاط، ونخيل جوز الهند، والقهوة، والكاكاو (الصورة ٩–٣٥). الطريقة الوحيدة للحفاظ على التنوع الجيني لهذه الأنواع هي جمع البذور وزراعتها عبر أجيال متعاقبة، أو الاحتفاظ بها على شكل مزارع الأنسجة. وبشكل استثنائي، يتم تخزين نبات الكاكاو كأشجار. يحتوي بنك جينات الكاكاو الدولي International Cocoa Genebank في ترينيداد على نحو 12000 شجرة – تمثل نماذج من جميع أنواع الكاكاو الموجودة في أمريكا اللاتينية ومنطقة البحر الكاريبي. يتم توزيع مكونات مختارة من مجموعة ترينيداد على الدول الأخرى المنتجة للكاكاو بعد خضوعها إلى الحجر الصحي في جامعة ريدينغ University of Reading في المملكة المتحدة.



صورة ٩-٣٥: شجرة الكاكاو *Theobroma cacao*. يُعدّ مستقبل هذا النوع من المحاصيل مهددًا بالأمراض، وتغير المناخ، والكوارث الطبيعية، والتنوع الجيني المحدود، والفشل في إدارة المزارع عن طريق استبدال الأشجار القديمة. ويتم فقدان ما بين 30% و 40% من الإنتاج العالمي بسبب الآفات والأمراض.

أسئلة

(١٧) **أ.** ما أهمية الاحتفاظ ببذور النباتات في بنوك البذور؟

ب. اشرح سبب عدم إمكانية الاحتفاظ ببذور جميع أنواع النباتات في بنوك البذور، مثل بنك الألفية للبذور وبنك سفالبارد للبذور.

(١٨) تم اقتراح أن بنوك البذور تضع ضغوطًا بيئية على البذور تختلف عن تلك التي قد تتعرض لها النباتات في البرية.

أ. برأيك، كيف يمكن أن تختلف هذه الضغوط البيئية؟

ب. كيف يمكن أن يؤثر ذلك على فرص النجاح في إعادة النباتات إلى البرية؟

ج. اقترح بعض المشكلات الخاصة التي تواجه بنوك الجينات للنباتات ذات «البذور المستعصية» مثل بذور نباتي الكاكاو وجوز الهند.

ضبط الأنواع الغريبة

مصطلحات علمية

الأنواع الغريبة (الغازية) Alien species (invasive): نوع انتقل إلى نظام بيئي جديد حيث لم يكن معروفًا وجوده فيه من قبل؛ وهو معروف أيضًا باسم النوع الغازي.

إدارة أعداد أنواع الكائنات الحية تعني أيضًا ضمان عدم هيمنة نوع من الكائنات الحية في نظام بيئي معيّن على حساب الأنواع الأخرى. فـ**الأنواع الغريبة (الغازية) Alien species (invasive)** هي تلك الأنواع التي انتقلت من نظام بيئي إلى نظام بيئي آخر لم تكن معروفة فيه من قبل. كان الناس مسؤولين عن انتقال الأنواع حول العالم عن طريق الاتجار بالحيوانات والنباتات أو حملها عن غير قصد على متن السفن. كما تم إدخال بعض أنواع الكائنات الحية كعوامل للمقاومة البيولوجية لمكافحة الآفات في بعض مناطق العالم. على سبيل المثال، تم إدخال النمس الهندي الصغير *Herpestes auropunctatus* إلى جامايكا في عام 1872م وأثبت نجاحه في السيطرة على الفئران التي كانت تغزو حقول القصب لدرجة أنه تم إدخاله إلى أماكن جديدة، لكن لسوء الحظ فقد أصبح بعد ذلك مفترسًا للحيوانات الأخرى.

ولعل أشهر إدخال للأنواع كان إدخال علجوم القصب، الذي تم إدخاله إلى كوينزلاند، في أستراليا، من هاواي في عام 1935م لمكافحة آفة حشرية كانت تصيب نباتات قصب السكر. فأصبح علجوم القصب آفة بسبب تكاثره بسرعة، حيث انتشر عبر الأجزاء الشرقية والشمالية والغربية من البلاد. وكان هناك عدد قليل من الحيوانات في أستراليا التي تفترسه، ويرجع ذلك أساسًا إلى أنه ينتج سمًّا قويًا يقتل معظم الحيوانات التي تأكله. ومن الأنواع الحيوانية المعروفة بأنها الأكثر تعرضًا للخطر نتيجة لغزو علجوم القصب هي حيوانات الكول الشمالي *Dasyurus hallucatus*، التي تحاول

أكل العلجوم. تتناقص أعداد آكلات اللحوم الجرابية المهددة بالانقراض هذه بشكل حاد بعد غزو علاجم القصب لموطنها البيئي. ومن المحتمل كذلك أن تتنافس علاجم القصب مع بعض أنواع البرمائيات الأخرى من أجل الغذاء، كما أنه من المعروف أنها تأكل فراخ طائر الوروار *Merops ornatus* الذي يعشش على الأرض.

تم تسجيل طيور المينا *Myna* الشائعة *Acridotheres tristis* لأول مرة في سلطنة عُمان في عام 1982م، ومنذ ذلك الحين انتشر ليصبح أحد أكثر الطيور شيوعًا في البلاد (الصورة ٩-٣٦). يمكن لطيور المينا الشائعة أن تدمر أعشاش الطيور الأخرى وتقتل صغارها، وتتلف المحاصيل وهي تتغذى على النحل. كما أنها تنجذب بشكل خاص إلى المدن، حيث يوجد تنوع واسع من المواد الغذائية المتوافرة في مطامر القمامة وأماكن تجميعها. كما تنجذب نحو المناطق المغطاة بالأشجار من أجل التعشيش والمأوى. وتعمل سلطنة عمان على مكافحة هذه الطيور الغازية، بالتعاون مع المتخصصين في القطاعين العام والخاص للحد من تكاثر هذا الطائر وانتشاره.

تعيش أسماك الأسد الحمراء *Pterois volitans* في موطنها البيئي في بحار جنوب شرق آسيا. لا أحد يعرف كيف غزت هذه الأسماك مياه البحر الكاريبي، لكن يبدو أنه من المحتمل أن تكون بعضها قد هربت من أحواض الأحياء المائية التي كانت تربى فيها في الولايات المتحدة الأمريكية. لقد انتشر هذا النوع من الأسماك في جميع أنحاء منطقة البحر الكاريبي، وشق طريقه عن طريق التغذية على العديد من أنواع الأسماك المحلية التي تعيش على الشعاب المرجانية. مرة أخرى، لا يوجد حيوان مفترس طبيعي لهذه الأسماك في بيئتها الجديدة. ففي دولة بليز، يتم تشجيع الغواصين على استخدام الرماح لاصطياد هذه الأسماك وتقليل عدد جماعتها الأحيائية. وتعتقد حكومة جامايكا أنه إذا شجعت الناس على تقبل مذاق هذه الأسماك، فسوف يتشجع الصيادون على اصطياد المزيد منها وسيقل عددها قريبًا (الصورة ٩-٣٧).

للأنواع الغازية تأثيرات متنوعة على بيئتها الجديدة فبالإضافة إلى كونها حيوانات مفترسة ناجحة مع القليل من الضوابط، فإنها قد تتنافس بشكل فعال مع الكائنات الحية المحلية التي تحتل الإطار البيئي نفسه، ما قد يدفعها إلى



الصورة ٩-٣٦ طائر مينا *Acridotheres tristis* في مسقط، سلطنة عمان.



الصورة ٩-٣٧ سمكة الأسد الحمراء، *Pterois volitans*، وهي من الأنواع الغريبة التي هربت إلى منطقة البحر الكاريبي، وتسببت في دمار الشعاب المرجانية لأنها تأكل العديد من حيوانات الشعاب المرجانية وليس لديها مفترس طبيعي في ذلك النظام البيئي.

الانقراض. وقد تنقل معها أمراضًا تصيب كائنات حية مماثلة لم تتعرض في السابق لهذه المسببات المرضية. تنمو بعض النباتات الغريبة الغازية بنجاح كبير لدرجة أنها تغطي مساحات شاسعة من الأرض أو الماء. على سبيل المثال، نبات ورّد النيل سميك الساق *Eichhornia crassipes*، هو نبات مائي عائم ينتشر بسرعة عند إدخاله إلى مواطن بيئية جديدة. وهو يمنع ضوء الشمس من الوصول إلى النباتات المائية المحلية، ويقلل من تركيز الأكسجين في الماء، ما يؤدي إلى قتل الأسماك. يوفر نبات ورّد النيل سميك الساق أيضًا موطنًا ليرقات البعوض الذي ينقل بعض الأمراض، لذا فإن السيطرة على هذا النبات مهمة جدًا من أجل صحة الإنسان أيضًا وذلك عبر تقليل تكاثر البعوض. كما أن شجرة المسكيت أو الغاف البحري *Prosopis juliflora* يشكل تهديدًا للتنوع الجيني في سلطنة عمان. لقد تم إدخال هذه النبتة أساسا بهدف منع تعرية التربة والتصحر. ولكنها انتشرت بسرعة كبيرة، وتنافست مع الأشجار المحلية في الحصول على الضوء والمساحة والماء. وتنتشر نباتات المسكيت بمعدل 5% سنويًا الأمر الذي يسبب تقليل الغطاء النباتي بنسبة 5% ويمكن أن تمتد جذورها السطحية إلى 500 متر وعمق 60 مترًا، فالجماعة الأحيائية لنبات المسكيت في سلطنة عمان يمكن أن تستهلك 4 - 6 مليارات لتر من المياه في الشهر الواحد.

سؤال

(١٩) **أ.** اشرح الضرر الذي قد تحدثه الأنواع الغريبة الغازية على نظام بيئي معيّن.

