الفصل 26

شجرة الْحيــاة

The Tree of Life

مقدّمة

في الفصول السابقة لاحظتم أنّ هناك خصائص مشتركة بين المخلوقات الْحَيَّة. ولذكر بعض هذه السّمات، فهي إما وحيدة الْخليّة أو متعددة الخلايا، وتقوم بعمليات الأيض، إضافة إلى نقل الطّاقة عن طريق مركب ثلاثي فوسفات الأدينوسين (ATP). وكذلك تخزين المعلومات الوراثية في DNA. على الرّغم من وجود هذه السّمات المشتركة، فإننا نجد تنوعًا حيويًّا هائلًا بين هذه المخلوقات يتراوح بين البكتيريا، والأميبا، إلى أنْ نصل إلى الحيتان الزرق وأشجار السرو العملاقة.

الشّعاب المرجانية التي تظهر في الصّورة الجانبيّة، تمثّل عالمًا صغيرًا من التّنوع، فهي تشمل كثيرًا من أشكال الحياة، وتؤوي بداخلها تشعبات حياتية ضخمة. منذ أجيال، حاول علماء الأحياء أنْ يضعوا المخلوقات الْحَيَّة في مجموعات معتمدين على الصِّفات المشتركة بينها، ولقد كان لهذه المحاولات نتائج ذات معنى، عندما اعتمد العلماء في دراستهم على درجة القرابة والصّلة التّطوريّة بينها. لقد أدى المنهج المعتمد على الوراثة النّشوئيّة، وبحر المعلومات الهائل عن التعاقبات الجزيئية إلى ظهور فرضيات جديدة في علم التّطور لتفسير التّنوع الْحيويّ. في هذا الفصل والفصول اللاحقة من هذا الجزء سوف نقوم بالتّعرّف إلى التّنوع الْحيويّ في هذا العالم من الأحياء.

موجز المفاهيم

26–1 نشأة الحياة

- *تشترك المخلوقات الْحَيَّة جميعها في الخصائص الحيوية الأساسية.*
- *قد يكون لدى الحياة أصول من خارج الكرة الأرضيّة.*
- *يُحتمل أنْ تكون الحياة قد نشأت على الأرض البدائية.*
- *تطورت الخلايا من تجمُّع وظيفي للمركّبات الْعضويّة.*

26–2 تصنيف المخلوقات الْحَيَّة

- *التّصنيف هو البحث عن كلٍّ من الهوية والعلاقات.*
- *أسس لينَيوس قواعد التسمية الثنائية.*
- *لدى التّصنيف التراتبي بعض نواحي القُصور.*

26–3 تصنيف المخلوقات الْحَيَّة في مجموعات

- *الممالك السِّتّ ليست بالضرورة أحادية النشأة.*
- *قد تكون فوق الممالك الثلاث أحادية الأصل.*
- *البكتيريا أكثر المخلوقات الْحَيَّة عددًا.*
- *قد تعيش البكتيريا القديمة في بيئات متطرِّفة.*
- *لدى حقيقيات النّوى خلايا ذات حجرات.*
- *الفيروسات حالة خاصة.*

26 ـ 4 فَهْم الطّلائعيات

26 ـ 5 نشوء النباتات

- *عَرّفت الوراثةُ النّشوئيّة الجزيئية الأقاربَ الحميمة لنباتات اليابسة.*
- *حدث انتقال أفقي للجينات في نباتات اليابسة.*

26 ـ 6 تصنيف الحيوانات

- *نشأة التقسيم محيِّرة.*
- *الحشرات والْقشريّات مجموعتان شقيقتان.*
- *ظهور شجرة عائلة الثّدييّات.*

1-26 نشـأة الحيـاة

تُعَدُّ الْخليّة الوحدةَ الأساسيةَ في تركيب المخلوقات الْحَيَّة، وإنّ الخلايا الموجودة اليوم جميعها نشأت من خلايا كانت موجودة سابقًا. إذن، كيف نفسّر نشأة التّنوع في المخلوقات الْحَيَّة الموجودة اليوم على سطح الأرض؟ في بداية مراحل تكوينها قبل 4.5 بلايين سنة خلت، كانت الأرض كتلة من الصخر المصهور، وعندما بردت، تحوّل بخارُ الماء المنبعث منها والموجود في غلافها الجوي إلى ماء كوّن البحارّ والمحيطات. أولى الفرضيات التي حاولت تفسير نشأة الحياة تنص على أنّ الحياة بدأت مزيجًا من الأمونيا، والفورمالدهايد، وحمض الفورميك، والسيانيد، وغاز الميثان، وكبريتيد الهيدروجين، ومركبات هيدروكربونية عضوية. وقد أجمع الباحثون على أنّ الحياة نشأت تلقائيًّا من هذا الخليط من المواد، ولكن دون تحديد لموقع النشأة، سواء أكانت قد حدثت في الثغرات الحرارية لقاع المحيطات، أم على حوافها، أو في مكان آخر. على الرّغم من أنّ حقيقة ما جرى لا يزال لغزًا محيرًا، فإننا لا نستطيع تجاهل الفضول الذي يتملكّنا لمعرفة حقيقة ما حدث عندما بدأ ظهور المخلوقات الْحَيَّة، ومن ضمنها الإنسان. كيف نشأت المخلوقات من الجزيئات المعقدة التي كانت تدور في المحيطات البدائية؟

تشترك المخلوقات جميعها في الخصائص الحيويّة الأساسيّة

قبل أنْ نطرح موضوع نشأة الحياة، علينا أولًا أنْ نحدد صفات المخلوقات الْحَيَّة. لقد اتفق علماء الأحياء على أنّ الصِّفات الآتية مشتركةٌ بين المخلوقات الْحَيَّة على الكرة الأرضيّة، وإنْ كانت الوراثة تؤدي دورًا رئيسًا.

التّنظيم الخلوي. تتكون المخلوقات الْحَيَّة جميعها من خلية واحدة أو أكثر، وجميعها تتكوّن من جزيئات مجمّعة، ومرتّبة، ومحاطة بغشاء (الشكل 26 – 1).

الإحساس. تستجيب المخلوقات جميعها للمؤثرات الخارجية ولكن ليس بالطريقة نفسها للمنبه نفسه.

النّموّ. المخلوقات الْحَيَّة جميعها لها القدرة على إنتاج الطّاقة التي تحتاج إليها لكي تحافظ على حياتها، ولكي تنمو. هذه العملية تُسمّى **الأيض Metabolism**. تستغل النباتات، والطحالب، وبعض أنواع البكتيريا ضَوْءَ الشّمس لصناعة روابط بين الكربون والكربون من ثاني أكسيد الكربون والماء بعملية البناء الضَّوئيّ. تحويل الطّاقة الضّوئيّة إلى روابط تشاركية ضرورية للحياة على الأرض.

التّكوين الْجنينيّ. المخلوقات الْحَيَّة جميعها سواءً كانت وحيدة الْخليّة أو متعددة الْخليّة تدخل في عملية تكوين جنيني منظمة، تتحكم فيها الجينات في أثناء عملية النّموّ والنضج.

التّكاثر. تتكاثر المخلوقات الْحَيَّة، وتنقل الجينات من جيل إلى آخر.

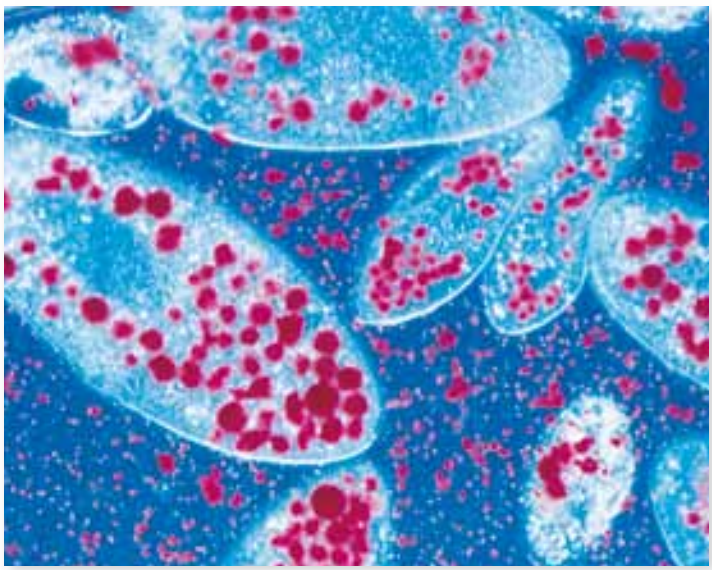
التّنظيم. المخلوقات الْحَيَّة جميعها لديها آليات تنظيم تُنسّق عملياتها الداخلية.

الاتّزان الداخليّ. تحافظ المخلوقات الْحَيَّة جميعها بشكل نسبي على ظروف داخلية ثابتة مختلفة عن البيئة المحيطة بها.

الوراثة. تحتوي المخلوقات الْحَيَّة على الأرض جميعها نظامًا وراثيًّا *Genetic system* يستند إلى تضاعف جزيء معقد طويل هو DNA. تساعد هذه الآلية المخلوقات الْحَيَّة على التّكيف والتّطور مع الزّمن، وهي صفة مميزة للمخلوقات الْحَيَّة.

منذ بلايين السنين وقبل أنْ تتكون الْخليّة بخصائصها الحيوية، كانت هناك مركبات غير عضوية، كوّنت بدورها المركّبات الْعضويّة. إن تكوين البروتينات، والأحماض النووية، والكربوهيدرات، والدهون كان ضروريًّا، غير أنها لم تكن كافية لتكوين الحياة. تطلّب تطور الخلايا جزيئات عضوية مبكرة لتتجمع في منظومة معقدة ومعتمدة على بعضها بشكل تبادلي.

قد يكون لدى الحياة أصول من خارج الكرة الأرضيّة



الشكل 26 – 1

تقسيم الْخليّة إلى حجرات. تُصَنَّفُ هذه المخلوقاتُ الْحَيَّة وحيدة الْخليّة التي تدعى البراميسيوم بوصفها طلائعيات. تظهر خلايا الخميرة مصبوغة باللون الأحمر وقد تَمَّ التهامها من قبل البراميسيوم، ووضعها في عضيّات محاطة بأغشية تُسمّى الفجوات الهاضمة.

قد لا تكون الحياة نشأت على الكرة الأرضيّة، وإنما جاءت من مصادر أخرى كونية خارج نطاق الأرض. هذه الفرضية التي تدعى تعدد **بذور الحياة Panspermia** والتي تنص على أنّ النيازك، أو الغبار الكوني قد اصطدمت بالأرض حاملة معها مركبات عضوية مبتدئة نشأة الحياة. هناك مئات الألوف من المذنّبات والنيازك التي اصطدمت بالأرض البدائية عند تكونها. وتشير اكتشافات حديثة إلى أن من المحتمل أنْ يكون بعضها على الأقل قد حمل معه مركبات عضوية. ولم يستثنِ وجود حياة على الكواكب الأخرى. فمثلًا، اكتشاف الماء السائل تحت طبقة الجليد التي تغطي القمر (أوروبا) وهو أحد أقمار كوكب المشتري، إضافة إلى أنّ اقتراح وجود الأحافير في صخور المريخ قد دعم هذه الفكرة.

وفوهة التحمل البركانية على المريخ كانت تحتوي يومًا على الماء الملحي. ومنذ شهر يونيو 2006 والجوّالة Spirit الموجودة على المريخ تواجه صعوبة في إحدى عجلاتها، ولكن الجوالة الأخرى Opportunity مازالت تجمع معلومات عن البيئة المائية التي يمكن أن تكون قد آوت نشوء الحياة (الشكل 26 – 2).

يُحتمل أنْ تكون الحياة قد نشأت على الأرض البدائية

الشكل 26 – 2

المركبة الفضائية "الروح Spirit" التي أرسلت عشرات الآلاف من الصور لسطح المريخ، وزودت العلماء بمؤشرات على احتمالات وجود آثار لحياة قديمة على المريخ.

الظروف على الأرض المبكرة

كلما تعمقنا في دراسة المراحل البدائية لتكوّن الأرض زادت الأدلة التي تشير إلى أن المخلوقات البدائية التي برزت على الأرض كانت تعيش في ظروف حرارية عالية. فقد كان الحصى الملتهب المصاحب لتكوين المجموعة الشمسية منذ 4.6 بلايين سنة هو المسؤول عن إبقاء سطح الأرض ملتهبًا، نتيجة اصطدامه بها، وبعد أنْ قلّ الاصطدام، بدأت درجة حرارة الأرض بالانخفاض. وبعد مرور 800 مليون عام على هذا الحدث، بدأت درجة حرارة المحيطات بالانخفاض إلى أنْ وصلت إلى 49 – 88 س أي (ما يعادل 120 - 190 درجة فهرنهايتية). وفي الفترة ما بين 2.5 بليون و 3.8 بلايين سنة خلت، بدأت مظاهر الحياة في البزوغ على سطح الأرض، ولهذا، يمكننا القول: إن الظروف الحرارية العالية جدًا وغير المحتملة بمقاييس درجة الحرارة الآن، في تلك الفترة قد شكلت نشأة الحياة.

يتفق عدد قليل جدًا من علماء الجيولوجيا الكيميائية على التركيب الكيميائي للغلاف الجوي المبكر. فمن الآراء الشائعة أنّ الغلاف الجوي احتوى على ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وغاز النيتروجين (N_2)، وبخار الماء (H_2O). ومن المحتمل أنّ الغلاف الجوي البدائي كان محتويًا على غاز الهيدروجين (H_2)، ومركبات ارتبط فيها الهيدروجين مع عناصر خفيفة (الكبريت، والنيتروجين، والكربون) منتجًا كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، والأمونيا (NH_3)، وغاز الميثان (CH_4).

يعرف هذا الغلاف الجوي بأنه "مختزل" *Reducing atmosphere* لوجود كميات كبيرة من ذرات الهيدروجين القادرة على فقد الإلكترون التابع لها. وبوجود الغلاف الجوي المختزل، فإننا لا نحتاج من الطّاقة اللازمة لتكوين المركبات الْعضويّة بقدر ما نحتاج إليه اليوم لتكوين المركبات الغنية بالكربون التي نشأت منها الحياة.

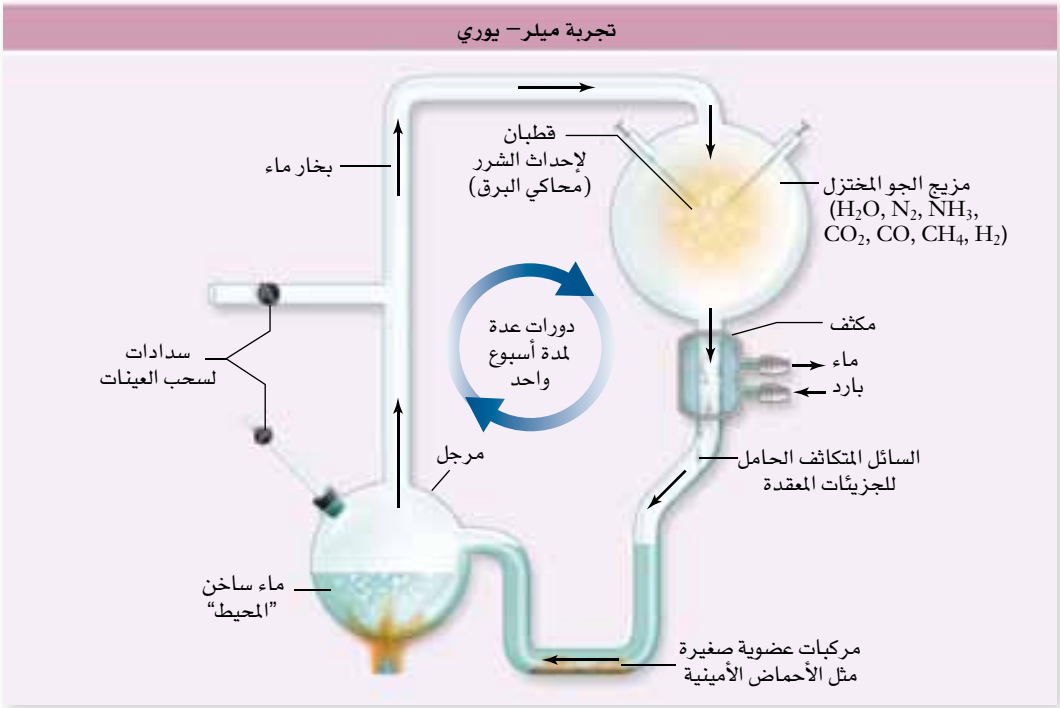
ما زال موقع نشأة الحياة على سطح الأرض سؤالًا مفتوحًا. فمن المحتمل أن تكون قد بدأت على حواف المحيطات، أو تحت المحيطات المتجمدة، أو في قاع قشرة الأرض، أو في الطين، أو في الثغرات الحرارية الموجودة في قيعان البحار.

المركبات الْعضويّة على الأرض البدائيّة

إن أولى المحاولات تَمَّ القيام بها للتعرف إلى نوعية المركبات الْعضويّة التي كانت موجودة في أثناء نشأة الحياة، هي ما قام به العالِمان ستانلي ل. ميلر وهارولد سي. يوري عام 1953. عندما صمّما تجربة كلاسيكية، تحاول توفير ظروف مشابهة لما كان موجودًا في محيطات الأرض البدائية والغلاف الجوي المختزل. حتى لو تبين أنّ هذه الفرضية غير صحيحة، فالحكم لم يصدر بعد فيها، فإنّ تجربتهما كانت مهمة جدًا؛ لأنها أدت إلى ظهور حقل جديد من العلم يُسمّى كيمياء ما قبل الحياة.

وللقيام بهذه التجربة، قام العالِمان ميلر ويوري بـ: (1) تجميع الجو المختزل الغني بالهيدروجين وغير المحتوي على غاز الأكسجين. (2) وضع الجو المختزل فوق الماء السائل. (3) الإبقاء على هذا الخليط في درجة حرارة دون المئة درجة سلسيوس. (4) محاكاة البرق، وذلك بإطلاق شرارات (الشكل 26 – 3).

لقد وجد العالِمان أنه وخلال أسبوع تَمَّ تحوّل 15% من الكربون الموجود أصلًا على هيئة غاز الميثان (CH_4) إلى مركبات كربون بسيطة. من بين هذه المركبات الفورمالدهايد (CH_2O) وسيانيد الهيدروجين (HCN). تفاعلت

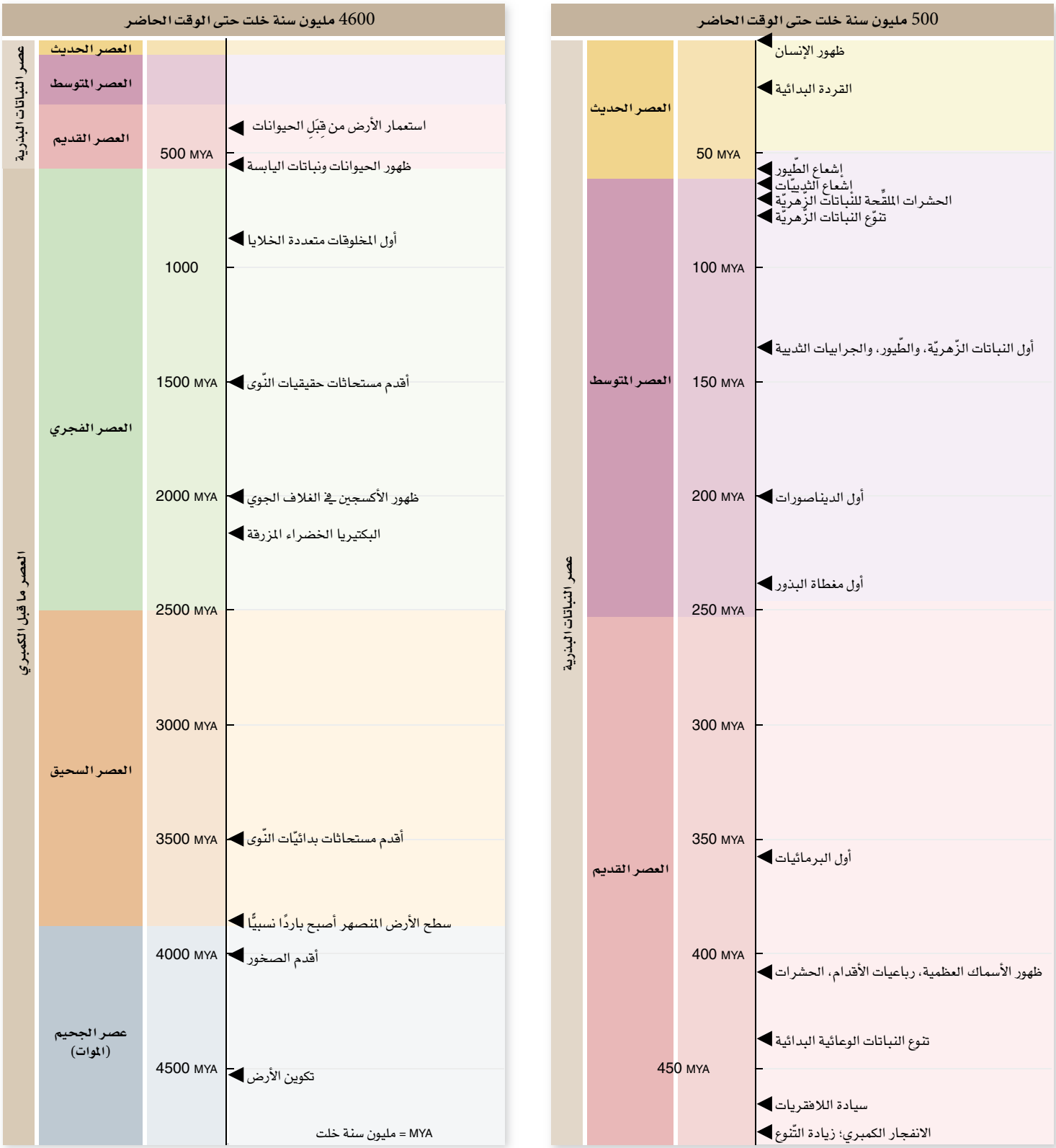


الشكل 26 – 3

تجربة ميلر– يوري. يتكون الجهاز من أنبوب مغلق يصل بين حجرتين زجاجيتين: العليا، تحتوي على مزيج من الغازات التي تمثل الغلاف الجوي للكرة الأرضيّة البدائية. وهناك قطبان لإحداث شرارة كهربائية لمحاكاة البرق. ويساعد مكثّف لتبريد الغاز على تكوين قطرات الماء التي تمر إلى الحجرة السفلى التي تحتوي على ماء مسخن "المحيط". عندما تتكوّن أي جزيئات في "حجرة الغلاف الجوي" فإنها سوف تذوب في قطرات الماء، ومن ثَمَّ تُحْمَلُ إلى الحجرة السفلى الممثلة للمحيط التي يتم سحب العينات منها لفحصها.

هذه المركبات البسيطة لاحقًا لتكون حمض الفورميك ($HCOOH$) واليوريا (NH_2CONH_2) إضافة إلى كثير من المركبات الكربونية مثل الأحماض الأمينية جلايسين وألانين.

في تجربة مماثلة قام بها عالمان آخران، تَمَّ التّعرّف إلى 30 مركّبًا كربونيًّا من ضمنها الأحماض الأمينية جلايسين، وفالين، وبرولين، وحمض الأسبارتيك. وكما رأينا في الفصل الثالث، فإنّ الأحماض الأمينية مكوّن أساسيّ للبروتينات التي تعدّ أحد المكونات الرّئيسة في تركيب المخلوقات الْحَيَّة. إضافة إلى البروتينات، فقد تَمَّ من خلال هذه التجارب تكوين مركبات أخرى مهمة. فمثلًا، يدخل سيانيد



الشكل 26 – 4

جدول الزمن الجيولوجي وتطوّر الحياة على الأرض

الهيدروجين في تركيب جزيء حلقي هو الأدينين، وهو إحدى القواعد التي تدخل في تركيب الأحماض النووية DNA و RNA. وبناء على هذا، يمكن القول: إن مركبات الحياة الأساسية ربما تكونت في جو الأرض البدائي.

تطوّرت الخلايا من تجمّع وظيفيّ للمركّبات الْعضويّة

بصورة عامة، المركبات الْعضويّة قادرة على نقل المعلومات، أو على توفير الطّاقة اللازمة للحياة من خلال عملية الأيض. وعلى الرّغم من أنّ DNA هو جزيء المعلومات الوراثية اليوم، فإنّ RNA الذي له القدرة على العمل بوصفه أنزيمًا (رايبوزايم) يستخدم في أثناء عملية التضاعف الذاتي، وقد يكون هو المادة الوراثية البدائية التي تكوّنت قبل ظهور الْخليّة. تبلمرت الأحماض الأمينية لتكون البروتينات، وظهرت مسارات الأيض.

وإذا ما تَمَّ حصر هذه المكونات داخل فقاعة دهنية أو بروتينية، فإننا ندفع في اتجاه زيادة تركيز جزيئات معينة، وهذا بدوره يرفع من احتمال حدوث تفاعلات الأيض. في نقطة ما، تَمَّ إحاطة هذه الفقاعات بغشاء الْخليّة، وأصبحت خلية لها صفات المخلوقات الْحَيَّة جميعها التي ذكرناها سابقًا. في الفصل 27 سنذكر تفاصيل كيفيّة العثور على أحافير لخلايا بكتيرية عمرها 3.5 بلايين سنة. لوقت طويل من تاريخ الحياة على الأرض، كانت هذه الخلايا البكتيرية المظهرَ الوحيدَ من مظاهر الحياة. ساهمت مستجدات تطورية عدة–الخلايا حقيقية النّوى، والتّكاثر الجنسي، والتعدد الخلوي– في ظهور التّنوع الْحيويّ الكبير الذي نراه اليوم على الأرض (الشكل 26 – 4). سوف نستمر في المراجعة الشاملة لتنوع الحياة المذهل على الأرض، والعلاقات التّطوريّة بين المخلوقات الْحَيَّة.

بدأت الحياة عندما بدأت المركبات الْعضويّة في التجمع بشكل متناسق داخل حَيِّز محاط بغشاء الْخليّة، ثم بدأت بالتّكاثر. يبقى السؤال مفتوحًا حول ما إذا كانت هذه المركّبات الْعضويّة قد تكوّنت على سطح الأرض، أو جاءت مَعَ النيازك التي اصطدمت بها. ومع أن من المستحيل إعادة تشكيل الظروف التي كانت موجودة على الأرض البدائية تمامًا، فمن الأرجح أنّ درجات الحرارة كانت متطرّفة جدًا، وأنّ مكونات الغلاف الجوي الغازية كانت تختلف عما هي عليه الآن.

2-26 تصنيف المخلوقات الْحَيَّة

لقد أدرك الإنسان منذ أقدم الأزمنة أنّ هناك اختلافًا بين المخلوقات الْحَيَّة. تعلم الإنسان البدائي أنّ هناك نباتات تؤكل، وأخرى سامة. وهناك حيوانات يمكن أنْ تُصطاد أو تدجّن؛ وحيوانات أخرى من الواضح أنها خطرة ومفترسة. في هذا الجزء، سوف نتطرق إلى المراحل التي مرّ بها التّصنيف العلمي الذي نستخدمه في يومنا هذا.

التّصنيف هو البحث عن كلٍّ من الهوية والعلاقات

قبل ما يزيد على ألفي عام، صَنَّف الفيلسوف اليوناني أرسطو المخلوقاتِ الْحَيَّة إلى نباتات وحيوانات. ثم توسّع بعد ذلك اليونان والرومان في هذا النظام البسيط، فصنفوا الحيوانات والنباتات إلى مجموعات أصغر، مثل مجموعة القطط، أو الخيول، أو نبات البلوط. في النهاية سميت هذه الوحدات باسم الأجناس (مفردها، جنس) وهي كلمة يونانية الأصل تعني «مجموعات». مع بداية العصور الوسطى، بدأت كتابة هذه الأسماء باللغة اللاتينية، وهي لغة العلماء في ذلك الوقت، بشكل منظم. وبذا وضعت مجموعة القطط في الجنس *Felis*، والخيول في *Equus*، والبلوط في *Quercus*.

أسس لينَيوس قواعد التسمية الثنائية

ظل علماء الأحياء، وحتى منتصف القرن الثامن عشر الميلادي، كلما أرادو تعريف نوع من المخلوقات الْحَيَّة، الذي سمَّوه النوع، أضافوا سلسلة من المصطلحات الوصفية إلى اسم الجنس؛ وهذا هو نظام التسمية المتعددة، أو نظام «الأسماء المتعددة».

بعد ذلك، ظهر نظام أبسط لتسمية المخلوقات، وضعه عالم الأحياء السويدي كارولس لينَيوس (1707 – 1778). فعام 1750 وما بعده بقليل، استخدم لينَيوس نظام التسمية المتعددة، *Apis pubescens، thorace subgriseo، abdomine fusco، pedibus posticis glabris utrinque margine ciliates* ليشير إلى نحلة العسل الأوروبية. وكنوع من الاختصار، ضمّن اسمًا مكوّنًا من جزأين لنحلة العسل؛ فسماها *Apis mellifera*. هذه الأسماء ثنائية الأجزاء، أو **التسمية الثنائية Binomial** أصبحت الطريقة النموذجية لتعيين الأنواع. ولقد رأينا كثيرًا من أسماء التسمية الثنائية في الفصول السابقة.

التّصنيف Taxonomy علمٌ مختص بترتيب المخلوقات الْحَيَّة ضمن مجموعات محددة تُسمّى مصنَّف *Taxon* (جمعها، مصنفات *Taxa*). وباتفاق علماء التّصنيف جميعهم في العالم، لا يوجد نوعان من المخلوقات الْحَيَّة يحملان الاسم نفسه. إن التسمية العلمية للمخلوقات هي نفسها في أي مكان في العالم، وتتجنب الإرباك الذي تسببه الأسماء الشائعة.

وبالاتفاق أيضًا، يشير الاسم الأول في التسمية الثنائية إلى الجنس الذي ينتمي إليه المخلوق. تخضع الأسماء العلمية لأحكام محددة لطريقة الكتابة، فمثلًا، الاسم الأول يكون للجنس، ويبدأ بحرف كبير. وتعرف الكلمة الثانية نوعًا معينًا، ولا تكون بدايتها حرفًا كبيرًا. تُسمّى الكلمتان معًا، اسم النوع (أو الاسم العلمي) ويُكتب بنمط مائل– مثلًا *Homo sapiens*. وعند استخدام الجنس في الشّرح، فغالبًا ما يختصر عند استخدامه لاحقًا. مثلًا الديناصور *Tyrannosaurus rex* يختصر *T. rex*.

الشكل 26 – 5

الأسماء الشائعة لا تفي بالغرض المطلوب. في أمريكا الشمالية، الدبّ والذّرة تحمل صورًا محددة في أذهاننا، ولكنها لا تحمل الصورة نفسها بالنسبة إلى الأشخاص المقيمين في أوروبا أو أستراليا.

الشكل 26 – 6

النظام التراتبي لتصنيف المخلوقات الْحَيَّة. المخلوق الحي في هذه الحالة هو السنجاب الرمادي الشرقي. يتبع السنجاب فوق مملكة حقيقية النّوى. داخل فوق المملكة هذه هو حيوان (من مملكة الحيوانات). وضمن القبائل المتعددة للحيوانات يُعَدُّ فقريًّا (شعبة الحبليات، تحت شعبة الفقريات). ولكونه مخلوقًا ذا فرو، فإن ذلك يؤهله لأن يكون من الثّدييّات (طائفة الثّدييّات). ضمن هذه الطائفة يتميز بكونه ذا أسنان قارضة، فهو يتبع رتبة القوارض. ولأن له أربعة أطراف، والخلفي منها له خمس أصابع، فإنه سنجاب (عائلة السنجابيات Sciuridae). ضمن هذه العائلة، فلأنه سنجاب شجري، فهو يتبع جنس *Sciurus*، ولأن له فروًا رماديًّا وأطراف شعر، وذيله أبيض فهو نوع *Sciurus carolinesis*، أو السنجاب الرمادي الشرقي.

لدى التّصنيف التراتبي بعض نواحي القصور

نُظِّمت الأنواع المعروفة من المخلوقات في مجاميع بناءً على الصِّفات المشتركة بينها. وبناءً على ما تَمَّ مناقشته في الفصل الـ 23، فإنّ من الممكن بناء نظرية التّطور الصّحيح استنادًا إلى الصِّفات المشتقة بين المخلوقات، لا على الصِّفات السلفية. لم يميِّز علماء التّصنيف الأوائل بين الصِّفات المشتقة والصِّفات السلفية. ولهذا، فإنّ الكثير من التصنيفات التراتبية يُعاد النظر فيها الآن. ومع استمرار حدوث ثورة في علم نشوء الأنواع والتّصنيف، ظهرت نقاط قصور أخرى في مستويات نظام التّصنيف الأصلية، التي تُسمّى تصنيف لينيوس *Linnaean taxonomy*.

نظام لينَيوس التراتبي

في العقود التي أعقبت لينَيوس، بدأ علماء التّصنيف بتجميع المخلوقات في مجاميع أكبر وأكثر شمولية. فالأجناس التي لديها صفات مشتركة تَمَّ تجميعها في **عائلة Family**، والعائلات المتشابهة تَمَّ تجميعها ووضعها في **رتبة Order** (الشكل 26–6). والرتب التي تشترك في صفات متشابهة وضعت في **الطائفة Class** نفسها. والطوائف ذات الصِّفات المتشابهة جمعت في **القبيلة Phylum** نفسها. وأخيرًا، فإنّ القبائل التي تشترك في الصِّفات نفسها تَمَّ ضمها في واحدة من مجموعات كبيرة هي **الممالك Kingdoms**. تضم هذه الممالك نوعين من المخلوقات بدائيّات النّوى (البكتيريا والبكتيريا القديمة)، ومجموعة من حقيقية النّوى غالبًا ما تكون وحيدة الْخليّة، وهي الطّلائعيات، وأخيرًا تضم ثلاث ممالك للمخلوقات متعددة الخلايا، مثل الفطريات، والنباتات، والحيوانات.

إضافة إلى ذلك، ظهر مستوى ثامن من التّصنيف يُدعى **فوق المملكة Domain**. يميز علماء الأحياء ثلاث فوق ممالك رئيسة. وسوف نناقشها في الجزء الثاني 26–3.

إن التقسيمات السابقة في مستوياتها المختلفة قد تضم الكثير أو القليل، أو حتى مُصَنَّف واحد من المخلوقات. فمثلًا، هناك جنس واحد حيٌّ فقط في عائلة الإنسان Hominidae (تحديدًا *Homo*)، ولكن توجد هناك أجناس عدة في عائلة البتولا Fagacea ويرى الشخص الذي له دراية في علم التّصنيف، أو يستطيع الوصول إلى المراجع المناسبة، أن كل مُصَنَّف يشير ضمنيًّا إلى مجموعة من الصِّفات ومجموعة من المخلوقات التي تنتمي لذلك المُصَنَّف.

وللرجوع إلى مثال نحلة العسل الأوروبية، يمكننا أن نحلل ترتيب تصنيفها كالآتي:

1. **مستوى النّوع**: *Apis mellifera* وتعني النحلة حاملة العسل.
2. **مستوى الْجنس**: *Apis* وهو جنس النحل.
3. **مستوى الْعائلة**: عائلة النحل Apidae وكلّ أعضاء هذه العائلة من النحل، ومنه ما يعيش وحيدًا، ومنه ما يعيش في مستعمرة مثل *A. mellifera*.
4. **مستوى الرّتبة**: غشائية الأجنحة Hymenoptera وهي مجموعة تتضمن النحل واليعسوب، والنّمل، وذبابة المنشار.
5. **مستوى الطّائفة**: الحشرات، وهي طائفة كبيرة تتضمن الحيوانات التي تقسم أجسامها إلى ثلاثة أقسام، ولها ثلاثة أزواج من الأقدام متصلة بالقطع الوسطى من الجسم، وأجنحة.
6. **مستوى القبيلة**: المفصليات: حيوانات لها هيكل خارجي من مادة الكايتين، ولها زوائد متمفصلة.
7. **مستوى المملكة**: مملكة الحيوانات، وهي مخلوقات متعددة الخلايا، غير ذاتية التغذية، وخلاياها تفتقر إلى جدار الْخليّة.

نواحي قصور النظام التراتبي

ناقشنا في الفصل الـ 23 المنهجية الحديثة لمعرفة نشوء الأنواع التي تميز العلاقات بين الأنواع المختلفة بناءً على تاريخها التطوري. أظهرت المعلومات المتعلقة بنشوء الأنواع، التي تعتمد في الغالب على البيانات الجزيئية، أن نظام لينَيوس التراتبي غير كافٍ للتعرف إلى العلاقات التراتبية بين المُصنَّفات التي تنتج طبيعيًّا من تاريخ من السّلف والتحدّر المشترك. ولهذا، فقد ظهرت فرضيات تطورية جديدة.