ب. اقترح كيفية استقصاء تأثير أحد الأنواع النباتية الغريبة الغازية على التنوع البيولوجي في نظام بيئي.

٩-٥ منظمات الحماية الدولية

اتفاقية التجارة الدولية في الأنواع المهددة بالانقراض من الحيوانات والنباتات البرية (CITES)

في عام 1973م، وقّعت 145 دولة اتفاقية لضبط تجارة الأنواع المهددة بالانقراض وأي منتجات منها، مثل الفراء والجلود والعاج، وقد انضمت المزيد من البلدان منذ ذلك الحين إلى هذه الاتفاقية. تسمى هذه الاتفاقية اتفاقية التجارة الدولية في الأنواع المهددة بالانقراض من الحيوانات والنباتات البرية (CITES).

تنظر CITES في الأدلة المقدمة إليها حول الأنواع المهددة بالانقراض والأنواع المعرضة للانقراض وتعينها في واحد من الملاحق الثلاثة (الجدول ٩-٩)، وتتم مراجعة قائمة الأنواع المدرجة في ملاحق CITES من قبل لجان الخبراء بشكل دوري، وهذه القائمة آخذة في الاتساع بزيادة أعداد الأنواع المضافة إليها. ومع ذلك، فإن هناك قلقًا من أن قائمة CITES لا تفيد دائمًا الأنواع المدرجة فيها (الصورة ٩-٣٨)، والسبب يعود إلى أنه إذا أصبحت العمليات التجارية المتعلقة بأحد الأنواع أو منتجاته غير قانونية، فإن السعر الذي يمكن للتجار الحصول



الصورة ٩-٣٨ رجال الشرطة في ماليزيا يفحصون سلاحف البحر الميتة على قارب تم توقيفه في طريقه إلى سوق الهدايا. جميع السلاحف البحرية مدرجة في CITES الملحق الأول.

عليه لهذه المنتجات يرتفع، ومن المرجح أن تدفعهم غريزة الربح إلى المتاجرة بها ولو أدى ذلك إلى خرق القانون. وفي أثناء المشاورات بقصد إدراج أحد الأنواع في القائمة وسن القوانين لتنفيذ الحماية، تنشط عمليات التجارة بهذا النوع ومنتجاته، ما يؤدّي إلى أضرار بالغة.

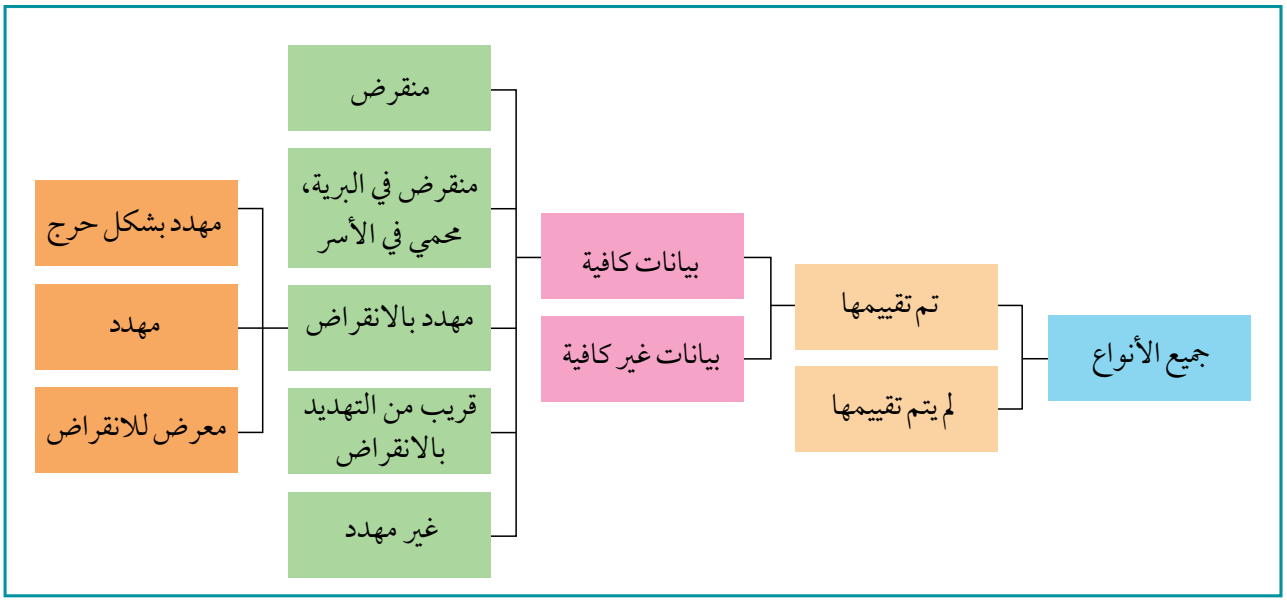
يمكنك معرفة المزيد عن CITES ومشاهدة الصور والمعلومات حول الأنواع المدرجة لديها من خلال زيارة الموقع الإلكتروني الخاص بهم https://cites.org/eng/disc/what.php

ملحق CITES	المعايير	أنظمة التجارة	أمثلة الحيوانات	أمثلة النباتات
الأول (I)	الأنواع الأكثر عرضة للخطر والمهددة بالانقراض	تحظر جميع أنواع التجارة بالأنواع أو منتجاتها	القرود من عائلة البونجو، *Pongo abelii* و *P. pygmaeus* (بورنيو، إندونيسيا)	نبات إبريق كيناباالو، *Kinabulu pitcher* *Nepenthes kinabaluensis* (ماليزيا)
الثاني (II)	الأنواع غير المهددة بالانقراض حاليًا، ولكنها ستكون كذلك ما لم يتم التحكم في التجارة عن قرب	لا يُسمح بالتجارة إلا إذا تم منح تصريح تصدير من قبل الدول المعنية	السير ديفيد إيكيدنا طويل المنقار *Sir David's longbeaked echidna*، *Zaglossus attenboroughi* (بابوا، إندونيسيا)	جميع الأنواع في الجنس النابَنط *Nepenthes*؛ مصيدة ذبابة فينوس *Venus fly trap*، *Dionaea muscipula*
الثالث (III)	الأنواع المدرجة بناءً على طلب بلد ينظم تجارة الأنواع، ويحتاج إلى تعاون البلدان الأخرى لمنع الاستغلال غير المستدام أو غير القانوني	يتم تنظيم التجارة في هذه الأنواع؛ تصاريح التصدير مطلوبة، ولكن الحصول عليها أسهل من الحصول على الأنواع الواردة في الملحق الثاني	حمامة موريشيوس الوردية *Mauritian pink pigeon*، *Columba mayeri*	شجرة حفز (*Spur tree from*) من النيبال، *Tetracentron sinense*

الجدول ٩-٩ ملحقات اتفاقية CITES الأول (I)، والثاني (II)، والثالث (III).

الاتحاد الدولي لحماية الطبيعة (IUCN)

الاتحاد الدولي لحماية الطبيعة (IUCN) هو «السلطة العالمية المعنية بحالة العالم الطبيعي والتدابير اللازمة لحمايته». كجزء من عمله، يقوم IUCN بتقييم حالة العديد من أنواع الحيوانات والنباتات في العالم. يوضح الشكل ٩-٧ نظام تصنيف IUCN لحالة حفظ الأنواع النباتية والحيوانية. هذه المعلومات متاحة على الإنترنت من خلال «قائمة IUCN الحمراء للأنواع المهددة بالانقراض» حيث يراقب العلماء الجماعات الأحيائية ويقيمون المخاطر التي قد تؤدي إلى انقراض الأنواع، ثم يطبقون معايير معيّنة على المعلومات المتوافرة لديهم قبل وضع كل نوع ضمن إحدى الفئات الموضحة في الشكل ٩-٧. تتاح المعلومات الواردة في هذه القائمة الحمراء للحكومات، والمخططين، ودعاة حماية البيئة، ونشطاء البيئة في جميع أنحاء العالم.



الشكل ٩-٧: تصنيف IUCN للأنواع. تم تصنيف الطيور المحاكية فلوريانا (الصورة ٩-١) على أنها من الأنواع المهددة بالانقراض.

سؤال

٢٠ استخدم قاعدة بيانات الاتحاد الدولي لحماية الطبيعة (IUCN) للعثور على معلومات حول بعض الأنواع النباتية والحيوانية المهددة بالانقراض أو المهددة بشدة في بلدك، ثم استكشف ما يتم فعله للحفاظ عليها.

اتفاقية التنوع البيولوجي (CBD)

هناك أيضًا اتفاقية دولية بشأن التنوع البيولوجي، والتي تتطلع إلى إشراك الحكومات من البلدان في جميع أنحاء العالم في الحفاظ على التنوع البيولوجي الحيوي. والبلدان التي وقّعت على الاتفاقية تحضِّر مؤتمرات منتظمة للأطراف الموقعة، وقد شهد مؤتمر الأمم المتحدة للتنوع البيولوجي لعام 2022 م، (UN Biodiversity Conference 2022)، سفر مندوبين من سلطنة عمان إلى مونتريال، في كندا، لمناقشة تدابير وإجراءات الحماية، والتعاون العلمي بين البلدان المشاركة. يُعدّ هذا الأمر مهمًا لأن الإجراءات التي قد يتخذها بلد ما يمكن أن تؤثر على التنوع البيولوجي لبلد آخر، لذلك يضمن التعاون الدولي التزام الأطراف المعنية بضمان بقاء التنوع البيولوجي كأولوية لها.

ملخّص

هناك ثلاثة مفاهيم مختلفة للأنواع. النوع البيولوجي هو مجموعة من الكائنات الحية تشترك في العديد من الخصائص والقادرة على التزاوج فيما بينها وإنتاج ذرية خصبة. النوع المورفولوجي مجموعة من الكائنات الحية تشترك في العديد من الخصائص الفيزيائية التي تميّزها من الأنواع الأخرى. النوع البيئي مجموعة من الأفراد من النوع نفسه والتي تعيش في المنطقة نفسها وفي الوقت نفسه.

يتم تصنيف الأنواع في تسلسل هرمي تصنيفي يشمل: النطاق، والمملكة، والشعبة، والطائفة، والرتبة، والعائلة، والجنس، والنوع. هناك ثلاثة نطاقات: البكتيريا والعتائق، وحقيقية النواة.

العتائق والبكتيريا من بدائية النوى. تختلف العتائق عن البكتيريا من حيث تركيب وأنواع الدهون الموجودة في أغشيتها، و RNA الرايبوسومي المكون للرايبوسومات في كل منها، وتركيب ومكونات جدران الخلايا.

تصنف جميع الكائنات الحية حقيقية النواة ضمن نطاق حقيقية النوى، والتي تنقسم إلى أربع ممالك هي: الأوليات، والفطريات، والنباتات، والحيوانات.

لا يتم تضمين الفيروسات في هذا التصنيف، لأنها لا خلوية (لا تتكون من خلايا)، وتتكوّن بشكل أساسي فقط من حمض نووي (DNA أو RNA) محاط بغلاف بروتيني. تصنف الفيروسات وفقًا لنوع الحمض النووي الذي تحتويه، وما إذا كان مفردًا أو مزدوج الشريط.

النظام البيئي هو مجتمع أحيائي مستقلّ بذاته نسبيًا، ويتكوّن من مجموعة من الكائنات الحية التي تتفاعل معًا وتتأثر فيما بينها، والبيئة التي تعيش فيها والتي تتفاعل معها كذلك. الإطار البيئي هو الدور الذي يؤديه كائن حي محدد في النظام البيئي؛ وكيف يتلاءم الكائن الحي مع النظام البيئي الذي يعيش فيه.

يشمل التنوع البيولوجي مستويات مختلفة: عدد نطاق الأنظمة البيئية أو المواطن البيئية، وعدد الأنواع والوفرة النسبية لكل نوع، والتنوع الجيني داخل كل نوع.

جمع العيّنات العشوائية في العمل الميداني مهم لجمع البيانات التي تمثل المنطقة قيد الدراسة، ولتجنب التحيز في اختيار العيّنات. يُعدّ جمع العيّنات العشوائية مناسبًا للمواطن البيئية التي يكون فيها توزيع الأنواع بشكل متجانس في جميع أنحاء المنطقة، وتتعرض جميعها للظروف البيئية نفسها.

تُستخدم المربعات القياسية لتقييم وفرة الكائنات الحية. يمكن تسجيل الوفرة على أنها تكرار الأنواع، وكثافة الأنواع، والنسبة المئوية لتغطيتها. تُستخدم المقاطع الخطية والمقاطع الحزامية لاستقصاء توزيع الكائنات الحية في المواطن البيئية حيث الظروف غير موحدة (غير منتظمة) (على سبيل المثال من ارتفاع منخفض إلى ارتفاع عالٍ). تظهر المقاطع الخطية تغيرات نوعية في توزيع الأنواع؛ وتظهر المقاطع الحزامية التغيرات في الوفرة وكذلك التوزيع لأفراد الأنواع المختلفة.

مؤشر لينكولن هو وسيلة لتقدير عدد الكائنات الحية في المجموعات الأحيائية من الحيوانات المتنقلة في منطقة معيّنة. يتم تحديد حجم الجماعة الأحيائية من خلال طريقة ضع علامة – أطلق – أعد إمساك.

هناك العديد من التهديدات للتنوع البيولوجي في الأنظمة البيئية؛ وتشمل هذه التغيرات المناخية، والمنافسة وخصوصًا مع الأنواع الغريبة (الغازية)، والصيد من قبل الإنسان، وتدهور الأنظمة البيئية، ما يؤدي إلى فقدان المواطن البيئية. هذه العوامل مسؤولة عن الانقراض المحلي للجماعات الأحيائية والانقراض الكلي للأنواع.

ملخّص (تابع)

هناك أسباب فكرية أخلاقية للحفاظ على التنوع البيولوجي، وكذلك أسباب أكثر عملية؛ على سبيل المثال، قد تكون النباتات مصادر للأدوية المستقبلية، وقد توفر الحيوانات الأليلات لاستخدامها في تربية وتكثير الحيوانات.

قد تتضمن حماية أنواع الحيوانات المهددة بالانقراض والحفاظ عليها تطبيق برامج التربية والتكاثر في الأسر، حيث يتم تكوين وبناء جماعات أحيائية قابلة للحياة في حدائق الحيوان ومتنزهات الحياة البرية. تحاول هذه البرامج ضمان الحفاظ على مجموعات الجينات ضمن النوع، وتجنب مشكلة التزاوج الداخلي. في الوقت نفسه، تُبذل محاولات لتوفير مواطن بيئية مناسبة في البرية، بحيث يمكن في النهاية إعادة إدخال الحيوانات التي تمّت تربيتها في الأسر إلى البرية؛ من المهم إشراك السكان المحليين في مثل هذه المشاريع لزيادة مستوى القبول عندهم وفرص نجاح هذه العمليات.

تُستخدم طرائق المساعدة على الإنجاب، مثل التلقيح الاصطناعي (الإخصاب خارج الجسم IVF) ونقل الأجنة، والأرحام البديلة، في الحفاظ على الثدييات المهددة بالانقراض. وتحتفظ «حدائق الحيوان المجمدة» بمجموعات من الحيوانات المنوية، والبويضات، والأجنة، وعيّنات الأنسجة من الأنواع المهددة بالانقراض في ظروف تخزين تحت درجات حرارة شديدة الانخفاض.

تساعد الحدائق النباتية وبنوك البذور في حماية الأنواع النباتية المهددة بالانقراض والمحافظة عليها عن طريق تكثيرها لإعادة إدخالها وإرجاعها إلى المواطن البيئية المناسبة لها. وتوفر بنوك البذور ظروفًا مناسبة للحفاظ على أنواع مختلفة من البذور حية لأطول فترة ممكنة. كما تُزرع عيّنات من البذور لتصبح نباتات بالغة بين الحين والآخر، بحيث يمكن جمع البذور الطازجة.

يوجد في العديد من البلدان مناطق محمية تسمى المتنزهات الوطنية، والتي غالبًا ما تغطي مساحات كبيرة. يتم إنشاء المتنزهات الوطنية بهدف توفير الحماية للأنواع النادرة والمهددة بالانقراض والحفاظ عليها وعلى مواطنها البيئية؛ وفي كثير من الأحيان يتم تمرير التشريعات والقوانين لضمان حمايتها. وتمنع العديد من الأنشطة داخل المتنزهات الوطنية، مثل أنشطة الزراعة والبناء والتعدين وغيرها من الصناعات، أو قد يتم تنظيمها وضبطها بشكل صارم؛ وقد يكون الوصول والدخول إلى هذه المتنزهات محدودًا، ولكن ليس ممنوعًا، حيث إن أحد أهداف معظم هذه الحدائق هو توعية الناس بأهمية حماية الكائنات الحية.

تم إنشاء المتنزهات البحرية في أجزاء كثيرة من العالم لحماية التنوع البيولوجي للحيوانات المعرضة للخطر بخاصة في الأنظمة البيئية الهشة مثل الشعاب المرجانية؛ وعادة ما تحظر عمليات الصيد في هذه المتنزهات. إحدى فوائد المتنزهات البحرية هي زيادة أعداد الأسماك في المنطقة. وقد يتم إنشاء مناطق للحماية أصغر من حيث المساحة بهدف حماية نوع معيّن (أو أنواع معيّنة) وحماية المواطن البيئية.

الأنواع الغريبة (الغازية) هي تلك التي تم إدخالها أو غزت أنظمة بيئية لم تكن موجودة فيها من قبل؛ يجب السيطرة على الأنواع الغريبة أو الغازية لأنها تشكل تهديدات للأنواع المحلية. قد تكون الأنواع الغريبة مفترسات فعالة للأنواع المحلية و/أو منافسة قوية لها على متطلبات الحياة.

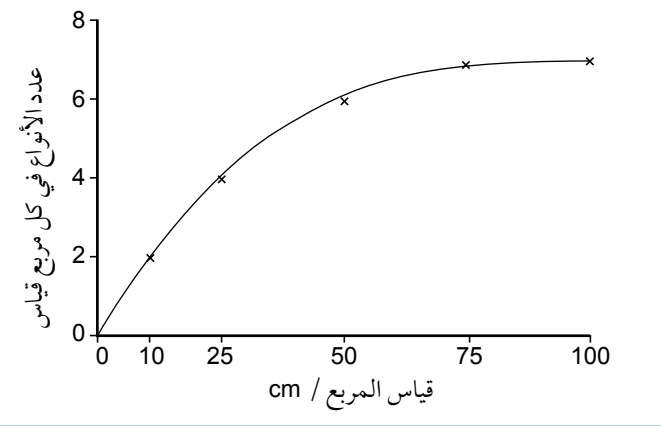
المنظمات غير الحكومية: اتفاقية التجارة الدولية في الأنواع المهددة بالانقراض من الحيوانات والنباتات البرية (CITES) والاتحاد الدولي لحماية الطبيعة (IUCN) وغيرهما، تؤدي أدوارًا مهمة في جهود الحماية والمحافظة على المستويين المحلي والعالمي.

أسئلة نهاية الوحدة

أفعال إجرائية

تقييم **Assess**: إصدار حكم واضح.