إن إحدى المشكلات في نظام لينَيوس التصنيفي أن كثيرًا من الرتب التصنيفية العليا ليست أحادية النشأة، مثلًا، (الزواحف) ولهذا فهي لا تُمثل مجموعات طبيعية. فالسّلفُ المشتركُ وسلالاته جميعها هي مجموعةٌ طبيعيةٌ تنتج عن الانحدار من سلف مشترك، ولكن نوعًا آخر من المجموعات (متوازية النشأة أو متعددة النشاة) هي مجموعة زائفة وُضِعَتْ من قِبَل المُصنِّفين.

إضافة إلى ذلك، فإنّ رتب لينَيوس كما هي معروفة الآن، ليست متساوية بطريقة ذات معنى. فمثلًا، قد لا تُمثل عائلتان فروعًا نشأت في الوقت نفسه. فقد تكون إحدى العائلات قد تفرعت قبل 70 مليون سنة من تفرّع العائلة الأخرى. لذا، فإنّ هذه العائلات قد كان لها متسع شاسع من الوقت لكي تتفرع، وتشكّل، وتكوِّن تكيُّفات تطورية. وقد تُعطى مجموعتان مرتبتين مختلفتين على الرّغم من تفرعهما من سلف مشترك في الوقت نفسه. لذا، فإنّ المقارنة باستخدام فئات لينَيوس قد تكون مُضَلِّلة. ومن الأفضل بكثير استخدام فرضيات لعلاقات نشوئية في مثل هذه الحالات.

إحدى نتائج هذه الاختلافات هي أنّ العائلات تُظْهِرُ درجات مختلفة من التّنوع الْحيويّ. فمثلًا، من الصعب القول: إن عائلة البقوليّات التي تضم 16,000 نوع تمثل المستوى نفسه من التّنظيم التصنيفي، مثل عائلة القطط التي تضم 36 نوعًا. تحدّ هذه الاختلافات الموجودة في الرتبة نفسها، سواء أكانت عائلة، أم رتبة، أم فصيلة، من فائدة نظام التّصنيف التراتبي في التنبؤات التّطوريّة.

تُعطى الأنواع تسمية ثنائية بناء على اتفاق العلماء. يُعرّف الجزءُ الأولُ من الاسم الجنسَ، ويعرّف الجزءُ الثاني نوعَ الفرد. يجمع نظام لينَيوس التصنيفي التراتبي المخلوقات في مجموعات، مثل الأجناس، ثم العائلات، ثم الرتب، ثم الطوائف، ثم القبائل، ثم الممالك. تعتمد الطريقة التقليدية في التّصنيف على الصِّفات المتشابهة. ولأنها تمثل خليطًا من صفات مُشتقَّة وصفات سلفية، فإنّ هذا النظام لا يأخذ في الحسبان العلاقات التّطوريّة.

3-26 تصنيف المخلوقات الْحَيَّة في مجموعات

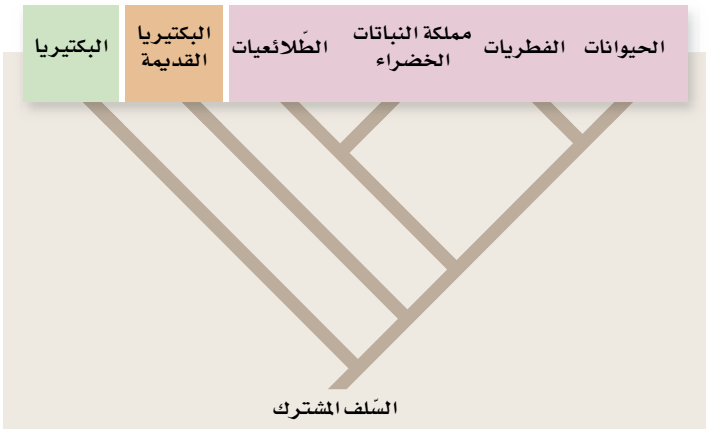
سوف نتناول في هذا الجزء أكبر تصنيف للمخلوقات إلى مجموعات: الممالك وفوق الممالك. لقد عرفت أنظمة التّصنيف البدائية مملكتين من المخلوقات، وهما: الحيوانات والنباتات. وبعد أنْ اكتشف العلماء المخلوقات الْحَيَّة الدقيقة، وتعرفوا إلى أنواع مختلفة من المخلوقات متعددة الخلايا، أضافوا ممالك جديدة آخذين بالفروق الأساسية. كان أول من اقترح إيجاد ستّ ممالك هو العالِم كارل ووس من جامعة إلينوي (الشكل 26–7ب).

الممالك السِّتّ ليست بالضرورة أحادية النشأة

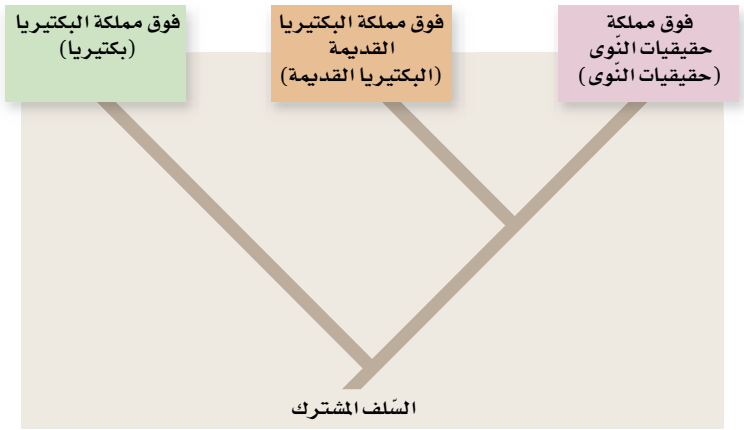
في نظام الممالك الست، توجد أربع منها تنتمي إليها المخلوقات حقيقيات النّوى. أشهر مملكتين هما **مملكة الحيوان Animalia** و**مملكة النبات Plantae**. تضم هاتان المملكتان المخلوقات الْحَيَّة متعددة الخلايا التي كانت كذلك في معظم مراحل حياتها. وتضم **مملكة الفطريات Fungi** مخلوقات متعددة الخلايا، والخميرة وحيدة الْخليّة. ويُعتقد أن نشأتهما كانت من أسلاف متعددة الخلايا.

هناك فروق جوهرية بين هذه الممالك الثلاث. فالنباتات ثابتة وغير قادرة على الحركة، مع أنّ بعضها ينتج جاميتات متحركة. وتفتقر معظم الفطريات إلى الخلايا المتحركة. في حين أنّ الحيوانات مخلوقات متحركة، وتلتهم طعامها، على حين تقوم النباتات بالتغذية الذاتية، أما الفطريات، فتقوم بإفراز أنزيمات هاضمة خارج أجسامها، وتحلل الطعام، ثم تمتصه. ويعتقد أنّ كلًّا من هذه الممالك نشأ من سلف وحيد الْخليّة.

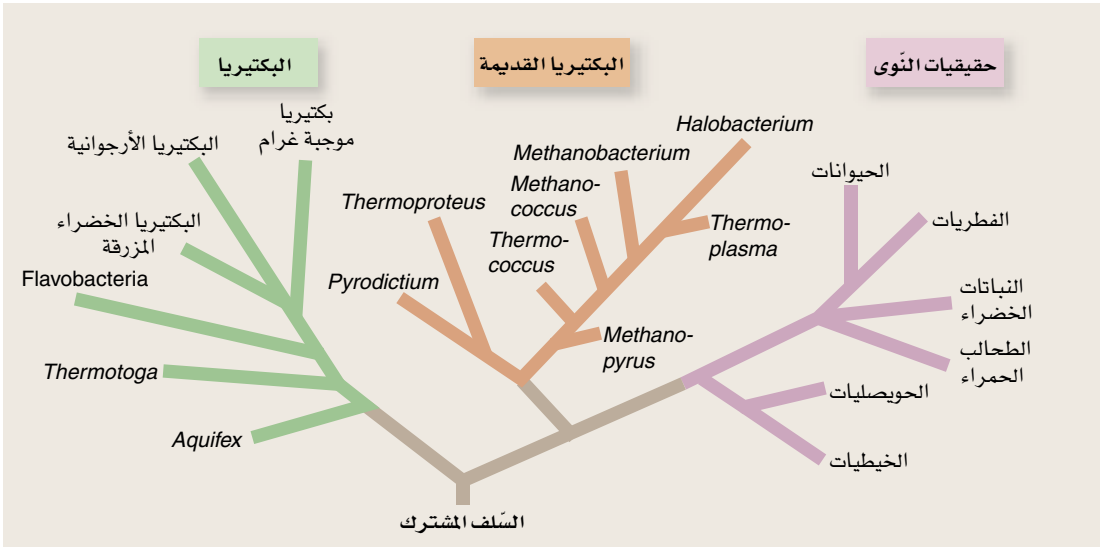
لقد تَمَّ تجميع -وبشكل عشوائي- أكبر عدد من المخلوقات الْحَيَّة حقيقية النّوى، التي لا تتلاءم مع أيّ من الممالك الثلاث السابقة في مملكة تُسمّى **الطّلائعيات Protista** (انظر الفصل الـ 29). معظم الطّلائعيات وحيدة الْخليّة، وفي حالة بعض الطحالب، فإنها تكون وحيدة الْخليّة في أحد أطوار حياتها. تعكس هذه المملكة الخلاف الحاصل بين منحى التّصنيف التقليدي ومنحى التحليل النشوئي. تُعَدُّ الطّلائعيات مجموعة متوازية النشأة Paraphyletic، إذ تحتوي على عدد من السلالات أحادية النشأة التكيفية، التي تطورت ونشأت من أصول مختلفة.



ب.



أ.



جـ.

الشكل 26-7

المقاربات المختلفة لتصنيف المخلوقات الْحَيَّة. أ. البكتيريا والبكتيريا القديمة مميزتان؛ ولذلك توضعان في فوق ممالك منفصلة عن حقيقيات النّوى. يُظن أنّ فوق مملكة البكتيريا انشقت في فترة مبكرة من خط التّطور الذي أعطى البكتيريا القديمة والبكتيريا. ب. تقسم حقيقيات النّوى إلى أربع ممالك، ولكنها ليست بالضرورة أحادية النشأة وخصوصًا الطّلائعيات. جـ. عُمِلت شجرة النشوء (النسب) هذه بناءً على تحليل RNA الرايبوسومي. حُددت قاعدة الشجرة بناء على فحص الجينات التي تضاعفت في فوق الممالك الثلاث. هذا التضاعف من المفترض أن يكون قد حدث في السّلف المشترك. لقد تفرعت حقيقيات النّوى والبكتيريا القديمة في وقت متأخر عن البكتيريا، وهما أقرب إلى بعضهما، بشكل أكبر من قرب كل منهما إلى البكتيريا. تكون القواعد الأساسية التي تُبنى عليها الأشجار المبنية على صفات أخرى في الأغلب غير واضحة بسبب الانتقال الجيني الجانبي (انظر الفصل الـ 24).

المملكتان الباقيتان: **البكتيريا القديمة Archea والبكتيريا Bacteria** تتكونان من كلّ المخلوقات بدائيّات النّوى المختلفة بشكل كبير عن باقي المخلوقات الْحَيَّة (انظر الفصل الـ 28). البكتيريا القديمة مجموعة متنوعة تضم منتجات الميثان، ومحبة الحرارة العالية، وهي تختلف أيضًا عن بدائيّات النّوى الأخرى، أي البكتيريا.

قد تكون فوق الممالك الثلاث أحادية الأصل

بعد أن ازدادت معرفة علماء الأحياء بمملكة البكتيريا القديمة، أصبح من المؤكد لديهم أنّ هذه المجموعة تختلف عن باقي المجموعات. وعندما قورنت تحديد تعاقبDNA كاملة لجينوم البكتيريا القديمة مع جينوم البكتيريا أول مرة عام 1996، ظهر الفرق مذهلًا؛ تختلف البكتيريا القديمة عن البكتيريا كاختلاف حقيقيات النّوى عن البكتيريا.

وبأخذ هذا في الحسبان، فقد ازدادت قوة تبنّي علماء الأحياء للتصنيف الذي يقسم المخلوقات الْحَيَّة إلى ثلاث **فوق ممالك Domains** –وهو مصنف أعلى من المملكة (الشكل 26–7أ) –وهي **البكتيريا القديمة (Domain Archaea)**، **والبكتيريا (Domain Bacteria) وحقيقيات النّوى (Domain Eukarya)**. وبحسب الدراسات النّشوئيّة، فإنّ كلّ فوق مملكة منها هي سلالة أو فرع حيوي Clade.

استقصاء

لماذا تُعَدُّ البكتيريا القديمة سلالة؟

فيما تبقى من هذا الجزء، سنستذكر أهم الصِّفات الموجودة في فوق الممالك الثلاث، مع استعراض مختصر للفيروسات. بالنظر إلى الفهم الراهن لشجرة الحياة المبينة في الشكل 26–7ب، فإنّ أول تفرع يمثل الأفرع الأعمق في الشجرة. البكتيريا القديمة وحقيقيات النّوى هي أقرب إلى بعضها من البكتيريا. وتوجد على فرع تطوري مستقل من الشجرة، على الرّغم من أنّ كلًّا من البكتيريا القديمة والبكتيريا تنتمي إلى مجموعة بدائيّات النّوى.

البكتيريا أكثر المخلوقات الْحَيَّة عددًا

البكتيريا من أكثر المخلوقات انتشارًا على سطح الأرض من حيث العدد. هناك أعداد من البكتيريا في فمك أكثر من عدد الثّدييّات على الأرض.

وعلى الرغم من أنها أصغر من أنْ تُرى بالعين المجردة، فلها دور مهم في المحيط الْحيويّ، حيث تستخلص جميع ما تحتاج إليه المخلوقات الْحَيَّة من نيتروجين. وتؤدي دورًا مهمًّا في دورتي الكربون والكبريت. وتقوم بجزء كبير من عملية البناء الضوئي. في المقابل، كثير منها مسؤول عن أشكال مختلفة من الأمراض. ولهذا، فإنّ فهمَ الناحية الوراثية وعمليات الأيض التي تقوم بها البكتيريا هما جزءٌ مهم في الطّب الحديث.

البكتيريا متنوعة بشكل كبير، والعلاقات التّطوريّة بين أنواعها ما زالت غير مفهومة كليًّا وبشكل جيد. وعلى الرّغم من اختلاف علماء التّصنيف في كثير من التفاصيل المتعلقة بتصنيف البكتيريا، فإن معظمهم يقرّ بوجود 12 – 15 مجموعة رئيسة منها. إن مقارنات تعاقب قواعد RNA الرايبوسومي (rRNA) بدأت تظهر لنا مدى القرابة بين بعضها من جهة، وبينها وبين تحت المملكتين الأخريين من جهة أخرى.

قد تعيش البكتيريا القديمة في بيئات متطرِّفة

يبدو أنّ البكتيريا القديمة قد انشقت في وقت أبكر من البكتيريا، وهي أقرب إلى حقيقيات النّوى منها إلى البكتيريا (الشكل 26 – 7جـ). تَمَّ التوصل إلى هذا الاستنتاج بعد مقارنة الجينات المُشَفِّرة لـ RNA الرايبوسومي.

الانتقال الجيني الأفقي بين المخلوقات الدقيقة

إن مقارنة تعاقبات الجينوم الكامل للمخلوقات الدقيقة قادت علماء الأحياء التطوري لوضع أشجار نشوء مختلفة، وبعضها يناقض الآخر. ولقد ظهر أنه في مراحل التّطور المبكر حدث تبادل للمادة الوراثية بين المخلوقات الدقيقة عن طريق الانتقال الوراثي الأفقي (HGT)، كما تعلمنا في الفصل الـ 24. إن إمكانية حدوث مثل هذا التبادل للجينات يجعل من وضع أشجار النشوء (النسب) للمخلوقات الدقيقة عملية صعبة جدًا.

خذ مثلًا الجنس *Thermotoga*، وهو من البكتيريا القديمة المحبة للحرارة، ويعيش في جزيرة البركان على سواحل إيطاليا. أظهر تحديد تعاقب أحد جزيئات RNA أنها قريبة من البكتيريا، وعلى وجه التحديد مخلوق دقيق قديم يُسمّى *Aquifex*. غير أن تحديد تعاقب DNA الذي تَمَّ الحصول عليه أخيرًا فشل في إظهار علاقة ثابتة بين المخلوقين.

بإمكاننا أن نتوقع، وفي السنوات القادمة، أن تُظهر لنا نتائج التعاقب أمورًا جديدة قد تؤدي إلى تغيير في وجهات النظر التي كانت مقبولة سابقًا.

صفات البكتيريا القديمة

على الرّغم من أنها مجموعة متنوعة، فإن البكتيريا القديمة جميعها تتضمن صفات رئيسة (الجدول 26–1)، فجدار الْخليّة لا يحوي مادة الببتيدوجلايكان (وهو مكون رئيس لجدار الْخليّة في البكتيريا)، إضافة إلى أنّ الدهون الموجودة في غشاء الْخليّة تختلف عن تلك الموجودة في باقي الأحياء الدقيقة؛ ولدى البكتيريا القديمة RNA رايبوسومي مميز. وإنّ بعض الجينـــات تحتوي على مناطق معترضة، وهذا ما لا يوجد في البكتيريا. تفتقر البكتيريا القديمة وحقيقيات النّوى إلى مادة الببتيدوجلايكان الموجودة في جدار خلية البكتيريا.

تقسم البكتيريا القديمة إلى ثلاث مجموعات، هي: منتجات الميثان، والْمتطرِّفة، وغير الْمتطرِّفة، وذلك بناءً، بشكل رئيس، على البيئة التي تعيش فيها ومسارات الأيض المتخصصة بها.

الجدول 26-1 صفات فوق ممالك الحياة

الصفة	فوق مملكة		
الأحماض الأمينية التي تبدأ بها عملية الترجمة	البكتيريا القديمة ميثيونين	البكتيريا فورميل ميثايونين	حقيقيات النّوى ميثيونين
المناطق المعترضة	موجودة في بعض الجينات	غائبة	موجودة
العضيات المحددة بالغشاء	غائبة	غائبة	موجودة
شكل دهون الغشاء	متفرعة	غير متفرعة	غير متفرعة
غلاف النواة	غائب	غائب	موجود
أعداد مبلمر RNA المختلفة	متعدد	واحد	متعدد
الببتيدوجلايكان في جدار الْخليّة	غائب	موجود	غائب
الاستجابة للمضادات الحيوية streptomycin و chloramphenicol	لايمنع النّموّ	يمنع النّموّ	لا يمنع النّموّ

إن كلمة التّطرّف *Extreme* المستخدمة هنا تُنسب إلى البيئة الموجودة حاليًا. فعندما ظهرت البكتيريا القديمة على الساحة، كانت البيئة الْمتطرِّفة هي الطبيعية والسائدة على الأرض.

تحصل **منتجات الميثان Methanogens** على الطّاقة اللازمة باستخدام غاز الهيدروجين (H_2) الذي يختزل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) إلى غاز الميثان (CH_4). تُعَدُّ منتجات الميثان لاهوائية إجبارية، وتتسمم عند تعرضها لأقل كمية من الأكسجين (O_2). تعيش منتجات الميثان في المستنقعات والسبخات، وتعيش في أمعاء الثّدييّات، وتطلق نحو بليون طن من غاز الميثان في الهواء الجوي كلّ سنة.

تستطيع البكتريا **المحبة للتّطرّف Extremophiles** أن تعيش تحت ظروف تُعَدُّ قاسية جدًا لنا. هناك أنواع عدة من المحبة للتطرف.

- **المحبة للحرارة**، تعيش في درجات حرارة بين $60°$ – $80°$س. كثير منها ذاتية التغذية، وتعتمد على الكبريت في عمليات الأيض.
- **متكيفات البــرودة**، تعيش في الجبال الجليدية، وفي البحيرات المتجمدة على جبال الألب.
- **المحبة للملوحة**، تعيش في البيئة عالية الملوحة، مثل البحيرات الملحية الكبرى، والبحر الميت. تتطلب هذه المخلوقات مياهًا ذات ملوحة تتراوح بين 15% إلى20%.
- **البكتيريا القديمة المتحملة للتغير في الأس الهيدروجيني**، تعيش في بيئة لها درجة حموضة عالية (pH=0.7) أو قاعدية عالية (pH=11).
- **البكتيريا القديمة المتحملة للضغط**، موجودة في قعر المحيط، وتحتاج إلى ضغط جوي يقدر بـ 300 ضغط جوي، بل، تستطيع تحمل ما يقارب 800 ضغط جوي. ولكي تتخيل هذه القدرة، فهي تحتاج إلى ضغط جوي أكبر مما نعيش فيه بمقدار 300 مرة، أي كأنما يطلب إليك أنْ تغوص في البحر مسافة 3000 م دون غواصة، علمًا بأنّ الرقم القياسي للإنسان في الغوص دون غواصة عاريًا هو 127 مترًا ولغواصي سكوبا هو 145 مترًا.

البكتيريا القديمة غير الْمتطرِّفة Nonextreme archaea، تعيش في البيئة نفسها التي تعيش فيها البكتيريا. ولقد أصبح علماء الأحياء الدقيقة قادرين على التّعرّف بدقة إلى البكتيريا القديمة من خلال تحديد تعاقبات مميزة لها في DNA. وقد تَمَّ حديثًا اكتشاف المخلوق الدقيق *Nanoarchaeum equitens* والتّعرّف إليه بوصفه نوعًا من البكتيريا القديمة. هذا المخلوق الآيسلندي الدقيق يحمل أصغر كمية من المادة الوراثية (جينوم) تَمَّ التّعرّف إليها وهي 500 قاعدة نيتروجينية.

لدى حقيقيات النّوى خلايا ذات حجرات

لمدة لا تقل عن بليون سنة، سيطرت بدائيّات النّوى على الأرض. لم يكن هناك أيُّ نوع من المخلوقات ينافسها أو يفترسها. وقد كونت أقدم متحجرات على وجه الأرض. أما حقيقيات النّوى، فلم تظهر إلا متأخرة، أي قبل 2.5 بليون سنة خلت، كما تشير الأحافير. وعلى الرّغم من التشابه بين بدائيّات النّوى وحقيقيات النّوى من حيث عمليات الأيض، فإنّ حقيقيات النّوى استطاعت من خلال شكلها ووظيفتها أنْ تكبر، وتصبح قادرة على التّطور لمخلوقات متعددة الخلايا.

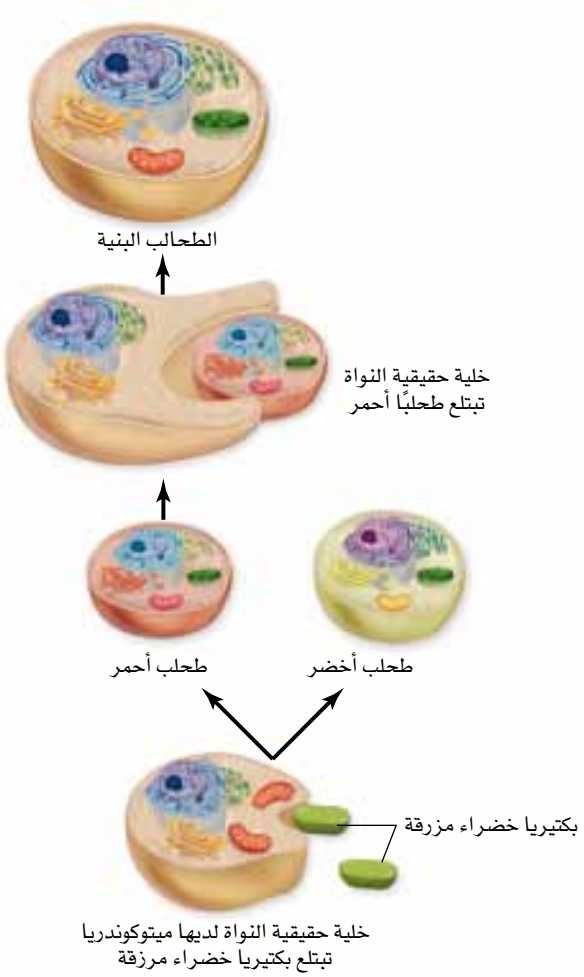
التّعايش الداخلي ونشوء حقيقيات النّوى

إن العلامة الفارقة في حقيقيات النّوى تكمن في التّنظيم الخلوي المعقد الذي يتمثل في نظام أغشية داخلي واسع يقسم الْخليّة حقيقية النواة إلى غرف صغيرة قادرة على أداء وظائف معينة (الفصل الـ 4). ولكن يجدر بنا القول: إنه ليس كلّ حجرة داخل الْخليّة نشأت من نظام الغشاء الخلوي الداخلي.

مع وجود بعض الاستثناءات، تحتوي حقيقيات النّوى الحديثة على عضيّات لإنتاج الطّاقة تُسمّى الميتوكوندريا، وإن بعض حقيقيات النّوى تحتوي على عضيّات تُسمّى البلاستيدات الخضراء القادرة على تجميع الطّاقة، ويُعْتَقَدُ أنّ الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء قد دخلتا إلى حقيقيات النّوى في مرحلة مبكرة عن طريق عملية التعايش الداخلي التي وُصِفَتْ في (الفصل الـ 4)، وسنتحدث عنها بشكل مفصل في الفصل الـ 29 (الشكل 26–8).

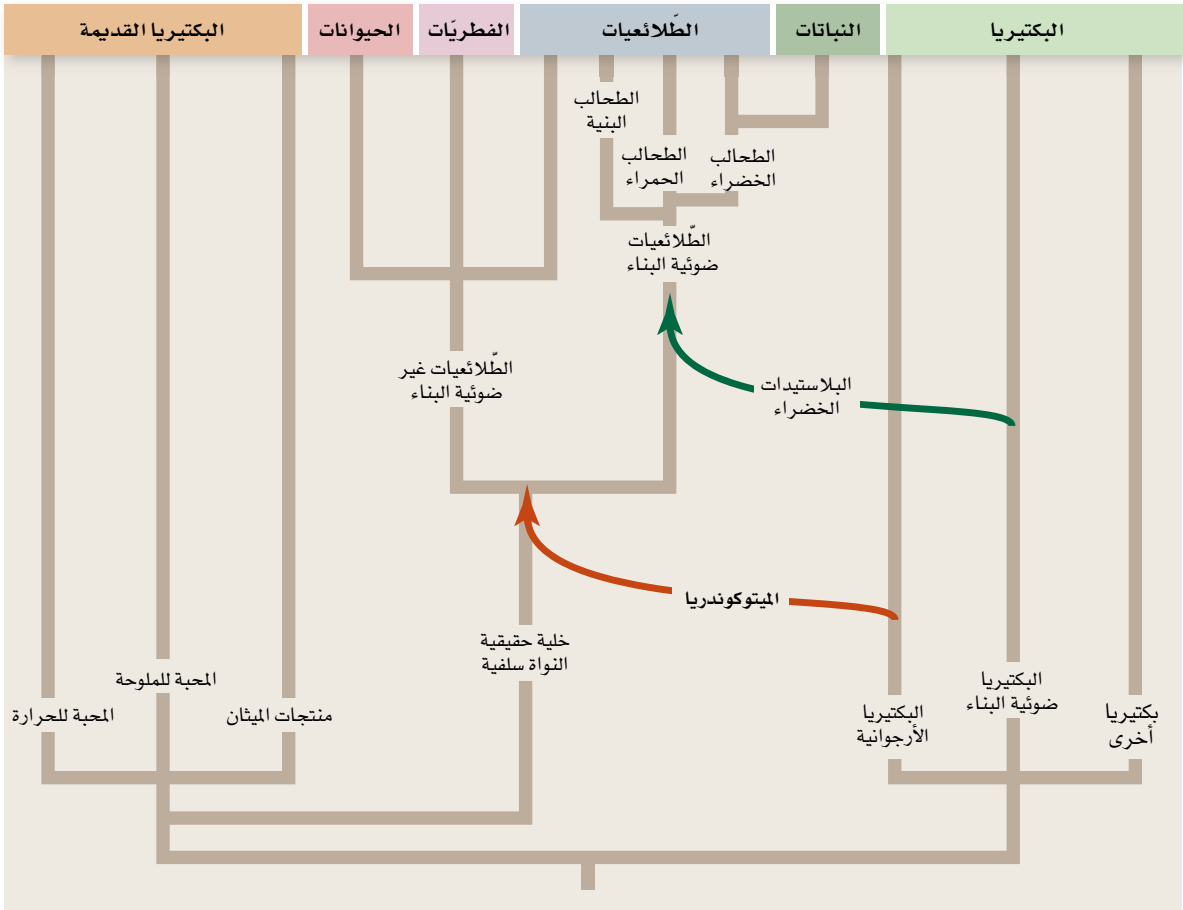
تُعَدُّ الميتوكوندريا متحدرة من البكتيريا الأرجوانية غير الكبريتية التي اندمجت مع حقيقيات النّوى في مرحلة مبكرة، أما البلاستيدات الخضراء، فهي مشتقة من البكتيريا الخضراء المزرقة (الشكل 26–9).

وكما هو ظاهر في الشكلين 26–8 و 26–9، فإنّ الطحالب الحمراء والخضراء اكتسبت البلاستيدات الخضراء عن طريق الابتلاع المباشر للبكتيريا الخضراء المزرقة، أما الطحالب البنية فيرجح أنها قامت بالابتلاع المباشر للطحالب الحمراء للحصول على البلاستيدات.



الشكل 26–8

البلاستيدات الخضراء جميعها أحادية الأصل. قامت أسلاف الطحالب الحمراء والخضراء بابتلاع البكتيريا الخضراء المزرقة. تشترك الطحالب البنية في سَلَف DNA البلاستيدات الخضراء نفسه، وأغلب الظن أنها اكتسبتها بابتلاع الطحالب الحمراء.



الشكل 26–9

الفرضية المتعلقة بالعلاقات التّطوريّة بين مخلوقات الممالك الست. الخطوط الملونة تمثل أحداث التعايش.

الممالك الأربع لحقيقيات النّوى

كانت حقيقياتُ النّوى البدائية وحيدةَ الْخليّة. أما اليوم، فقد جمعت أنواعًا كثيرة من حقيقيات النّوى وحيدات الْخليّة في مملكة واحدة تُسمّى الطّلائعيات (إضافة إلى بعض الحفدة متعددة الْخليّة) على أساس أنه لا يمكن وضعها في ممالك حقيقيات النّوى الثلاث الأخرى. تُعَدُّ الفطريات والنباتات والحيوانات ممالك كبيرة لمخلوقات متعددة الخلايا، يشكل كلّ منها خطًّا تطوريًّا متميزًا، وكلّ واحدة من هذه الممالك انحدرت من سلف وحيد الْخليّة ينتمي إلى مملكة الطّلائعيات.

بسبب الحجم الكبير لهذه الممالك الثلاث، ولسيادتها البيئية، ولأنها متعددة الْخليّة، فإننا نميزها على أنها ممالك مستقلة على الرّغم من أنّ التّنوع في مملكة الطّلائعيات أكبرُ من تنوّع الفطريات والنباتات والحيوانات.

الصّفات الرّئيسة لحقيقيات النّوى

على الرغم من أنّ المخلوقات حقيقية النّوى متنوعة بشكل فائق، فإنها تشترك في صفات أساسية تميزها عن بدائيّات النّوى: التقسيم إلى حجرات داخلية، وتعدد الخلايا في معظمها، والتّكاثر الجنسي.

التقسيم إلى حجرات: إن التقسيم إلى حجرات داخلية يزيد من فرصة ظهور التخصص الوظيفي في داخل الْخليّة، ويمكن رؤية ذلك في الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء. ويُعدّ تطور غشاء النواة وظهوره من الأمور التي ساعدت على بروز التعقيد في حقيقيات النّوى، وهو أمر غير موجود في بدائيّات النّوى. في حقيقات النّوى، إنتاج RNA من DNA الموجود في النواة يُعالَج ويُنقل عبر غشاء النواة إلى السائل البلازمي، حيث تحدث عملية الترجمة. وقد أضاف الفصلُ الطبيعيّ بين عمليتي النسخ والترجمة مستوى للتحكم في عملية التعبير الجيني.

تعدد الخلايا: لقد كانت خطة الجسم للمخلوقات وحيدة الْخليّة ناجحة جدًا، بدليل أنّ بدائيّات النّوى وحقيقيات النّوى وحيدة الْخليّة شكلتا نصف الكتلة الحيوية على سطح الأرض. ولكن الْخليّة الوحيدة لها حدودها. ولقد كان للتطور نحو تعدد الْخليّة دور كبير في جعل المخلوقات أكثر قدرة على التكيف مع الظروف البيئية من خلال عمليات التمايز التي أفرزت أنسجة وأعضاء. إن تعدد الخلايا الحقيقي، الذي فيه اتصال مباشر بين الخلايا، ووجود تنسيق وظيفي بينها، يحدث في حقيقيات النّوى فقط، وهو أحد أهم خصائصها. ومع أنّ البكتيريا وبعض الطّلائعيات تكوّن مستعمرات خلوية، فإنّ هذا التجمع يُظهر القليل من التمايز والتكامل الوظيفي.

هناك طلائعيات أخرى مثل الطحالب الحمراء، والبنية، والخضراء استطاعت أن تحقق التعدد الخلوي بشكل مستقل. إن إحدى السلالات التابعة للطحالب الخضراء متعددة الخلايا كان السلف للنباتات، ويضع معظمُ علماءِ التّصنيف أعضاءها في مملكة **النباتات الخضراء Viridiplantae**.

إن تعدد أصول تعددية الخلايا يمكن رؤيته في الفطريات والحيوانات التي نشأت من طلائعيات وحيدة الْخليّة ذات صفات مختلفة. وكما سترون في الفصول القادمة، فإنّ هذه المجموعات الطلائعية التي ظهرت منها ممالك حقيقيات النّوى ما زالت تعيش إلى زماننا هذا.

التّكاثر الجنسي: هناك صفة رئيسة أخرى تتمتع بها المخلوقات حقيقية النواة، وهي التّكاثر الجنسي. مع أنّ تبادل المادة الوراثية يحصل في البكتيريا، إلا أنه لا يحدث بانتظام، ولا يمكن توقعه بالمعنى نفسه الذي يحدث به في العملية الجنسية في حقيقيات النّوى. يسمح التّكاثر الجنسي بحدوث التّنوع الوراثي بشكل كبير من خلال عمليتي الانقسام؛ والاختزال والعبور. كما درسنا في (الفصل الـ 13).

تحدث عمليات التّكاثر الجنسي أحيانًا في الكثير من قبائل الطّلائعيات. ومن المحتمل أنّ أول خلية حقيقية النواة كانت أحادية الكروموسومات، وربما ظهرت ثنائية الكروموسومات في مناسبات منفصلة، باندماج خليتين أحاديتي الكروموسومات تبعه انقسام متساوٍ.

مميزات الممالك الست ملخصة في الجدول 26-2. لاحظ أن البكتيريا القديمة والبكتيريا جُمعتا في العمود نفسه.

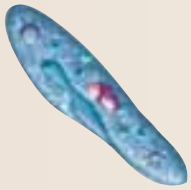
الفيروسات حالة خاصة

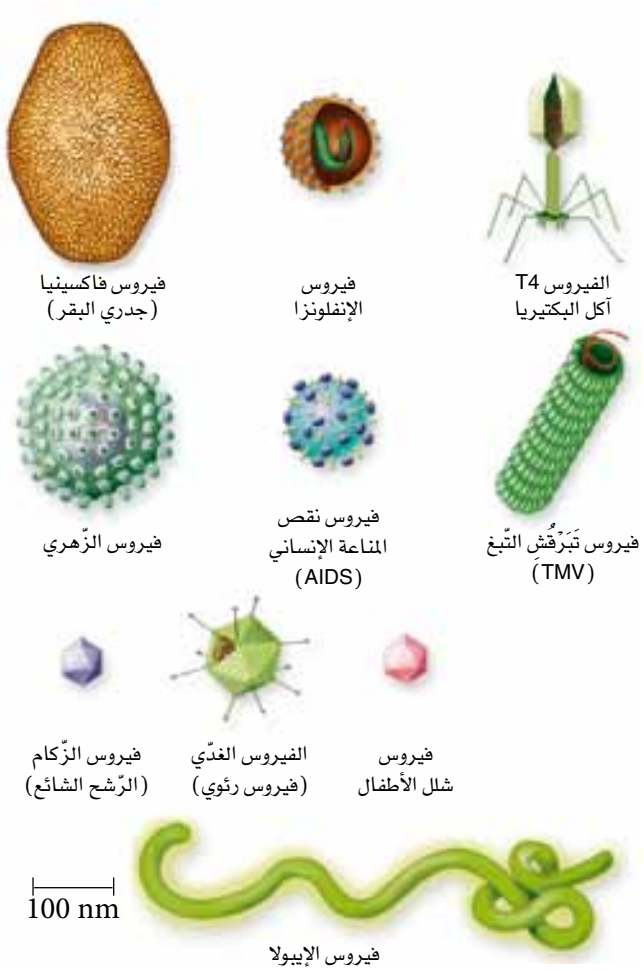
تمتلك الفيروسات بعض الخصائص التي يحملها المخلوق الحي. تُعَدُّ الفيروسات كيميائيات «طفيلية» تتكون من قطعة من DNA أو RNA مغلفة بغلاف بروتيني. لا تستطيع الفيروسات أنْ تتكاثر بمفردها، ولهذا فهي لا تُعدّ حية عند علماء الأحياء، ولكنها تستطيع أنْ تتكاثر داخل خلية العائل، وتسبب له نتائج كارثية.

يُنظر إلى الفيروسات في الوقت الحالي على أنها أجزاء من المادة الوراثية للمخلوقات الْحَيَّة انفصلت عنها، وذلك للشبه الكبير بين المادة الوراثية للفيروسات وبعض جينات حقيقيات النّوى. تشكل الفيروسات مشكلة تصنيفية خاصة؛ لأنّ الفيروسات ليست مخلوقات حية، فلا يمكن وضعها ضمن أيٍّ من الممالك المذكورة آنفًا.

تختلف الفيروسات بين بعضها في الحجم والشكل الخارجي. ويُقَدَّرُ قُطْر أصغرها 17 نانومترًا، أما أكبرها فيقدر قطره بـ 1000 نانومترٍ (10 ميكرومترات) في

الجدول 26-2 صفات الممالك الستة وفوق الممالك الثلاثة

	البكتيريا القديمة والبكتيريا	 الطّلائعيات	النباتات	الفطريات	الحيوانات
نوع الْخليّة	بدائية النواة	حقيقية النواة	حقيقية النواة	حقيقية النواة	حقيقية النواة
غلاف النواة	غائب	موجود	موجود	موجود	موجود
الاستنساخ والترجمة	يحدث في الحجرة نفسها	يحدث في غرف مختلفة	يحدث في غرف مختلفة	يحدث في غرف مختلفة	يحدث في غرف مختلفة
بروتينات الهستون المرتبطة مع DNA	غائب	موجود	موجود	موجود	موجود
الهيكل الخلوي	غائب	موجود	موجود	موجود	موجود
الميتوكوندريا	غائب	موجود (أو غائب)	موجود	موجود	موجود
البلاستيدات الخضراء	لاتوجد (أغشية بناء ضوئي في بعض الأنواع)	موجود (بعض الأشكال)	موجود	غائب	غائب
جدار الْخليّة	غير سيليلوزي (سكريات متعددة وأحماض أمينية)	موجود في بعض الأنواع بأشكال متنوعة	سيليلوز وسكريات متعددة	الكايتين وسكريات متعددة غير سيليلوزية	غائب
طرق إعادة الاتحاد إن وجدت	الاقتران وأشكال التحول	التخصيب والانقسام الاختزالي	التخصيب والانقسام الاختزالي	التخصيب والانقسام الاختزالي	التخصيب والانقسام الاختزالي
طرق التغذية	ذاتية (ضوئية البناء، كيمائية البناء) أو عضوية	ذاتية التغذية عضوية التغذية أو كلاهما	ضوئية البناء كلورفيل أ و ب	الامتصاص	الابتلاع
الحركة	أسواط بكتيرية حركة انسيابية أو غير متحركة	٢+٩ أهداب وأسواط، حركة أميبية، خيوط متقبضة	غير موجود عند الأغلبية، ٢+٩ أهداب وأسواط في جاميتات بعض الأشكال	متحركة وغير متحركة	٢+٩ أهداب وأسواط، لييفات متقبضة
التعدد الخلوي	غائب	غائب عند الأغلبية	موجود لدى الجميع	موجود عند الأغلبية	موجود لدى الجميع
الجهاز العصبي	لا يوجد	آلية بدائية لإيصال المنبهات عند بعضها	آلية بدائية لإيصال المنبهات عند بعضها	غير موجود	موجود (ماعدا الإسفنجيات) غالبًا معقد



الشكل 26–10

تنوع الفيروسات: تبدي الفيروسات تنوعًا شاملًا في الشكل والحجم. بناءً على المقياس الظاهر في الشكل لهذه الفيروسات، فإن شعرة الإنسان يكون سمكها 8 ميكرومترات تقريبًا.

أكبر أحجامها (الشكل 26 – 10). يمكن رؤية أكبر الفيروسات بصعوبة في المجهر الضوئي، ويمكن رؤية أشكالها عن طريق المجهر الإلكتروني.

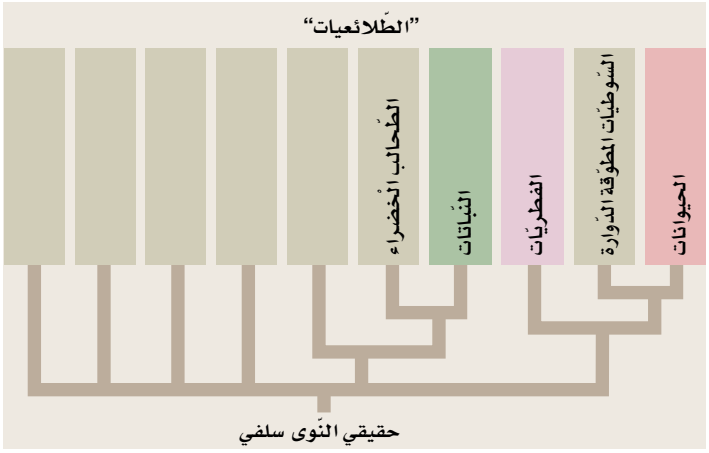
في نهاية القرن التاسع عشر، بدأ العلماء يشتبهون في وجود الفيروسات، حيث كان العلماء الأوروبيون يحاولون عزل العامل المرضي المسبب لمرض «الحافر والفم» الذي يصيب الماشية. وقد استنتج العلماء أنّ سببَ المرض أصغرُ من البكتيريا. أما طبيعة الفيروسات الحقيقية فقد تَمَّ اكتشافها عام 1933، عندما حضَّر عالم الأحياء ويندل ستانلي مستخلصًا من نبات الدخان المحتوي على فيروس تَبَرْقُش التّبغ (TMV) وتنقيته. ولقد استغرب ستانلي عندما ظهر له أنّ المستخلص يترسب بشكل بلوري؛ إذ كان الفيروس يتصرف بوصفه مادة كيميائية وليس بوصفه مخلوقًا حيًّا. وقد استنتج ستانلي أنّ هذا الفيروس مادة كيميائية، وليس مخلوقا حيًّا.

بعد بضع سنوات، قام العلماء بتفكيك فيروس تَبَرْقُشِ التَبغ إلى أجزاء، ووجدوا أن ما وصفه العالِمُ ستانلي كان صحيحًا. لم يكن فيروس تبرقش التبغ خلويًّا بل كيميائيًّا. وكلّ دقيقة من فيروس تبرقش التبغ تتكون من مزيج من مادتين كيميائيتين: RNA والبروتين. ويتألف فيروس تبرقش التبغ من أنبوب من البروتين ولبّ من RNA. إذا تَمَّ تفكيك هذين المكوّنين، ثم جُمِعا مرة أخرى، فإنّ دقائق فيروس تبرقش التبغ المعاد بناؤها قادرة على إصابة نبات التبغ بالمرض بشكل كامل.

لأن تنوع المخلوقات حقيقية النواة كبير، فسوف ندرس الممالك الثلاثة التابعة لفوق مملكة حقيقيات النّوى بصورة مختصرة.

البكتيريا والبكتيريا القديمة مخلوقات وحيدة الْخليّة، وتفتقر إلى التقسيم الحُجَري الداخلي. تنقسم الخلايا حقيقية النّوى من الداخل إلى حجرات صغيرة تمثل العضيات، وقد اكتسبت الخلايا حقيقية النواة الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء عن طريق التعايش الداخلي. يعتمد التمايز المعقد الذي يرتبط مع كثير من أشكال الحياة على التعدد الخلوي والتّكاثر الجنسي. الفيروسات ليست مخلوقات حية لكي تصنّف ضمن الممالك الحياتية، وإنما هي تجمعات لمواد كيميائية تستطيع أنْ تصيب الخلايا الأخرى، وتتضاعف داخلها.

4-26 فهم الطّلائعيات



الشكل 26–11

موقع مملكة الطّلائعيات. أظهر علماءُ التّصنيف التطوري أنّ مجموعة الطّلائعيات ليست أحادية النشأة. لاحظ أن بعض السلالات أقرب إلى النباتات والحيوانات منها للطلائعيات الأخرى.

بعد أن قرأت هذا الفصل والفصل الـ 23، قد يبدو لك أنّ هناك خلافًا بين أنظمة التّصنيف التقليدية وأنظمة التّصنيف المبنية على العلاقات التّطوريّة، مثل التحليل السلالي والتحليل المبني على النشوء (النسب). توضح لنا مملكة الطّلائعيات بشكل جيد جانبًا من هذا الخلاف. وتُعدّ هذه المملكة الأضعف في نظام التّصنيف سداسي الممالك الظاهر في (الشكل 26-7).

تفرعت حقيقيات النّوى بشكل سريع في العالم الذي كان يشهد انتقالًا من الظروف اللاهوائية إلى الظروف الهوائية. ولهذا، فقد لا نتمكن من أن نفهم بشكل جيد العلاقات بين السلالات المختلفة التي نتجت عن هذا الانتقال التطوري. يُظهر التّصنيف الجزيئي وبشكل واضح أن الطّلائعيات مجموعة متوازية النشأة (الشكل 26 - 11). وعلى الرغم من أنّ علماء الأحياء مستمرون في استخدام كلمة طلائعي لتسمية حقيقيات النّوى التي لا تنتمي إلى الفطريات، أو الحيوانات، أو النباتات، فإنه يجدر بنا القول: إن هذا التقسيم غير مبني على العلاقات التّطوريّة.

تظْهَرُ الفروع الستة لمملكة الطّلائعيات في (الشكل 26-11)، وتمثل الفرضية المعمول بها حاليًا، على الرغم من أن هناك 60 طلائعيًّا على الأقل لا يمكن وضعها في أيٍّ من التقسيمات الستة. وتعد السوطيات المطوقة الدوارة أقرب ما تكون إلى

الإسفنجيات، وبالتأكيد، أقرب إلى كل الحيوانات. أما الطحالب الخضراء فيمكن تقسيمها إلى مجموعتين أحاديتي النشأة: إحداهما أعطت نباتات اليابسة. يدعو كثير من المصنفين إلى إنشاء مملكة جديدة تُسمّى مملكة النباتات الخضراء، التي تتضمن الطحالب الخضراء (لا البنية ولا الحمراء) ونباتات اليابسة. ولهذا، فإنّ تعريف النباتات قد تَمَّ توسعته لأبعد من الأنواع التي انتقلت إلى اليابسة.

على الرغم من أن مملكة الطّلائعيات قد بدأت بالتلاشي، فإن فهمنا للعلاقات التّطوريّة بين حقيقيات النّوى المبكرة هذه ينمو بنمط أُسّيّ.

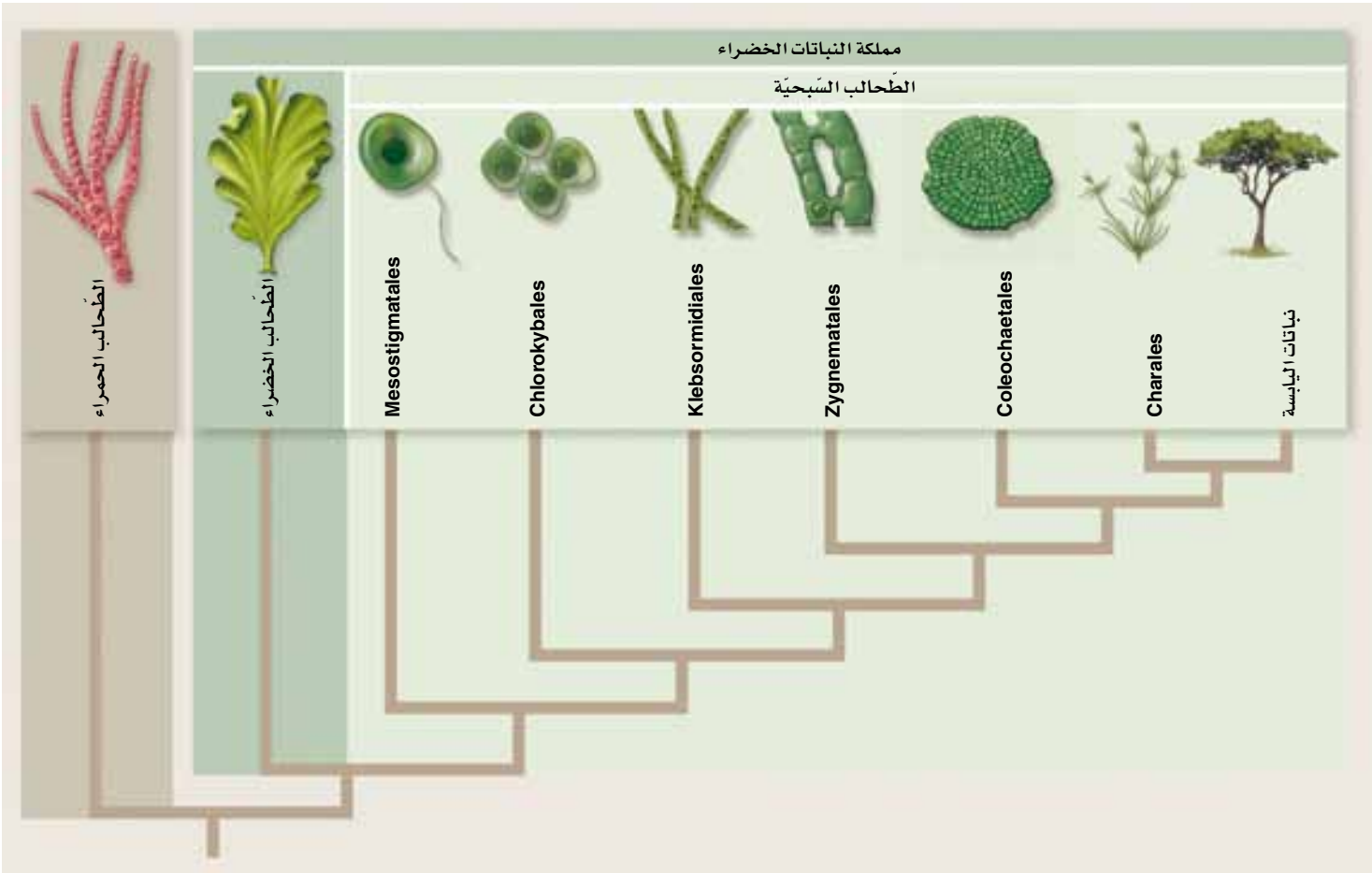
أدى التّصنيف الجزيئي والسلالي إلى فهم جديد للعلاقات بين المخلوقات الْحَيَّة التي صُنِّفَتْ سابقًا بوصفها أعضاء في مملكة الطّلائعيات.

5-26 نشوء النباتات

عُدَّ نشوء نباتات اليابسة من أسلافها الطحالب الخضراء مدة طويلة حدثًا رئيسًا في التّطور. وقد أظهر تحليل النشوء الجزيئي أن نباتات اليابسة قد برزت من أسلاف من الطحالب الخضراء، وإن تطور نباتات اليابسة قد حدث دفعة واحدة، ما يظهر التحديات الهائلة المرتبطة بالانتقال إلى اليابسة.

عرَّفت الوراثة النّشوئيّة الجزيئية الأقارب الحميمة لنباتات اليابسة

لطالما كانت علاقات النشؤ بين الطحالب ونباتات اليابسة البدائية غير واضحة، ولطالما دار نقاش طويل حولها. ولقد زودنا علم الْخليّة، والكيمياء الحيوية، والتّصنيف بنظريات تطورية جديدة.



الشكل 26–12

فرضية جديدة لتطور نباتات اليابسة. اقتُرِح خفض مملكة النباتات (نباتات اليابسة) إلى مستوى سلالة ضمن الطّحالب الْخضراء، فرع الطّحالب السبحية، وفوق مملكة جديدة تُسمّى مملكة النّباتات الخضراء التي تضم الطحالب الخضراء بفرعيها: الخضراء والسّبحيّة. ويعتقد أنّ Charales وهي مجموعة معقدة نسبيًّا، ضمن المجموعة السبحية، سلالةٌ شقيقة لنباتات اليابسة. قارن شجرة النشوء هذه مع نظام الممالك الست في الشكل 26 –7.

تتكون الطحالب الخضراء من مجموعتين أحاديتي النشأة: **الطحالب الخضراء Chlorophyta والطحالب السبحية Streptophyta** (الفصل الـ 29). تُعَدُّ نباتات اليابسة عضوًا في مجموعة الطحالب السبحية أكثر من كونها مملكة منفصلة. وبالرجوع إلى تصنيف لينَيوس التراتبي، فإنّ هذه المعلومات المبنية على النشوء (النسب) قد قللت من تصنيف نباتات اليابسة، فأصبحت فرعًا ضمن مجموعة الطحالب السبحية، وليست مملكة مستقلة. ويرى الكثيرون الآن أنّ الطحالب السبحية مع الفرع الشقيق، الطحالب الخضراء، هما اللتان كونتا مملكة النباتات الخضراء التي تحدثنا عنها سابقًا.

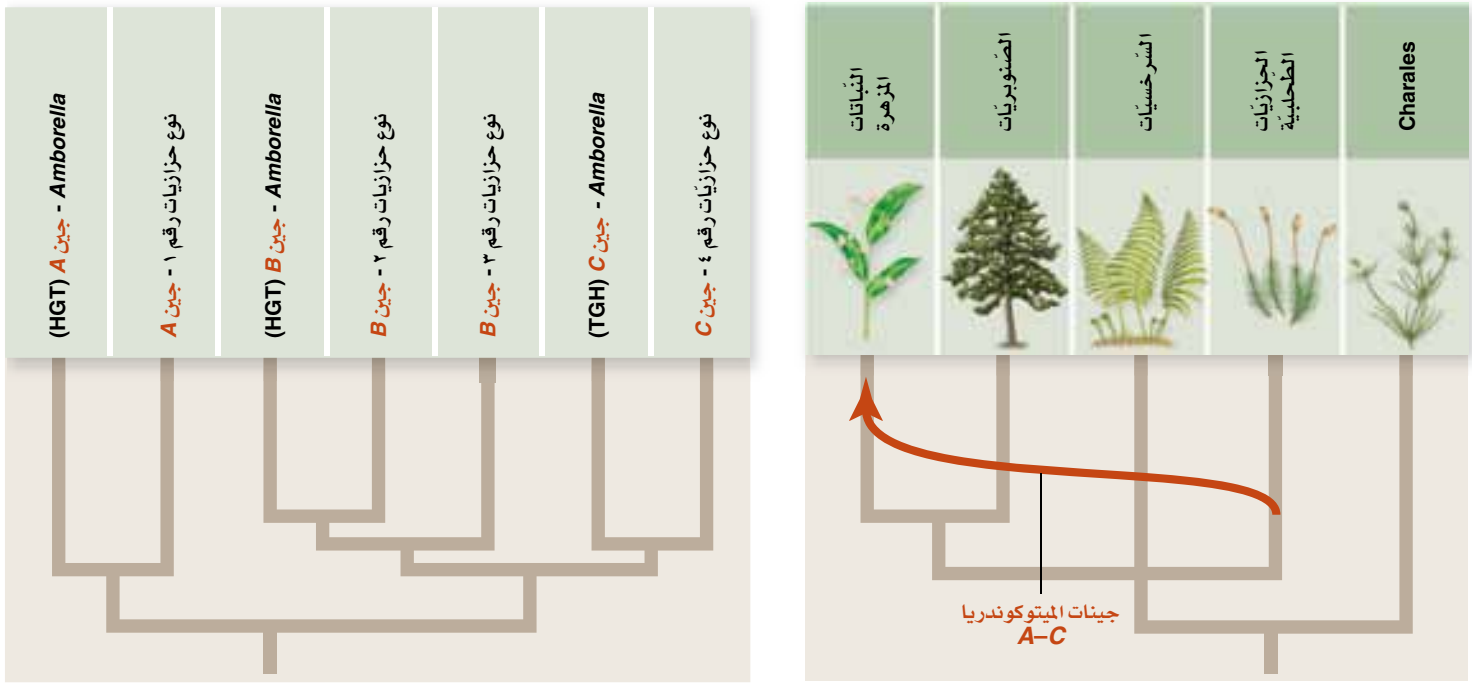
في العقود الماضية نظريات، ظهرت جديدة تتعلق بالعلاقات ضمن مجموعة الطحالب السبحية، إذ يُظهر الشكل 26-12 أنّ هناك سبع سلالات. ما كان أول الطحالب السبحية؟ أجوبة متناقضة تَمَّ الحصول عليها، وذلك لاختلاف طرق التحليل النشوئي، ولكن هناك أدلة متنامية تعزز الفرضية القائلة: إن المخلوقات السّوطيّة الحرشفيّة، وحيدة الْخليّة (رتبة Mesostegmatales) تمثل مصدر الفرع الأول من الطحالب السبحية.

أيّ سلالات الطحالب السبحية تضم أقرب المخلوقات المعاصرة لنباتات اليابسة؟ المتنافستان هما Charales التي تضم 300 نوع، و Choleochaetales التي تضم 30 نوعًا. كلتا السلالتين طحالب مائية عذبة، ولكن Charales ضخمة الحجم بالمقارنة مع Choleochaetales الدقيقة. يظهر حاليًا أنّ Charales هي الفرع الشقيق لنباتات اليابسة، في حين أن Choleochaetales هي ثاني أقرب فرع لنباتات اليابسة. وتشير الأحافير التي يعود عمرها إلى 420 مليون سنة خلت إلى أنّ السلف المشترك لنباتات اليابسة هو طحلب معقد نسبيًّا كان يعيش في المياه العذبة.

حَدَثَ انتقال أفقي للجينات في نباتات اليابسة

إن الشجيرة *Amborella trichopoda* هي أقرب الأنساب الْحَيَّة للنباتات الزّهريّة البدائية (مغطاة البذور). وتُعَدُّ سلالتُها السلالةَ الشقيقةَ للنباتات الزّهريّة جميعها، ومع ذلك، فإنّ نسخة واحدة من 20 جينًا من أصل 31 جينًا لبروتينات الميتوكوندريا المعروفة انتقلت إلى جينوم الميتوكوندريا من نباتات يابسة أخرى عبر الانتقال الأفقي للجينات (HGT). إضافة إلى ذلك، شاركت ثلاثة أنواع من الحزازيّات في هذا الخليط (الشكل 26 – 13).

ليست *Amborella* نموذجًا لمعظم النباتات الزّهريّة المعاصرة. فهي الوحيدة بين جنسها التي ما زالت موجودة، وموطنها هو الغابات المدارية الماطرة في كالدونيا الجديدة، وهي مجموعة جزر شرق أستراليا انعزلت منذ 70 مليون سنة تقريبًا، وتحتوي على الكثير من الأنواع المستوطنة القديمة. هنا، أحد أنواع النباتات المتطفلة *Epiphytes* (التي تتغذى بالتطفل على نباتات أخرى) شائع الوجود. قد يكون التلامس القريب مع النباتات المتطفلة إحدى وسائل انتقال الجينات الأفقي (الشكل 26 – 14).



الشكل 26–13

اكتسبت النبتة المزهرة *Amborella* ثلاثة جينات من الحزازيّات الطّحلبيّة عن طريق انتقال الجينات الأفقي (*TGH*).

أ . العلاقة النّشوئيّة بين *Amborella* ونباتات اليابسة الأخرى. كما يبين السهم الذي يصل بين الحزازيّات الطّحلبيّة والنباتات الزّهريّة، فإنّ انتقال الجينات الأفقي هو الطريقة المقبولة لتفسير وجود جينات الميتوكوندريا الحزازية في *Amborella*.

ب. العلاقة النّشوئيّة بين الجينات المنتقلة أفقيًّا.

استقصاء

اشرح لماذا قد تنتج شجرة نشوء تعتمد على مقارنة جين واحد فرضية تطورية غير دقيقة؟

الشكل 26–14

الاتصال القريب بين الأنواع يمكن أن يؤدي إلى انتقال الجينات الأفقي. تنمو الحزازيّات الطّحلبيّة على الجزء العلوي لورقة *Amborella* مع وجود الأشنات مبعثرة على باقي الورقة.

ويبقى السؤال المطروح هو ما إذا كان للجينات الغريبة في *Amborella* وظائف. نصف هذه الجينات سليمة، وبالإمكان استنساخها وترجمتها إلى بروتينات. وستكون البروتينات شبيهة بالبروتينات الموجودة في النباتات الموجودة الآن، لكن وظيفتها، إن وجدت، فتبقى برسم التحديد.

استقصاء

كيف يمكن تحديد ما إذا كانت جينات الحزازيّات التي انتقلت إلى Amborella تقوم بوظيفة؟ (تنويه: راجع فصل الـ 25).

غيرت دراسة النشوء (النسب) الجزيئية تصنيف النباتات والطحالب. يجب أنْ يُؤخذ في الحسبان الدليلُ على انتقال الجينات الأفقي عند استخدام تعاقبات الجينات في بناء شجرة السلالات العرقية.

6-26 تصنيف الحيوانات

يقود التّصنيف الجزيئي إلى إعادة النظر في فهمنا للتاريخ التطوري للممالك جميعها، ومن ضمنها الحيوانات. هناك بعض أشجار لنشوء قيد التغيير، وبعضها الآخر، الخاص بتاريخ النشوء للثدييات يكتب أول مرة. سوف ندرس في هذا الجزء ثلاثة أمثلة، هي: العلاقة بين الحلقيات والمفصليات، والعلاقة بين المفصليات نفسها، واكتشاف علاقات النشوء (النسب) بين الثّدييّات.

نشأة التقسيم محيرة

تُعَدُّ قبيلة المفصليات من أكبر المجموعات اللافقرية، وتضم الحشرات والْقشريّات؛ وتضم قبيلة الحلقيات، وهي مجموعة أخرى من اللافقريات، الديدان المقسمة مثل دودة الأرض. استخدمت في السابق صفات الشكل الخارجية، كالتقسيم، وسيلة لضم مجموعتي المفصليات والحلقيات، بحيث تكونان قريبتين من بعضهما، ولكن الفروق في تعاقب rRNA، أبرزت أسئلة جديدة بخصوص تلك العلاقة. لقد أظهرت هذه النتائج أنّ المفصليات والحلقيات أبعد ما تكون عما كان يُعْتَقَدُ سابقًا.

الحدوث التطوري للتقسيم

يمكن وضع فروق بين حيوانات حقيقيات النّوى بناءً على وقت حدوث التّكوين الجيني لفتحتي الفم والشرج. فالحلقيات والمفصليات تنتمي لمجموعة **أوليات الفم Protostome**، وفيها يتشكل الفم قبل الشرج. تقع الحبليات، ومن ضمنها الإنسان، في مجموعة تاليات (ثانوية) **الفم Deuterostome** وفيها تتشكل فتحة الشرج أولًا. (وسوف ندرس هذه الأقسام بالتفصيل في الفصل الـ 32).

بعد إضافة المعلومات المتعلقة بالصِّفات الجزيئية، ضُمت مجموعتا الحلقيات والمفصليات إلى فرعين متميزين من أوليات الفم (الشكل 26 – 15) وهما الحيوانات **عجلية الخطم Lophotrochozoans** و**الحيوانات الانسلاخية Ecdysozoans**. تطور هذان الفرعان بشكل مستقل منذ العصور القديمة. تضم الحيوانات عجلية الخطم الديدان المفلطحة والرّخويات، والحلقيات. ونجحت طائفتان من الحيوانات الانسلاخية هما الديدان الأسطوانية (الديدان الخيطية، والمفصليات).

وفي الأصل النشوئي لأوليات الفم، لا تشكل الحلقيات والمفصليات مجموعات أحادية النشأة كما كان يُعتقد سابقًا، ويشير ذلك ضمنيًّا إلى أنّ التقسيم الجسمي ظهر تطوريًّا مرتين في أوليات الفم وليس مرة واحدة كما كان يُعتقد سابقًا. وقد ظهر التقسيم بعد ذلك بشكل مستقل في تاليات الفم، وبالتحديد في الحبليات.

التفاصيل الجزيئية للتقسيم

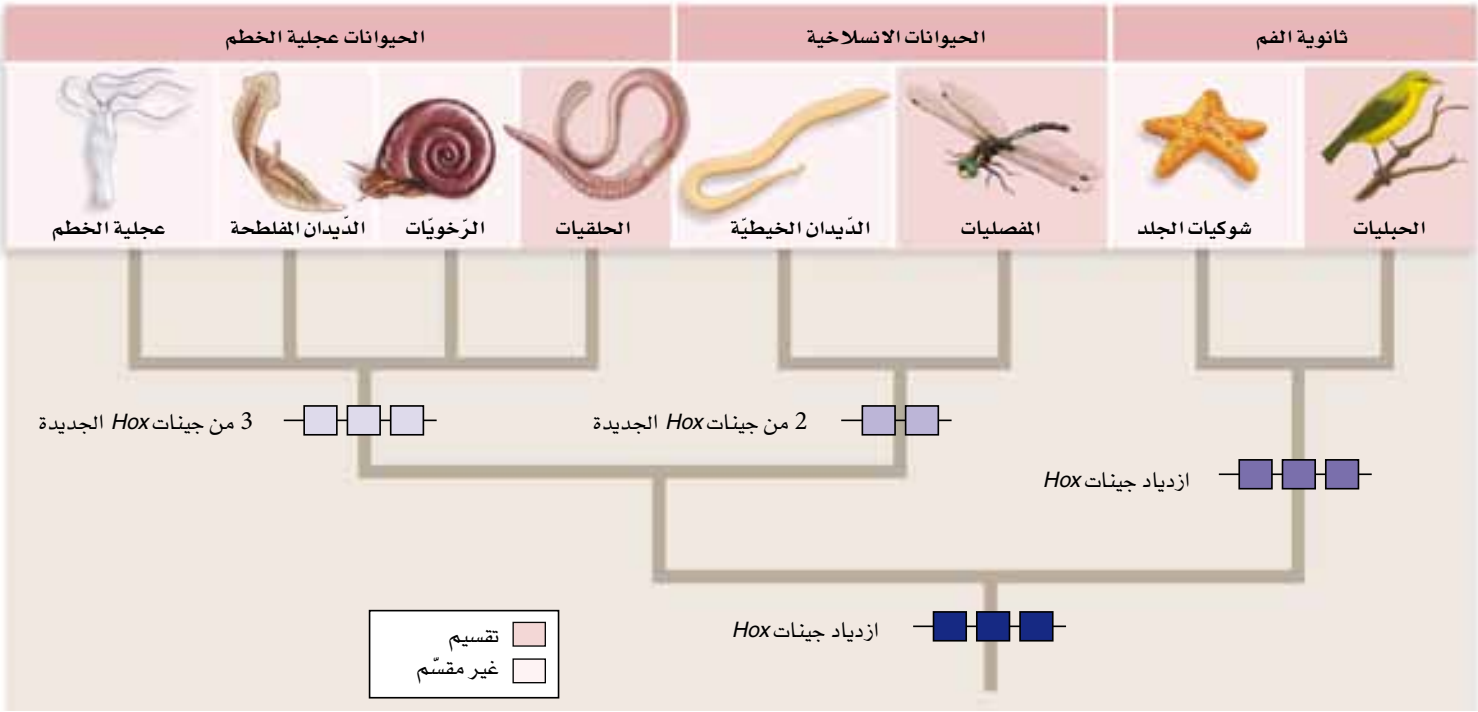
إن التفسير الأرجح للظهور المستقل للتقسيم هو انتقاءٌ لأفراد من العائلة نفسها من الجينات ثلاث مرات. تتم عملية التقسيم بتنظيم من جينات *Hox* التي تحتوي على المنطقة المتجانسة (انظر الفصل الـ 29). إن سلف جين *Hox* كان مفترسًا للحيوانات عجلية الخطم والحيوانات الانسلاخية، ويرجح أنّ السّلف القديم لحيوانات عجلية الخطم الحيوانات الانسلاخية وتاليات الفم كان محتويًا على جينات *Hox*. ويبدو أن بعضًا من هذه الجينات طَوَّر دورًا في عملية التقسيم (الشكل 26-15).

الحشرات والْقشريّات مجموعتان شقيقتان

تُعَدُّ المفصليات من أكثر القبائل الحيوانية تنوعًا، فلها أنواع بعدد يفوق العدد الموجود في قبائل الحيوانات جميعها مجتمعة. ضمن المفصليات، فُصلت الحشرات تقليديًّا عن الْقشريّات (مثل الجمبري، والسلطعون، وجراد البحر) وضُمّت إلى مخلبية الأقدام (ذوات المئة قدم وذوات الألف قدم).

تعود شجرة النشوء (النسب) هذه المستخدمة بشكل واسع، إلى العالِم روبرت سوند جراس في الثّلاثينيّات من القرن الماضي. وقد أشار إلى أن الحشرات وذوات المئة قدم وذوات الألف قدم تَجمع فيما بينها صفة مهمة، وهي أن زوائدها **فردية الشعب Uniramous**. في حين زوائد الْقشريّات **ثنائية الشعب Biramous** (الشكل 26 – 16)، على الرغم من أنّ بعض هذه الأطراف قد أصبحت أحادية الشعب خلال عملية التّطوّر.

لقد افترض علماء التّصنيف بشكل تقليدي أنّ صفة تشعب الأطراف يمكن الاعتماد عليها بوصفها صفة أساسية في تصنيفات مميزة؛ لأنه تمت المحافظة عليها خلال عملية التّطوّر. ولكن طرق التحليل الجزيئي جعلت من هذا الافتراض مشكوكًا فيه.



الشكل 26–15

تعدد نشوء التقسيم. تُظهر أشجار النشوء الجديدة التي تعتمد على RNA الرايبوسومي أن التقسيم في المفصليات والحلقيات نشأ بشكل مستقل، ويظهر في كليهما أن عملية التقسيم منظمة من قبل بعض جينات *HOX*.

الشكل 26–16

الأطراف المتفرّعة والفرديّة. بدأ تطوُّر الأطراف ثنائية التفرع عند الْقشريّات (القريدس) والأطراف غير المتفرعة عند الحشرات عن طريق جينات *Distal-less* مع أن تركيب الشكل الخارجي للبالغ مختلف فيما بينها.

جينات هوكس (*Hox*) والزوائد

تَمَّ تنسيق نمط الزوائد الموجودة بين المفصليات عن طريق جينات *Hox*. أحد جينات *Hox* وهو *Distal-less* ظهر أنه المسؤول عن استهلال تشكيل الأطراف عديمة التفرع في الحشرات ومزدوجة الشعب في الْقشريّات. ويوجد الجين *Distal-less* نفسه في كثير من قبائل الحيوانات، ومن ضمنها الفقريات.

ويظهر أنّ جين *Distal-less* ضروري لعملية تشكل الأطراف، فهو يُشَغِّل كثيرًا من الجينات التي تعمل بشكل مباشر في هذه العملية. ولهذا، فإنّ التغيرات التّطوريّة في الجينات التي يعمل *Distal-less* عليها ساهمت في الاختلافات بين أشكال الأطراف.

تَغَيُّر في العلاقة التّصنيفيّة؟

في السنوات الأخيرة، أسهم تراكم كمية كبيرة من البيانات المتعلقة بالأشكال وبالنتائج الجزيئية في جعل علماء التّصنيف يقترحون تاريخ نشوء جديد للمفصليات. ولعل أكثر من أحدث ثورة في هذا المجال ما قام به العالِمُ ريتشارد بروسكا من جامعة كولومبيا، عندما عَدَّ الْقشريّات مجموعة قاعدية للمفصليات، وأنّ الحشرات مجموعة شقيقة لها. تشير بيانات النشوء الجزيئية إلى أنّ الحشرات مجموعةٌ شقيقةٌ للقشريات، وليس لمخلبية الأقدام. وبناء على هذا، فإنّ هذه العلاقة تشير إلى أنّ الحشرات «قشرياتٌ طائرة».

تولد هذه الاستنتاجات وبشكل مؤكد نقاشات ساخنة إذا عرفنا أنها تتضارب مع دلالات النشوء التي تستند إلى الشكل الخارجي، والتي بنيت على مدى 150 عامًا.

ظهور شجرة عائلة الثّدييّات

بناء على المثال السابق عن المفصليات، فإنّ تفسيرنا لتاريخ التّطور تَمَّ إعادة كتابته. أما الثّدييّات، فإنّ جزءًا من تاريخها النشوئي المعتمد على المعلومات الجزيئية قد بدأ في الظهور.

المجموعات الأربع للثدييات المشيمية

تُعَدُّ طائفة الثّدييّات مميزة بين طوائف الفقريات؛ لأنّ لها أثداء تغذي عن طريقها صغارها.

إن أغلبية الثّدييّات – 90% هي **ثدييات حقيقية Eutherians** أو **مشيمية Placental** (الفصل الـ 35). وعلى أقل التقديرات، فإنّ هناك 18 رتبة ما زالت تعيش إلى وقتنا هذا، وهي مقسمة إلى أربع مجموعات.

إنَّ أولَ انشقاق رئيس حدث بين السلالة الإفريقية وباقي الثّدييّات المشيمية كان عندما انفصلت إفريقيا عن أمريكا الجنوبية، 100 مليون سنة خلت. الفيلةُ وآكلاتُ النّمل جزءٌ من السلالة الإفريقية، وتُسمّى وحوش إفريقيا، وهي سلالة لم يكن معترفًا بها قبل عقد من الزمن.