١ استقصى بعض الطلبة حجم مربع القياس الذي يجب عليهم استخدامه لتقييم وفرة الأنواع النباتية في نظام بيئي في حقل قديم. استخدم الطلبة مربعات مختلفة بقياسات أضلاع طولها: 10 cm و 25 cm و 50 cm و 75 cm و 100 cm، وسجلوا عدد أنواع النباتات الموجودة في كل منها. كرر الطلبة استقصاءهم خمس مرات وحسبوا متوسط عدد الأنواع لكل مربع.



أ. احسب مساحة كل مربع استخدمه الطلبة.

ب. اشرح سبب تكرار الطلبة للاستقصاء للحصول على خمس نتائج لكل مربع.

ج. بناءً على النتائج التي حصل عليها الطلبة، فقد قرروا استخدام المربع الذي طول ضلعه 50 cm لدراسة الحقل القديم. برأيك، لماذا اختاروا هذا المربع بالتحديد؟

د. اشرح كيف سيستخدم الطلبة مربع طول ضلعه 50 cm لتقدير وفرة الأنواع النباتية المختلفة في هذا الحقل القديم.

تابع

٢ تم وضع خمسة مربعات قياس، مساحة كل منها $0.25\ m^2$ ، بشكل عشوائي في منطقة عشبية في المملكة المتحدة. تم تقدير النسبة المئوية للمساحة التي يغطيها كل نوع من النباتات في كل مربع لأقرب 5% وسجلت النتائج في الجدول التالي.

النوع النباتي	النسبة المئوية للمساحة التي يغطيها كل نوع من النباتات في كل مربع لأقرب 5%					متوسط نسبة التغطية
	1	2	3	4	5	
عشب التيموثي	60	30	35	70	25	
عشب ضباب يوركشاير	25	70	30	15	40	
نبات لسان الحمل	0	5	0	5	0	2
عشبة حوذان المرج	0	0	15	0	10	5
عشب الحماض	5	10	5	0	5	5
زهرة الربيع	0	0	0	5	0	1
البرسيم الأبيض	15	0	25	25	10	15
أرض جرداء	0	15	15	5	20	11

أ. احسب النسبة المئوية المتوسطة للتغطية لأول نوعَين في الجدول.

ب. اشرح السبب في أن مجموع النسبة المئوية للتغطية لجميع الأنواع في كل مربع يزيد عن 100 %.

ج. اقترح سبب تسجيل النسبة المئوية للتغطية لأقرب 5 % ؟

د. هل يمكن استخدام هذه النتائج للحصول على تقدير صحيح /دقيق للتكرار ولكل نوع؟ اشرح إجابتك.

هـ. اذكر **أربعة** عوامل تؤثر على التنوع البيولوجي للنبات في النظام البيئي لحقل.

٣ تم التقاط عيّنة من 39 خنفساء أرضية من منطقة تجميع النفايات قياسها 25 m × 100 m، وتم وضع علامة على كل حيوان ثم إطلاق سراحه، وفي اليوم التالي، تم التقاط عيّنة ثانية من 35 خنفساء. وتبيّن أن 20 حشرة منها تحمل علامة.

أ. استخدم هذه النتائج لتقدير عدد الخنافس الأرضية في هذه الجماعة الأحيائية. اكتب خطوات عملك بوضوح.

ب. اذكر **ثلاثة** افتراضات يجب وضعها من أجل التمكن من إجراء هذا التقدير.

ج. صف الطريقة التي يمكنك استخدامها للتحقق من أن طريقة ضع علامة – أطلق – أعد إمساك تعطي تقديرًا دقيقًا للجماعات الأحيائية من الخنافس الأرضية في منطقة تجميع النفايات.

تابع

٤ حيوانات قمل الخشب Woodlice هي قشريات تعيش على اليابسة، وهي صغيرة تتغذى على المواد العضوية في بقايا أوراق الشجر وفي التربة. أثناء إجراء مسح بيئي في إحدى الغابات، لاحظ أحد الطلبة أن هناك المزيد من قمل الخشب في المناطق التي توجد بها بقايا أوراق الأشجار والمواد العضوية المتحللة. كما لاحظ أن هناك المزيد من بقايا الأوراق في منطقة منتصف الغابة مقارنة بأطرافها. لمعرفة ما إذا كانت هناك علاقة بين عدد حيوانات قمل الخشب ومحتوى التربة من المواد العضوية، استخدم الطالب طريقة المقطع الخطي، وفي كل نقطة على طول المقطع الخطي:

- أخذ عيّنة من التربة.
- قام بعدّ حيوانات قمل الخشب في ثلاث عيّنات منفصلة من بقايا أوراق الشجر المأخوذة من منطقة سطح التربة.

أخذ الطالب عيّنات التربة إلى المختبر لمعرفة النسبة المئوية لمحتواها العضوي. يبيّن الجدول التالي النتائج التي حصل عليها.

المسافة على طول المقطع الخطي/m	النسبة المئوية للمواد العضوية في التربة	عدد حيوانات قمل الخشب في العيّنة			
		1	2	3	المتوسط
1	5.42	2	0	0	0.6
4	10.02	3	4	0	2.3
8	15.56	3	2	2	2.3
16	8.25	0	1	3	1.3
20	9.62	5	7	6	6.0
24	11.73	9	9	9	9.0
28	10.67	8	14	15	12.3
32	9.36	14	16	3	11.6
36	11.35	12	17	6	11.6
40	15.11	17	9	7	11.0
44	20.87	20	2	9	10.3
48	20.30	20	1	12	11.0

أ. ١. اشرح سبب قيام الطالب بجمع ثلاث عيّنات من قمل الخشب من كل نقطة على طول المقطع الخطي.

٢. اقترح **ثلاث** نقاط من المعلومات التي قد تحتاج إلى معرفتها إذا كنت ستكرر استقصاء الطالب.

ب. ارسم تمثيلًا بيانيًا مبعثرًا لمعرفة ما إذا كانت هناك أي علاقة بين عدد حيوانات قمل الخشب وكتلة المادة العضوية في التربة.

ج. اذكر الفرضية الصفرية لهذا الاستقصاء.

د. ما هو الاستنتاج الذي يمكنك استخلاصه من هذا الاستقصاء؟

تابع

٥ تعدّ أسماك القرش جزءًا مهمًا من التنوع البيولوجي للأنظمة البيئية البحرية. وتتعرض العديد من الأنواع لخطر الانقراض نتيجة للصيد الجائر. في عام 2004 م، تمّت إضافة القرش الأبيض العظيم، *Carcharodon carcharias*، إلى الملحق الثاني (II) من القائمة الدولية الحمراء من اتفاقية CITES. كما تمّت إضافة اثنين من أنواع أسماك القرش الأخرى، البربيجل (الماكريل) *Lamna nasus* وسمك القرش ذي الرأس المطرقة الصدفي *Sphyrna lewini*، إلى الملحق الثالث (III) في عام 2013 م.

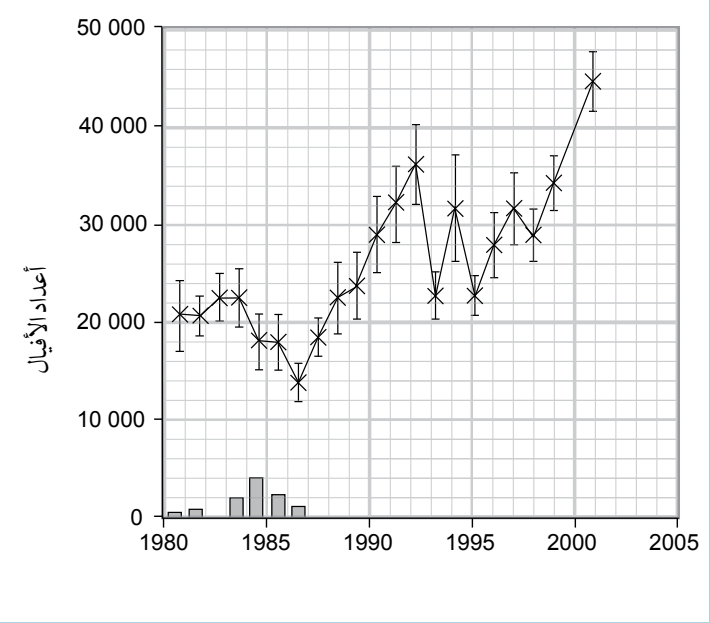
أ. اشرح المقصود بمصطلح **التنوع البيولوجي**.

ب. ١. يصنف الاتحاد الدولي لحفظ الطبيعة (IUCN) القرش ذا الرأس المطرقة الصدفي ضمن الأنواع المهددة بالانقراض. اشرح المقصود بمصطلح «مهددة بالانقراض *Endangered*».

٢. اشرح كيف أن إضافة الأنواع إلى قوائم CITES توفر الحماية للأنواع المهددة بالانقراض، مثل أسماك القرش.

ج. ضع قائمة **بأربعة** أسباب عملية تحتم على الإنسان الحفاظ على التنوع البيولوجي.

٦ تم إحصاء أعداد الأفيال في حديقة هوانج الوطنية Hwange National Park في زيمبابوي في كل عام بين عام 1980م وعام 2001م. في الثمانينيات، أُعدمت (قتلت لخفض عددها) بعض الأفيال، ولكن هذه الممارسة توقفت في عام 1986م. يوضح التمثيل البياني التالي التغيرات في أعداد الأفيال (± SE)، وتشير الأعمدة إلى عدد الأفيال التي أُعدمت.



أ. اشرح أهمية إظهار الخطأ المعياري (*SE*) على التمثيل البياني.

ب. صف التغيرات في أعداد الأفيال بين عامي 1980 و 2001 م.

تابع

ج. تتغذى الأفيال عن طريق الرعي على النباتات (الأشجار) الخشبية والنباتات الأخرى وقضمها، فتزيل اللحاء عن الأشجار وتدوس على بعضها، ما تترك بقعًا من الأراضي العشبية مفتوحة، ولكن في الوقت نفسه تترك مساحات كبيرة من أشجار الغابة من دون أذى.