بعد ذلك بقليل، ظهرت في أمريكا الجنوبية آكلات النّمل، والحيوان المدرّع. ثم تبعهما ظهور فرعين-أحدهما يضم ذوات الحوافر التي لها عدد زوجي من أصابع القدم (الجمل واللاما، وغيرها من زوجيات الأصابع)، والآخر له عدد فردي من الأصابع، كالحصان. ووحيد القرن إضافة إلى آكلات اللحوم، والرئيسيات الأخرى مثل القرود والقوارض. إن فرز العلاقات وترتيبها بين هذه الفروع مازال يُعَدُّ تحديًا صعبًا.

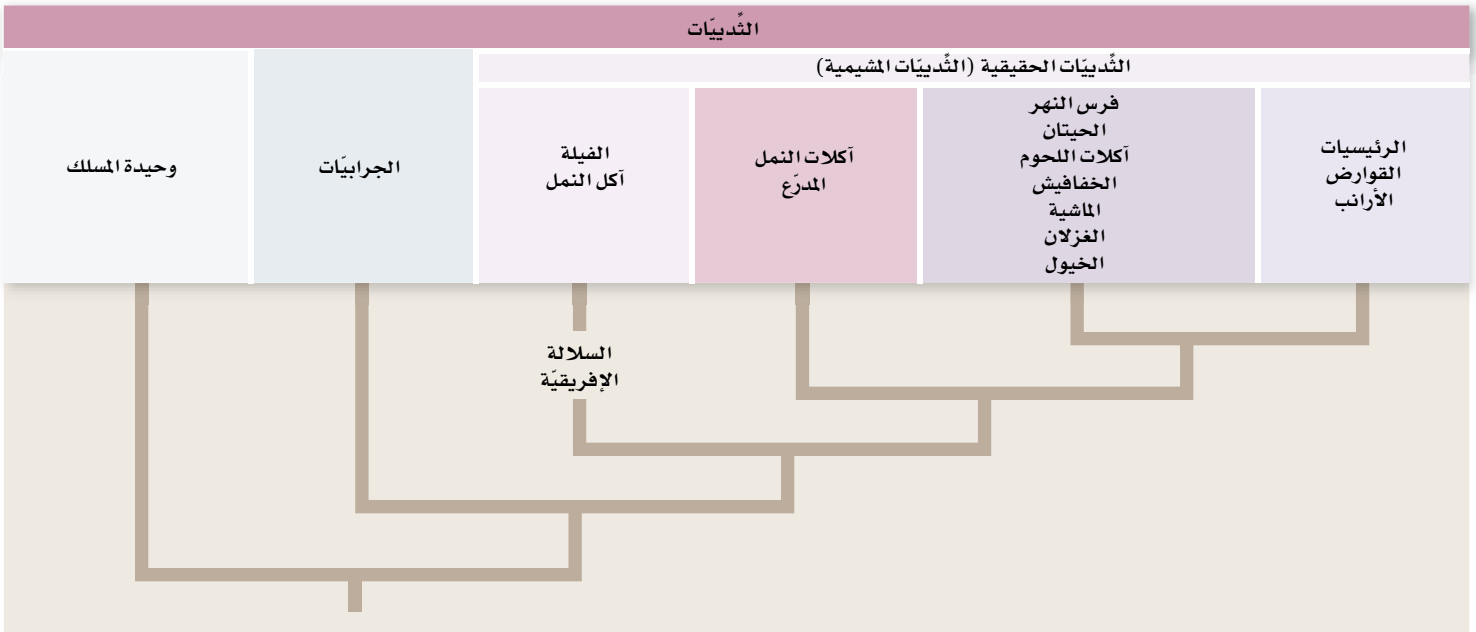
الحيتان وفرس النهر

نشأة الحيتان وعلاقاتها مثال جيّد يمكن الاعتماد عليه. فلقد كانت الحيتان تُعَدُّ أحد أقرباء الحيوانات المفترسة آكلة اللحوم، بناء على تركيب الشكل الخارجي الذي أخذ من الأحافير، ومن الحيوانات المعاصرة، وبشكل أساسي شكلَ عظام الجمجمة والأسنانَ.

أما تحليل تحديد تعاقب DNA فقد أظهر، مع ذلك، أنّ الحيتان لها علاقة قريبة مع فرس النهر ما يوحي بأنها قد اشتقت من مجموعة مزدوجة الحافر. فالحيتان وفرس النهر أقرب إلى بعضهما من فرس النهر والأبقار مثلًا. وبوجود هذه المعلومات عن تاريخ النشوء (النسب) فإنّ هناك احتمالًا أنّ التكيفات للبيئة المائية في كلا النوعين لها أصل مشترك. ويؤكد اكتشاف متحجرات حيتان لها أقدم خلفية أنّ الحيتان نشأت من مزدوجة الحافر. قبل هذا الاكتشاف لم تكن هناك معلومات عن متحجرات حيتان لها أطراف خلفية، ولهذا، فإنّ الصفة الرّئيسة التي توحد الحيتان مع مزدوجة الحافر، وهي شكل عظم الكاحل، لم تكن معروفة. وبناء على ما تقدم، فإنّ المعلومات الجزيئية زودتنا بفهم عميق لنشأة الحيتان. وقد تأكد ذلك من خلال الأحافير.

يعطي فهم العلاقات التّطوريّة بين المخلوقات الْحَيَّة علماء الأحياء أكثر من مجرد إحساس ترتيبي ومنطقي لتسمية المخلوقات الْحَيَّة. فالتّصنيف المبني على النشوء يسمح للعلماء بأن يسألوا أسئلة مهمة عن الفسيولوجيا، والسلوك، والتّكوين الْجنينيّ، باستخدام المعلومات المتعلقة بالأنواع ذات القرابة. لا تثري هذه المعلومات فهمنا عن تطور التعقيدات الحيوية فحسب، ولكنها تزودنا بفهم جديد يؤدي إلى تَقَدُّم في فهمنا لتاريخ نشوء الصِّفات والوظائف المهمة كذلك.

يزودنا منحى التّصنيف الجزيئيّ والسّلاليّ بمعلومات عن العلاقات التّطوريّة بين الحيوانات، بما في ذلك أعضاء طائفتنا؛ أي الثّدييّات.



الشكل 26-17

المجموعات الرّئيسة للثدييات

مراجعة المفاهيم

26–1 نشأة الحياة

تعتقد الأغلبية أنّ الحياة نشأت تلقائيًّا من تجمعات مائية غنية بالجزيئات.

- تشترك المخلوقات الْحَيَّة بصفات عامة، هي: الخلايا، والاستجابة، والنّموّ، والتشكل، والتّكاثر، والتّنظيم، والاتزان، والوراثة.
- تقترح فرضية تعدد بذور الحياة أنّ المركبات الْعضويّة المعقدة قد جاءت من مصادر خارج الكرة الأرضيّة، وابتدأ تطور الحياة على الأرض.
- يتفق الكثير من العلماء على أن الغلاف الجوي الأول كان مختزِلًا، واحتوى على ذرات أساسية لخلق الحياة.
- تجربة ميلر- يوري عرَّضت غلافًا جويًّا شبيهًا بالغلاف الجوي الاختزالي الأول إلى حرارة وبرق مستحدث، ونجم عنه جزيئات عضوية أساسية (الشكل 26 - 3).
- بدأت الحياة عندما تجمعت الجزيئات الْعضويّة بشكل متناسق داخل حدود غشاء الْخليّة، وبدأت التّكاثر.

26–2 تصنيف المخلوقات الْحَيَّة

صَنَّفَ الإنسان منذ زمن مبكر المخلوقات الْحَيَّة من أجل فهمها بشكل أفضل، ودراستها، واستخدامها.

- التّصنيف علمٌ يُعنى بوضع المخلوقات الْحَيَّة في مستوى تصنيفي معين يُسمّى مُصَنَّف.
- اقترح لينَيوس نظام التسمية الثنائية لتسمية الأنواع.
- التسمية الثنائية تبدأ باسم الجنس، ويُكتب أول حرف فيه كبيرًا، في حين الاسم الثاني هو اسم النوع، ويكتب كلاهما بالخط المائل.
- التصنيفات التراتبية مبنية على الصِّفات المشتركة.
- يبدأ التّصنيف التراتبي بأكثر الصِّفات المشتركة، وينتهي بالأقل: تحت المملكة، والمملكة، والقبيلة، والطائفة، والرتبة، والعائلة، والجنس، والنوع (الشكل 26–6).
- التصنيفات التقليدية محدودة؛ لأنها مبنية على الصِّفات المتشابهة، ولا تأخذ في الحسبان العلاقات التّطوريّة.

26–3 تصنيف المخلوقات الْحَيَّة في مجموعات

بدأت عملية وضع المخلوقات الْحَيَّة في مجموعات في التغير بناء على تقنيات جديدة، منها التقنية الجزيئية.

- إن الممالك الست المقترحة من قِبَلِ العالِم ووس ليست بالضرورة أحادية النشأة، ولكن فوق الممالك الثلاث قد تكون أحادية النشأة (الشكل 26–7 و 26–9).
- تحتوي أربع من الممالك الست على حقيقيات نوى، وهي موجودة في فوق مملكة واحدة. في حين تحتوي كلّ من فوق المملكتين الأخريين على بدائيّات النّوى.
- البكتيريا هي الأكثر انتشارًا وتنوعًا بين المخلوقات الْحَيَّة على الكرة الأرضيّة، ويمكن أنْ تكون مفيدة أو ممرضة.
- البكتيريا القديمة هي بدائيّات نوى قريبة من حقيقيات النّوى، وهي في الأغلب متطرِّفة.
- من صفات البكتيريا القديمة: عدم وجود الببتيدوجلايكان في جدار الْخليّة، RNA رايبوسومي مميز، وتختلف دهنيات غشاء الْخليّة عما هو موجود عند المخلوقات الْحَيَّة الأخرى.
- تحتوي خلايا حقيقيات النّوى على حجرات عدة، ولكن بدائيّات النّوى ليست كذلك. وقد اكتسبت حقيقيات النّوى الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء عن طريق التعايش الداخلي (الشكل 26–8).
- قد تكون حقيقيات النّوى متعددة الخلايا، ومعظمها يتكاثر جنسيًّا.
- الفيروسات تجمعات كيميائية، ولا تستطيع التّكاثر بمفردها (شكل26–10).

26–4 فهم الطّلائعيات

قادت أنظمة التّصنيف الجزيئية والسّلالية إلى فهم جديد للعلاقات بين المخلوقات الْحَيَّة التي كانت تصنف سابقًا على أنها طلائعيات (الشكل 26 - 11).

- أظهرت أنظمة التّصنيف الجزيئية أنّ الطّلائعيات مجموعةٌ متوازية النشأة.
- تنقسم الطّلائعيات إلى ست مجموعات، ولكن هناك 60 حيوانًا طلائعيًّا لا يمكن وضعه في أيٍّ من هذه المجموعات.
- تَمَّ اقتراح وضع مملكة تُسمّى مملكة النباتات الخضراء لتضم الطحالب الخضراء، وكلّ نباتات اليابسة.

26–5 نشوء النباتات

نشأت نباتات اليابسة من أسلاف من الطحالب الخضراء (الشكل 26–12).

- تتكون الطحالب الخضراء من مجموعتين: الطحالب الخضراء والطحالب السبحية. ولقد نشأت نباتات اليابسة من المجموعة الأخيرة.
- بعض نباتات اليابسة تحمل دليلًا على حدوث الانتقال الأفقي للجينات (الشكل26–13).

26–6 تصنيف الحيوانات

أدت أنظمة التّصنيف الجزيئية إلى إعادة النظر في العلاقات التّطوريّة بين الحيوانات.

- أظهر تاريخ النشوء المبني على RNA الرايبوسومي أنّ التقسيم الجسمي ظهر في المفصليات، والحلقيات، والحبليات بشكل مستقل في ثلاثة أوقات على الأقل خلال التّطور (الشكل 26–15).
- يُنَظَّمُ التّقسيمُ الْجسميّ في الحيوانات عن طريق عائلة جينات *Hox*.
- بناء على المعلومات الجزيئية، تستمر شجرة النشوء (النسب) للثدييات في الظهور. فالحيتان أكثر قربًا لفرس النهر منها للأسلاف المفترضة لآكلات اللحوم.

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أوضحت تجربة ميلر-يوري أنّ:
   أ. الحياة نشأت على الأرض.
   ب. الجزيئات العضويّة ربما نشأت من الغلاف الجوي البدائي.
   جـ. المادة الوراثية البدائية على الكوكب هي DNA.
   د. الغلاف الجوي البدائي احتوى على كميات كبيرة من الأكسجين.
2. واحدة من خصائص الحياة الآتية سوف تكون مختلفة تمامًا لو أن المخلوق الحي تطور على سطح كوكب بعيد عن الشمس:
   أ. الاتّزان. ب. التّكاثر.
   جـ. النّموّ. د. الإحساس.
3. الأمر الذي يُمثِّل قصورًا في نظام لينَيوس التصنيفي هو:
   أ. درجة التّنوع الحيويّ قد تختلف بشكل كبير بين عائلتين مختلفتين تطوريًّا.
   ب. بعض المجاميع المصنفة ليست أحادية النشأة.
   جـ. المراتب المستخدمة في نظام لينَيوس ليست متساوية تطوريًّا.
   د. كلّ ما ذُكِر.
4. واحدٌ مما يأتي لا ينتمي لفوق مملكة حقيقيات النّوى:
   أ. النباتات التي تقوم بالبناء الضّوئيّ.
   ب. الفطريّات متعددة الخلايا.
   جـ. البكتيريا القديمة الحراريّة.
   د. الحيوانات متعددة الخلايا.
5. واحدة من الممالك الآتية أظهرت تحديًا كبيرًا لقبول نظام الممالك السّتّ:
   أ. النباتات. ب. الحيوانات.
   جـ. الطّلائعيات. د. البكتيريا القديمة.
6. واحدة من العبارات الآتية غير صحيحة:
   أ. الطحالب البنية والحمراء ليستا قريبتين من حيث النشوء (النسب).
   ب. البلاستيدات الخضراء في الطحالب البنية والحمراء أحادية النشأة.
   جـ. اكتسبت الطحالب البنية البلاستيدات الخضراء بابتلاعها للطحالب الخضراء.
   د. لا شيء مما ذكر.
7. الحدث الذي وقع أولًا خلال تطور حقيقيات النّوى هو:
   أ. التعايش الداخلي وتطور الميتوكوندريا.
   ب. التعايش الداخلي وتطور البلاستيدات الخضراء.
   جـ. التقسيم الغُرَفي داخل الخليّة وتكوُّن النواة.
   د. تكوُّن المخلوقات متعددة الخلايا.
8. يضم علماء الأحياء الفيروسات إلى مملكة:
   أ. البكتيريا القديمة. ب. الفطريات.
   جـ. البكتيريا. د. لا شيء مما ذكر.
9. إذا كنت باحثًا، واكتشفت نوعًا جديدًا له الصِّفات الآتية: حقيقي النواة، متحرك، له جدار خلية يحتوي على الكايتين، ولكن يفتقر إلى الجهاز العصبي. فإنك ستضعه في مملكة:
   أ. الطّلائعيات. ب. الحيوانات.
   جـ. الفطريات. د. النباتات.
10. يتم وضع مملكة النباتات في مملكة جديدة تُسمّى مملكة النباتات الخضراء بناء على دليل أخذ من:
    أ. بيانات النشوء الجزيئية. ب. الأحافير المكتشفة حديثًا.
    جـ. الاختلافات الكيميائية الحيوية. د. جميع ما ذكر.
11. الحالة التي يكون البحث فيها ذا إمكانيات كبيرة لتعميق فهمنا لتطور نباتات اليابسة هي:
    أ. صبغات البناء الضوئي.
    ب. التعايش الداخلي للبلاستيدات الخضراء.
    جـ. الانتقال الأفقي للجينات.
    د. التغير في تركيب جدار الخليّة.
12. تتحكم جينات Hox في الحيوانات في عملية:
    أ. تعدد الخلايا. ب. التّكاثر الجنسي.
    جـ. التقسيم الغرفي للخلية. د. التقسيم الجسمي.
13. بناء على RNA الرايبوسومي، أقرب مجموعة للمفصليات هي:
    أ. شوكيات الجلد. ب. الديدان الخيطية.
    جـ. الرخويات. د. الحلقيات.
14. الدراسة المتعلقة بجين *Distal-less* ودحضت الدليل المتعلق بالشكل الخارجي التركيبي لتطور المفصليات هي:
    أ. تصنيف أوليات الفم وتاليات الفم.
    ب. التّطور التركيبي والشكل الخارجي للأطراف.
    جـ. التحول.
    د. تشكل العيون.
15. الصّفة التي تَمَّ الاعتماد عليها في إعادة تصنيف الحيتان ضمن مجموعة الثّدييّات الحقيقية هي:
    أ. المعلومات عن الشكل الخارجي المأخوذة من الأحافير.
    ب. المعلومات عن الشكل الخارجي لفرس النهر.
    جـ. الدليل من الشكل الخارجي لآكلات اللحوم.
    د. تعاقب DNA.

أسئلة تحدٍّ

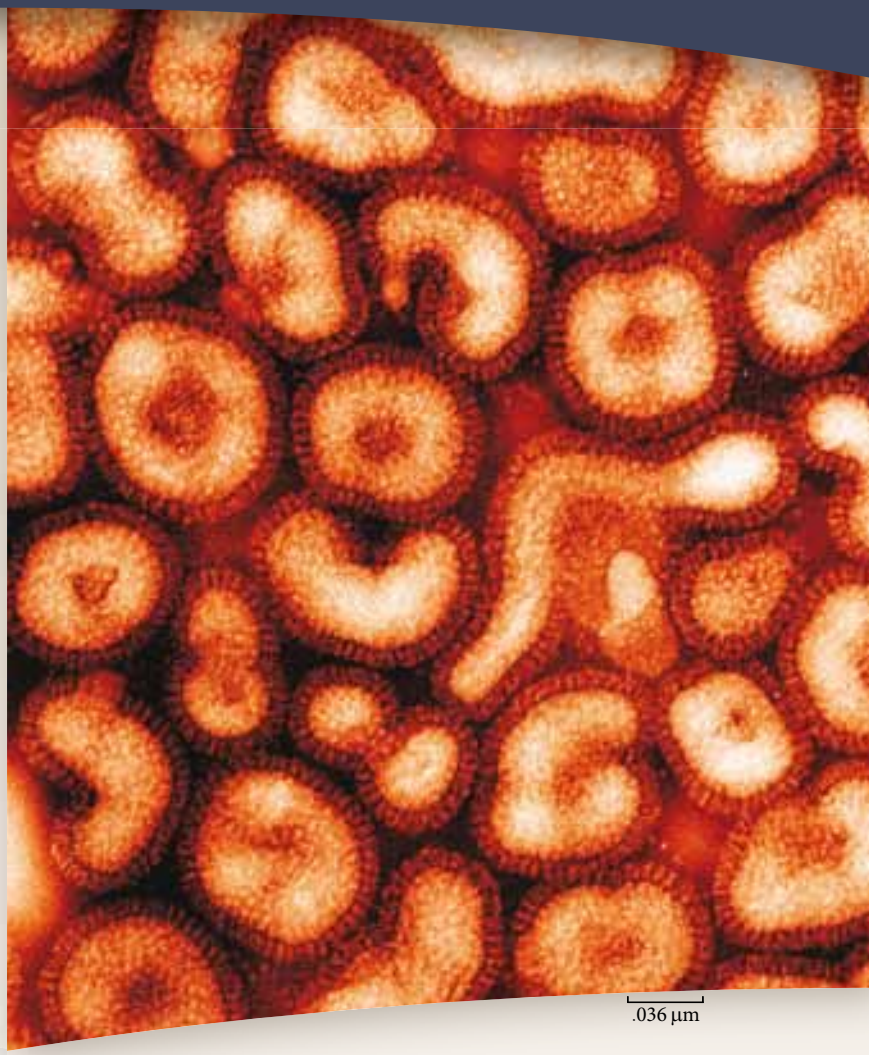
1. الظروف السائدة على كوكب المريخ، وقمر المشتري أوروبا، وقمر زحل تيتان، تحاكي الظروف التي سادت الأرض البدائية. وعلى الرغم من ذلك، فإنّ تلك الأماكن تختلف عن الأرض. فمثلًا، أوروبا وتيتان يقعان بعيدًا عن الشمس. لنفترض في يوم ما في المستقبل، اكتشف العلماء بكتيريا على هذه الأقمار تشبه إلى حد كبير البكتيريا التي كانت موجودة على سطح الأرض البدائية. وضح كيف سيدعم هذا الاكتشاف نظرية تعدد بذور الحياة. وماذا لو أن الحياة كانت مختلفة من ناحية الكيمياء الحيوية؟
2. هب أنك عضو في فريق بحث اكتشف- حديثًا- دليلًا على وجود خلية أحادية حقيقية النواة على سطح المريخ. وعندما بدأتَ دراسة المخلوق الحي، أردتَ أنْ تستخدم مخلوقًا من الأرض للمقارنة. من أيٍّ فوق الممالك سوف تختار هذا المخلوق مرجعًا لك؟
3. اعتمد التّصنيف في السابق وبشكل أساسي على تطور صفات الشكل الخارجي، أمّا الطرق الحديثة فإنها تعتمد على التحليل الجزيئي. لماذا كان التوجه الجزيئي مهمًّا جدًا في تكوين نظريات تطورية؟

هل أنت في حاجة إلى مراجعة إضافية؟ زر الموقع www.ravenbiology.com. لتتدرب على الاختبارات القصيرة، والرسوم المتحركة، والتسجيلات التلفزيونية، وأنشطة مخصصة؛ لمساعدتك على فهم المادة الموجودة في هذا الفصل.

الفصل 27

الفيروسات

Viruses



سوجز المفاهيم

27-1 طبيعة الفيروسات

- *الفيروسات أشرطة من الأحماض النووية المغلفة بغلاف بروتيني.*
- *تشمل عوائل الفيروسات أنواع المخلوقات جميعها.*
- *تتضاعف الفيروسات من خلال السيطرة على الأجهزة الحيوية للعائل.*
- *تتخذ غالبية الفيروسات شكلين بسيطين.*
- *تشكل المادة الوراثيّة للفيروسات تنوعًا كبيرًا.*

27-2 آكلة البكتيريا: الفيروسات البكتيرية

- *تتكاثر الفيروسات البكتيرية بدورتين.*
- *تقوم الفيروسات البكتيرية بإضافة جينات للمادة الوراثيّة للعائل.*

27-3 فيروس نقص المناعة المكتسبة الإنساني *HIV*

- *يُسبِّب فيروس نقص المناعة المكتسبة الإنساني مرضَ الإيدز.*
- *الإصابة بفيروس نقص المناعة المكتسبة يعيق عمل جهاز المناعة لدى المصاب.*
- *يصيب فيروس نقص المناعة المكتسبة خلايا أساسية في جهاز المناعة.*
- *يشكل البحث عن سبل معالجة نقص المناعة المكتسبة أولوية عالية.*

مقدّمة

لنبدأ استكشاف تنوع الحياة مع الفيروسات. الفيروسات عناصر وراثية داخل بروتين، ولا يمكن تصنيفها ضمن المخلوقات؛ لأنها تفتقر إلى كثير من الصفات المرتبطة بالحياة، مثل التركيب الخلوي والأيض، أو التكاثر المستقل. لهذا السّبب، فإنّ جسيمات الفيروسات لا تُسمّى خلايا فيروسية، وإنما **نظائر فيروسية Virions**، ولا يُطلق عليها الجسيمات الحية أو الميتة، بل الجسيمات النّشطة وغير النّشطة، إلا أنها نتيجة قدراتها على إحداث المرض فهي مكونات ذات أهمية حيوية.

إن الصورة هنا لدقائق فيروس الإنفلونزا، ففي موسم الإنفلونزا لعام 1918–1919 أدى هذا الوباء واسع الانتشار– إلى قتل نحو 20–50 مليون شخص على نطاق عالمي، وهذا ما يعادل ضعف تلك الأعداد التي قُتلت خلال مواجهات الحرب العالمية الأولى. هناك فيروسات تسبب أمراضًا أخرى مثل نقص المناعة المكتسبة الإنساني AIDS وإنفلونزا الطّيور، والمرض التنفسي الحاد SARS، والحمّى النزفية، وبعضها الآخر قادر على إحداث بعض السّرطانات. لقد تداخلت دراسات الفيروسات أكثر من أربعة عقود مضت مع الدراسات الوراثيّة والبيولوجيا الجزئية، وقد أدت الدراسات التقليدية على الفيروسات التي تصيب البكتيريا المعروفة بآكلات البكتيريا أو **الفيروسات البكتيرية Bacteriophages** إلى اكتشاف الأنزيمات القاطعة المحدِّدة، والتعرف إلى الحمض النووي، وليس البروتينات، كمادة الوراثة. تُعَدُّ الفيروسات حاليًا إحدى الأدوات الأساسية المستعملة في نقل الجينات من مخلوق إلى آخر. إنّ تطبيقات هذه التقنية يمكن أنْ تؤدي إلى معالجة الأمراض الوراثيّة، وربما إلى مقاومة السّرطان.

27-4 أمراض فيروسية أخرى

- *يسبب الإنفلونزا فيروس الإنفلونزا.*
- *تظهر فيروسات جديدة نتيجة إصابة عوائل جديدة.*
- *يمكن أنّ تسبِّب الفيروسات السّرطان.*

27-5 البريونات ونظيرات الفيروس: جسيمات تحت فيروسية

- *كان تضاعف البريونات مقترحًا راديكاليًّا.*
- *تراكم الأدلة على أن البريونات تسبب اعتلال الدمّاغ الإسفنجي.*
- *الفيروسات العارية Viroids حمض نووي رايبوزي RNA دون غلاف بروتيني.*

1-27 طبيعة الفيروسات

تمتلك الفيروسات جميعها التركيبَ الأساسيّ نفسه؛ وهو محور من الحمض النووي محاط بالبروتين. يفتقر هذا التركيب للمادة السيتوبلازمية، وهو ليس خلية. ويحتوي الفيروس الواحد نوعًا واحدًا من الحمض النووي، فإما أنْ يكون الحمض النووي منقوص الأكسجين DNA أو الحمض النووي الرايبوزي RNA. وتكون المادة الْوراثيّة سواء أكانت DNA أم RNA خطية أو دائرية، وحيدة الشّريط أو ثنائية الشّريط.

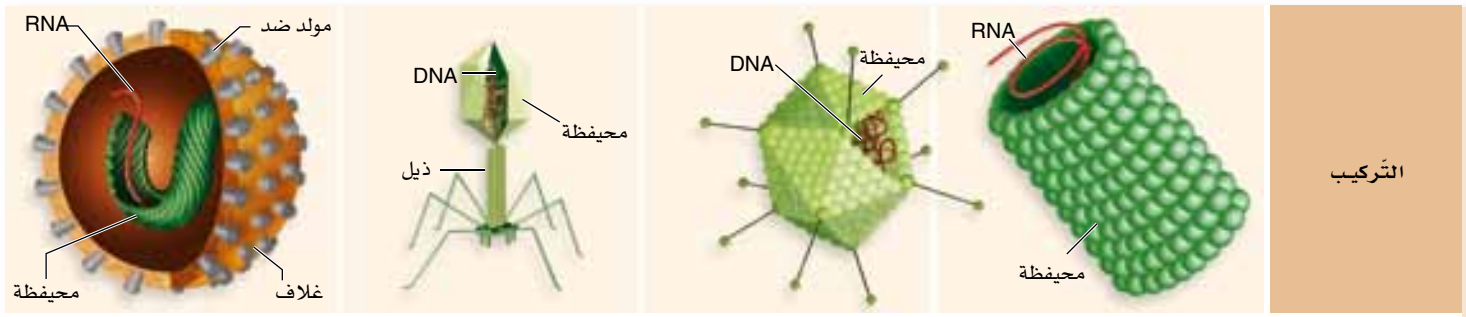
ويمكن أنْ تكون فيروسات RNA مقطعة، حيث كثير من جزيئات RNA في الفيروس، أو غير مقطعة، وذات جزيء واحد من الحمض النووي الرايبوزي. وتُصَنَّفُ الفيروسات بشكل جزئي استنادًا إلى طبيعة مادتها الْوراثيّة؛ فهي فيروسات RNA، وفيروسات DNA، أو فيروسات راجعة.

الفيروسات أشرطة من الأحماض النووية المغلفة بغلاف بروتيني

على وجه التقريب، يمكن القول: إنّ الفيروسات جميعها تكوِّن غلافًا بروتينيًّا أو محيفظة حول لُبٍّ من الحمض النووي (الشكل 27–1). يتكون الغلاف البروتيني من جزيء من البروتينات إلى جزيئات عدة من البروتينات المختلفة أو المتكررة مرات عدة.

الشكل 27–1

تركيب الفيروس. تُوصف الفيروسات بأنها حلزونية، أو ذات شكل بعشرين وجهًا، أو ثنائيًّا، أو متعدد الإشكال اعتمادًا على تناظر الفيروس. أ. يمكن أنْ يكون الغلاف البروتيني حلزونيًّا متناظرًا كما هي حال فيرس تَبَرْقُش التّبغ المبين هنا، والذي يصيب النباتات، ويتكون من 2130 جزيئًا بروتينيًّا متماثلًا (الأخضر) مكونة غلافًا أسطوانيًّا حول شريط واحد من RNA (الأحمر). ب. إنّ الغلاف البروتيني للفيروسات ذات العشرين وجهًا يتكون من عشرين وجهًا من مثلثات متساوية الأضلاع. وتأتي هذه الفيروسات بأحجام مختلفة مبنية جميعها على الشكل الأساسي. جـ. توجد الفيروسات البكتيرية بكثير من الأشكال، إلا أنّ التناظر الثنائي ملحوظ في فيروسات مثل T4 الخاص ببكتيريا القولون – *E.coli*. ويمتاز هذا التناظر برأس ذي عشرين وجهًا يحتوي المادة الْوراثيّة للفيروس، وبذيل حلزوني كذلك. يمكن أنْ تكون بعض الفيروسات مغلفة بغلاف آخر يحيط بالمحيفظة كما في فيروس الإنفلونزا، حيث يتكوّن هذا الفيروس من ثماني قطع من RNA، وكلّ منها في محيفظة حلزونية ما يعطي هذا الفيروس تعددًا في الأشكال.



	أ.	ب.	جـ.	د.
الفيروس	فيروس نباتي (TMV)	فيروس حيواني (الفيروس الغدي)	فيروس بكتيري	فيروس حيواني (الإنفلونزا)
شكل الفيروس	محيفظة حلزونية	محيفظة عشرينية الأوجه	رأس عشريني الأوجه، وذيل حلزوني	محيفظة حلزونية داخل غلاف

في كثير من الفيروسات، تكون الأنزيماتُ المتخصصة مخزنةً مع الحمض النووي بداخل الغلاف البروتيني. وأحد هذه الأنزيمات هو الأنزيم الناسخ العكسي الذي يلزم لاستكمال دورة الفيروسات الراجعة، ولا يوجد في العائل. ويلزم هذا الأنزيم في المراحل الأولى من الإصابة، ويستمر محمولًا في كل جسيم فيروسي.

إن كثيرًا من الفيروسات الحيوانية يمتلك غلافًا حول المحيفظة غنيٌّ بالبروتينات والدهون والبروتينات السّكريّة. إن الدهون الموجودة في هذا الغلاف مشتقة أصلًا من خليّة العائل، ومع هذا، فإنّ البروتينات الموجودة في غلاف الفيروس تُصنع عادة اعتمادًا على شيفرة الفيروس.

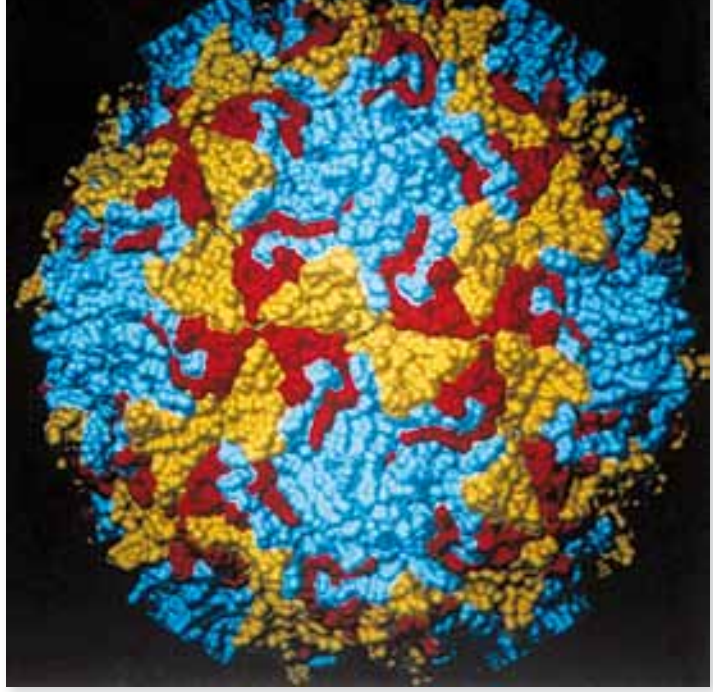
تشمل عوائل الفيروسات أنواع المخلوقات جميعها

توجد الفيروسات بوصفها طفيليات إجبارية داخل الخلايا في كلّ نوع من أنواع المخلوقات التي تمت دراستها بحثًا عن هذه الفيروسات. وتصيب الفيروسات خلايا الفطريات والبكتيريا والأوليات، وكذلك النباتات والحيوانات. ومع ذلك، فإنّ كلّ نوع من هذه الفيروسات يتضاعف في عدد محدد من أنواع الخلايا. فالفيروس الذي يصيب البكتيريا لن يكون قادرًا على إصابة الإنسان أو النبات.

ويشار كليًّا إلى مجموعة الخلايا المناسبة لفيروس معين **بمدى العائل Host range**. فعند دخول الفيروس في عائل عديد الخلايا، فإنّ الكثير من هذه الفيروسات يمتلك ما يُسمّى **الانتحاء النسيجي Tissue tropism**، حيث يكون هدفُه مجموعةً محددةً من الخلايا.

فعلى سبيل المثال، ينمو فيروس داء الكَلَب في الخلايا العصبية، ويتضاعف فيروس الكبد الوبائي في خلايا الكبد. وحال دخول بعض الفيروسات خلايا العائل، كما هي الحال في فيروس الإيبولا الخطر، فإنها تُحْدِثُ دمارًا شاملًا للخليّة. في حين أنّ بعضها الآخر قد يُحْدِثُ أذى قليلًا أو لا يُحْدِثُ أيّ أذى. ويبقى هناك بعض الفيروسات كامن إلى أنْ تحدث إشارة أو حدث يؤدي لاستثارة نشاطه. وعلى سبيل المثال، فإنه يمكن للإنسان أن يصاب بجدري الماء، وهو طفل، ويتعافى منه لاحقًا، ومن ثم يصاب بداء المَنْطِقَة بعد عقود عدة، وكلا المرضين يُحدثهما فيروس واحد، وهو فيروس جُدري الماء وداء المَنْطِقَة يسببهما فيروس Varicella zoster.

ويمكن لهذا الفيروس أنْ يبقى **كامنًا latent** سنوات عدة. قد يؤدي إجهاد الجهاز المناعي إلى استثارة فيروس جُدري الماء وإصابة أشخاص بداء المَنْطِقَة كانوا قد تعرضوا لفيروس جُدري الماء في الماضي. إنّ هذا يسببه عادة الفيروس نفسه، إلا أنّ الإصابة تُسمّى القوباء الجلدية؛ لأن الفيروس في واقع الحال هو فيروس القوباء Herpes.



الشكل 27–2

الفيروس ذو العشرين وجهًا. إنّ فيروس الشلل هذا له تناظر عشرينيٌّ. فالمحيفظة مكونة من نسخ كثيرة من أربعة بروتينات مختلفة مبينة بألوان مختلفة. (أحد هذه البروتينات داخلي، ولا يمكن رؤيتـه).

إنّ أيّ مخلوق غالبًا ما يكون قابلًا للإصابة بأكثر من نوع من الفيروسات. ويمكن لهذه الملاحظة أنْ تشير إلى وجود أنـواع من الفيروسات أكبر بكثير من أنواع المخلوقات- ربما آلاف البلايين من الفيروسات المختلفة. وتجدر الإشارة هنا إلى أننا تعرّفنا إلى آلاف قليلة فقط من هذه الفيروسات لغاية الآن.

تتضاعف الفيروسات من خلال السيطرة على الأجهزة الحيوية للعائل

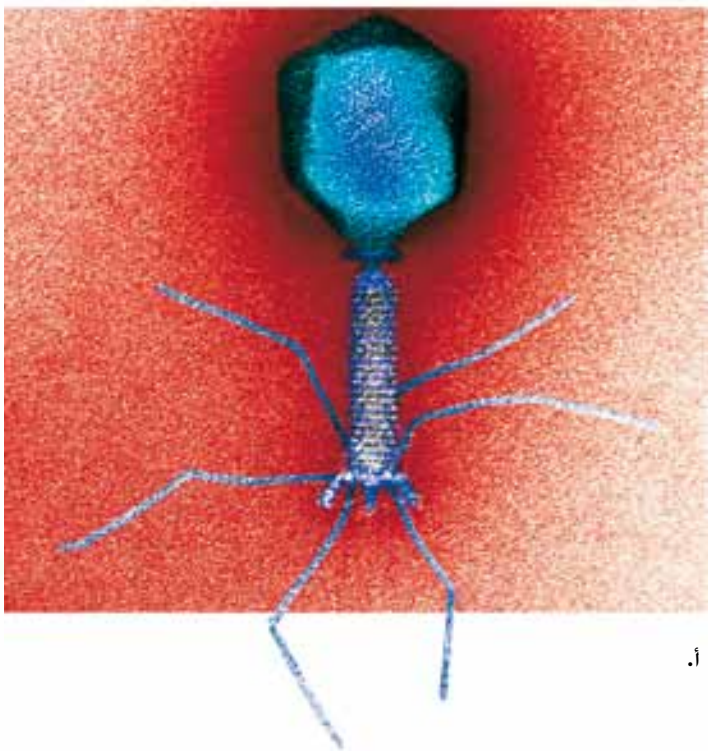
يمكننا أنْ ننظر إلى الفيروس الذي يهاجم خليّة، وكأنه مجموعة من الأوامـر أو التعليمات التي لا تختلف عن تلك التي في برنامج للحاسوب. وفي العادة، فإنّ الْخليّة تُدار بتعليمات مثبتة في DNA في الكروموسوم، كما هي الحال في تشغيل الحاسوب الذي يُدار بتعليمات مثبتة في نظام التشغيل. وببساطة، فإنّ الفيروس مجموعة من التعليمات هي المادة الْوراثيّة للفيروس التي تخدع الْخليّة، لتقوم بإنتاج نسخ من الفيروس نفسه. ومن هذا المفهوم، أُطلق مسمى الفيروس على فيروسات الحاسوب؛ لأنها تقوم بالسيطرة على الجهاز وتدير أنشطته. وكما هي الحال بالحاسوب المعطّل بفيروس حاسوبي، فإنّ الْخليّة يتمّ تعطيلها غالبًا بسبب الإصابة الفيروسية.

تتضاعف الفيروسات فقط بعد دخولها الخلايا، وعادة ما يُطْلَقُ على الفيروس، وهو خارج الْخليّة فيروس خامل أو نظير الفيروس *virion* لأنه غير نشط أيضيًّا. تفتقر الفيروسات للرايبوسومات وللأنزيمات اللازمة لتصنيع البروتينات، وربما لكل الأنزيمات اللازمة لتضاعف الأحماض النووية. وفي داخل الْخليّة، يسيطر الفيروس على أنظمة نقل المعلومات وترجمتها لإنتاج بروتينات فيروسية من جينات فيروسية مبكرة، وهي تلك الجينات في مادة الفيروس الْوراثيّة التي يتمّ ترجمتها أولًا. يتبع ذلك ترجمة الجينات الوسيطة، ومن ثَمَّ الجينات المتأخرة. إنّ هذا الترتيب في ترجمة الجينات يؤدي إلى مضاعفة الأحماض النووية، وإنتاج بروتينات محيفظة الفيروس. وفي العادة، فإنّ الجينات المتأخرة تقدّم معلومات لإنتاج بروتينات ذات أهمية أساسية في تجميع جسيمات الفيروس وإطلاقها من الْخليّة العائل.

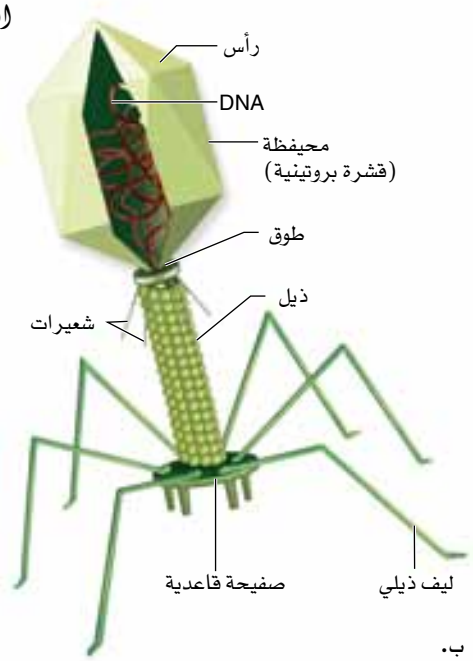
تتخذ غالبية الفيروسات شكلين بسيطين

تتخذ معظم الفيروسات تركيبًا إجماليًّا يكون **حلزونيًّا Helical** أو **عشرينيَّ الأوجه Icosahedron**. فالفيروسات الحلزونية مثل فيروس تَبَرْقُشِ التّبغ في (الشكل 27–1أ) تمتلك شكلًا عصويًّا وخيطيًّا. أما الفيروسات عشرينيَّة الأوجه فتشبه كرة القدم، حيث يمكن التعرف إلى شكلها الهندسي تحت أعلى درجات التكبير باستعمال المجهر الإلكتروني. فالشكل العشريني الأوجه Icosahedron مكوّن من عشرين وجهًا، كلّ منها مثلث متساوي الأضلاع. معظم الفيروسات الحيوانية هي من هذا النوع في تركيبها الأساسي (الشكل 27– 1ب). إنّ الشّكل العشرينيّ المثلّث يشكّل التّصميم الأساسيّ للقبّة الجيوديزية، وهو أفضل وأجود ترتيب متناظر يمكن لوحدات صغيرة أنْ تتخذه لتكوّن غلافًا بأكبر سعة داخلية ممكنة (الشكل 27–2).

هناك بعض الفيروسات المعقدة كما في فيروس T البكتيري الزوجي المبين في (الشكل 27–3). لهذه الفيروسات المعقدة تناظر ثنائيٌّ، أو تناظر مزدوج، أيْ إنه غير حلزونيّ، وليس شكلًا عشريني الأوجه مثلثًا. وفي حالة الفيروس البكتيري T الزوجي المبين، فإنّ هناك الرأس الذي هو عبارة عن عشرين مثلثًا متطاولًا، وهناك



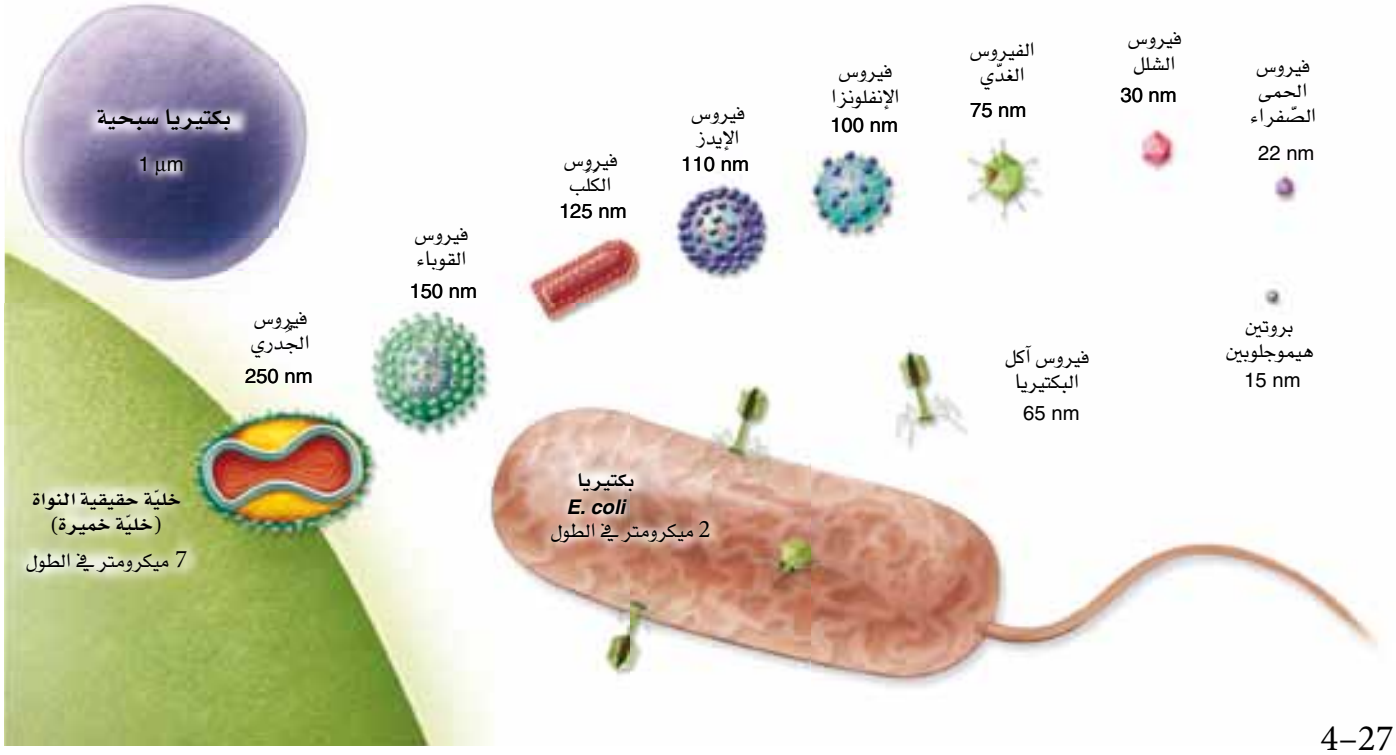
أ.



ب.

الشكل 27–3

الفيروس البكتيري. يبدي الفيروس البكتيريّ تركيبًا معقدًا.
أ. صورة بالمجهر الإلكتروني.
ب. مخطط لتركيب الفيروس البكتيريّ T4 (تم إزالة بعض الوجوه لتبيان التركيب الداخلي).



الشكل 27–4

تباين الفيروسات في الحجم والشكل. لاحظ التباين الدرامي في حجم خليّة حقيقية النواة كالخميرة وخليّة بدائية النوى كالبكتيريا وكثير من الفيروسات المختلفة.

طوق يربط الرأس بأنبوب أجوف ذي تناظر حلزوني ينتهي إلى قاعدة بألياف ذيلية. ومع أنّ الفيروسات الحيوانية ليس لها هذا التناظر الثنائي، فإنّ بعضها كما في فيروس الجُدري له محيفظة متعددة الطبقات معقدة التركيب. أما بعض الفيروسات المغلفة مثل فيروس الإنفلونزا، فهو متعدد الأشكال، وليس له أيّ تناظر مميّز.

تختلف حجوم الفيروسات أيضًا بدرجة كبيرة. وكما هو مبين في الشكل 27–4 فإنّ الفيروسات الصغيرة جدًا مثل فيروس الشلل، أمكن إنتاجه في المختبر باستعمال معلومات التعاقب، وآلة قادرة على إنتاج الأحماض النووية من النيوكليوتيدات. الفيروسات الكبيرة مثل فيروس الجدري تحمل جينات أكثر عادة، وهي ذات تركيب أكثر تعقيدًا، وتميل لامتلاك دورة قصيرة بين دخول جسيمات الفيروس للعائل. ومن ثم إنتاج الفيروسات الجديدة الخاملة وإطلاقها.

تظهر المادة الْوراثيّة للفيروسات تنوعًا كبيرًا

تتنوع المادة الْوراثيّة الفيروسية كثيرًا في نوع الحمض النووي، وفي عدد الأشرطة المكونة له (جدول 27–1). فبعض الفيروسات مثل تلك المسببة للإنفلونزا والحصبة، ونقص المناعة المكتسبة، تمتلك مادة وراثية من RNA. معظم هذه الفيروسات أحادية الشّريط وتتضاعف، ويتمّ تجميعها في سيتوبلازم الخلايا حقيقية النوى المصابة. ويُلاحظ أنّ تضاعف فيروسات RNA محفوف بالأخطاء، ما يؤدي لظهور نسبة عالية من الطفرات، وهذا ما يجعلها هدفًا صعبًا لجهاز المناعة في العائل، وكذلك الحال للمطاعيم والعقاقير المضادة للفيروسات.

ففي فيروسات RNA وحيدة الشّريط، إذا تكون محتواها الجيني من ترتيب قواعد mRNA الرسول نفسه الذي يستعمل لإنتاج بروتينات الفيروس، فإنّ هذا المحتوى الجيني يمكنه أنْ يقوم بعمل RNA الرسول. مثل هذه الفيروسات يُطْلَقُ عليها الفيروسات موجبة الشّريط *Positive-strand viruses*. في المقابل، إذا كان المحتوى الجيني مكملًا لـ RNA الرسول للفيروس، فيطلق عليه الفيروس سالب الشّريط *Negative-strand virus*.

هناك صنف خاص من فيروسات RNA يُطلق عليها **الفيروسات الراجعة Retroviruses** ولها محتوى جيني يمكن قراءته عكسيًّا وصولًا لـ DNA وذلك باستعمال أنزيم **الناسخ العكسي Reverse transcriptase**، وغالبًا ما يتمّ ربط قطع DNA المنتجة بهذه الطريقة وتكاملها مع كروموسوم الْخليّة العائلة. وفيروس **نقص المناعة المكتسبة في الإنسان Human immunodeficiency virus (HIV)** والمسبب **لنقص المناعة المكتسبة Acquired immune deficiency syndrome (AIDS)** هو من الفيروسات الراجعة (سيتم وصف هذا الفيروس لاحقًا).

تمتلك بعض الفيروسات مثل فيروس الجُدري والقوباء محتوى وراثيًّا مكونًا من DNA. معظم فيروسات DNA مزدوجة الشّريط، ويتضاعف DNA لها في نواة خلايا عوائل حقيقية النوى.

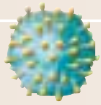
تمتلك الفيروسات تركيبًا بسيطًا جدًا يحتوي تركيبًا جينيًّا من الحمض النووي في غلاف بروتيني. وتتضاعف هذه الفيروسات من خلال سيطرتها على أجهزة خليّة العائل؛ ولهذا فهي طفيليات إجبارية داخل الْخليّة. لهذه الفيروسات تنوع كبير في محتواها الجيني المكون من DNA وRNA وقد يكون وحيدًا أو ثنائي الشّريط.

2-27 آكلة البكتيريا: الفيروسات البكتيرية

آكلة البكتيريا Bacteriophage (للمفرد والجمع) فيروسات تصيب البكتيريا، وهي متنوعة في التركيب والوظيفة، وتلتقي جميعها بوجودها في عوائل بكتيرية. وكثير من هذه الأنواع، التي يطلق عليها اختصارًا الآكل *Phage*، كبيرة ومعقدة وبها كمية كبيرة نسبيًّا من DNA والبروتين.

لوحظ وجود فيروسات في البكتيريا القديمة Archaea تشبه فيروسات التناظر الثنائي الآكلات وبرأس عشريني الوجه مثلث وذيل حلزوني. بعض فيروسات

الجدول 27-1 بعض الأمراض الفيروسية الهامة التي تصيب الإنسان

المرض	المسبب	التركيب الجيني	الحامل/الوبائية
جُدري الماء Chicken pox	فيروس جُدري الماء Varicella zoster	DNA ثنائي الشّريط	ينتشر عن طريق الاختلاط بأفراد مصابين، لا علاج له، ونادرًا ما يقتل. له لقاح أقرّ في أميركا منذ عام 1995.
التهاب الكبد الوبائي B Hepatitis B (viral)	فيرس الكبد الوبائي Hepadnavirus	DNA ثنائي الشّريط	عدوى عالية من خلال سوائل جسم المصاب. 1% من الأميركيين مصابون به. يتوافر لقاح له، لا علاج له. يمكن أن يكون قاتلًا.
القوباء Herpes	فيرس القوباء Herpes simplex virus	DNA ثنائي الشّريط	بثرات تنتشر من خلال اتصال جسمي أو حيث تظهر بثرات البرد ويلاحظ سعة انتشاره عالميًا، لا علاج له، ويمكن أن تبقى الإصابة كامنة لعدة سنوات.
التوحد النووي Mononucleosis	فيرس إيبستاين – بار Epstein–Barr virus	DNA ثنائي الشّريط	ينتشر من خلال الاتصال بلعاب مصاب. يمكن أنْ يستمر لعدة أسابيع. واسع الانتشار في الشباب صغار السن، ولا علاج له. نادرًا ما يكون قاتلًا.
الجُدري Smallpox	فيروس فاريولا (الجُدري) Variola virus	DNA ثنائي الشّريط	تاريخيًا، قاتل رئيس. آخر حالة تم تسجيلها عام 1977 وحملات التطعيم العالمية أدت إلى التخلص منه بصورة كاملة.
نقص المناعة المكتسبة (الإيدز) AIDS	فيروس نقص المناعة الإنساني HIV	RNA أحادي الشّريط موجب (نسختان)	يدمّر الجهاز المناعي مؤديًا للموت بسبب العدوى أو السّرطان. قدرت منظمة الصحة العالمية في عام 2005 أن هناك نحو 40 مليون شخص يحملون المرض و 4.1 مليون حالة إصابة متوقعة و 2.8 مليون حالة وفاة. توفي أكثر من 25 مليون منذ عام 1981.
الشلل Polio	فيروس معوي Enterovirus	RNA أحادي الشّريط موجب	إصابة حادة في الجهاز العصبي المركزي تؤدي للشلل وغالبًا مميتة. وقبل إنتاج لقاح سالك عام 1954 كان عدد الإصابات في أمريكا يصل إلى 60,000 سنويًا.
الحمى الصّفراء Yellow fever	فيروس الحمى الصفراء Flavivirus	RNA أحادي الشّريط موجب	ينتقل من فرد إلى آخر من خلال البعوض. كان سببًا للوفيات خلال بناء قناة بنما. إذا لم تتم المعالجة فقد تصل نسبة الوفيات إلى 60%.
إيبولا Ebola	فيروس الإيبولا (الفيروس الخيطي) Filoviruses	RNA أحادي الشّريط سالب	حمى نزفية حادة، حيث يهاجم الفيروس الأنسجة الضامة مؤديًا لنزف عارم وإلى الوفاة. وتصل نسبة الوفيات إلى 50– 90% إن لم تتم المعالجة، والإصابات محددة في مناطق محلية من وسط إفريقيا.
الإنفلونزا Influenza	فيروس الإنفلونزا Influenza viruses	RNA أحادي الشّريط سالب (٨ قطع)	قاتل رئيس تاريخيًا (حيث توفي 20–50 مليون شخص خلال 18 شهرًا في 1918– 1919. من عوائلها، البط الآسيوي والدجاج، والخنازير. ولا تتأثر طيور البط بهذا الفيروس الذي يعيد ترتيب جينات مولدات ضده خلال تكاثره في البط مؤديًا لظهور سلاسلات فيروسية جديدة.
الحصبة Measles	فيروس الحصبة Paramyxoviruses	RNA أحادي الشّريط سالبًا	معد بدرجة عالية عن طريق الاتصال بمصابين. يتوافر له لقاحات وغالبًا ما تتم الإصابة خلال الطفولة حيث لا خطورة عالية كما هي الحال عند إصابة الكبار.
الالتهاب التنفسي الحاد (سارس) SARS	فيروس SARS التويجي Coronavirus 	RNA أحادي الشّريط سالب	إصابة تنفسية حادة ومرض صاعد. ويمكن أنْ يكون مميتًا خصوصًا عند كبار السن. ومن الحيوانات المعرضة للإصابة عامة؛ الخفاش والثعالب، والضِّربان والراكون، كما أنّ الحيوانات المنزلية مرشحة للإصابة أيضًا.
الكَلَب Rabies	فيروس داء الكلَب Rhabdovirus	RNA أحادي الشّريط سالب	إصابة حادة تصل للدماغ، وتنتقل بالتعرض للعض من حيوان مصاب. قاتل إنْ لم يُعالج. ومن الحيوانات المعرضة للإصابة به عامة؛ الخفاش والثعالب، والضِّربان والراكون. كما أنّ الحيوانات المنزلية مرشحة للإصابة به.

البكتيريا القديمة لها تناظر أكثر تعقيدًا، ولا تشبه أيًّا من الفيروسات المعروفة، ولا يُعرف عنها الكثير، ولذلك لن نناقشها أكثر من ذلك.

إنّ الفيروسات التي تصيب بكتيريا القولون *E.coli* كانت من أوائل الفيروسات التي اكتشفت ومازالت الأكثر دراسة. وقد تمت تسمية الفيروسات التي تصيب بكتيريا القولون بوصفها أعضاء في سلسلة T (T1، T2 وهكذا). في حين أعطيت فيروسات أخرى أسماء مختلفة أخرى. ولتوضيح تنوع هذه الفيروسات، فإنّ T3 و T7 فيروسات عشرينية الوجه مثلثة ولها ذيول قصيرة. في المقابل، فإنّ فيروسات T – الزوجية (T2، T4 و T6) لها رأس عشريني الوجه مثلث، ومحيفظة مكونة مبدئيًا من 3 بروتينات، وعنق رابط بياقة (طوق) وشعيرات طويلة، وذيل طويل، وصفيحة قاعدة مركبة (انظر الشكل 27–3).

تتكاثر الفيروسات البكتيرية بدورتين

عند إصابة خليّة البكتيريا بالفيروس البكتيري T4 فإنّ واحدة على الأقل من الزوائد الذيلية للفيروس تلامس بروتينات الجدار الخلوي في خليّة البكتيريا. تكون هذه الزوائد الذيلية محمولة عادة بالقرب من رأس الفيروس البكتيري عن طريق الشعيرات. تقوم الزوائد الذيلية الأخرى بوضع الفيروس البكتيري عموديًّا مع سطح خليّة البكتيريا ما يجعل الصفيحة القاعدية تلامس سطح خليّة البكتيريا.

الاتصال بالعائل

تحدّد فيروسات مختلفة أهدافًا لها على أجزاء مختلفة من السطح الخارجي لخليّة البكتيريا، وتُسمّى الخطوةُ الأولى هذه **الارتباطَ Attachment** أو **الالتصاقَ Adsorption**. الخطوة اللاحقة هي، إدخال المحتوى الجيني للفيروس إلى داخل الْخليّة، وتبدو هذه أكثر فهمًا في الفيروس الثنائي T4. عند اكتمال الالتصاق، ينقبض ذيل الفيروس، وتمرّ أنبوبة الذّيل عبر فتحة تظهر في الصفيحة القاعدية مؤدية لثقب جدار خليّة البكتيريا، ومدخلة محتويات رأس الفيروس من المحتوى الجيني إلى سيتوبلازم خليّة العائل. تُسمّى هذه الخطوة عمليةَ **الاختراق Penetration** أو **الحقن Injection**.

عند دخول الفيروس إلى الخلية البكتيرية، يسيطر حالًا على أنزيمات تكاثر الْخليّة وإنتاج البروتينات من أجل إنتاج مكونات الْفيروس، وهذه هي **مرحلة البناء Synthesis phase**، وبعد بناء هذه المكونات الفيروسية يتمّ **تجميعها Assembly** ومن ثم يتمّ **إطلاق Release** أو تحرير الجسيمات الفيروسية من خلال عمل أنزيمات قادرة على تفجير خليّة العائل، أو من خلال التّبرعم عبر الجدار الخلوي لخلية العائل. ويشار إلى الفترة الزمنية التي بين الالتصاق وتكون الجسيمات الفيروسية بفترة الانكساف *Eclipse period*. حيث لو تَمَّ تحلل الْخليّة العائل في هذه المرحلة، فلن يتمّ إطلاق أيّ فيروسات نشطة أو القليل منها.

الدّورة التحللية *Lytic cycle*

عندما يقوم الفيروس المتضاعف داخل الْخليّة بتحليلها، يُشار إلى ذلك بدورة التحلل (الشكل 27-5 يسارًا). تشبه المراحل الأساسية للدورة التحللية في فيروسات البكتيريا تلك التي للفيروسات الحيوانية غير المغلّفة. ومعروف أنّ سلسلة فيروسات البكتيريا من سلالة T **ممرضة Virulent** أو **فيروسات محللة Lytic phages** إذ تتضاعف في الخلايا المصابة ما يؤدي لتحليلها وتمزقها.

الدّورة المعتدلة (المولدة للتحلل)

مقارنة بالدورات التحللية البسيطة، لا تقتل بعض الفيروسات البكتيرية الخلايا التي تصيبها مباشرة، وإنما تربط حمضها النووي مع المحتوى الجيني لخلية العائل المصابة. ويعطي هذا الارتباطُ الفيروساتِ فائدةً مميزةً، حيث إن الفيروسات جميعها تحتاج إلى خليّة عائل حية لتتضاعف داخلها. فعملية التكامل هذه توفر للفيروس إمكانية البقاء داخل الْخليّة العائل والتضاعف مع المادة الْوراثيّة DNA للخليّة العائل عند تضاعفها. تُسمّى هذه **الفيروسات بالمعتدلة Temperate** أو **المولدة للتحلل Lysogenic phage**، وتُسمّى قطعة المادة الْوراثيّة المرتبطة بالمادة الْوراثيّة للخليّة العائل **الفيروس الأولي Prophage** والْخليّة الحامل لهذا الفيروس الْخليّة **المولدة للتحلل Lysogen**.

من هذه الفيروسات البكتيرية المولدة للتحلل، الفيروسُ البكتيريّ الخاص ببكتيريا القولون *E.coli*. ونعرف عن هذا الفيروس البكتيري بمقدار ما نعرف عن أيّ جسيم حيوي، حيث إن تسلسله الكامل المكون من 48,502 من القواعد قد تم تحديدها. ومعروف أن 23 بروتينًا على الأقل ذات علاقة بتكوّن الفيروس البكتيري ونضجه. وإن أنزيمات أخرى تؤدي دورًا في عملية تكامل هذا الفيروس مع المحتوى الجيني للعائل.

عندما يصيب فيروس أيّ خليّة، تشكل الأحداث المبكرة المفتاح الجيني الذي سيقرر فيما إذا كان الفيروس سيتضاعف، ويدمر الْخليّة أو يلتحق بالمادة الْوراثيّة للعائل، ويتضاعف بصورة سلبية مع تضاعف المحتوى الجيني لها. إنّ تقرير أيّ الحالتين التحللية أو الاعتداليّة سيسلك يعتمد على تفعيل الجينات المبكرة. يتمّ إنتاج اثنين من البروتينات المنظمة في مرحلة مبكرة يتنافسان على الارتباط بمواقع على DNA الفيروس البكتيري. واعتمادًا على أيّ البروتينات سيكون "رابحًا" فإنه سيتم تفعيل الجينات الضرورية لتضاعف المحتوى الجيني لبدء الدّورة التحللية، أو تفعيل الجينات اللازمة لإنتاج أنزيمات ضرورية لتكامل المحتوى الجيني للفيروس البكتيري وارتباطه مع كروموسوم العائل، ومن ثَمَّ ابتداء **الدّورة المعتدلة Lysogenic cycle** (الشكل 27-5 اليمين).

إن تكامل الفيروس البكتيري بالمحتوى الجيني للخلية يشار إليه بالاعتدال، أو **توليد التحلل Lysogeny**. يعاني الفيروس البكتيري المعتدل قمع تفعيل المحتوى الجيني (انظر الفصل الـ 16) عن طريق أحد البروتينات الفيروسية المنظمة المذكورة آنفًا. وهذه ليست حالة دائمة مع ذلك، ففي أوقات إجهاد الْخليّة، يمكن إزالة القمع عن الفيروس الأولي، ويتمّ تفعيل الأنزيمات اللازمة وإنتاجها لفصل المحتوى الجيني للفيروس وتحريره. عندئذ، تشبه حالةُ المحتوى الجيني للفيروس حالتَه عند مرحلة بدء الإصابة. ويمكن للدورة التحللية أنْ تبدأ مع تفعيل مبكر للجينات، وتضاعف للمادة الْوراثيّة، وبعدها تفعيل الجينات المتأخرة ما يؤدي لتكوّن جسيمات فيروسية، مؤدية لتحلل الْخليّة.

يُسمّى التّحول من حالة الاعتدال للفيروس الأولي إلى حالة التحلل **عمليةَ الحثّ Induction**. يمكن تنشيط هذه الحالة في المختبر من خلال عوامل الإجهاد، مثل تجويع الخلايا، أو تعريضها للأشعة فوق البنفسجية. وتستفيد العمليات الجزيئية لعملية الحثّ من بروتينات العائل التي تستجيب للإجهاد لإنتاج أنزيم محلل للبروتين، يمكنه تعطيل بروتين مثبط للمحتوى الجيني للفيروس ليبقيه صامتًا. إنّ الوظيفةَ العادية لهذا الأنزيم المحلل للبروتين هي تكسيرُ بروتين العائل المثبط الذي يتحكم في جينات إصلاح المادة الْوراثيّة. ويبدو أنّ كلا البروتينين المثبطين متشابهان، لدرجة يمكن تحطيمهما بهذا الأنزيم المحلل للبروتين.

تقوم الفيروسات البكتيرية بإضافة جينات للمادة الوراثية للعائل

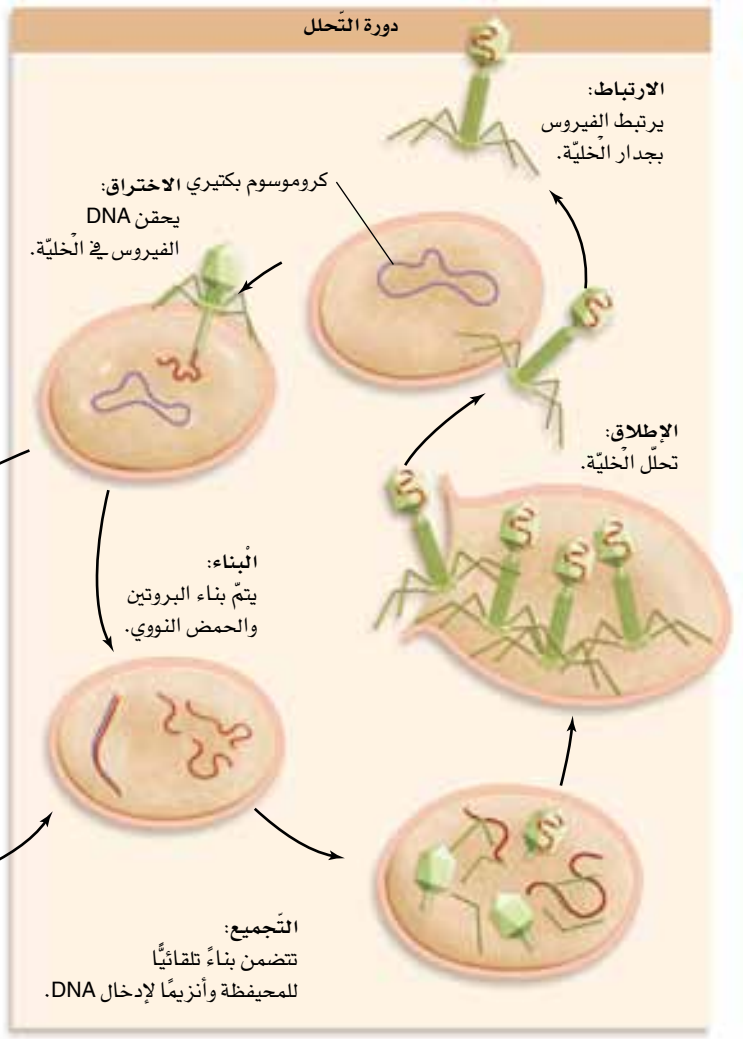
يمكن لبعض الجينات الفيروسية القليلة أنْ تفعَّل في الوقت نفسه الذي تفعَّل فيه جينات العائل خلال مرحلة التكامل في دورة التضاعف المعتدلة. وفي بعض الأحيان، يكون تفعيل هذه الجينات ذا تأثير مهم في الْخليّة العائل، إذ يغيرها لتأخذ صورة جديدة تمامًا. وعند تغير الشكل الخارجي، أو تغير صفات البكتيريا في حالة الاعتدال نتيجة وجود الفيروس الأولي، فإنّ هذا التغير يُدعى **التحوّلَ الْفيروسيَّ البكتيريَّ Phage conversion**.

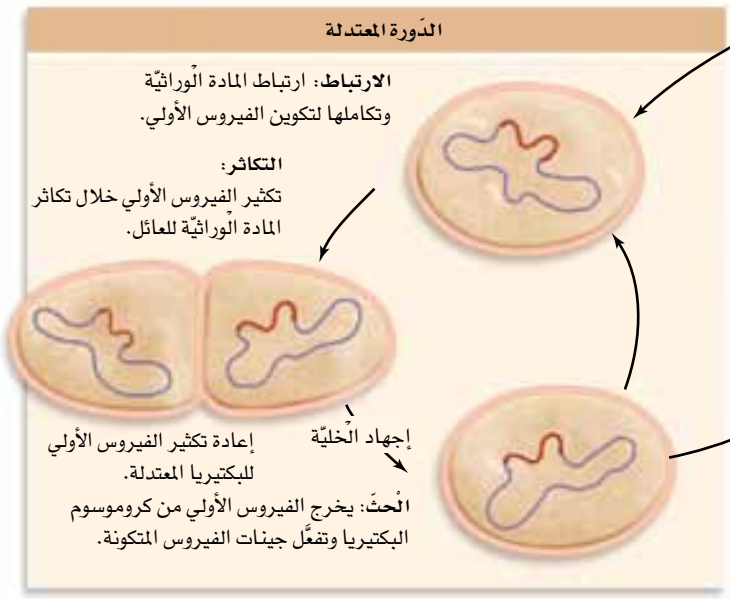
التّحول الْفيروسيّ للبكتيريا المسببة للكوليرا

توجد بكتيريا *Vibrio cholerae* عادة بصورة غير مؤذية، إلا أنّ هناك نمطًا آخر ممرضًا. في هذا النمط، تُعَدُّ البكتيريا مسؤولةً عن مرض الكوليرا المميت. إلا أنّ سبب تحول هذه البكتيريا من الحالة غير الممرضة إلى الحالة الممرضة لم يتمّ التّعرّف إليه إلا حديثًا.

الآن، تبين البحوث أنّ فيروسًا بكتيريًّا يصيب بكتيريا *V. cholerae* يدخل لها جين لإنتاج سُمّ الكوليرا. يتمّ تكامل هذا الجين، إضافة إلى جينات الفيروس الأخرى، بالمادة الْوراثيّة للبكتيريا ويتمّ تفعيل جين السّمّ هذا مع جينات العائل الأخرى، وبذلك تتحول البكتيريا الحميدة إلى بكتيريا ممرضة.

إنّ المستقبلات التي يستخدمها هذا الفيروس البكتيري الحامل لمعلومات السمية تتمثل في زوائد تشبه الشعر موجودة على السطح الخارجي لبكتيريا *V. cholerae* (الفصل الـ 28). وفي تجارب حديثة، أمكن تحديد أنّ طفرات بكتيرية فيها تفتقر لهذه الزوائد كانت مقاومة للإصابة بذلك الفيروس البكتيري. يتضمن هذا الاكتشاف أثرًا مهمًّا في الجهود المبذولة لتطوير مطاعيم ضد مرض الكوليرا، التي لم تفلح حتى الآن. ويمكن للتحول الْفيروسيّ أنْ يغير أيّ بكتيريا تمتلك الزوائد وغير منتجة للسّمّ من *V. cholerae* لتصبح بكتيريا منتجة للسّمّ من النمط المميت.





ومع أنّ التّحول الْفيروسيّ في بكتيريا الكوليرا *V. cholerae* يشكل مثالًا تقليديًّا، فإنه ليس المثال الوحيد في التّحول الْفيروسيّ المسبب للأمراض الإنسانية. فالسّمّ الموجود في بكتيريا الخناق (الدفتيريا) *Corynebacterium diphtheriae* المسببة لهذا المرض هو نتاج لعملية التّحول الْفيروسيّ، وكذلك الحال للتغيرات التي تحدث في السطوح الخارجية لبعض أنواع السالمونيلا الممرضة *Salmonella*.

الفيروسات البكتيرية تصيب البكتيريا، ولها نوعان رئيسان من دورات الحياة: الدّورة التحللية التي تؤدي لموت مباشر للعائل، والدّورة الاعتداليّة، حيث يصبح الفيروس جزءًا من المادة الْوراثيّة للعائل، ويتمّ انتقاله عموديًّا بانقسام الْخليّة. يمكن للظروف أنْ تتسبب في تحول الفيروس البكتيري من دورة الاعتدال إلى الدّورة التحللية. يمكن أنْ تسهم الفيروسات البكتيرية بجينات العائل كما هي الحال في بكتيريا الكوليرا *V. cholerae* حيث إنّ سمَّ الكوليرا نابعٌ من الفيروس البكتيري.

الشكل 27–5

الدورات التحللية والمعتدلة للفيروس البكتيري. في الدّورة التحلليّة، يوجد الفيروس البكتيري على شكل DNA حرّ في سيتوبلازم الْخليّة البكتيرية العائل، ويقوم DNA الفيروس بتوجيه إنتاج جسيمات فيروسية جديدة عن طريق الْخليّة العائل، إلى أنْ يتمّ قتل هذه الْخليّة بالتحلل عن طريق الفيروس. وفي الدّورة المعتدلة، يتكامل DNA للفيروس البكتيري مع المادة الْوراثيّة الدائرية الكبيرة للبكتيريا على شكل فيروس أولي، ويتمّ تضاعفه مع تضاعف المادة الْوراثيّة للبكتيريا. ويمكنها الاستمرار في التضاعف وإنتاج بكتيريا بحالة الاعتدال، كما يمكنها الدخول في الدّورة التحللية، وقتل الْخليّة. إن الفيروسات البكتيرية أصغر من عائلها بشكل أكبر، يوضحه هذا الشكل.