اشرح كيف يمكن حيوانات الأفيال المرتفعة والمنخفضة أن تؤدي إلى انخفاض تنوع الأنواع في المتنزهات الوطنية في أفريقيا.

د. اشرح أسباب إعدام الحيوانات، مثل الأفيال، في المتنزهات الوطنية، غير الرغبة في منع فقدان التنوع البيولوجي.

٧ أ. يوجد العديد من بنوك البذور في أجزاء مختلفة من العالم. اشرح أسباب الاحتفاظ بعيّنات البذور في مخازن ذات درجة حرارة باردة.

ب. اشرح المقصود بمصطلح «حديقة الحيوانات المجمدة».

ج. حصان برزوالسكي *Przewalski* من النوع *Equus ferus przewalskii*، هو نوع من الخيول التي انقرضت واختفت من البرية في الثمانينيات. حاليًا، تضم حدائق الحيوان في جميع أنحاء العالم أعدادًا كبيرة من هذا النوع. كانت برامج التربية والتكاثر في الأسر ناجحة جدًا لدرجة أن هذه الخيول قد أعيدت إلى منطقة دزونغاريان جوبي المحمية بصرامة Dzungarian Gobi Strictly Protected Area في منغوليا.

١. اشرح كيف يمكن لبرامج التربية والتكاثر في الأسر للحيوانات، مثل حصان برزوالسكي، أن تساعد في الحفاظ على الأنواع المهددة بالانقراض.

٢. اشرح كيفية الحفاظ على التنوع الجيني خلال تطبيق برامج التربية والتكاثر في الأسر.

٣. اقترح كيف يمكن تقييم مدى نجاح المخططات الخاصة بإعادة إدخال نوع من الثدييات إلى بيئته الطبيعية، مثل حصان برزوالسكي.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أناقش معنى مصطلح النوع وأشرح كيف يتم تصنيف الأنواع.	٩-١			
ألخص الخصائص الرئيسية للنطاقات الثلاثة وللممالك الأربع للكائنات حقيقية النوى.	٩-١			
أصف تصنيف كائنات حقيقية النوى في التسلسل الهرمي التصنيفي.	٩-١			
ألخص كيفية تصنيف الفيروسات.	٩-١			
أشرح معنى المصطلحين: نظام بيئي، وإطار بيئي.	٩-٢			
أشرح إمكانية تقييم التنوع البيولوجي من حيث الأنظمة البيئية، والمواطن البيئية، وعدد الأنواع، والتنوع الجيني بين أفراد كل نوع.	٩-٢			
أستقصي الأنظمة البيئية باستخدام التقنيات المناسبة لتقييم حدوث، ووفرة، وتوزيع الأنواع.	٩-٢			
أستخدم الطرائق الإحصائية لتحليل العلاقات بين توزيع ووفرة الأنواع والعوامل غير الحيوية أو العوامل الحيوية.	٩-٢			
ألخص أسباب الحفاظ على التنوع البيولوجي، وألخص الطرائق التي يتم من خلالها حفظ التنوع البيولوجي وحمايته.	٩-٣، ٩-٤			
أصف طرائق الإنجاب المساعد المستخدمة في الحفاظ على أنواع الثدييات المهددة بالانقراض وحمايتها.	٩-٤			
أشرح ضرورة السيطرة على الأنواع الغريبة الغازية.	٩-٤			
ألخص أدوار كل من الاتحاد الدولي لحماية الطبيعة (IUCN) واتفاقية التجارة الدولية في الأنواع المهددة بالانقراض من الحيوانات والنباتات البرية (CITES) في توفير الحماية للأنواع على المستوى العالمي.	٩-٥			

مصطلحات

الأفعال الإجرائية

احسب Calculate: استخلص، من الحقائق المعطاة، المعلومات أو الأرقام.

اذكر State: عبّر بكلمات واضحة.

اشرح أو فسِّر Explain: اعرض الأهداف أو الأسباب/اجعل العلاقات بين الأشياء واضحة/توقّع لماذا و/أو كيف، وادعم إجابتك بأدلّة ذات صلة.

اقترح Suggest: طبّق المعرفة والفهم على المواقف التي تتضمّن مجموعة من الإجابات الصحيحة من أجل تقديم المقترحات

تنبأ Predict: اقترح ما قد يحدث بناءً على المعلومات المتاحة.

حدّد Identify: سمِّ، اختر، تعرّف.

صِف Describe: قدّم الخصائص والميزات الرئيسية.

علّق Comment: أعطِ رأيًا مستنيرًا.

عرّف Define: ضع الخطوط العريضة أو النقاط الرئيسية.

قدّم Give: استخرج إجابة من مصدر معيّن أو من الذاكرة.

قوِّم Assess: أصدر حكمًا مفيدًا أو مستنيرًا.

قارن Compare: حدّد أوجه التشابه و/أو الاختلاف معلّقًا عليها.

لخص Outline: ضع الخطوط العريضة أو النقاط الرئيسية.

ناقش Discuss: اكتب حول الموضوع بطريقة منظمة.

المصطلحات

الاختزال Reduction: نزع الأكسجين أو إضافة الهيدروجين أو الإلكترونات إلى المادة. (ص ٢٣)

الإخصاب خارج الجسم (IVF) In vitro fertilisation: عملية إخصاب البويضة التي تحدث خارج جسم الأنثى (على سبيل المثال في طبق بتري). (١٥٧)

الأرحام البديلة Surrogacy: تصبح الأنثى حاملًا بجنين أنثى أخرى، وتحمله إلى أن يكتمل نضوجه وتتم ولادته؛ يمكن الحمل بالأجنّة بشكل طبيعي، أو اصطناعي عن طريق الإخصاب خارج الجسم IVF. (١٥٧)

استئصال المرض Disease eradication: الكسر الكامل لدورة انتقال المسبب المرضي بحيث لا توجد حالات أخرى للمرض الناجم عن مسبب المرض في أي مكان في العالم. (ص٦٧)

الاستجابة المناعية Immune response: سلسلة معقدة من استجابات الجسم لدخول أنتيجين غريب، ويتضمن نشاط الخلايا اللمفاوية والخلايا البلعمية. (ص ٩٠)

الاستجابة المناعية الأولية Primary immune response: الاستجابة المناعية الأولى لأنتيجين معيّن. (ص ٩٦)

الاستجابة المناعية الثانوية Secondary immune response: الاستجابة المناعية الثانية واللاحقة للأنتيجين نفسه. (ص ٩٦)

أستيل CoA Acetyl coenzyme A: جزيء يتكوّن من (CoA) ومجموعة أستيل (2C)، وهو ضروري لدورة كربس. (ص ٢٤)

الأسموزية الكيميائية Chemiosmosis: بناء ATP باستخدام الطاقة المنطلقة من حركة أيونات الهيدروجين مع منحدر تركيزها عبر غشاء الميتوكندريون أو البلاستيدة الخضراء. (ص ٢١)

إشهار الأنتيجين Antigen presentation: عملية إبراز أنتيجينات على سطح خلايا العائل (على سبيل المثال، الخلايا البلعمية الكبيرة) لتُميزها الخلايا اللمفاوية التائية. (ص ١٠٠)

أغشية الثايلاكويد Thylakoid membranes: أغشية توجد داخل البلاستيدة الخضراء تحيط بأكياس مملوءة بسائل؛ تحدث مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي في هذه الأغشية. (ص ٤٧)

الإطار البيئي Niche: الدور الذي يؤديه كائن حي معيّن في نظام بيئي معيّن. (ص ١٣٥)

أُصْنوفَة Taxon: مجموعة تصنيفية من أي مرتبة مثل نوع معيّن (مثل الزرافة النوبية التي تعيش في السودان Giraffa camelopardalis)، أو عائلة (مثل الفيليات Elephantidae)، أو طائفة (مثل الثدييات Mammalia) أو مملكة (مثل النباتات Plantae). (ص ١٢٢)

أكسدة Oxidation: إضافة الأكسجين، أو نزع الهيدروجين أو الإلكترونات من المادة. (ص ٢٣)

الانتقاء النسيلي Clonal selection: خلايا لمفاوية مفردة مع مستقبلات على سطح الخلية خاصة لنوع واحد من الأنتيجينات. يتم تحديد هذا التخصص عندما تنضج الخلايا اللمفاوية وقبل دخول الأنتيجين إلى الجسم (الخلايا اللمفاوية الوحيدة التي تستجيب أثناء الاستجابة المناعية هي تلك التي تحمل مستقبلات معيّنة بالأنتيجينات على سطح المسبب المرضي الغازي). (ص ٩٤)

انتقال المرض Disease transmission: نقل مسبّب المرض من شخص مصاب بمسبّب المرض المعدي هذا إلى شخص غير مصاب. قد يحدث الانتقال عن طريق الاتصال المباشر، أو عن طريق الهواء أو الماء، أو عن طريق الحيوانات الناقلة مثل الحشرات. (ص٦٧)

أنتيجين Antigen: مادة غريبة عن الجسم تحفز الاستجابة المناعية (على سبيل المثال، أي جزيء كبير مثل البروتين). (ص ٨٩)

الأنتيجين الذاتي Self antigen: يشير إلى المواد التي ينتجها الجسم ولا يميزها جهاز المناعة على أنها غريبة، لذا لا تحفز استجابة مناعية. (ص ٩٠)

الأنتيجين غير الذاتي Non- self antigen: يشير إلى أي مادة أو خلية يميزها جهاز المناعة على أنها غريبة وتحفز استجابة مناعية. (ص ٩٠)