3-27 فيروس نقص المناعة المكتسبة الإنساني HIV

يتوزع كَمٌّ متنوعٌ من الفيروسات بين الحيوانات. والطريقة الجيدة للحصول على فكرة عامة عن مميزات هذه الفيروسات هو بالنظر إلى أحد هذه الفيروسات الحيوانية بصورة مفصلة. وسنتناول هنا الفيروس الجديد نسبيًّا، والمسؤول عن مرض فيروسي قاتل؛ إنه مرض نقص المناعة المكتسبة *AIDS*.

يسبب فيروس نقص المناعة المكتسبة الإنساني مرض الإيدز

تم الإعلان أول مرة عن هذا المرض المعروف الآن بمرض الإيدز AIDS عام 1982 في الولايات المتحدة، مع أن من المحتمل وفاة العشرات من الناس بسببه قبل هذا التاريخ، ولم يتمّ تشخيص حالاتهم. إنّ المعلومات المتوافرة من عينات البلازما المجمدة، والتقديرات المبنية على سرعة تطوره ، والتّنوّع الحديث لسلالات هذا الفيروس في المجتمعات البشرية، تضع أصل هذا الفيروس الإنساني في إفريقيا، ومنذ خمسينيّات القرن الماضي. ولم يمضِ وقت طويل حتى تم التعرّف إلى هذا العامل المعدي، وهو فيروس عكسي، مخبريًّا في فرنسا. لقد بينت دراسة فيروس نقص المناعة المكتسبة الإنساني ارتباطه القوي بفيروس الشمبانزي، ما يدل على تمدّد حديث في عائل هذا الفيروس من الشمبانزي في أواسط إفريقيا إلى الإنسان.

وتتباين درجات مقاومة الإنسان المصاب بهذا الفيروس؛ لأن بعض النّاس لديه مقاومة منخفضة تجاه الإصابة. ولذا، ينتقل المرض من حالة التشخيص الموجب بالمرض إلى الحالة المرضية الحقيقية من الإيدز، التي تنتهي حتمًا بالموت.

في حين أنّ آخرين، وحتى بعد التعرض المتكرر، لا يتمّ تشخيصهم بموجبي الفيروس، وإذا تم ذلك، لا تظهر عليهم أعراض الإصابة به.

ومن الافتراضات الحديثة نسبيًّا لتفسير التباين في درجة الخضوع للإصابة، وجودُ التباين الجيني بين هذه المجموعات نتيجة ضغوط الانتخاب الواقعة على المجتمعات البشرية بسبب فيروسات مثل فيروس الجُدري، وفيروس الفاريولا الأكبر خلال القرون. ونتيجة لحملات التطعيم والمناعة، فقد تم التخلص والقضاء على مرض الجُدري في المجتمعات الإنسانية، على الرغم من أنه قد تسبب قبل ذلك في موت البلايين عبر العالم.

وكي يتمكن فيروس الجُدري من إصابة الْخليّة، لا بدّ من وجود مستقبلات بروتينية في غشائها الخلوي، حيث يرتبط به الفيروس، أما الأفراد الذين تحمل خلاياهم مستقبلات طافرة فسيكونون أكثر مقاومة للجُدري، وبالطبع تكون قد نقلت هذه الصفات الجينية لأبنائهم. وقد اقترح أنّ أحد هذه المستقبلات التي يستعملها فيروس نقص المناعة المكتسبة، وهو CCR5 هو نفسه مستقبل لفيروس الجُدري. ومعروف أنّ الأشخاص المقاومين لفيروس نقص المناعة المكتسبة لديهم الجين الطافر CCR5. إنّ الظهور التاريخي وتوزيع هذه الطفرة في المجتمعات البشرية يتماهى مع التوزيع التاريخي لفيروس الجُدري. وستتمّ مناقشة وباء الإيدز لاحقًا في الفصل 51.

الإصابة بفيروس نقص المناعة المكتسبة يعيق عمل جهاز المناعة لدى المصاب

يهاجم فيروس نقص المناعة المكتسبة، في حالات مرضى الإيدز، وبشكل أساسي **خلايا $CD4^+$** وخصوصًا خلايا T المساعدة. **وخلايا T المساعدة Helper T cells** هذه هي المسؤولة عن الإعداد للاستجابة المناعية ضد الغزاة الأجانب وعملها موضح بشكل كامل في (الفصل الـ 51).

يصيب فيروس نقص المناعة المكتسبة الإنساني خلايا $CD4^+$ ويقتلها، مبقيًا على عدد ضئيل منها. ودون هذه الخلايا الأساسية للجهاز المناعي، فإنّ الجسم لا يمكنه الإعداد للدفاع ضد البكتيريا أو الفيروسات الغازية، ولذلك يموت مرضى الإيدز عادة من إصابات يمكن للأشخاص الأصحاء التغلب عليها. عادة، هذه الأمراض التي تُسمّى العدوى الانتهازية *Opportunistic infections*، لا تسبب أمراضًا، إلا أنها تشكل جزءًا من التقدم في حالة الإصابة بفيروس نقص المناعة الإنساني نحو حالة الإيدز المرضية.

بصورة عامة، الأعراض السريرية لا تبدأ في التقدم إلا بعد فترة كمون طويلة، عادة ما تستمر بين 8–10 سنوات منذ بدء التعرض للإصابة بالفيروس. لكن بعض الأفراد يمكن أن يعانوا الأعراض في فترات قليلة قد تصل إلى سنين. وخلال فترة الكمون، فإنّ جسيمات الفيروس لا تنتشر. إلا أنّ الفيروس قد يوجد متكاملًا مع المادة الْوراثيّة للمبلعمات الكبيرة Macrophages وخلايا $CD4^+$ على شكل فيروس أولي بشكل مشابه للفيروس البكتيري الأولي في البكتيري.

الكشف عن فيروس نقص المناعة الإنساني

إن الكشف عن فيروس نقص المناعة الإنساني لا يعتمد على وجود الفيروس في الدّورة الدموية، بل يعتمد على وجود الأجسام المضادة لهذا الفيروس. ويعود ذلك إلى أنّ الأشخاص الذين يحملون في دمهم جسيمات هذا الفيروس هم وحدهم الذين سيحملون الأجسام المضادة لهذا الفيروس من فترة إلى أخرى. توفر عملية المسح هذه طريقة فعالة لتحديد ما إذا كانت هناك ضرورة لفحوص أخرى لتأكيد حالة وجود الفيروس الإنساني.

انتشار مرض نقص المناعة المكتسبة الإنساني

على الرّغم من أنّ حاملي فيروس نقص المناعة الإنساني لا يحملون أيّ أعراض خلال فترة الكمون، فإنهم قادرون تمامًا على نقل العدوى؛ ما يجعل السّيطرة على انتشار فيروس نقص المناعة الإنساني صعب المنال. ويبدو أنّ سبب بقاء هذا الفيروس مختفيًا مددًا طويلة هو أنّ دورة الإصابة تستمر بين 8–10 سنوات دون أيّ أذى ملاحظ على المصاب، وهذا عائد لفعالية الجهاز المناعي خلال هذه الفترة. ومع ذلك، يسمح حدوث الطفرات العشوائية في الفيروس، أو فشل الاستجابة المناعية للفيروس بالتغلب بسرعة على الدفاعات المناعية ما يؤدي لبداية ظهور الإصابة بالإيدز.

يصيب فيروس نقص المناعة المكتسبة خلايا أساسية في جهاز المناعة

تقدم الطريقة التي يصيب بها فيروس نقص المناعة الإنساني مثالًا جيدًا لكيفية تضاعف الفيروسات الحيوانية (الشكل 27–6). تتبع معظم أنواع العدوى الفيروسية مسارًا مشابهًا، غير أنّ تفاصيل الدخول والتضاعف تختلف في الحالات الفردية.

الالتصاق

عند دخول الفيروس في مجرى الدم الإنساني، تنتشر جسيمات الفيروس في عموم أنحاء الجسم، إلا أنها تصيب خلايا $CD4^+$ فقط. تحتاج معظم الفيروسات الحيوانية الأخرى كذلك إلى متطلبات ضيقة. فمثلًا، يذهب فيروس التهاب الكبد إلى الكبد فقط. في حين يذهب فيروس داء الكلَب إلى الدّماغ. ويتحدد الانتحاء النسيجي بالبروتينات الموجودة على سطوح الخلايا والفيروسات. فعلى سبيل المثال، يستعمل فيروس الرشح (الزكام) البروتين الغشائي ICAM-1 بوصفه مستقبلًا للدخول للخلايا. تتم زيادة إنتاج هذا البروتين في حالة التنشيط المناعي والإجهاد. وهكذا مع ازدياد الالتهاب والإجهاد في أيّ منطقة، فإنّ المزيد من المستقبلات تتاح للفيروس للدخول إلى الخلية، ولاستمرار العملية المرضية.

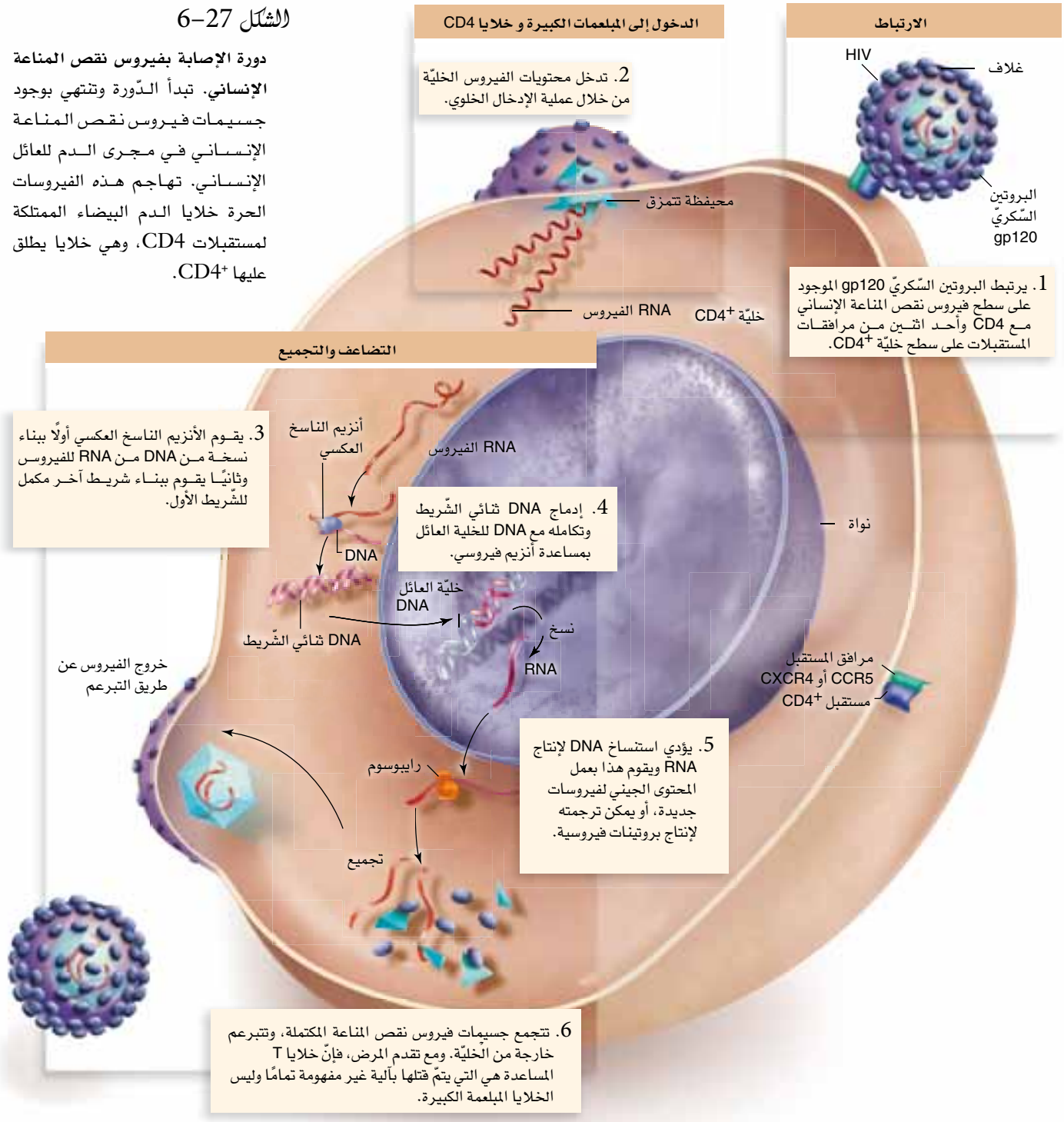
كيف يمكن لفيروس مثل فيروس نقص المناعة الإنساني أن يتعرف إلى الْخليّة المستهدفة؟ تذكر في الفصل الـ 9، أنّ كلّ نوع من الخلايا في جسم الإنسان، يمتلك تنوعًا متخصصًا من مؤشرات الْخليّة السطحية من البروتينات السكرية التي تمكّن هذه الخلايا من التعريف بنفسها للخلايا الأخرى المشابهة لها. تقوم الفيروسات الغازية باستغلال هذه الظاهرة للارتباط ببعض أنواع الخلايا، ويمتلك كلّ جسيم من فيروس نقص المناعة الإنساني بروتينًا سكريًّا، اسمه gp120، متلائم تمامًا للارتباط مع مؤشر سطح خليّة CD4 البروتيني على سطوح المبلعمات الكبيرة للجهاز المناعي وخلايا T. تُصاب المبلعمات الكبيرة أولًا، وهي نوع آخر من خلايا الدم البيضاء. بسبب تفاعل المبلعمات الكبيرة بصورة عامة مع خلايا $CD4^+$ التائية، فإن ذلك قد يكون إحدى طرق إصابة خلايا T. وهناك كثير من مرافقات المستقبلات التي تؤثر وبشكل مهم في إمكانية دخول الفيروس إلى الخلايا. وهذا يشمل مستقبلات CCR5 الطافرة في الأفراد المقاومين لفيروس نقص المناعة الإنساني.

دخول الفيروس

بعد رسو الفيروس على مستقبل CD4 للخلية، يحتاج إلى مرافق مستقبل مثل CCR5 لدفع نفسه عبر الغشاء الخلوي. وبعد ارتباط gp120 مع مستقبل $CD4^+$ يعاني تحولًا شكليًّا يؤهله عندها للارتباط لمرافق المستقبل. ويُعتقد أنّ ارتباط المستقبل يؤدي لاندماج الفيروس مع الأغشية الخلوية للخلية، ودخول الفيروس من خلال ثقب الاندماج. هناك افتراض هو أن مرافق المستقبل CCR5 تم استعماله من قِبلِ فيروس الجُدري كما أشرنا سابقًا.

التضاعف

حال دخول فيروس نقص المناعة الإنساني خليّة العائل، يتخلص من غلافه الواقي، وهذا يؤدي لطفو RNA الفيروس في السيتوبلازم، إضافة لأنزيم الناسخ العكسي الذي كان موجودًا في الفيروس الكامن. ويقوم أنزيم الناسخ العكسي ببناء شريط مزدوج من DNA مكمل لـ RNA للفيروس، وغالبًا ما يرافق هذه العملية أخطاء مؤدية لطفرات جديدة. عندئذ، يدخل DNA ثنائي الشّريط إلى النواة برفقة أنزيم الفيروس اللازم لربط DNA فيروسي الأصل مع DNA للخلية العائل. وبعد فترة متفاوتة من الكمون، يوجه فيروس نقص المناعة الإنساني الأولي آليات الْخليّة العائل لإنتاج كثير من نسخ الفيروس.



الشكل 27-6

دورة الإصابة بفيروس نقص المناعة الإنساني. تبدأ الدّورة وتنتهي بوجود جسيمات فيروس نقص المناعة الإنساني في مجرى الدم للعائل الإنساني. تهاجم هذه الفيروسات الحرة خلايا الدم البيضاء الممتلكة لمستقبلات CD4، وهي خلايا يطلق عليها $CD4^+$.

وكما هو الحال مع معظم الفيروسات المغلّفة، فإنّ فيروس نقص المناعة الإنساني لا يدمّر الخليّة التي يهاجمها مباشرة ويقتلها، بل يتمّ إطلاق الفيروسات الجديدة من الخليّة عن طريق التبرعم، وهي العملية المشابهة إلى حد كبير لعملية الإخراج الخلوي. يقوم فيروس نقص المناعة الإنساني بإنتاج أعداد كبيرة من الفيروسات بهذه الطريقة متحديًا بذلك الجهاز المناعي على مدى سنوات. في المقابل، فإنّ الفيروسات العارية، التي تفتقر للغلاف، غالبًا ما تقوم بتحليل الخليّة العائل لتتمكن من الخروج. ويمكن لبعض الفيروسات المغلفة أنْ تنتج أنزيمات تؤدي لإحداث تلف في الخليّة يكفي لقتلها، أو يمكنها إنتاج أنزيمات محللة أيضًا.

تطور فيروس نقص المناعة الإنساني خلال الإصابة

يتضاعف فيروس نقص المناعة الإنساني، ويتعرض لطفرات بشكل مستمر خلال الإصابة. إن أنزيم الناسخ العكسي أقل دقة من الأنزيم المبلمر لـ DNA، ما يؤدي لارتفاع نسبة الطفرات. وفي النهاية، وعن طريق المصادفة، فإنّ أنماطًا متغيرة من جين gp120 تظهر ما يؤدي لأن يغير بروتين gp120 شريك مستقبله الثاني. وسيرتبط هذا النمط الجديد من بروتين gp120 إلى مستقبل آخر مختلف، فيرتبط مثلًا بـ CXCR4 بدلًا من CCR5. يستهدف الفيروس خلال المرحلة المبكرة من الإصابة الخلايا المناعية ذات المستقبل CCR5، وهذا يؤدي في النهاية لحدوث طفرة في الفيروس، حيث يصبح قادرًا على إصابة مدى أوسع من

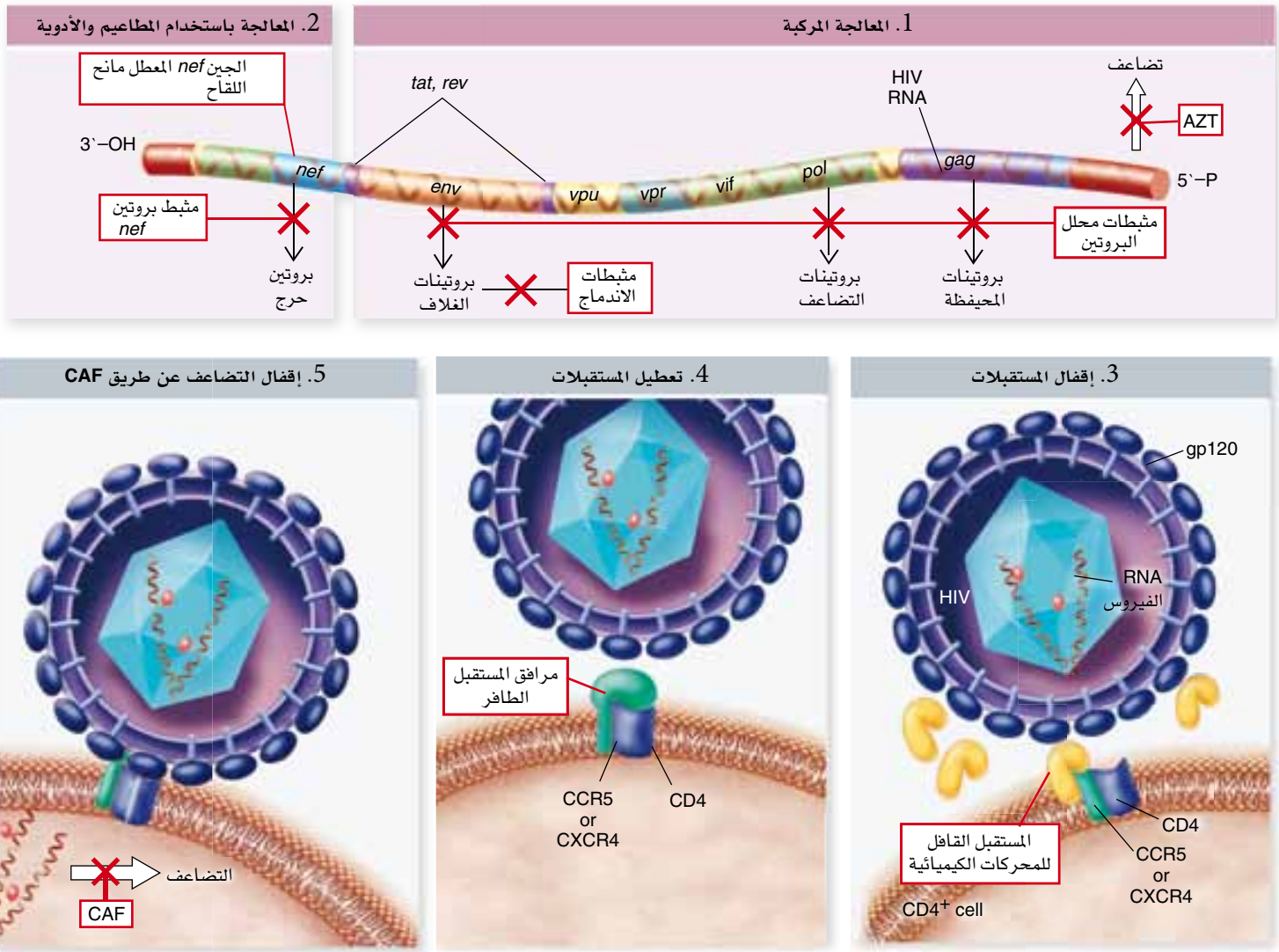
الخلايا. تؤدي الإصابة في النهاية لتدمير خلايا T المساعدة وفقدانها ما يؤدي لتعطيل استجابة الجسم المناعية، ويؤدي مباشرة لظهور مرض الإيدز، ويعطي الحرية الكاملة للسرطانات وللعدوى الانتهازية للفتك بالضحية التي لا تمتلك أيّ دفاعات مناعية. ولا تعود معظم حالات الوفاة من مرضى الإيدز لفيروس نقص المناعة الإنساني، وإنما إلى أمراض لا تؤذي عوائل تتمتع بجهاز مناعي عادي.

يشكل البحث عن سبل معالجة نقص المناعة المكتسبة أولوية عالية

إن الاكتشافات الجديدة حول كيفية عمل فيروس نقص المناعة الإنساني تستمر في دفع البحث لكيفية التعرّف إلى طرق التغلب عليه. ويقوم الباحثون، على سبيل المثال، بفحص عقاقير ومطاعيم تعمل على مستقبلات فيروس نقص المناعة الإنساني متفحصين إمكانية إيقاف بروتينCCR5، والبحث عن تغيرات في تركيب مستقبلات هذا الفيروس في أفراد أصيبوا به، إلا أنهم لم يطوروا أعراض الإيدز. ويبين (الشكل 27–7) ملخصًا لبعض التطورات والاستكشافات الحديثة.

المعالجة المركبة بالعقارات

يمكن لنوعين من العقاقير أنْ توقف فيروس نقص المناعة الإنساني في أنابيب الاختبار: وهذه نظائر النيوكليوسيدات مثل AZT، ومثبطات الأنزيم المحلل للبروتين. تشبه الأولى النيوكليوتيدات العادية، إلا أنها تعمل على إيقاف السلسلة لإيقاف عملية التضاعف. أما الثانية، فتوقف عمل الأنزيم المحلل للبروتينات اللازمة لشق بروتينات متعددة كبيرة الحجم إلى وحدات من المحافظ، وكذلك عمل أنزيم وبروتينات غلافية خلال دورة الحياة العادية.



الشكل 27–7

المعالجة الواعدة لفيروس نقص المناعة الإنساني. يبين الجزء العلوي من الشكل أعلاه الخريطة الجينية لفيروس نقص المناعة الإنساني، في حين يبين الجزء السفلي عملية الالتصاق بخلية العائل. والبحث الآن جارٍ في الحقول الخمسة الآتية: 1) المعالجة المركبة الحالية تشمل نوعين من العقاقير: عقار AZT لإيقاف تضاعف الفيروس ومنعه، ومثبطات الأنزيم محلل البروتين لمنع إنتاج بروتينات الفيروس الضرورية وإيقافها. أمكن حديثًا تطوير بعض البروتينات الصناعية التي تمكن من منع اندماج غشاء فيروس نقص المناعة الإنساني مع غشاء الخليّة العائل. 2) يمكن للعلماء أنْ ينتجوا لقاحًا باستعمال شكل معطل من جين الفيروس *nef*. وإن المعالجة بعقار يمكن أن يمنع إنتاج بروتين الجين nef هي قيد الاختبار الآن. 3) تركز بحوث أخرى على استعمال المحركات الكيميائية لإيقاف مرافقات المستقبلات (CCR5 و CXCR4) ما سيؤدي لإعاقة الآلية التي يستعملها فيروس نقص المناعة الإنساني لدخول خلايا $CD4^+$. 4) يمكن أيضًا إنتاج طفرات تعوق عمل المستقبلات. 5) وأخيرًا، يمكن أنْ يمنع العامل CAF المضاد للفيروس الذي يعمل داخل خليّة $CD4^+$ تضاعف فيروس نقص المناعة الإنساني.

وعند استعمال خليط من هذه العقاقير وإعطائها لمصابين بفيروس نقص المناعة الإنساني، وتحت ظروف بحثية محكمة، فإنّ حالتهم تتحسن لفترات زمنية متباينة. لقد أدت بعض هذه الدراسات التي شملت استعمال مثبط البروتين ونوعين من عقاقير AZT إلى التّخلّص كليًّا من فيروس نقص المناعة الإنساني في مجرى دم كثير من المرضى. بدأ كل من هؤلاء المرضى بالحصول على المعالجة المركبة خلال الثلاثة الأشهر الأولى لحملهم المرض وقبل أن تطور أجسامهم تحملًا (نقص في الحساسية نحو العلاج) لأيّ عقار منفرد. وأدى الاستعمال الواسع لهذه **المعالجة المركبة Combination therapy** أو **المعالجة عالية الفعالية ضد الفيروس الراجع (HAART) Highly active antiretroviral therapy** لانخفاض نسبة الوفيات بين المرضى بما يعادل ثلاثة أرباع منذ بدء استعمالها في منتصف التسعينيات.

ولسوء الحظ، فإنّ هذا النوع من المعالجة المركبة لا يؤدي فعلًا للتخلص من الفيروس في الجسم، مع أنّ الفيروس يختفي من مجرى الدم. ويمكن ملاحظة وجود بقايا له في أنسجة المرضى اللمفاوية، وعند توقف المعالجة المركبة، فإنّ مستويات الفيروس في مجرى الدم ترتفع ثانية.

وبسبب التكلفة، وبرامج المعالجة المرهقة، وكثير من الأعراض الجانبية، فإنّ المعالجة المركبة على المدى الطويل لا تبدو واعدة، إضافة إلى أنّ مرض نقص المناعة الإنساني يعدّ مشكلة خطيرة في الولايات المتحدة، ووصل في إفريقيا إلى مرحلة حرجة أكبر مما يمكن تصوره. إنّ أكثر من 95% من الناس المصابين بهذا الفيروس في مختلف أنحاء العالم يقطنون في البلدان النامية. وإن المعالجة عالية الفعالية تجاه الفيروس الراجع HAART مع خليط من العقارات المتخصصة عالية التكلفة لا تشكل خطة فعالة قابلة للحياة لأناس يعيشون في مثل هذه البلدان.

المعالجة باللقاحات: استعمال الجين المعطل لفيروس نقص المناعة الإنساني للتغلب على الإيدز

لوحظ حديثًا أن خمسة أشخاص في أستراليا حاملين لفيروس نقص المناعة الإنساني لم يظهروا الإصابة بمرض نقص المناعة المكتسبة الإنساني (الإيدز) خلال أربعة عشر عامًا. وقد لوحظ أنّه نقل إليهم الدّم من شخص واحد يحمل فيروس نقص المناعة الإنساني، ولم تظهر عليه أعراض مرض الإيدز أيضًا. وقد أدت هذه الملاحظة إلى اعتقاد الباحثين أن السّلالة الفيروسية المنتقلة للمصابين هؤلاء تعاني خللًا وراثيًّا أدى إلى عدم مقدرتها على تعطيل جهاز المناعة الإنساني. لهذا، فإنهم جميعهم يحملون كمًّا قليلًا من الفيروس ما أدى إلى عدم ظهور هذا المرض.

في دراسة لاحقة، وُجِدَ خلل في واحد من الجينات التسعة الموجودة في هذه السّلالة من فيروس نقص المناعة الإنساني. وقد سمي هذا الجين *nef* إشارة إلى العامل السلبيNegative factor. إن هذا الصنف المعطل من جين *nef* في فيروس نقص المناعة الإنساني الذي أصاب الأستراليين الستة، على ما يبدو، يعاني فقدان بعض أجزائه. إن الفيروسات التي تمتلك هذا الجين المعطل يمكن أنْ تكون قدرتها على التضاعف قد تقلصت، ما يؤدي للسيطرة عليها من قبل جهاز المناعة.

تقدم هذه المعلومات مفاهيم مثيرة للاهتمام فيما يتعلق بتطوير مطاعيم ضد مرض الإيدز. وقبل هذا، لم يتمكن الباحثون من النجاح في محاولات إنتاج سلالة فيروسية من فيروس الإيدز يمكنها إحداث استجابة مناعية فاعلة. إن السّلالة الأسترالية التي تعاني خللًا في جين *nef* يمكن أنْ تكون مفيدة في إنتاج مثل هذا اللقاح. من التطبيقات الواعدة لهذه الحالة هو إمكانية تطوير عقاقير لمنع إنتاج بروتينات الفيروس التي تُسَرِّعُ تضاعفه. وعلى ما يبدو، فإنّ البروتين المنتج من قبل جين *nef* هذا هو أحد هذه البروتينات الضرورية لفيروس نقص المناعة الإنساني، حيث إنّ الفيروسات التي تحمل أنماطًا معطلة من هذا الجين لا تتمكن من التضاعف بصورة فعالة كما في حالات الأستراليين الستة. ومازال البحث مستمرًّا لتطوير عقار يستهدف بروتينات *nef* هذه.

إيقاف التضاعف: المحركات الكيميائية وعامل *CAF*

يبدو أن منظمات الْخليّة المناعية الطبيعية (المحركات الكيميائية) تمنع الإصابة بفيروس نقص المناعة الإنساني من خلال ارتباطها ومنعها للمستقبلات المشاركة CCR5 و CXCR4. إنّ CCR في كلّ من CCR5 و CXCR4 تشير إلى مرافقات مستقبلات المحركات الكيميائية Chemokine coreceptors وهذه مستقبلات طبيعية للمحركات الكيميائية. ويمكن للإنسان أنْ يتوقع أنّ الأشخاص المصابين بفيروس نقص المناعة الإنساني يمتلكون مستوى مرتفعًا من هذه المنظمات في دمهم، أو أنهم يمتلكون مستويات منخفضة من مرافقات المستقبلات CCR5 و CXCR4. لهذا، فإنّ البحث عن المنظمات الطبيعية المثبطة لفيروس نقص المناعة أصبح حثيثًا، وليست النتائج جميعها واعدة. يشير الباحثون إلى أن مستوى هذه المنظمات الطبيعية لا يختلف بين المرضى الذين يعانون إصابات غير نشطة، وأولئك الذين يعانون الإصابة سريعة التقدم. الحالة الواعدة أن مستويات عامل آخر يُسمّى العامل المضاد للفيروس CAF العامل المضاد للخلية $CD8^+$ ($CD8^+$cell antiviral factor) مختلفة في هاتين المجموعتين. لم يتمكن الباحثون بعد من النجاح في عزل عامل CAF الذي يبدو أنه لا يقفل المستقبلات التي يستعملها فيروس نقص المناعة للدخول للخلايا، وإنما يمنع تضاعف الفيروس بعد إصابته للخلايا.

ثمة مشكلة أخرى في استعمال هذه المنظمات الطبيعية بوصفها عقاقير تتمثل في أنها تؤدي دورًا في استجابات الجهاز المناعي، حيث تقوم المنظمات الطبيعية باستقطاب خلايا الدم البيضاء لمناطق الإصابة. تعمل هذه المنظمات الكيماوية بكميات قليلة في مناطق موضعية، ولكنها يمكن أن تسبب استجابة التهابية أسوأ من الإصابة الأصلية عندما تكون بأعداد كبيرة، إضافة إلى أن تجنيد أعداد متزايدة من المبلعمات الكبيرة وخلايا T المساعدة، سوف يوفر المزيد من الأهداف للإصابة بفيروس نقص المناعة الإنساني. لهذا، فإنّ الباحثين يحذرون بأنّ حقن هذه المنظمات الطبيعية قد يؤدي لجعل المريض أكثر عرضة للعدوى.

إقفال المستقبلات أو تعطيلها

لقد تم التعرّف إلى أنماط من الجينات المنتجة لمستقبل CCR5. ووجد أن أحد هذه الأليلات يعاني فقد 32 زوجًا من القواعد، ويؤدي لإنتاج خلايا أقل عرضة للإصابة. إنَّ الأفراد المعرضين بدرجة عالية للإصابة بفيروس نقص المناعة الإنساني، الذين هم متماثلو الجينات لهذه الطفرة في الأليل نادرًا ما يصابون بمرض نقص المناعة المكتسبة. وفي إحدى الدراسات التي شملت 1955 شخصًا، لم يجد الباحثون أيّ إصابة في الأفراد متماثلي الجينات للأليل الطافر، وإنّ الأفراد مختلفي الجينات لديهم بعض الوقاية من حيث إبطاء تقدم المرض.

وعلى ما يبدو، فإنّ هذا الأليل أكثر انتشارًا (10–11%) في المجتمعات القوقازية البيضاء منه في المجتمعات الأمريكية الإفريقية (2%) وهو غائب تمامًا في المجتمعات الإفريقية والآسيوية. إن معالجة مرض نقص المناعة المكتسبة الإنساني المتضمن تعطيل CCR5 تبدو عملية واعدة؛ لأنّ البحث في هذا المجال يشير إلى أنّ الأشخاص يعيشون بصورة جيدة دون الحاجة إلى عامل CCR5. وتحاول كثير من مختبرات البحث العمل على إقفال CCR5 أو تعطيله.

يسبب فيروسُ نقص المناعة الإنساني مرضَ نقص المناعة المكتسبة (الإيدز). يصيب الفيروس مبدئيًا خلايا $CD4^+$ T ما يؤدي لإعاقة عمل جهاز المناعة. فيروس نقص المناعة الإنساني هو فيروس راجع يدخل الْخليّة خلال عملية اندماج. وتؤدي الإصابة بفيروس نقص المناعة في النهاية لموت خلايا $CD4^+$ T بصورة كبيرة. في الدول المتطورة، يعتمد نمط المعالجة على المعالجة المركبة بالعقاقير، وتُجرى كثير من الدراسات لتطوير لقاحات، أو إيجاد عوامل تمنع الإصابة به.

4-27 أمراض فيروسية أخرى

لقد عرف الإنسان الأمراض الفيروسية، وتخوّف منها منذ آلاف السنين. ومن بين الأمراض التي تسببها الفيروسات (انظر الجدول 27–1) الإنفلونزا، والجُدري، والتهاب الكبد، والحمى الصفراء، والشلل، ومرض نقص المناعة المكتسبة الإنساني، ومرض الالتهاب التنفسي الحاد SARS. إضافة لذلك، لبعض الفيروسات دور في إحداث بعض السّرطانات بما في ذلك اللوكيميا (سرطان الدم الأبيض). ولا تسبب الفيروسات الإنسانية المرض فحسب، بل إنّ بعضها يسبب خسائر فادحة في الزراعة والغابات، وإنتاج الأنظمة البيئية الطبيعية.

يسبب الإنفلونزا فيروس الإنفلونزا

يمكننا القول: إن فيروس الإنفلونزا هو الفيروس الأكثر فتكًا في التاريخ الإنساني. وكما أشرنا، فإنّ 20–50 مليون شخص في العالم قد قضوا بسبب الإنفلونزا خلال 18 شهرًا في عامي 1918 و 1919.

الأنواع وتحت الأنواع

إن فيروسات الإنفلونزا من فيروسات RNA المغلفة المقطعة التي تصيب الحيوانات. والفيروس الواحد من فيروسات الإنفلونزا يشبه العصا المرصّعة بأشواك مكونة من نوعين من البروتينات. ويمكن تمييز الأنواع الثلاثة العامة لفيروس الإنفلونزا من خلال بروتينات المحيفظة التي تحيط بقطع فيروس RNA المختلفة لكلّ نوع: ففيروس الإنفلونزا من **نوع Type A flu virus A** يسبب معظم أوبئة الإنفلونزا في الإنسان، التي تحدث أيضًا في الحيوانات الثديية والطّيور. وأما الفيروسات من نوعي B و C فهي خاصة بالإنسان، ونادرًا ما تشكل خطورة صحية.

تختلف بعض سلالات فيروس الإنفلونزا في أشواكها البروتينية، ولهذا يُطْلَقُ عليها تحت الأنواع. وأحد هذه البروتينات هو بروتين المخثر الدموي (H) الذي يساعد الفيروس على الوصول إلى داخل الْخليّة. البروتين الآخر هو أنزيم Neuramidinase (N) الذي يساعد جسيمات الفيروس الجديدة على التحرر من داخل الْخليّة العائل عند اكتمال تضاعف هذه الفيروسات. وتحوي أجزاء من جزيء H بقعًا نشطة تمتلك ميولًا غير عادية للتغير نتيجة حدوث طفرة في فيروس RNA خلال عملية التضاعف غير الدقيقة. تسبب الطفرات النقطية تغيرات في البروتينات الشوكية في 1 من كلّ 100,000 فيروس خلال كلّ دورة للتضاعف. إنّ هذه القطع المتغيرة من جزيء H تشكل أهدافًا للأجسام المضادة التي ينتجها الجسم. وإن هذه المناطق المتغيرة باستمرار من جزيء H تحسن إمكانية تضاعف الفيروس، وتعرقل إمكاناتنا بإنتاج مطاعيم فاعلة.

وبسبب تراكم التغيرات في جزيئات H و N هذه، تبرز الحاجة إلى مطاعيم تقي من تحت الأنواع المختلفة من هذه الفيروسات. فنوع A من فيروس الإنفلونزا يصنّف الآن إلى 13 تحت نوع مميز من نوع H، و 9 تحت أنواع مميزة من نوع N، وكلّ منها يحتاج إلى لقاح يقي من الإصابة. وعليه، فإنّ فيروس نوع A الذي أدى لوباء إنفلونزا عام 1918 يمتلك نوع H1، ونوع N1، وتم وصفه كنوع A (H1N1).

أهمية التّهجين (إعادة الاتحاد الوراثي)

تكمن المشكلة الرّئيسة في التغلب على فيروس الإنفلونزا في عملية التّهجين الجيني، وليس في عملية حدوث الطفرات. يُعاد ترتيب القطع الفيروسية لـ RNA من خلال عملية التّهجين الجيني، عندما يقوم تحت نوعين من الفيروس بإصابة الْخليّة نفسها، وربما يؤدي هذا لصنع خليط وراثي جديد من أشواك H و N لا يمكن تمييزه والتعرّف إليه من قِبَلِ الأجسام المضادة الإنسانية المخصصة للتعرف إلى الشكل القديم للفيروس.

ويبدو أنّ عمليات التّهجين الْفيروسيّ من النوع أعلاه هي المسؤولة عن تفشي الأوبئة الثلاثة للإنفلونزا التي حدثت في القرن العشرين، من خلال حدوث تغييرات في عمليات تهجين N–H وخلطها. فالإنفلونزا الإسبانية عام 1918 A (H1N1) قتلت نحو 20–50 مليون شخص. والإنفلونزا الآسيوية (H2N2) A عام 1957 قتلت ما يزيد على 100.000 أمريكي، وإنفلونزا هونج كونج عام 1968 A (H23N) أصابت 50 مليون شخص في الولايات المتحدة وحدها، حيث قضى منهم 70.000 شخص.

أصل السّلالات الجديدة

ليس من قبيل المصادفة أنْ يكون أصلُ السّلالات الجديدة لفيروسي الإنفلونزا من الشرق الأقصى. فالعوائل الأكثر شيوعًا لفيروسات الإنفلونزا تتمثل في البطّ، والدّجاج، والخنازير التي تعيش في آسيا قريبة من بعضها ومن الإنسان. وتصاب الخنازير بسلالات فيروسات من الطّيور والإنسان، وإنّ الحيوان الواحد غالبًا ما يُصاب تلقائيًّا بأكثر من سلالة واحدة من الفيروس. يؤدي هذا للحالة التي تصبح فيها الظروف مناسبة للخلط الجيني بين السّلالات، ما يؤدي كذلك لخليط جديد من تحت أنواع H و N. وعلى سبيل المثال، فإنّ فيروس إنفلونزا هونج كونج نتج من خليط بين فيروس البط A (H3N8) وفيروس A (H2N2) من الإنسان. إن السّلالة الجديدة من الإنفلونزا، في هذه الحالة A (H3N2) تنتقل للإنسان مجددًا مؤدية لوباء؛ لأن المجتمع الإنساني لم يتعرض سابقًا لهذا الخليط من H–N.

عام 1997، تم اكتشاف شكل من إنفلونزا الطّيور A (H5N1) يمكنه أن يصيب الإنسان. إن إنفلونزا الطّيور مرض معدٍ جدًا، ومميت بين أسراب الطّيور، وواضح الآن أن سلالة H5N1 تنتقل بين الطّيور الدّاجنة التي تعيش بتماس مع الإنسان، والطّيور البريّة المهاجرة عبر العالم. وتسبب إنفلونزا الطّيور حاليًا حالات وفاة بين البشر، حيث سجلت أكثر من 100 حالة وفاة، ولكن لا يبدو أنها تنتشر بين البشر، وبسبب درجة التغير الواسعة في جينات فيروس الإنفلونزا تبقى إمكانية انتقال إنفلونزا الطّيور من شخص إلى آخر قائمة. ومع سهولة سبل السفر والانتقال للبشر والمواشي يمكن حدوث وباء على نطاق عالمي. نتيجة لذلك، فإنّ انتقال سلالة H5N1 مراقبة بدقة من قبل علماء الوبائيات. إضافة إلى هذا، يعمل العلماء على تطوير لقاحات، في حين تخزّن الحكومات كميات وافرة من مضادات الفيروسات تحسبًا لحدوث ذلك.

تظهر فيروسات جديدة نتيجة إصابة عوائل جديدة

تنتقل بعض الفيروسات المتأصلة في مخلوق معين أحيانًا إلى مخلوق آخر ما يؤدي لتوسيع مدى عوائلها. سيكون هذا التمدد في العوائل في الغالب مميتًا للعائل الجديد. فعلى سبيل المثال، كان يُعتقد أنّ فيروس نقص المناعة الإنساني بدأ ظهوره في الشمبانزي، ومن ثم انتقل حديثًا للإنسان. وفيروس الإنفلونزا هو فيروس طيور أصلًا. يُطلق على الفيروسات المتأصلة في مخلوق بعينه، ثم تنتقل إلى آخر، وتسبب له المرض **الفيروسات الناشئة Emerging viruses** وهي تشكل تهديدًا كبيرًا في عصر يمكن فيه لأشخاص مصابين السفر جوًّا، والتحرك بسرعة عبر العالم لنشر الإصابة.

الشكل 27–8

فيروس الإيبولا. يظهر هذا الفيروس بمعدلات قاتلة بصورة متقطعة في غرب إفريقيا، ويؤدي لمعدلات وفاة تفوق 90%. أما عائله الطبيعي فهو غير معروف حتى الآن.

فيروس هَنْتا *Hantavirus*

وهو فيروس ناشئ تسبب في إصابات مفاجئة مميتة بذات الرئة في جنوب غرب الولايات المتحدة عام 1993. وتم تعقب هذا المرض وإرجاعه لنوع من فيروس هنتا، وأطلق عليه رقم الخطيئة *Sin nombre* أو الفيروس عديم الاسم *No-name virus*. وفيروس الهنتا هذا فيروس من RNA وحيد الشّريط يرتبط بالقوارض، وتم تعقبه في النهاية وإرجاعه لفأر الغزال. ينتقل هذا الفيروس إلى الإنسان من خلال التلوث بالإفرازات البرازية والبولية في مناطق وجود الإنسان، وقد تم الحد من المرض من خلال السيطرة على فأر الغزال.

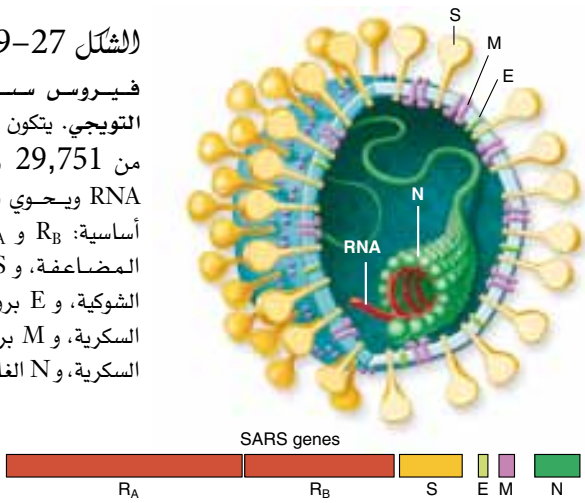
الحمى النزفية: الإيبولا *Ebola virus*

يكون أصل الفيروس الناشئ أحيانًا غير معروف، وهذا يجعل من حدوث الإصابات أمرًا تصعب السيطرة عليه. من بين الفيروسات الناشئة الأكثر فتكًا، مجموعة من الفيروسات الخيطية التي ظهرت في وسط إفريقيا، وسببت حمى نزفية حادة، وبدرجة فتك مميتة تصل إلى 50%. إن هذه الفيروسات المسماة **الفيروسات الخيطية Filoviruses** تصنف من بين أكثر الفيروسات المعروفة المعدية فتكًا. أحد هذه الفيروسات هو فيروس الإيبولا (الشكل 27–8) الذي تسبب في نسبة وفيات تصل إلى 90% في أوبئة معزولة وسط إفريقيا. لقد قتلت عدوى فيروس الإيبولا في زائير عام 1995، 245 شخصًا من بين 316 شخصًا أصيبوا بالفيروس، أي بنسبة وفيات وصلت إلى 78%.

وفي حالة انتشار حديثة عام 2004 لفيروس الإيبولا في مدينة يامبيو بجنوب السودان أصابت 17 شخصًا توفي 7 منهم. وقد أمكن السيطرة على هذه الحالة بسرعة من خلال عزل المصابين عن عائلاتهم حال ظهور الأعراض، وما زال العائل الطبيعي لفيروس الإيبولا مجهولًا.

المرض التنفسي الحاد؛ سارس *Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS)*

عام 2003، تسبب فيروس حديث الظهور من الفيروسات التويجية (الشكل 27–9) في ظهور حالات إصابة واسعة الانتشار بمرض سارس. مرض سارس هو إصابة تنفسية بأعراض شبيهة بذات الرئة. وكان مميتًا بنسبة تفوق 8% من الحالات. وعند تحديد تسلسل RNA للفيروس المسبب للسارس والمكون من 29,751 نيوكليوتيد تبين أنه شكل جديد من الفيروس التويجي، ولا يشبه أيًّا من الأنماط الثلاثة المعروفة سابقًا. يرى علماء الفيروسات أن فيروس سارس التويجي هذا قد أتى في الغالب من بعض الحيوانات الثديية الشبيهة بابن عرس، وحيوانات برية أخرى تعيش في الصين، يتمّ تناولها بوصفها أغذية شهية للمترفين. وإذا وجد هذا الفيروس بالتأكيد في الجماعات الطبيعية، فإنه سيكون من الصعب منع حدوث الإصابات المستقبلية دون لقاح فعال. تشير بعض المعلومات الحديثة إلى أنّ الخفّاش هو الخزّان الطبيعي لفيروس سارس. إلا أن أهمية هذه المعلومة في السيطرة على هذا الفيروس ما زالت غير واضحة الآن.



الشكل 27–9

فيروس سارس SARS التويجي. يتكون فيروس سارس من 29,751 نيوكليوتيد من RNA ويحوي ستة جينات أساسية: R_B و R_A الأنزيمات المضاعفة، و S البروتينات الشوكية، و E بروتينات الغلاف السكرية، و M بروتينات الغشاء السكرية، و N الغلاف النووي.

عند دراسة تسلسل المادة الْوراثيّة لفيروس سارس من مرضى في مراحل مختلفة من الإصابة، تبين أنّ معدلَ ظهور الطفرات فيه منخفضٌ بالمقارنة مع فيروس نقص المناعة الإنساني، وهو أيضًا فيروس آخر من فيروسات RNA. إن ثبات المحتوى الوراثي لفيروس سارس يجعل إمكانية تطوير لقاح له قابلًا للتطبيق. وقد ساعدت الخبرات المكتسبة من خلال تطوير مواد ضد فيروسات RNA الأخرى مثل فيروس نقص المناعة الإنساني، وفيروس الإنفلونزا على تطوير عقاقير لمعالجة سارس. وهناك كثير من مضادات هذا المرض واللقاحات التي يجري تجريبها حاليًا في مختبرات في مختلف أنحاء العالم.

يمكن أنْ تُسبِّبَ الفيروساتُ السّرطانَ

تمكن العلماء والباحثون من خلال الدراسات الاستقصائية الوبائية والبحثيّة من تكوين علاقة بين بعض الإصابات الفيروسية، وما يتبعها لاحقًا من تطور الإصابة بالسّرطان. تشمل الأمثلة هنا الارتباط بين الالتهاب الكبدي B المزمن، وظهور سرطان الكبد، وكذلك ظهور سرطان عنق الرحم بعد التعرض للإصابة ببعض سلالات فيروس البابيلوما.

يمكن أنْ تسهم الفيروسات بما نسبته 15% من حالات السّرطان في أنحاء العالم كلّه. وهي قادرة على تغيير صفات النمو لخلايا الإنسان المصابة من خلال تنشيط تفعيل الجينات المسببة للسرطان المسماة الجينات الْمُسَرْطِنَة (انظر الفصل الـ 10). إنّ تغير الوظيفة الطبيعية لهذه الجينات يؤدّي إلى السّرطان.

ويمكن أن تَحدث هذه التغيرات؛ لأن بروتينات فيروسية تتدخل في عملية تنظيم تفعيل هذه الجينات الْمُسَرْطِنَة، أو أنّ تكامل المادة الْوراثيّة للفيروس مع كروموسوم الْخليّة العائل قد يعطل جينًا يلزم للسيطرة على دورة الْخليّة. ويمكن للفيروسات نفسها أنْ تشفِّر هذه الجينات الْمُسَرْطِنَة أيضًا. تشمل السّرطانات التي تسببها الفيروسات علاقات معقدة مع جينات الخلايا، وتتطلّب سلسلة من الأحداث لتتمكّن من الظّهور. وقد أدى الترابط بين الفيروسات وبعض أشكال السّرطان إلى البحث في تطوير لقاح لمنع مثل هذه السّرطانات. ففي حزيران من عام 2006 وافقت وكالة الغذاء والدواء الأمريكية على استعمال لقاح HPV في النساء وصغار الإناث من عمر 11 سنة للوقاية من سرطان عنق الرحم.

تتسبب كثير من أنواع الفيروسات في أمراض إنسانية منذ بداية التاريخ الْمُدَوَّن. بعض هذه الفيروسات مثل الإنفلونزا تسبب وفاة الملايين خلال حالات وبائية في مختلف أنحاء العالم. إن عملية الخلط الجيني الشائعة في فيروس الإنفلونزا، تجعل عملية المناعة الطبيعية وتطوير اللقاحات شاقة. تعزى الأمراض الطارئة إلى أن الفيروسات تغير عوائلها، أيّ إنها تقفز من أنواع أخرى إلى الإنسان. ففيروس؛ هنتا، وإيبولا، وسارس كلها تندرج في هذه القائمة. وإن العدوى الفيروسية قد تم التأكد من ارتباطها بتطور سرطانات معينة.

لقد افتتن العلماء عقودًا طويلة بمجموعة من أمراض الدماغ المميتة. تتميز هذه الأمراض بصفة غير عادية: حيث تمر سنون وأحيانًا عقود على الإصابة قبل أن يتمّ اكتشاف الأفراد المصابين. وفي الحقيقة، عندما اكتُشِفَتْ هذه الأمراض أول مرة، كان يظن أن مسبباتها فيروسات بطيئة.

يطوّر دماغ الأفراد المصابين تجاويف صغيرة متعددة بسبب موت العصبونات ما يعطي الدماغ مظهرًا إسفنجيًّا مميزًا. وهذه الأمراض المسماة **اعتلال الدماغ الإسفنجي القابل للانتشار Transmissible spongy encephalopathies (TSEs)** تشمل مرض الداء العصبي في الخراف، واعتلال الدماغ الإسفنجي في البقر أو جنون البقر في المواشي، والهزال المزمن في الغزلان والأيائل، ومرض الكورو أو مرض كروتزفيلدت- جاكوب CJD، ونمطًا آخر منه، وهو vCJD في الإنسان.

يمكن لمرض اعتلال الدماغ الإسفنجي الانتشار من خلال الحقن التجريبي لحيوانات سليمة بأنسجة من دماغ مصاب. ويمكن انتشاره من خلال عملية زرع الأعضاء، أو عن طريق الغذاء. فمرض كورو كان شائعًا بين سكان غينيا الجديدة الأوائل بسبب ممارستهم لعادات وشعائر أكل بعضهم بعضًا، وبالذات أكل أدمغة أفراد مصابين.

انتشر مرض جنون البقر في القطعان في بريطانيا في تسعينيات القرن الماضي؛ لأن هذه الأبقار تمت تغذيتها على وجبات عظام تم تحضيرها من جثث وبقايا خراف وقطعان ماشية لزيادة المحتوى البروتيني في وجباتها الغذائية. وكما هو حال سكان غينيا، فإنّ المواشي البريطانية كانت تتغذى على أنسجة قطعان قد نفقت بسبب إصابتها بالمرض.

وفي السنوات التي أعقبت الإصابة بجنون البقر، كانت هناك زيادة واضحة في حالات مرض كروتزفيلدت- جاكوب في إنجلترا، ويبدو أن بعض هذه الحالات وراثية. ومن الغريب أنّه تم تشخيص بعض المرضى الذين ليس لهم تاريخ عائلي بالإصابة بمرض كروتزفيلدت- جاكوب. لقد أدى هذا إلى اكتشاف شكل جديد من المرض سمي مُغاير CJD أو vCJD الذي تمت الإصابة به نتيجة أكل لحوم حيوانات مصابة بمرض جنون البقر. وهناك حذر من أنّ مرض كروتزفيلدت- جاكوب المغايرvCJD يمكن انتقاله من شخص إلى آخر من خلال منتجات الدم، بصورة مشابهة لانتشار فيروس نقص المناعة الإنساني خلال الدم ومنتجاته.

كان تضاعف البريونات مقترحًا راديكاليًّا

في ستينيات القرن الماضي، لاحظ الباحثان البريطانيان آلبر وجريفث أنّ مواد معدية من أنسجة مرض اعتلال الدماغ الإسفنجي القابل للانتشار TSE استمرت معدية حتى بعد تعريضها للإشعاع الذي يتلف DNA أو RNA. وقد اقترحا أنّ المادةَ المُعدية مادةٌ بروتينية. وقد تكهنا بأن البروتين الذي يفضل نمطًا واحدًا من الالتفاف في العادة يلتف بصورة مغلوطة في بعض الأحيان. عندئذ، فإنّ هذا البروتين يحفز بروتينات أخرى لعمل الشيء نفسه، وينتشر الالتفاف المغلوط هذا بشكل تفاعل متسلسل.

إلا أن هذا المقترح الراديكالي لم يقبله المجتمع العلمي؛ لأنه مخالف لأساسيات البيولوجيا الجزيئية، حيث إن DNA و RNA هي الوحيدة التي تعمل بوصفها مادة وراثية، وتنقل المعلومات من جيل إلى الجيل الذي يليه.

تراكم الأدلة على أن البريونات تسبب اعتلال الدماغ الإسفنجي

بدأ الطبيب ستانلي بروزاينر بدراسة اعتلال الدماغ الإسفنجي القابل للانتشار في بدايات السّبعينيّات من القرن الماضي. وعلى الرغم من محاولاته الجادة، لم يتمكن من إيجاد أيّ أحماض نووية أو فيروسات في مواد معدة من إصابات بالمرض. وقد استنتج كما استنتج آلبر وجريفث أن المادة المعدية كانت بروتينية، وسماها في نشرة له عام 1982 **البريون Prion** إشارة "لدقائق بروتينية معدية". استمر بروزاينر في البحث حتى تمكن من عزل بروتين بريوني مميز ومن تقديم دليل كافٍ على أن البريونات تؤدي دورًا أساسيًّا في بدء الإصابة بمرض اعتلال الدماغ الإسفنجيّ القابل للانتشار. وتبين أنّ كل عائل تم فحصه حتى الآن يحمل بروتين بريون عادي هو PrP^c في خلاياه، وأن البريونات المسببة للمرض هي البروتينات نفسها، إلا أنها التفت بطريقة مختلفة يشار إليها P_rP^{sc}.

عند فحص هذه البروتينات الملتفة بطريقة مغلوطة في المختبر، تبين أنها تعمل بوصفها قالبًا للبريون العادي PrP^c ليلتف بطريقة مغلوطة (الشكل 27–10). وتقاوم البريونات لدرجة كبيرة عملية تكسيرها ما يجعلها قادرة على المرور خلال القناة الهضمية الحمضية سليمة كما هي. ولهذا، فإنها تنتقل عن طريق تناول الطعام.

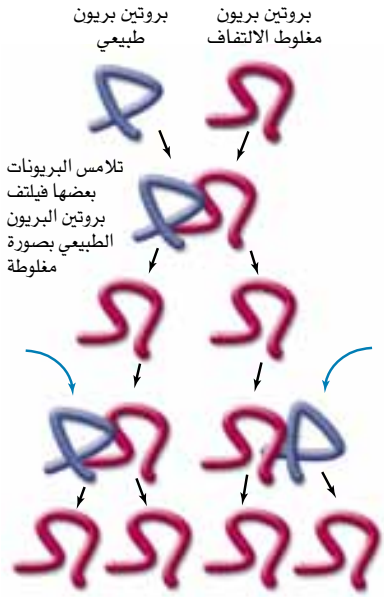
لقد تراكمت أدلة تجريبية تدعم هذه الفكرة. فعند حقن البريونات وبتراكيب مختلفة وغير عادية في عوائل، فإنها تؤدي إلى التراكيب غير العادية التي لتلك البريونات الأم. وقد تم هندسة الفئران وراثيًّا، بحيث إن فقدها لبريون PrP^c أدى لمناعتها للإصابة بمرض اعتلال الدماغ الإسفنجي القابل للانتشار. وإذا زُرع نسيج الدماغ الحامل لبروتين البريون في الفأر، فإنّ النسيج المزروع فقط هو الذي سيصاب بالمرض، وليس بقية الدماغ. ومع ذلك، فإنّ العبث بالنواة، أو الالتفاف المغلوط لبروتين PrP^c عن طريق بروتين PrP^{sc} لم يكن ممكنًا إظهاره في الأنظمة الحية *In vivo*. وإن آلية حدوث المرض مختلف عليها.

الفيروساتُ العاريةُ Viroids حمضٌ نوويٌّ رايبوزيّ RNA دون غلاف بروتيني

الفيروساتُ العاريةُ جزيئاتٌ دائريةٌ صغيرةٌ من RNA يبلغ طولها مئات قليلة من النيوكليوتيدات، وتعد عوامل ممرضة مهمة في النباتات. وقد تسبب وباء حديث منها في القضاء على أكثر من 10 ملايين شجرة من أشجار جوز الهند في الفلبين.

ليس معروفًا كيف تتسبب هذه في إحداث المرض. أحد الأدلة يتمثل في أنّ تسلسل نيوكليوتيدات هذه الفيروسات العارية يشبه تسلسل الجينات غير الفاعلة Introns في جينات RNA الرايبوسومي. إن هذه التسلسلات قادرة على تحفيز الخلاص من DNA- وربما أن الفيروسات العارية تُحفز تدمير تكامل الكروموسوم، ما يؤدي لموت الكثير من الخلايا. وتشير نظرية أخرى إلى أن هذه الفيروسات العارية تتدخل في تفعيل الجينات من خلال التفاعل مع RNA الرسول. وهكذا، تستهدف تحطيم RNA الرسول قبل ترجمته.

البريونات والفيروسات العارية أصغر وأبسط تركيبًا من الفيروسات الحقيقية. فالبريونات جسيمات معدية، ولا يبدو أنها تحوي أي حمض نووي. والبريونات بروتينات مغلوطة الالتفاف، ويُعتقد أنها تتسبب في جعل بعض البروتينات الخلوية الأخرى المشابهة مغلوطة الالتفاف. تُعدُّ البريونات العامل المسبب لمرض اعتلال الدماغ الإسفنجي القابل للانتشار. الفيروساتُ العاريةُ جزيئاتٌ معديةٌ من RNA تتسبب في بعض الأمراض النباتية.



الشكل 27–10

كيف تسبب البريونات المرض. البروتينات مغلوطة الالتفاف تسبب التفاف البروتينات الطبيعية، بصورة مغلوطة. عندما تلامس البريونات مغلوطة الالتفاف بطرق مختلفة (الأحمر) بروتين بريونات طبيعية (الأزرق) فإنّ بروتين البريونات الطبيعية يلتف خطأً بالطريقة نفسها.

27-1 طبيعة الفيروسات

للفيروسات كلها التركيب الأساسي نفسه: لبّ من الحمض النووي محاط بالبروتين.

- يمكن أن تتكون المادة الوراثيّة الفيروسية من RNA أو DNA ويمكن تصنيفها إلى: فيروسات DNA، أو RNA، أو فيروسات راجعة.
- لمعظم الفيروسات غطاء أو محيفظة بروتينية حول لبّ من الحمض النووي.
- تمتلك بعض الفيروسات أنزيمات داخل غلافها البروتيني، وهذه ذات أهمية في مراحل الإصابة الأولى.
- يمتلك كثير من الفيروسات الحيوانية غلافًا حول المحيفظة البروتينية. يتكون هذا الغلاف من بروتينات فيروسية الأصل، ودهون من الخليّة العائل وبروتينات سكّريّة.
- لكل فيروس مدى محدد من العوائل. وبعضها يمتلك خاصية الانتحاء النسيجي.
- الفيروسات متطفلات إجبارية داخل خلوية؛ لأنها تفتقر للرايبوسومات والبروتينات اللازمة للتضاعف.
- تتضاعف الفيروسات من خلال السيطرة على آليات الخليّة العائل، وتوجيهها لمضاعفة حمضها النووي وإنتاج بروتيناتها.
- تتباين الفيروسات في أحجامها، وتتشكل بشكلين بسيطين: حلزوني (عصوي) أو عشريني الأوجه المثلثة (كروي) (الأشكال 27–1 و 27–4).
- تتباين المادة الوراثيّة للفيروسات بشكل كبير. فالمحتوى الوراثي الفيروسيّ من DNA أو RNA يمكن أن يكون خيطيًّا، أو دائريًّا وحيدًا، أو ثنائي الشّريط.
- يمكن أن تكون فيروسات RNA مقطعةً، حيث كثير من جزيئات RNA أو غير مقطعة من جزيء واحد من RNA.
- تحوي الفيروسات الراجعة RNA يمكن استنساخه إلى DNA باستعمال أنزيم الناسخ العكسي.

27-2 آكلة البكتيريا: الفيروسات البكتيرية (الشكل 27–3)

آكلات البكتيريا (الفيروسات البكتيرية) فيروسات عالية التباين، وتصيب البكتيريا فقط.

- تظهر الفيروسات البكتيرية دورتين للتضاعف: الدّورة التحللية التي تقتل الخليّة العائل، والدّورة الاعتداليّة، حيث يتمّ تكامل الفيروس مع المحتوى الوراثي للعائل على شكل فيروس أولي (الشكل 27–5).
- تُسمّى الخليّةُ الحاملة للفيروس الأولي الخليّةَ المعتدلةَ.
- يمكن حثّ الفيروس الأولي بإحداث خلل في DNA أو بأيّ عوامل بيئية، ما يؤدي إلى دخول الفيروس الأولي في الدّورة التحللية.
- تشمل خطوات الإصابة في غالبية الفيروسات البكتيرية الالتصاق، وحقن المادة الوراثيّة، وتصنيع الجزيئات الكبيرة، وتجميع الفيروس البكتيري الجديد، ومن ثم إطلاق الفيروسات الناتجة.
- يحدث تحول الفيروس البكتيري، عندما يتمّ التبرع بـ DNA الغريب من الفيروس البكتيري للخلية العائل.

27-3 فيروس نقص المناعة المكتسبة الإنساني HIV

يتسبب فيروس نقص المناعة الإنساني في مرض نقص المناعة المكتسبة الإيدز. وهو مثال جيد لكيفية عمل فيروس حيواني (الشكل 27–6).

- يستهدف فيروس نقص المناعة الإنساني بشكل خاص المبلعمات الكبيرة وخلايا CD4 وهي نوع من خلايا T الليمفاوية. عند فقد هذه الخلايا لا يتمكن جسم الإنسان من مقاومة العدوى الانتهازية التي ستودي بحياة العائل نهائيًّا.
- يتلاءم البروتين السّكريّ Gp120 بالضبط تمامًا مع المؤشر البروتيني لسطح الخليّة CD4 على المبلعمات الكبيرة وخلايا T.
- تشتمل الإصابة بفيروس نقص المناعة الإنساني على مستقبلين: CD4 و CCR5. عند تعلق الفيروس بهذين المستقبلين يتمّ تحفيز عملية إدخال خلوي يتوسطها هذان المستقبلان، ما يؤدي لإدخال الفيروس إلى الخلية.
- عند دخول الفيروس إلى الخلية، يتمّ التخلص من الغلاف البروتيني، فينطلق RNA الفيروسيّ، وأنزيم الناسخ العكسي للسيتوبلازم.
- يقوم أنزيم الناسخ العكسي بتصنيع DNA ثنائي الشّريط والمكمل لـ RNA الفيروسيّ. ويمكن إدماج DNA مع DNA للعائل.
- تتبرعم الفيروسات المتضاعفة خارجة من الخليّة العائل من خلال الإخراج الخلوي.
- لفيروس نقص المناعة الإنساني معدل عالٍ من الطفرات؛ لأن أنزيم الناسخ العكسي أقل دقة في عمله من الأنزيم المبلمر لـ DNA.
- تؤدي الطفرات لتعديل البروتين السّكريّ Gp120 الذي يرتبط الآن، بدلًا من ذلك، مع المستقبل CXCR4 الموجود فقط على سطح خلايا CD4. ويؤدي إدماج جسيم فيروس نقص المناعة الإنساني المعدل إلى تراجع سريع في الاستجابة المناعية وفي خلايا T.
- تؤدي المعالجة المركبة باستعمال شبيهات النيوكليوسيدات، ومثبطات الأنزيم المحلل للبروتينات إلى إزالة فيروس نقص المناعة من مجرى الدم، ولكن ليس من الجسم بالكامل.
- تشمل المعالجات الواعدة للعدوى المطاعيم المصنعة من جينات فيروس نقص المناعة المعطلة، والكيماويات المقفلة أو المعطلة لمستقبلات سطح الخليّة، التي ترتبط بجسيم فيروس نقص المناعة الإنساني.

27-4 أمراض فيروسية أخرى

منذ زمن طويل، عرف الإنسان الأمراضَ الفيروسية، وتخوف منها.

- أحد الفيروسات الأكثر قتلًا في التاريخ الإنساني هو فيروس الإنفلونزا من نوع A، ويمكن لهذه الفيروسات أيضًا أن تصيب بعض الحيوانات الثديية والطّيور.
- إن جينات فيروس الإنفلونزا قابلة للخلط بسرعة؛ لذا لا يمكن التعرّف إليها من قبل الأجسام المضادة المنتجة من إصابات سابقة. ولهذا، فإنّ لدينا لقاحات سنوية للإنفلونزا، وليس لقاحًا واحدًا.
- يمكن للفيروسات أن توسع مدى عوائلها عن طريق الانتقال إلى أنواع أخرى، وأمثلة ذلك فيروس هَنْتا، والحمى النزفية، وسارس (الشكل 27–9).
- وُجدت علاقة بين الفيروسات والسّرطان، بما في ذلك سرطان الكبد وسرطان عنق الرحم.

27-5 البريونات ونظيرات الفيروسات العارية: جسيمات تحت فيروسية

يمكن حدوث الأمراض المعدية عن طريق البروتينات وجزيئات RNA العارية.

- البريونات جسيمات معدية من البروتينات مغلوطة الالتفاف تعمل بوصفها قوالب (نماذج) للبروتينات العادية لتلتف بشكل مغلوط.
- البريونات مسؤولة عن اعتلال الدماغ الإسفنجي القابل للانتشار (الشكل 27-10).
- الفيروسات العارية جزيئات دائرية عارية من RNA تصيب النباتات. وهي تشبه تسلسلات الجينات غير الفاعلة في RNA الرايبوسومي التي تحفّز عملية الانفصال من DNA.

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. صِنْفُ الفيروس الذي يكون فيه الأنزيم الناسخ العكسي فاعلًا هو:
   أ. فيروسات RNA موجبة الشّريط.
   ب. فيروسات DNA ثنائية الشّريط.
   جـ. الفيروسات العكسية.
   د. فيروسات RNA سالبة الشّريط.
2. واحدٌ مما يأتي ليس جزءًا من الفيروس:
   أ. المحيفظة. ب. الرايبوسومات.
   جـ. المادة الْوراثيّة. د. كلّ ما ذُكِر موجود في الفيروس.
3. واحدٌ مما يأتي موجود بشكل عام في الفيروسات الحيوانية، وليس في الفيروسات البكتيرية:
   أ. DNA. ب. المحيفظة البروتينية.
   جـ. الغلاف. د. الشكل العشريني مثلث الأوجه.
4. واحدٌ مما يأتي لا يشكل جزءًا من دورة حياة الفيروس لفيروس تحللي:
   أ. إنتاج الجزيئات الكبيرة.
   ب. الالتصاق بالْخليّة العائل.
   جـ. تجميع الفيروسات الناتجة.
   د. الالتحاق بالمادة الْوراثيّة للخلية العائل.
5. العملية التي يتمّ من خلالها تحويل خلية بكتيرية حميدة لسلالة ممرضة تسمى:
   أ. الحثّ. ب. التّحول الْفيروسيّ للبكتيريا.
   جـ. الحالة الاعتداليّة. د. التضاعف.
6. قبل دخول الفيروس إلى الخلية العائل، فإنّ _____ البروتين السّكريّ لفيروس نقص المناعة المكتسبة يتعرف إلى _____ المستقبل على سطح الْخليّة المبلعمة الكبيرة.
   أ. CCR5 و gp120. ب. CXCR4 و CCR5.
   جـ. CD4 و CCR5. د. gp120 و CD4.
7. إن تباين درجات المقاومة لفيروس نقص المناعة في المجتمعات يمكن النظر إليه على أنه ذو صلة بنمط ظهور إصابات الجُدري في التاريخ الإنساني، ويشير هذا التفسير إلى:
   أ. درجة التشابه في المادة الْوراثيّة للفيروسين.
   ب. حقيقة أن كلا الفيروسين يستخدمان أنزيم النسخ العكسي.
   جـ. أنّ كلا الفيروسين يستخدمان المستقبل نفسه للارتباط بالخلية العائل.
   د. أنّ كلا الفيروسين يُضعفان الجهاز المناعي.
8. واحدٌ من المستقبلات على خلية T الليمفاوية الآتية حظي بتركيز أكبر في البحوث الحالية لإقفاله أملًا في حمايتها من الإصابة بفيروس نقص المناعة الإنساني:
   أ . gp120. ب. CD4.
   جـ. CCR5. د . CD5.
9. واحدةٌ من المعاملات الآتية لفيروس نقص المناعة الإنساني تمنع تكون محيفظة بروتينية فعالة:
   أ. المعالجة باللقاحات أو المطاعيم.
   ب. استعمال المنظمات الطبيعية (المحركات الكيميائية).
   جـ. شبيهات النيوكلوسيدات.
   د. مثبطات الأنزيم المحلل للبروتينات.
10. واحدٌ من الفيروسات الآتية يظهر بشكل روتيني تغيرات في مولدات ضده ما يجعل برامج التلقيح صعبة:
    أ. فيروس نقص المناعة الإنساني. ب. فيروس الإنفلونزا.
    جـ. فيروس هَنْتا. د. الفيروسات الخيطية.
11. يتمّ تنشيط الجينات المسرطنة لإحداث السّرطان بفعل:
    أ. الفيروسات. ب. الفيروس العاري.
    جـ. البريون. د. البكتيريا.
12. تُسبِّبُ البريونات:
    أ. مرض جنون البقر.
    ب. الداء العصبي.
    جـ. متغاير مرض كروتزفيلدت – جاكوب.
    د. كلّ ما ذكر.
13. يُسمّى جسيم RNA المعدي والمفتقر للغلاف البروتيني أو الغلاف عمومًا:
    أ. البريون. ب. الفيروس البكتيري.
    جـ. الفيروس العاري. د. الفيروس العادي.
14. أحد الفيروسات الآتية يرتبط بمرض سارس (المرض التنفسي الحاد):
    أ. فيروس هنتا. ب. الفيروس التويجي.
    جـ. الفيروس الخيطي. د. فيروس الإنفلونزا.
15. يمكن تصنيف جسيم غير حي على أنه مُعْدٍ، ويفتقر إلى أيّ حمض نووي أو غلاف، ويحوي أحماضًا أمينية فقط، مع:
    أ . البريونات. ب. الفيروسات العادية.
    جـ. الفيروسات العارية. د. البكتيريا.

أسئلة تحدٍّ

1. يمكن للخلايا من بكتيريا القولون *E. coli* في الحالة الاعتداليّة المشتقة من الإصابة بفيروس أن تُستحث لإنتاج جسيمات فيروسية بتعريضها للأشعة فوق البنفسجية. وتشمل عملية الحث هذه تعطيل مثبط بروتيني يبقي جينات الفيروس الأولي غير مفعلة. ما الدور الذي يمكن أن يقوم به البروتين الذي يتعرف إلى مثبط الفيروس، ويعطله؟
2. يعتقد معظم علماء الحياة أن الفيروسات تطورت باتباع أصل الخلايا الأولية، لماذا تعتقد أن هذا هو ما تم فعلًا؟
3. عام 1972، أعلن الرئيس الأمريكي نيكسون الحرب على مرض السّرطان. وعلى الرغم من تحقيق تقدم كبير ومهم في هذا المجال خلال العقود الثلاثة الماضية، فإنّ الحرب لم تنتهِ بعد. إنّ اكتشاف دور بعض الفيروسات، والاعتقاد أنها سبب لبعض أنواع السّرطان ساعد على تعثر هذه الحرب، بل أدى إليها. لماذا؟

هل أنت في حاجة إلى مراجعة إضافية؟ زر الموقع www.ravenbiology.com. لتتدرب على الاختبارات القصيرة، والرسوم المتحركة، والتسجيلات التلفزيونية، وأنشطة مخصصة؛ لمساعدتك على فهم المادة الموجودة في هذا الفصل.
ARIS

الفصل 28

البدائيات
Prokaryotes

موجز المفاهيم

28-1 الخلايا الأولى
- *تشير الأحافير الدقيقة إلى أن الخلايا الأولى ربما كانت بدائية.*
- *تشير معلومات النظائر الإشعاعية إلى أن عملية تثبيت الكربون قديمة.*
- *يمكن أن تكون بعض المواد الهيدروكربونية الموجودة في صخور قديمة ذات أصل حيوي (بيولوجي).*

28-2 تنوع البدائيات
- *تختلف بدائية النوى عن حقيقية النوى بصورة جوهرية.*
- *البكتيريا الحقيقية والبكتيريا القديمة مختلفتان جوهريًّا على الرغم من تشابههما.*
- *لم تُعرف صفات معظم البدائيات بعد.*

28-3 تركيب الخلية البدائية
- *توجد البدائيات بأشكال أساسية ثلاثة: العصوية، والكروية، والحلزونية.*
- *للبدائيات جدار خلوي متين وأجزاء خارجية أخرى.*
- *داخل خلايا البدائيات منظم.*

28-4 وراثة البدائيات
- *يعتمد الاقتران على وجود بلازميدة اقتران.*
- *الفيروسات تنقل (DNA) عن طريق التحول (التأثير Transduction).*
- *التحول هو أخذ DNA من البيئة مباشرة.*
- *مقاومة المضادات الحيوية وإمكانية انتقالها ببلازميدة المقاومة.*
- *يمكن حدوث التنوع من خلال الطفرات أيضًا.*

28-5 أيض البدائيات
- *تحصل البدائيات على الكربون والطاقة بأربع طرق أساسية.*
- *يمكن لبعض البكتيريا إصابة خلايا أخرى مباشرة.*
- *البكتيريا ممرض نباتي عالي التكلفة.*

مقدّمة

يعدّ التنظيم الخلوي إحدى السمات المميزة للمخلوقات الحية. لقد علمت مسبقًا أن الأشياء الحية توجد على هيئة نوعين من الخلايا: **البدائيات Prokaryotes وحقيقية النوى Eukaryotes**. وللتذكير، فإن البدائيات تفتقر للغشاء المحيط بالنواة الموجود في الخلايا حقيقية النوى جميعها، وكذلك فإنها تمتاز بتركيب خلوي أقل تعقيدًا، بحيث لا تمتلك كثير من العضيات الموجودة في الخلايا حقيقية النوى (الفصل الـ 4). فالبدائيات أصغر وأكثر تعددًا من نظيراتها حقيقية النوى. فلو تفحصنا الإنسان، فإننا سنكتشف أن هناك 10 خلايا بدائية تقريبًا تعيش في كل خلية من خلايا جسمه أو عليها، علمًا بأن هناك الآف البلايين من خلايا الإنسان.

تؤدي المخلوقات الدقيقة البدائية دورًا مهمًّا في البيئة بصورة عامة أيضًا. ويعتقد معظم علماء الحياة أن البدائيات كانت أول المخلوقات ظهورًا. وما كان لهذا التنوع في المخلوقات حقيقية النوى الموجود حاليًا على الأرض من أن يوجد دون البدائيات التي جعلت من الممكن إنجاز كثير من وظائف النظام البيئي. ويعتقد أن عملية التمثيل الضوئي، على سبيل المثال، كانت المصدر للأكسجين في جو الأرض قديمًا، وما زالت تسهم بدرجة كبيرة بإنتاج الأكسجين إلى يومنا هذا. إن فهم البدائيات أساسي وضروري لفهم الحياة على الأرض كلها؛ ماضيها وحاضرها.

28-6 أمراض البكتيريا الإنسانية
- *أصاب السّلّ الرئوي الإنسان منذ بداية التاريخ.*
- *دور الرقائق الحيوية البكتيرية في تسوس الأسنان.*
- *يمكن للبكتيريا أن تسبب القرحات.*
- *كثير من الأمراض المنقولة جنسيًّا بكتيرية.*
- *طُوِّرت البكتيريا لتصبح أسلحة بيولوجية.*

28-7 بدائيات مفيدة
- *للبدائيات دور في تدوير عناصر مهمة.*
- *يمكن للبدائيات العيش بصورة تكافلية مع حقيقية النوى.*
- *تستعمل البكتيريا في الهندسة الوراثية.*
- *تستعمل البكتيريا في المعالجة الحيوية للتلوث.*

1-28 الخلايا الأولى

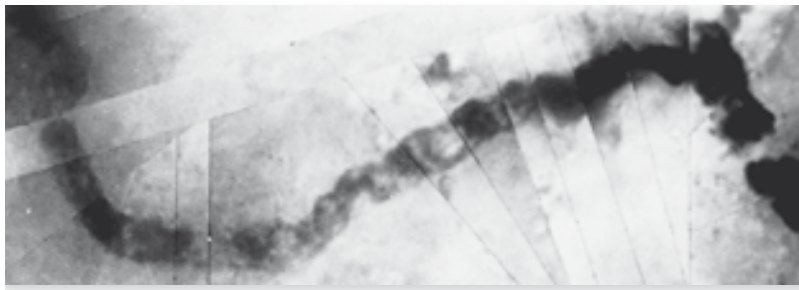
حيث لم يشهد الإنسان تكون الحياة، فقد تُركنا مع دليل غير مباشر لأشكال الحياة المبكرة جدًا. تعدّ الأحافير الإثبات الأكثر مباشرة، إلا أنه يصعب أحيانًا تفسيرها خصوصًا ونحن نبحث عن إثبات لحياة مجهرية. ويمكننا تحليل تركيب الصخور المحتوية على الكربون للبحث عن آثار للحياة تؤثر في المواد العضوية كما يشير إليها تغير نسب النظائر المشعة. وأخيرًا، يمكننا النظر إلى وجود مواد كيماوية عضوية ذات أصل حيوي.

تشير الأحافير الدقيقة إلى أن الخلايا الأولى ربما كانت بدائية

إن إيجاد دليل على الحياة بصورة أحافير دقيقة وتفسيره عملية صعبة. فالصخور ذات الأعمار التي تفوق 3 بلايين سنة نادرًا ما تبقى دون تغير بتأثير الفعل الجيولوجي على مدى الزمن. لقد وجد تكوينان رئيسان عمرهما يتراوح بين 3.5–3.8 بلايين سنة كما هما دون أي تغيير هما: نواة القشرة القارية *Craton* لكابافال Kaapvaal في جنوب إفريقيا ونواة القشرة القارية لبلبارا Pilbara في غرب أستراليا (نواة القشرة هي طبقة من قشرة القارة لم يحدث بها اضطراب). لقد وجدت تراكيب في هذه التكوينات وغيرها، وتم تفسيرها على أنها حيوية الأصل. ومع أن هذا التفسير مختلف عليه، إلا أن تجمع الأدلة مع الزمن يدعم فكرة أن هذه التراكيب هي متحجرات خلايا في الحقيقة.

إن الأحافير الدقيقة Microfossils في الواقع أنماط متحجرات لحياة مجهرية. كثير من هذه الأحافير الدقيقة صغيرة (1–2 مايكرومتر قطرًا) وتبدو كخلية مفردة تفتقر للتفاصيل الخارجية، ولديها القليل من معطيات التركيب الداخلي (الشكل 28–1) وهكذا، فإن الأحافير الدقيقة وعلى ما يبدو تشبه بدائيات يومنا هذا.

يعود أقدم هذه الأحافير الدقيقة حاليًا إلى 3.5 بلايين سنة، والادعاء بأنها أحافير دقيقة، وبقايا مخلوقات حية مدعوم بدراسات النظائر الإشعاعية (سيتم وصفها قريبًا) وكذلك بتحليلات الطيف التي تشير إلى احتوائها على جزيئات معقدة من الكربون. وفيما إذا كانت هذه التركيبات المجهرية هي أحافير حقيقية أم لا، فالأمر مختلف عليه، وما زالت هوية المجموعات البدائية التي تمثلها هذه الأحافير الدقيقة غير واضحة. وقد قدمت حجج لمصلحة كثير من البكتيريا، ومنها البكتيريا الخضراء المزرقة (ستوصف لاحقًا) إلا أن تفسيرها وتعليلها بشكل دقيق ونهائي ما زال صعبًا.



الشكل 28–1

دليل على الأحافير البكتيرية. صخور يتراوح عمرها بين 1 - 3.5 بليون سنة وبداخلها متحجرات صغيرة جدًا تشبه الخلايا البكتيرية.

الشكل 28–2

أشباه الأنسجة Stromatolites. طبقات من خلايا البكتيريا التي تحوي ترسبات معدنية، وتشكل أشكال القبة المميزة التي تشاهد هنا.

إضافة إلى هذه الأحافير الدقيقة، فإن دليلًا غير مباشر على الحياة القديمة يمكن وجوده على شكل رسوبيات تسمى **أشباه الأنسجة Stromatolites**. ينظر عادة إلى هذه التراكيب على أنها خليط من الرسوبيات والمواد المترسبة حفظت في مكانها عن طريق طبقات من خلايا الأحياء الدقيقة. ويعتقد أن المخلوقات الدقيقة المكونة لها هي من البكتيريا الخضراء المزرقة. والتكوينات من أشباه الأنسجة هذه تعود في عمرها إلى 2.7 بليون سنة. وحيث إن بعض أشباه الأنسجة الحديثة نسبيًّا معروفة أيضًا، فإن التكوين والطبيعة الحيوية لهذه التراكيب يبقى أقل إقناعًا (الشكل 28–2).

تشير معلومات النظائر الإشعاعية إلى أن عملية تثبيت الكربون قديمة

طريقة أخرى للتساؤل حول زمن بدء الحياة يكمن في البحث عن بصمات الأنظمة الحية في السجل الجيولوجي. تغير الأنظمة الحية بيئاتها، وأحيانًا يمكن رصد هذا التغيير. والتغير الأكثر وضوحًا يكمن في أن الأنظمة الحية انتقائية فيما يخص النظائر المشعة للكربون في المركبات التي تستعملها. تقوم المخلوقات الحية بدمج الكربون 12- في خلاياها قبل أي نظير كربون آخر، وهكذا تتمكن من تغيير نسب هذه النظائر في الجو. وتحوي مستوى أعلى من الكربون 12- في أجسامها المتحجرة أعلى من ذلك الموجودة في الصخور غير العضوية المحيطة بها.

ولقد أنجز كم كبير من العمل في تحديد الأعمار، وتحليل المركبات الكربونية في أقدم الصخور بحثًا عن آثار مميزة للحياة. ومع أن هذه الأعمال مختلف عليها الآن، فهناك من يقول: إن الآثار الكربونية المميزة تشير إلى أن تثبيت الكربون، ودمج الكربون غير العضوي بشكل عضوي كان نشطًا، وتم قبل 3.8 بلايين سنة.

هناك ثلاث طرق ممكنة للتثبيت القديم للكربون. والطريقة الأكثر شيوعًا لتثبيت الكربون هي من خلال دورة كالفن (الفصل الثامن). هذه الدورة هي التي تستعملها البكتيريا الخضراء المزرقة، والطحالب، ونباتات الأرض الحديثة التي تقوم بعملية البناء الضوئي الأكسجيني باستعمال النظامين الضوئيين. وإن دورة كالفن هذه نشطة في البكتيريا الخضراء والأرجوانية الكبريتية التي تقوم بعملية البناء الضوئي اللاهوائي، باستعمال نظام ضوئي واحد. ويمكن لهذا البناء الضوئي اللاهوائي أن يمثل تثبيت الكربون القديم.

حتى الآن، لم يتم إثبات وجود دورة كالفن في البكتيريا القديمةِ مع أن الأنزيمات الأساسية لها تم تعرفها في بعض عزلات البكتيريا القديمة. وبدلًا من ذلك، فإن بعض البكتيريا القديمة تستعمل نمطًا من دورة كربس (الفصل الـ 7). وتتم هذه الدورة من تثبيت الكربون في بعض أنواع البكتيريا غير عضوية التغذية Lithotrophic التي تشتق طاقتها من أكسدة مركبات غير عضوية، وكذلك البكتيريا الكبريتية الخضراء. ويمكن حدوث مسلكين آخرين في البكتيريا غير عضوية التغذية القديمة، والبكتيريا الخضراء غير الكبريتية. وتشير الدلائل إلى أن القدرة على تثبيت الكربون قد تطورت مرات عدة عبر مسيرة التطور.

يمكن أن تكون بعض المواد الهيدروكربونية الموجودة في صخور قديمة ذات أصل حيوي (بيولوجي)

طريقة أخرى للنظر إلى الأدلة على الحياة القديمة تكمن في البحث عن جزيئات عضوية، التي هي من أصل حيوي واضح، وتسمى هذه الجزيئات المؤشرات الحيوية *Biomarkers*. ومع أن العملية تبدو سهلة، إلا أنه ثبت صعوبة إيجاد هذه المؤشرات. واحد من هذه الجزيئات التي استعملت بهذا الاتجاه هو المركبات الهيدروكربونية التي يمكن تحليلها للتعرف إلى نسب نظائر الكربون المشعة لتؤشر إلى أصلها الحيوي. فتحليل المركبات الهيدروكربونية المستخلصة من تكوينات بلبارا في غرب أستراليا بينت وجود دهنيات بوصفها مؤشر للبكتيريا الخضراء المزرقة في فترة تعود إلى 2.7 بليون سنة. إن البحث عن مؤشرات كيماوية مؤكدة للأنظمة الحية في أقدم الصخور، وفي الشهب تشكل ميدانًا يثير الاهتمام بدرجة عالية جدًا.

لقد تم دعم الحجج المقدمة لمصلحة أقدم الأحافير الدقيقة بتحليل نسب نظائر الكربون المشعة في مواد كربونية من التكوينات نفسها. فإذا كانت هذه الأحافير في الحقيقة تمثل خلايا حية، فهذا يعني ضمنًا أن الحياة كانت أكثر انتشارًا قبل 3.5 بلايين سنة مما كان يظن سابقًا، ومع أن كمًّا كبيرًا من هذه الأعمال مازال قابلًا للنقاش، فإنه يرفع إمكانية أصل الحياة إلى أكثر من 3.5 بلايين سنة.

يكمن الدليل على أقدم الخلايا في الأحافير الدقيقة. وهناك اختلاف حول أقدم الأحافير الدقيقة إلا أن عمرها على الأقل 3.5 بلايين سنة. والدليل الآخر على الحياة القديمة يشمل نسب النظائر المشعة المتغيرة مع النشاط الحيوي، الذي يمكن أن يشير إلى أن تثبيت الكربون عملية قديمة. ويبدو أن بعض المواد الهيدروكربونية تعمل بوصفها مؤشرات حيوية، ويمكن أن تشير إلى أصل قديم للحياة.

2-28 تنوع البدائيـــات

على الرغم من أنه تم التعرف إلى آلاف الأنواع من البدائيات حاليًا، فإن آلافًا عدة أخرى تحتاج إلى تعرفها بصورة جادة. وقد مكنت تقنيات جزيئية العلماء من تعريف مخلوقات دقيقة ودراستها دون زراعتها. نتيجة لهذا، تمكن علماء الأحياء الدقيقة من اكتشاف الآلاف من الأنواع التي لم تكتشف أبدًا من قبل، أو تدرس صفاتها بسبب عدم إمكانية الاحتفاظ بها على شكل مزارع جرثومية. ويقدر ما هو معروف من كل أنواع البدائيات ما نسبته 1 – 10% فقط، وتم تحديد صفاتها، تاركًا ما نسبته 90 – 99% منها غير معروف أو موصوف. حيثما ينظر علماء الأحياء الدقيقة يكتشفون أنواعًا من البدائيات. عند تحليلها، تم تقسيم البدائيات إلى مجموعتين: **البكتيريا القديمة (المتطرفة) Archaea** والمسماة سابقًا البكتيرية القديمة، **والبكتيريا Bacteria** المسماة أحيانًا البكتيريا الحقيقية.

إن البكتيريا القديمة والبكتيريا الحقيقية هما الأقدم والأبسط تركيبًا، والأكثر انتشارًا من أنماط الحياة، وهما المخلوقات البدائية الوحيدة ذات التنظيم الخلوي البدائي. كانت البدائيات الأكثر انتشارًا مدة تزيد على بليون سنة قبل ظهور المخلوقات حقيقية النوى في العالم، حيث قامت البكتيريا الخضراء المزرقة القادرة على التمثيل الضوئي المبكر بتغيير جو الأرض من خلال إنتاج الأكسجين، ما أدى إلى ظهور تنوع كبير في كل من البكتيريا والمخلوقات حقيقية النوى.

تعيش البدائيات في كل مكان توجد فيه المخلوقات حقيقية النوى. ويمكنها أن تزدهر في أماكن لا يمكن للمخلوقات حقيقية النوى العيش بها، فقد وجدت البكتيريا الحقيقية والمتطرفة في كهوف في أعماق المحيطات، وأطراف البراكين، وأعماق الجبال الجليدية، وإن بعض البيئات المتطرفة المحتوية على هذه البدائيات يمكن أن تكون مميتة لأي نمط آخر من الحياة.

إن كثيرًا من البكتيريا القديمة **متطرفة Extremophiles** حيث تعيش في الينابيع الحارة التي يمكنها طبخ مخلوقات أخرى، وفي بيئات ذات ملوحة عالية يمكنها أن تؤدي لفقد الماء لخلايا أخرى، وفي أجواء غنية بالغازات السامة مثل الميثان، أو كبريتيد الهيدروجين. وأمكن استعادتها وعزلها حية من أعماق تصل إلى 435 مترًا من الجليد في المنطقة المتجمدة الجنوبية.

ويمكن أن تشبه هذه البيئات القاسية الظروف التي سادت على الأرض عند بداية الحياة. وقد تكون هذه البدائيات قد ظهرت، وبقيت في تلك الظروف آنذاك، واحتفظت بقدرتها على استغلال هذه المناطق إلى أن تغير الجو عمومًا.

تختلف بدائية النوى عن حقيقية النوى بصورة جوهرية

تختلف البدائيات عن حقيقية النوى في كثير من الصفات المهمة. وتمثل هذه الاختلافات بعض أهم المميزات التي تفرق مجموعات المخلوقات عن بعضها.

أحادية الخلية. البدائيات، وباستثناءات قليلة، وحيدة الخلية (الشكل 28–3) وفي بعض الأنواع نجد أن الخلايا المفردة تلتصق مع بعضها في وسط معين مشكلة خيوطًا، إلا أن هذه الخلايا تحتفظ باستقلاليتها. فالبكتيريا الخضراء المزرقة بشكل خاص، يمكنها تكوين هذه الخيوط، إلا أن مادتها السيتوبلازمية لا تتصل

مع بعضها بشكل مباشر، كما هي الحال عادة في المخلوقات حقيقية النوى متعددة الخلايا.

تشير أدلة حديثة إلى أن البكتيريا، وفي بيئاتها الطبيعية، قادرة على تكوين مجتمعات معقدة من أنواع مختلفة تسمى **الرقائق الحيوية Biofilms**. وعلى الرغم من أن هذه الرقائق الحيوية لا تشكل كائنًا متعدد الخلايا، فإنها شديدة المقاومة للمضادات الحيوية، والجفاف، وبعض الإجهادات البيئية مقارنة بمستعمرة منفردة من نوع واحد من الأحياء الدقيقة، كما هي الحال في مزرعة مخبرية.

حجم الخلية. مع اكتشاف أنواع جديدة من البدائيات، يجد الباحثون أن حجم خلايا البدائيات يتباين بشكل هائل، فقد يصل إلى خمسة مستويات. فأكبر خلايا بكتيريا معروفة الآن هي من نوع *Thiomargarita namibia* حيث يصل قطر هذه الخلية إلى 750 ميكرومترًا، ما يجعلها مرئية بالعين المجردة، وحجمها يشبه حجم عين النحلة تقريبًا. إلا أن حجم معظم خلايا البدائيات نحو 1 ميكرومتر أو أقل قطرًا، في حين أن خلايا حقيقية النوى أكبر بعشر مرات أو أكثر بكثير. إن هذا التعميم خادع؛ لأن هناك خلايا حقيقية النوى صغيرة، وإن هناك بدائيات كبيرة.

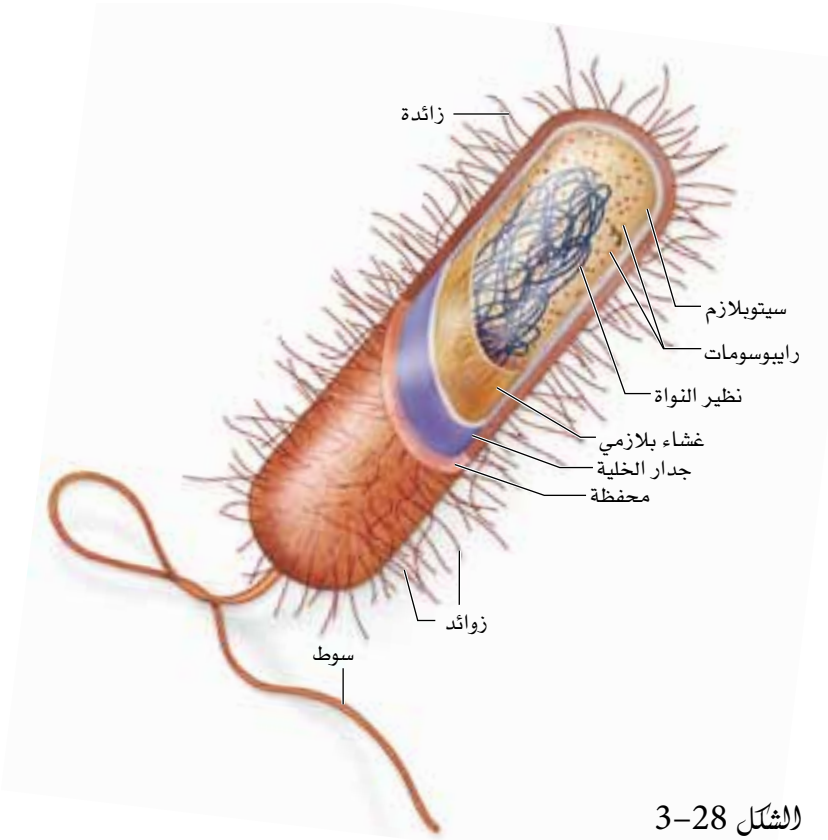
الكروموسومات. تحوي الخلايا حقيقية النوى نواة ذات غشاء نووي، وتحتوي هذه النوى على كروموسومات خيطية مكونة من الأحماض النووية والبروتينات الهستونية. في حين أن المخلوقات البدائية لا تحوي نواة بغشاء نووي، إلا أنها في العادة تحوي كروموسومًا واحدًا دائري الشكل مكوّنًا من DNA وبروتينات شبيهة بالهستونات في منطقة **نظير النواة Nucleoid** في الخلية. واستثناء لوجود كروموسوم واحد، نجد أن بكتيريا الكوليرا *Vibrio cholerae* تمتلك اثنين من الكروموسومات الدائرية. وغالبًا ما تحوي خلايا البدائيات جزيئات إضافية من DNA تسمى **البلازميدات Plasmids**، وهذه البلازميدات عناصر وراثية يمكنها أحيانًا الانتقال بين خلايا البدائيات.

انقسام الخلية والخلط الوراثي (الجيني). يحدث انقسام الخلية في المخلوقات حقيقية النوى من خلال الانقسام المتساوي، ويتضمن خيوطًا مغزلية من الأنابيب الدقيقة. أما انقسام الخلية في المخلوقات البدائية فيتم بالانشطار الثنائي (الفصل الـ 10) الذي هو نمط من التكاثر اللاجنسي. أما التكاثر الجنسي الحقيقي فيحدث فقط في المخلوقات حقيقية النوى، ويتضمن إنتاج جاميتات مفردة العدد الكروموسومي تتحد لتكون زيجوتًا ثنائي العدد الكروموسومي، لينمو ويصل حالة النضج منتجًا بذلك المزيد من الجاميتات، والبدء بدورة حياة جديدة (الفصل الـ 11).

وعلى الرغم من نمط التكاثر غير الجنسي في البدائيات، فإنها تمتلك آليات تؤدي لانتقال المادة الوراثية، وزيادة التنوع الوراثي. وتسمى كل هذه العمليات بصورة عامة **الانتقال الأفقي للمادة الوراثية Horizontal gene transfer** وهي ليست نمطًا من التكاثر.

التقسيم الداخلي. في المخلوقات حقيقية النوى، نجد أن الأنزيمات اللازمة لتنفس الخلية محشوة في الميتوكوندريا، أما في البدائيات، فإن الأنزيمات هذه ليست محشوة بشكل منفصل، بل مرتبطة مع الغشاء الخلوي، أو أنها موجودة في السيتوبلازم. إن سيتوبلازم البدائيات، بخلاف ذلك للمخلوقات حقيقية النواة، لا يحتوي حجيرات داخلية، ولا عضيات محاطة بغشاء خلوي، وتوجد الرايبوسومات في كل من البدائيات وحقيقية النوى، إلا أنها تختلف بدرجة كبيرة في تركيبها (انظر الفصل الـ 4 لمراجعة تركيب الخلية وبنيتها).

الأسواط. الأسواط في البدائيات بسيطة التركيب، وتتكون من ليفة واحدة من



الشكل 28–3

تركيب خلية بدائية. الخلايا البدائية كما في هذه البكتيريا صغيرة، وتفتقر للعضيات المحاطة بالغشاء. ويحاط الغشاء البلازمي بجدار خلوي متين، أما DNA فليس محاطًا بغشاء نووي. ويمكن للبدائيات أن تحمل إضافة للسوط نتوءات تسمى الزوائد التي تساعد على الالتصاق بالسطوح أو بالخلايا الأخرى. ويمكن أن تمتلك محفظة مكوّنة مبدئيًا من الكربوهيدرات وتحيط بالخلية. تساعد هذه المحفظة الخلايا على الالتصاق، كما وتجعل الخلية صعبة المنال للتعرف إليها من قبل الخلايا المناعية.

البروتين المسمى فلاجِلّين. أما أسواط المخلوقات حقيقية النوى وأهدابها فمعقدة وذات بنية 9 + 2 من الأنيبيبات الدقيقة (انظر الشكل 4–23). تقوم أسواط البكتيريا بوظيفتها بطريقة مختلفة؛ كونها ثابتة وتدور كالمروحة، في حين أن أسواط المخلوقات حقيقية النوى تتحرك بحركة شبه سوطية (سيتم وصفها بتفصيل أكثر لاحقًا في الشكل 28–9).

التنوع الأيضي. تقوم المخلوقات حقيقية النوى بنوع واحد من البناء الضوئي يشمل تحرر الأكسجين. أما البكتيريا ذات البناء الضوئي، فتقوم بنمطين أساسيين من البناء الضوئي: أحدهما **أكسجيني Oxygenic** حيث ينتج الأكسجين، والآخر **لا أكسجيني Anoxygenic** غير منتج للأكسجين. ويشمل البناء الضوئي اللاأكسجيني منتجات مثل الكبريت والكبريتات بدلًا من الأكسجين.

ويمكن للبدائيات أن تكون **ذات تغذية غير عضوية Chemolithotrophic** أي إنها تستعمل الطاقة المخزونة في روابط كيماوية لجزيئات غير عضوية لبناء مواد كربوهيدراتية، في حين أن المخلوقات حقيقية النوى غير قادرة على القيام بهذه العملية الأيضية.

البكتيريا الحقيقية والبكتيريا القديمة مختلفتان جوهريًّا على الرغم من تشابههما

تتشابه البكتيريا الحقيقية والبكتيريا القديمة في كونهما ذواتا بنية خلوية بدائية، إلا أنهما تتباينان بدرجة عالية على المستوى الكيموحيوي والجزيئي، وتختلفان في أربعة محاور أساسية، هي: الغشاء الخلوي، والجدار الخلوي، وتضاعف DNA، والتعبير عن الجينات.

الأغشية البلازمية. تمتلك كل البدائيات أغشية بلازمية ذات تركيب بنائي فسيفسائي سائل (الفصل الـ 5). ويختلف الغشاء البلازمي للبكتيريا القديمة عن ذلك الذي للبكتيريا الحقيقية والمخلوقات حقيقية النوى.

دهنيات الغشاء في البكتيريا القديمة مكونة من الجليسرول المرتبط بسلاسل هيدروكربونية من خلال روابط الإيثر المختلفة عن روابط الإيستر الملاحظة في البكتيرية الحقيقية والمخلوقات حقيقية النوى (الشكل 28–4أ). ويمكن لهذه الهيدروكربونات أن تكون متفرعة، ويمكنها الانتظام في إيثرات رباعية مكونة طبقة واحدة بدلًا من طبقتين (الشكل 28–4 ب).

وفي حالة بعض البكتيريا المحبة للحرارة العالية جدًا، فإن غالبية الغشاء الخلوي يمكن أن يتكون من هذه الإيثرات الرباعية ذات الطبقة الواحدة. وتعد هذه السمة التركيبية جزءًا مما يمكّن البكتيريا القديمة من مقاومة درجات الحرارة العالية.

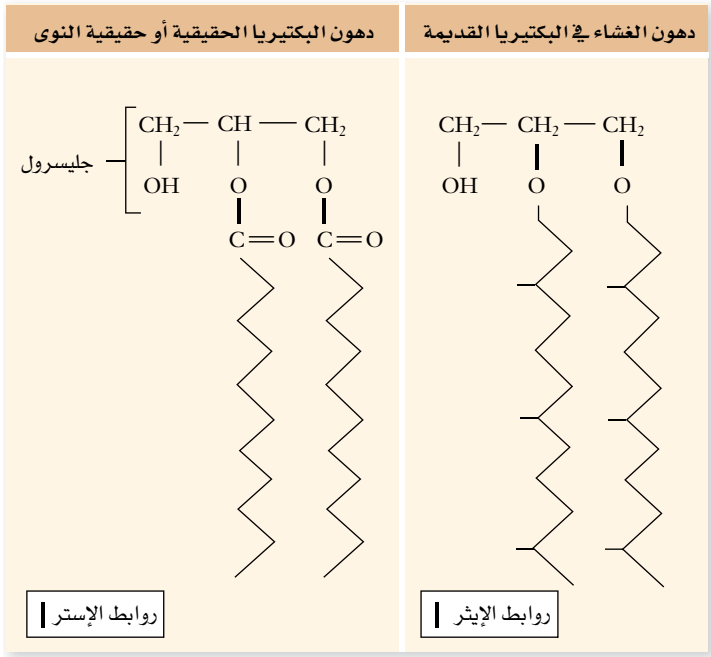
الجدار الخلوي. إن كلا النوعين من البدائيات يمتلك بشكل نموذجي جدرًا خلوية تغطي الغشاء الخلوي، وتدعم الخلية. تتركب الجدر الخلوية للبكتيريا الحقيقية على الأقل من سكر بروتيني هو **الببتيدوجلايكان Peptidoglycan** المكون من مبلمرات كربوهيدراتية مرتبطة مع بعضها بجسور ببتيدية عرضية. وتحوي هذه الجسور العرضية أحماضًا أمينية من فئة D التي لا توجد إطلاقًا في البروتينات الخلوية. وتفتقر جدر البكتيريا القديمة للببتيدوجلايكان مع أن بعضها يحتوي **الميورين الكاذب Pseudomurein** الذي يشبه الببتيدوجلايكان في التركيب والوظيفة. وطبقة الجدر هذه مبلمر كربوهيدراتي أيضًا مع جسور ببتيدية عرضية إلا أن هذه الكربوهيدرات مختلفة، وكذلك تركيب الجسور الببتيدية العرضية. وما يجعل التعميم حول التركيب صعبًا هو وجود جدر خلوية في البكتيريا القديمة مكونة من كثير من البروتينات والكربوهيدرات.

تضاعف DNA. مع أن لكل من البكتيريا والبكتيريا القديمة أصل تضاعف منفردًا إلا أن طبيعة هذا الأصل وبروتيناته الفعالة مختلفة تمامًا. إن بداية تضاعف DNA في البكتيريا القديمة مشابه لذلك في المخلوقات حقيقية النوى (انظر الشكل 14).

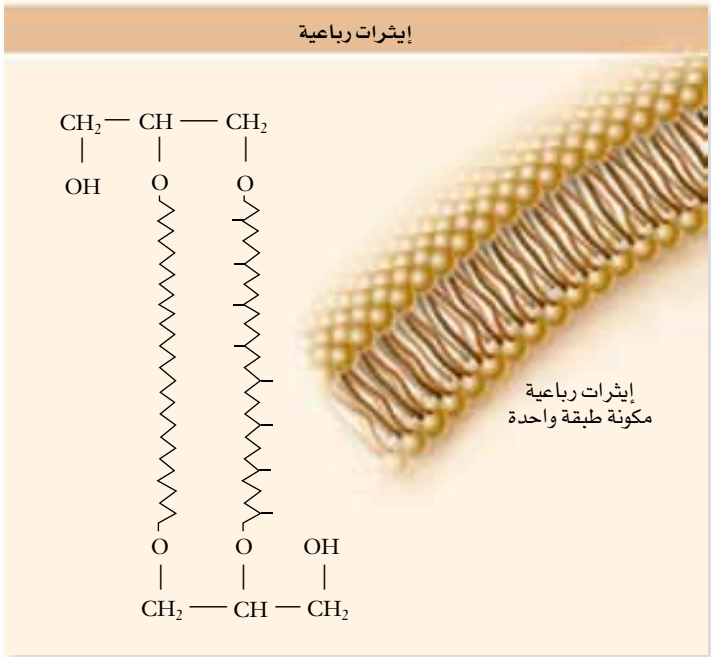
التعبير عن الجينات Gene expression. إن الآليات المستعملة في التعبير عن الجينات مختلفة أيضًا، حيث إن البكتيريا القديمة تمتلك أكثر من واحد من الأنزيمات المبلمرة للحمض النووي الرايبوزي، وتشبه هذه الأنزيمات بدرجة أكبر تلك التي في خلايا المخلوقات حقيقية النوى أكثر مما تشبه الأنزيم المبلمر للحمض النووي الرايبوزي في البكتيريا الحقيقية. وإن آليات الترجمة أيضًا أكثر شبهًا بتلك التي في المخلوقات حقيقية النوى (انظر الفصل الـ 16).

لم تُعرف صفات معظم البدائيات بَعْد

لا يمكن تصنف البدائيات بسهولة اعتمادًا على هيئتها أو شكلها، وقد أمكن حديثًا فقط التعرف بصورة كافية إلى مميزاتها الكيموحيوية والأيضية لتطوير ووضع تصنيف متكامل ومقنع يمكن مقارنته مع ذلك المتبع في المخلوقات الأخرى.



أ.



ب.

الشكل 28–4

دهون الغشاء في البكتيريا القديمة. أ. تتكون دهون الغشاء في البكتيريا على هيكل من الجليسرول شبيه بذلك الذي لدهون البكتيريا الحقيقية والمخلوقات حقيقية النوى، إلا أن سلاسل الهيدروكربون مرتبطة مع الجليسرول بروابط إيثرية، وليس إيسترية. ويمكن للهيدروكربونات أن تتشعب، وأن تحتوي على حلقاتٍ. ب. يمكن لهذه الدهون أن تكوّن إيثرات رباعية بدلًا من الإيثرات الثنائية. وتكوّن الإيثرات الرباعية طبقة واحدة؛ لأنها قد تتضمن منطقتين قطبيتين مرتبطتين بمركبات هيدروكربونية غير محبة للماء.

الصفات التصنيفية الأولية

اعتمدت أنظمة تصنيف البدائيات على صفات تفاضلية مثل صبغة جرام، وكذلك على فروق يمكن ملاحظتها في الشكل الخارجي للمخلوق. ومن الصفات الأساسية التي استعملت في مرحلة ما لتصنيف البدائيات ما يأتي:

1. ذات بناء ضوئي، أم لا يتم بها بناء ضوئي.
2. متحركة، أم غير متحركة.
3. وحيدة الخلية، أم قادرة على تكوين مستعمرات، أم خيطية.
4. قادرة على تكوين الأبواغ، أم تنقسم بالانشطار الثنائي.
5. أهميتها في كونها ممرضة، أم غير ممرضة للإنسان.