الأنواع الغريبة (الغازية) Alien species (invasive): نوع انتقل إلى نظام بيئي جديد حيث لم يكن معروفًا وجوده فيه من قبل؛ وهو معروف أيضًا باسم النوع الغازي. (١٦١)

الإيدز AIDS: متلازمة نقص المناعة المكتسبة. (ص ٧٤)

إيرنشيما Aerenchyma: نسيج نباتي يحتوي على فراغات هوائية. (ص ٣٤)

البكتيريا Bacteria : النطاق الذي يضم جميع الكائنات الحية بدائية النواة باستثناء تلك المصنفة على أنها من العتائق. (ص ١٢٤)

بنك البذور Seed bank: مُنشأة يتم فيها تجفيف البذور وحفظها تحت ظروف تخزين باردة، للحفاظ على التنوع البيولوجي للنبات وحمايته. (١٥٩)

تجويف الثايلاكويد Thylakoid space: حيز مملوء بسائل ومحاط بأغشية الثايلاكويد. (ص ٤٧)

التحلل السكري Glycolysis: انشطار الجلوكوز، وهي المرحلة الأولى من التنفس الهوائي. (ص ٢٢)

التحلل الضوئي Photolysis: عملية شطر جزيء الماء باستخدام الطاقة الممتصة من الضوء. (ص ٤٦)

تخمر الإيثانول Ethanol fermentation: تنفس لاهوائي يتحول فيه البيروفات إلى إيثانول. (ص ٣٢)

تخمر اللاكتات Lactate fermentation: تنفس لاهوائي يتحوّل فيه البيروفات إلى لاكتات. (ص ٣٢)

تريوز فوسفات Triose phosphate (TP): سكر ثلاثي الكربون مفسفر، وهو أول الكربوهيدرات التي يتم تكوينها خلال مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي. (ص ٥٤)

التسلسل الهرمي للتصنيف Hierarchical classification: ترتيب الكائنات الحية في مجموعات ذات مراتب مختلفة، وأدنى مرتبة هي النوع. يتم تجميع الأنواع المتشابهة معًا في المرتبة التالية وهي الجنس؛ ويستمر هذا التصنيف ضمن مراتب أعلى حتى الوصول إلى أعلى مرتبة وهي النطاق الذي يتم فيه تجميع العديد من الأنواع معًا. (ص ١٢٣)

التصنيف البيولوجي Biological classification: تنظيم الكائنات الحية والمنقرضة في مجموعات منتظمة بناء على أوجه التشابه والاختلاف بين الأنواع المختلفة. (ص ١٢٢)

التطعيم Vaccination: إعطاء لقاح يحتوي على أنتيجينات للمرض عن طريق الحقن أو الفم، يوفر التطعيم مناعة إيجابية اصطناعية من دون تطور أعراض المرض. (ص ١٠١)

تفاعل الأكسدة والاختزال Redox reaction: تفاعل كيميائي تُختَزَل فيه مادة وتُؤَكسَد مادة أخرى. (ص ٢٦)

التفاعل الرابط Link reaction: عملية نزع الكربوكسيل ونزع الهيدروجين من البيروفات، ما يؤدي إلى تكوين أستيل (CoA)، وربط التحلل السكري بدورة كربس. (ص ٢٤)

التفاعل المرتبط بالمادة المتفاعلة Substrate-linked reaction: تفاعل يتم فيه نقل الفوسفات من جزيء المادة المتفاعلة مباشرة إلى ADP لتكوين ATP، باستخدام الطاقة التي يوفرها مباشرة تفاعل كيميائي آخر. (ص ٢١)

تفاعلات البناء Anabolic reactions: تفاعلات كيميائية يتم فيها بناء الجزيئات الكبيرة من جزيئات أصغر. (ص ٢٠)

التلقيح الاصطناعي Artificial insemination (AI): حقن السائل المنوي المأخوذ من الذكر مباشرة إلى داخل رحم الأنثى. (١٥٦)

التنشيط الضوئي Photoactivation: انبعاث إلكترون من جزيء نتيجة لامتصاص الطاقة من الضوء. (ص ٥١)

التنفُّس Respiration: عملية إطلاق الطاقة بواسطة الإنزيمات من المركبات العضوية في الخلايا الحية. (ص ٢٠)

تنوع الأنواع Species diversity: جميع الأنواع التي تعيش في نظام بيئي معيّن، وهو يشير إلى الأنواع ومدى وفرة كل منها. (١٣٦)

التنوع البيولوجي Biodiversity: تنوع النظم البيئية وأنواع الكائنات الحية في منطقة ما، إضافة إلى التنوع الجيني بين أفراد كل نوع. (ص ١٣٤)

التنوع الجيني Genetic diversity: جميع الأليلات الخاصة بجميع الجينات المكوّنة لجينوم نوع من الكائنات الحية. (ص ١٣٧)

التوسع النسيلي Clonal expansion: الزيادة في عدد نسيلات خلايا لمفاوية معيّنة بالانقسام المتساوي أثناء الاستجابة المناعية. (ص ٩٤)

الجسم المضاد Antibody: بروتين سكري تُنتجه خلايا لمفاوية متخصصة استجابة لوجود أنتيجين معيّن، ولكل نوع من جزيئات الأجسام المضادة شكل مكمل للأنتيجين المتخصص له. (ص ٩٠)

جليسرات -3- فوسفات (GP) Glycerate-3-phosphate: مركب ثلاثي الكربون يتكوّن عندما يتحد RuBP مع ثاني أكسيد الكربون. (ص ٥٤)

الجماعة الأحيائية Population: جميع الكائنات الحية من النوع نفسه الموجودة في المكان نفسه وفي الوقت نفسه ويمكن أن تتزاوج مع بعضها. (ص ١٢١)

جهاز المناعة Immune system: جهاز الدفاع الداخلي للجسم. (ص ٨٩)

حامل المرض Disease carrier (أو بشكل أبسط حامل Carrier): الشخص الذي يحمل مسبّب المرض المعدي ولا تظهر عليه أعراض المرض، لكن يمكن أن يكون مصدر العدوى لأشخاص آخرين (ولا يقصد به الحاملين لمرض وراثي). (ص٦٧)

حديقة الحيوانات المجمدة Frozen zoo: منشأة يتم فيها تخزين الموارد الوراثية المأخوذة من الحيوانات في درجات حرارة منخفضة جدًا (196 °C–)؛ وقد تشمل هذه المواد عيّنات من الحيوانات المنوية، والبويضات، والأجنة، والأنسجة. (١٥٧)

حقيقية النوى Eukarya: النطاق الذي يضم جميع الكائنات الحية حقيقية النوى، ويشمل الأوليات والفطريات والنباتات والحيوانات. (ص ١٢٤)

الخلية البائية الذاكرة Memory B cell: خلية لمفاوية بائية عمرها طويل ومُنشطَة وخاصة لأنتيجين واحد. خلايا الذاكرة منشطة لتتمايز (تتطور) إلى خلايا بلازمية أثناء الاستجابة المناعية الثانوية لأنتيجين معيّن. (ص ٩٥)

خلية بلازمية Plasma cell: خلية لمفاوية بائية منشطة قصيرة العمر يتم إنتاجها أثناء التوسع النسيلي. تُنتج هذه الخلايا، وتطلق الأجسام المضادة. (ص ٩٥)

الخلية البلعمية Phagocyte: خلية دم بيضاء تدمر الكائنات الحية الدقيقة الغازية عن طريق البلعمة. يوجد نوعان منها: خلايا الدم البيضاء المتعادلة والخلايا البلعمية الكبيرة. (ص ٩٠)

الخلية التائية القاتلة T-killer cell: نوع من الخلايا اللمفاوية التائية ترتبط بالخلايا، تفرز مواد سامة لتقتل الخلايا المصابة والخلايا السرطانية. (ص ١٠٠)

الخلية التائية المساعدة T- helper cell: نوع من الخلايا اللمفاوية التائية يفرز سيتوكينات لتنسيق نشاط خلايا أخرى أثناء الاستجابة المناعية. (ص ١٠٠)

الخلية اللمفاوية Lymphocyte: خلية دم بيضاء تحتوي على نواة تكاد تملأ الخلية، وتستجيب للأنتيجينات وتساعد في تدمير الأنتيجينات أو التراكيب التي تحملها. (ص ٩٠)

دورة الانتقال Transmission cycle: انتقال المسبب المرضي من عائل إلى آخر، تتكرر باستمرار ليصيب المسبب المرضي عوائل آخرين. (ص٦٧)

دورة كالفن Calvin cycle: دورة من التفاعلات التي تحدث خلال مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي والتي يتم فيها اختزال ثاني أكسيد الكربون لتكوين الكربوهيدرات. (ص ٤٦)

دورة كربس Krebs cycle: دورة من التفاعلات في التنفس الهوائي تحدث في حشوة الميتوكندريا حيث تنتقل أيونات الهيدروجين إلى نواقل الهيدروجين لبناء ATP، ويبنى بعض ATP مباشرة، وتسمّى أيضًا دورة حمض الستريك. (ص ٢٤)

الذاكرة المناعية Immunological memory: قدرة جهاز المناعة على تكوين استجابة أكبر وأكثر سرعة للأنتيجين الذي تعرّض له سابقًا. (ص ٩٦)

رايبولوز ثنائي الفوسفات (RuBP) Ribulose bisphosphate: سكر خماسي الكربون (5C) مفسفر، وهو أول مركب يتحد مع ثاني أكسيد الكربون خلال مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي. (ص ٥٤)

روبيسكو Rubisco: الإنزيم الذي يحفز التفاعل بين RuBP و ثاني أكسيد الكربون. (ص ٥٤)

الستروما Stroma: المادة الأساسية في البلاستيدات الخضراء التي تحدث فيها مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء. (ص٤٦)

سلسلة نقل الإلكترون Electron transport chain: سلسلة متجاورة من جزيئات ناقلة مرتبة في غشاء الميتوكندريا الداخلي وتمر من خلالها الإلكترونات في تفاعلات الأكسدة والاختزال. (ص ٢٦)

السيتوكين Cytokine: أي جزيء تأشير تطلقه الخلايا ليؤثر في تمايز الخلايا نفسها أو خلايا أخرى. (ص ١٠٠)

ATP سينثيز ATP synthase: الإنزيم الذي يحفز فسفرة ADP لتكوين ATP. (ص ٢٧)

صبغات التمثيل الضوئي Photosynthetic pigments: مواد ملوّنة تمتص أطوال موجية معيّنة من الضوء، وتوفر الطاقة لتحفيز التفاعلات في مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء من عملية التمثيل الضوئي. (ص ٤٧)

الصفائح Lamellae: أغشية توجد داخل البلاستيدة الخضراء. (ص ٤٦)

ضع علامة – أطلق – أعد إمساك Mark–Release–Recapture: طريقة لتقدير أعداد الأفراد في جماعة أحيائية من الحيوانات المتنقلة. (ص١٤٢)

طيف الامتصاص Absorption spectrum: تمثيل بياني يوضح امتصاص الأطوال الموجية المختلفة للضوء بواسطة إحدى صبغات التمثيل الضوئي. (ص ٤٨)

طيف النشاط Action spectrum: تمثيل بياني يوضح تأثير الأطوال الموجية المختلفة للضوء على عملية ما، على سبيل المثال معدل التمثيل الضوئي. (ص ٥٠)

العتائق Archaea: نطاق الكائنات بدائية النواة التي تشبه البكتيريا، ولكنها تشترك في بعض الميزات مع الكائنات الحية حقيقية النوى. (ص ١٢٤)

العامل المحدد Limiting factor: هو العامل الذي تتطلبه عملية ما لكي تحدث، ويتوافر بأقل كمية؛ حيث إن حدوث زيادة في هذا العامل سيؤدي إلى حدوث العملية بسرعة أكبر. (ص ٥٦)

العدوى الانتهازية Opportunistic infections: عدوى ناتجة من مسبّبات الأمراض المعدية التي تستفيد من العائل الذي يعاني ضعفًا في جهاز المناعة، كما قد يحدث لدى شخص مصاب بعدوى (HIV). (ص ٧٦)

علم التصنيف Taxonomy: دراسة وممارسة تسمية وتصنيف الأنواع ومجموعات الأنواع المختلفة ضمن التسلسل الهرمي للتصنيف. (ص ١٢٢)

عيّنات عشوائية Random sampling: طريقة لاستقصاء الوفرة و/أو توزيع الجماعات الأحيائية والتي يتم تحديدها باستخدام مبدأ الصدفة، ولا تتضمن أي تحيز من جانب الشخص الذي يقوم بجمع العيّنات. (ص ١٣٩)

عيّنات منتظمة Systematic sampling: طريقة غير عشوائية لاستقصاء الوفرة و/أو توزيع الجماعات الأحيائية، حيث يتم تحديد موضع نقاط جمع العيّنات من قبل الشخص الذي يقوم بجمعها – أي يمكن أن يكون هناك تحيز من قبل هذا الشخص – (على سبيل المثال: تحديد عملية جمع العيّنات كل 2 m على طول مقطع محدد). (ص ١٣٩)

الفسفرة Phosphorylation: إضافة مجموعة فوسفات إلى جزيء. (ص ٢٢)

الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation: بناء ATP من ADP و Pi باستخدام الطاقة المنطلقة من تفاعلات الأكسدة في التنفس الهوائي. (ص ٢٦)

الفسفرة الضوئية Photophosphorylation: إنتاج ATP باستخدام الطاقة التي مصدرها الأساسي الضوء. (ص ٤٦)

الفسفرة الضوئية الحلقية Cyclic photophosphorylation: إنتاج ATP باستخدام طاقة من الضوء، وتشمل النظام الضوئي الأول فقط. (ص ٥١)

الفسفرة الضوئية اللاحلقية

Non-cyclic photophosphorylation: إنتاج ATP باستخدام الطاقة الممتصة من الضوء، حيث يُستخدم النظام الضوئي الأول (PSI) والنظام الضوئي الثاني (PSII) وتنتج هذه العملية أيضًا NADP المُختَزَل. (ص ٥٢)

قيمة R_f Value R_f: رقم يشير إلى المسافة التي تنتقل إليها مادة ما أثناء الفصل الكروماتوجرافي، وتحسب بقسمة المسافة التي تقطعها المادة المذابة في مذيب على المسافة التي يقطعها المذيب؛ يمكن استخدام قيم R_f لتحديد المادة. (ص ٥٠)

كائن حي أولي Protist: كائن حي مصنف ضمن مملكة الأوليات. (ص ١٢٧)

الكروماتوجرافيا Chromatography: تقنية تستخدم لفصل المواد الموجودة في خليط حسب قابليتها للذوبان في مادة مذيبة معيّنة. (ص ٤٩)

الكلوروفيل Chlorophyll: صبغة خضراء تمتص الطاقة من الضوء وتستخدم في عملية التمثيل الضوئي. (ص ٤٥)

اللاهوائية Anaerobic: تنفُّس من دون الأكسجين. (ص ٣١)

اللقاح Vaccine: مستحضر يحتوي على أنتيجينات لحفز المناعة الإيجابية ضد مرض أو عدة أمراض. (ص ١٠١)

متوطن Endemic: فيما يخص النوع، هو النوع الذي يوجد فقط في منطقة معيّنة وليس في أي مكان آخر. (ص ١٣٤)

المجتمع الأحيائي Community: جميع الكائنات الحية، من جميع الأنواع، الموجودة في نظام بيئي معيّن في وقت معيّن. (ص ١٣٤)

مرافق الإنزيم A (CoA) Coenzyme A: جزيء يحمل مجموعات الأستيل اللازمة لدورة كربس. (ص ٢٤)

المربع القياسي Quadrat: إطار مربع الشكل يستخدم لتحديد منطقة جمع عيّنات من الجماعات الأحيائية لمجموعات الكائنات الحية. (ص ١٤٠)

المرتبة التصنيفية Taxonomic rank: إحدى المجموعات المستخدمة في النظام الهرمي لتصنيف الكائنات الحية، على سبيل المثال: النوع، والجنس، والعائلة، والرتبة، والطائفة، والشعبة، والمملكة، والنطاق. (ص ١٢٢)

مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء Light-dependent stage: السلسلة الأولى من التفاعلات التي تحدث في عملية التمثيل الضوئي، وهي تحتاج إلى الطاقة الممتصة من الضوء. (ص ٤٥)

مرحلة التفاعلات غير المعتمدة على الضوء Light-independent stage: السلسلة النهائية من التفاعلات التي تحدث في عملية التمثيل الضوئي؛ ولا تحتاج إلى وجود الضوء، ولكنها تحتاج إلى مواد يتم إنتاجها في مرحلة التفاعلات المعتمدة على الضوء. (ص ٤٥)

المرض المعدي Infectious disease: مرض يسببه كائن حي أولي أو بكتيريوم أو فيروس. (ص٦٧)

المساعدة على الإنجاب Assisted reproduction: أي تقنية من تقنيات علاج العقم، أو حماية أنثى ثديية من نوع مهدد بالانقراض، من المخاطر الصحية للحمل. (١٥٦)

المسبب المرضي Pathogen: الكائن الذي يسبب المرض. (ص٦٧)

المرض المتوطن Endemic disease: مرض موجود دائمًا في مجموعة من السكان. (ص ٦٨)

مركز التفاعل Reaction centre: جزء من نظام ضوئي يتم توجيه الطاقة الممتصة من الضوء نحوه؛ يحتوي على زوج من جزيئات الكلوروفيل (*a*) التي تمتص الطاقة وتطلق الإلكترونات. (ص ٤٨)

المضاد الحيوي Antibiotic: مادة مشتقة من كائن حي يمكنها قتل أو تثبيط نمو كائن حي دقيق. (ص ٨٣)

معقد تحرير الأكسجين Oxygen-Evolving Complex -OEC: إنزيم موجود في النظام الضوئي الثاني (PSII) يحفز شطر جزيئات الماء باستخدام الطاقة الممتصة من الضوء. (ص ٥٣)

مقاومة المضادات الحيوية Antibiotic resistance: قدرة البكتيريا أو الفطريات على النمو بوجود مضاد حيوي، والذي يمكنه عادة إيقاف نموها أو قتلها. تنشأ مقاومة المضاد الحيوي بفعل طفرة، وتنتشر عند الإفراط في استخدام المضادات الحيوية. (ص ٨٥)

المقطع Transect: خط يتم تحديده بواسطة شريط قياس يستخدم لجمع العيّنات على طوله، إما عن طريق ملاحظة الأنواع على مسافات متساوية (مقطع خطي) أو وضع مربعات على فترات منتظمة (مقطع حزامي). (ص ١٤٣)

مقياس التنفس Respirometer: جهاز يستخدم لقياس معدل امتصاص الكائنات الحية للأكسجين أثناء التنفس. (ص ٢٩)

(HIV): فيروس نقص المناعة البشرية. (ص ٧٤)

المملكة Kingdom: المرتبة التصنيفية التي تقع تحت النطاق. (ص ١٢٢)

مملكة الأوليات Protista: مملكة تتضمن كائنات حية حقيقية النواة، تتكوّن أجسامها من خلية مفردة (أحادية الخلية) أو من مجموعات من الخلايا المتشابهة. (ص ١٢٧)

مملكة النباتات Plantae: مملكة تتضمن الكائنات الحية حقيقية النواة وعديدة الخلايا، ولها جدران خلوية تحتوي على السليلوز ويمكنها القيام بعملية التمثيل الضوئي. (ص ١٣٠)

مملكة الحيوانات Animalia: مملكة من الكائنات الحية حقيقية النواة، عديدة الخلايا، وغير ذاتية التغذية، وتتميز بامتلاكها لجهاز عصبي. (ص ١٣١)

مملكة الفطريات Fungi: مملكة تتضمن جميع الكائنات حقيقية النواة التي لا تقوم بعملية التمثيل الضوئي، ولها جدران خلوية، ولكنها تخلو من السليلوز. (ص ١٢٨)

المناعة الإيجابية Active immunity: المناعة المكتسبة نتيجة دخول أنتيجين إلى الجسم، تحدث استجابة مناعية بواسطة الخلايا البلازمية. (ص ١٠١)

المناعة الإيجابية الاصطناعية Artificial active immunity: مناعة تكتسب عن طريق إدخال أنتيجينات في الجسم، سواء عن طريق الحقن أو الفم. (ص ١٠١)

المناعة الإيجابية الطبيعية Natural active immunity: المناعة المكتسبة نتيجة الإصابة بمسبب مرضي. (ص ١٠١)

المناعة الحلقية Ring immunity: تطعيم كل المخالطين لمصاب بمرض معيّن لمنع انتقال المرض في المنطقة الفعلية. (ص ١٠٤)

المناعة السلبية Passive immunity: مناعة مؤقتة تُكتسب من دون وجود استجابة مناعية. (ص ١٠١)

المناعة السلبية الاصطناعية Artificial passive immunity: مناعة مكتسبة عن طريق حقن الأجسام المضادة. (ص ١٠١)

المناعة السلبية الطبيعية Natural passive immunity: مناعة مكتسبة للجنين عن طريق انتقال الأجسام المضادة من الأم عبر المشيمة، أو المناعة التي يكتسبها الرضيع من حليب الأم. (ص ١٠٢)

المناعة المجتمعية Herd immunity: تطعيم نسبة كبيرة من السكان، يوفر الحماية لمن لم يُطعّموا مع تقليل انتقال المسبب المرضي. (ص ١٠٣)

المنطقة المتغيرة Variable region: منطقة من الجسم المضاد تتكوّن من سلاسل عديد ببتيد خفيفة وثقيلة تشكل موقع ارتباط الأنتيجين. تكوّن سلسلة الأحماض الأمينية للموقع المتغير شكلًا محددًا مكملًا لأنتيجين معيّن. (ص ٩٧)

الموطن البيئي Habitat: المكان الذي يعيش فيه كائن حي، أو جماعة أحيائية، أو مجتمع أحيائي. (ص ١٣٥)

ناقل المرض Disease vector: كائن حي ينقل المراحل المعدية للمسبب المرضي من شخص إلى آخر أو من حيوان إلى إنسان. (ص ٦٩)

NADP: مرافق إنزيمي يقوم بنقل الهيدروجين من مادة إلى أخرى، في تفاعلات التمثيل الضوئي. (ص ٤٦)

نزع الكربوكسيل Decarboxylation: نزع ثاني أكسيد الكربون من مادة ما. (ص ٢٤)

نزع الهيدروجين Dehydrogenation: نزع الهيدروجين من مادة ما. (ص ٢٤)

النطاق Domain: أعلى مرتبة تصنيفية ضمن النظام الهرمي للتصنيف. (ص ١٢٢)

النظام البيئي Ecosystem: هو مجتمع أحيائي من الكائنات الحية يتميز بأنه مستقل بذاته نسبيًا ومتفاعل، إضافة إلى البيئة التي يعيش فيها ويتفاعل معها. (ص ١٣٤)

النظام الضوئي Photosystem: مجموعة كبيرة من جزيئات الصبغات التي تقوم بامتصاص الضوء والتي تحيط بمركز تفاعل. (ص ٤٨)

نقل الأجنّة Embryo transfer: تتم إزالة الأجنّة من رحم أنثى الثدييات ومن الأنواع المهددة بالانقراض بعد فترة وجيزة من الإخصاب، ونقلها إلى الأرحام البديلة لإكمال نضوجها التام وولادتها. (١٥٧)

النوع البيئي Ecological species: مجموعة من الأفراد من النوع نفسه تعيش في المنطقة نفسها وفي الوقت نفسه. (ص ١٢١)

النوع البيولوجي Biological species: مجموعة من الكائنات الحية التي تتشابه مورفولوجيًا (الشكل الخارجي) وفسيولوجيًا (وظائف أعضاء الجسم)، والتي يمكن أن تتكاثر معًا لإنتاج ذرية خصبة، وهي معزولة تكاثريًا عن الأنواع الأخرى. (ص ١٢١)

النوع المورفولوجي Morphological species: مجموعة من الكائنات الحية تشترك في العديد من الخصائص المادية التي تميزها من الأنواع الأخرى. (ص ١٢١)

نيكوتين أميد أدنين ثنائي النيوكلوتيد NAD (Nicotinamide adenine dinucleotide): مرافق إنزيمي يقوم بنقل الهيدروجين، ويستخدم في التنفس. (ص ٢٣)

شكر وتقدير

يتوجه المؤلفون والناشرون بالشكر الجزيل إلى جميع من منحهم حقوق استخدام مصادرهم أو مراجعهم. وبالرغم من رغبتهم فى الإعراب عن تقديرهم لكل جهد تم بذله، وذكر كل مصدر تم استخدامه لإنجاز هذا العمل، إلا أنه يستحيل ذكرها وحصرها جميعًا. وفي حال إغفالهم لأي مصدر أو مرجع فإنه يسرهم ذكره في النسخ القادمة من هذا الكتاب.

Images in order of appearance:

Steve Gschmeissner/SPL; Professors P.M. Motta, S. Makabe & T. Naguro/SPL; Don W. Fawcett/SPL; Geoff Jones; Ikpro/Shutterstock; Frank Krahmer/GI; David Maung/Bloomberg via GI; Biophoto Associates; Martyn F. Chillmaid/SPL; David Scharf/SPL; RGB Ventures/SuperStock/Alamy Stock Photo; Cecil H. Fox/SPL; Omikron/SPL; AusAID/Alamy Stock Photo; Eye of Science/SPL; Cordelia Molloy/SPL; Kwangshin Kim/SPL; AFP/GI; Steve Turner/Alamy Stock Photo; John Durham/SPL; Biophoto Associates/SPL; Biophoto Associates; Steve Gschmeissner/SPL; Dr Tim Evans/SPL/GI; Karen Kasmauski/GI; Dennis Kunkel Microscopy/SPL; Omikron/SPL; Dennis Frates/Alamy Stock Photo; Richard Fosbery; Sipa/Pixaby; Sandid/Pixaby; Irabell/GI; NOAA/SPL; Richard Bergman/GI; Eye of Science/SPL; Wim Van Egmond/SPL (x2); Chris Howes/Wild Places Photography/Alamy Stock Photo; Frans Lanting Studio/Alamy Stock Photo; Horst Mahr/GI; RainervonBrandis/GI; Dept. of Microbiology, Biozentrum/GI; Science Picture Co/GI; Nigel Cattlin/Alamy Stock Photo; Successful4/Pixaby; Konrad Wothe/LOOK-foto/GI; Danita Delimont/GI; GlobalP/GI; Richard Fosbery; Philippe Psaila/SPL; Oman Ministry of Education; Ullstein Bild/GI; Dr Clare van der Willigen; Feifei Cui-Paoluzzo/GI; Anup Shah/GI; Jean-Christophe Verhaegen/GI; Daniel Cox/GI; Jgareri/GI; Mark Conlin/Alamy Stock Photo; Katiekk2/GI; SERGIO PITAMITZ / VW PICS / SPL; Nadine Doerle/Pixaby; James King-Holmes/SPL; Frans Lanting, Mint Images/SPL; YinYang/GI; Vijay Kurup/GI; Reinhard Dirscherl/GI; RGB Ventures/SuperStock/Alamy Stock Photo

GI = Getty Images

SPL = Science Photo Library



رقم الإيداع : ٧٢١١ / ٢٠٢٣م

Printed by: Mazoon Printing, Publishing & Packaging L.L.C - 24815693

الأحياء – كتاب الطالب

يساعد البحث المكثف على تلبية الاحتياجات الحقيقة للطلبة الذين يدرسون مادة الأحياء. حيث تضمن الأسئلة الواردة في نهاية كل وحدة الشعور بالثقة أثناء عملية التقييم، وفرصًا أكثر للتفكير، و تساعد قوائم المراجعة الخاصة بالتقييم الذاتي؛ على أن تصبح مسؤولاً عن عملية التعلم.

يؤمّن كتاب الطالب مجموعة من أسئلة الاستقصاء، مثل الأنشطة العملية وأسئلة المناقشة، والتي تساعدك على تطوير مهارات القرن الحادي والعشرين.

- بعض الميزات مثل «قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة»، والملخصات، وكيفية التعلم النشط، وبناء المهارات، تمنح فرصًا للتفكير.
- ميزات «العلوم ضمن سياقها»، من تفسير الأفكار ضمن سياق العالم الواقعي، إضافة إلى مناقشة المفاهيم مع الطلبة الآخرين.
- تعمل الأسئلة ذات الجزئيات المتعددة الموجودة في نهاية كل وحدة على التحضير لخوض الامتحانات بثقة.
- تساعد أسئلة الاستقصاء، مثل الأنشطة العملية والعمل ضمن مجموعات، وأسئلة المناقشة، على تطوير مهارات القرن الحادي والعشرين.

يشمل منهج الأحياء للصف الثاني عشر من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب التجارب العملية والأنشطة
- دليل المعلّم

ISBN 978-99992-56-09-4
9 789999 256094 >

www.moe.gov.om

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS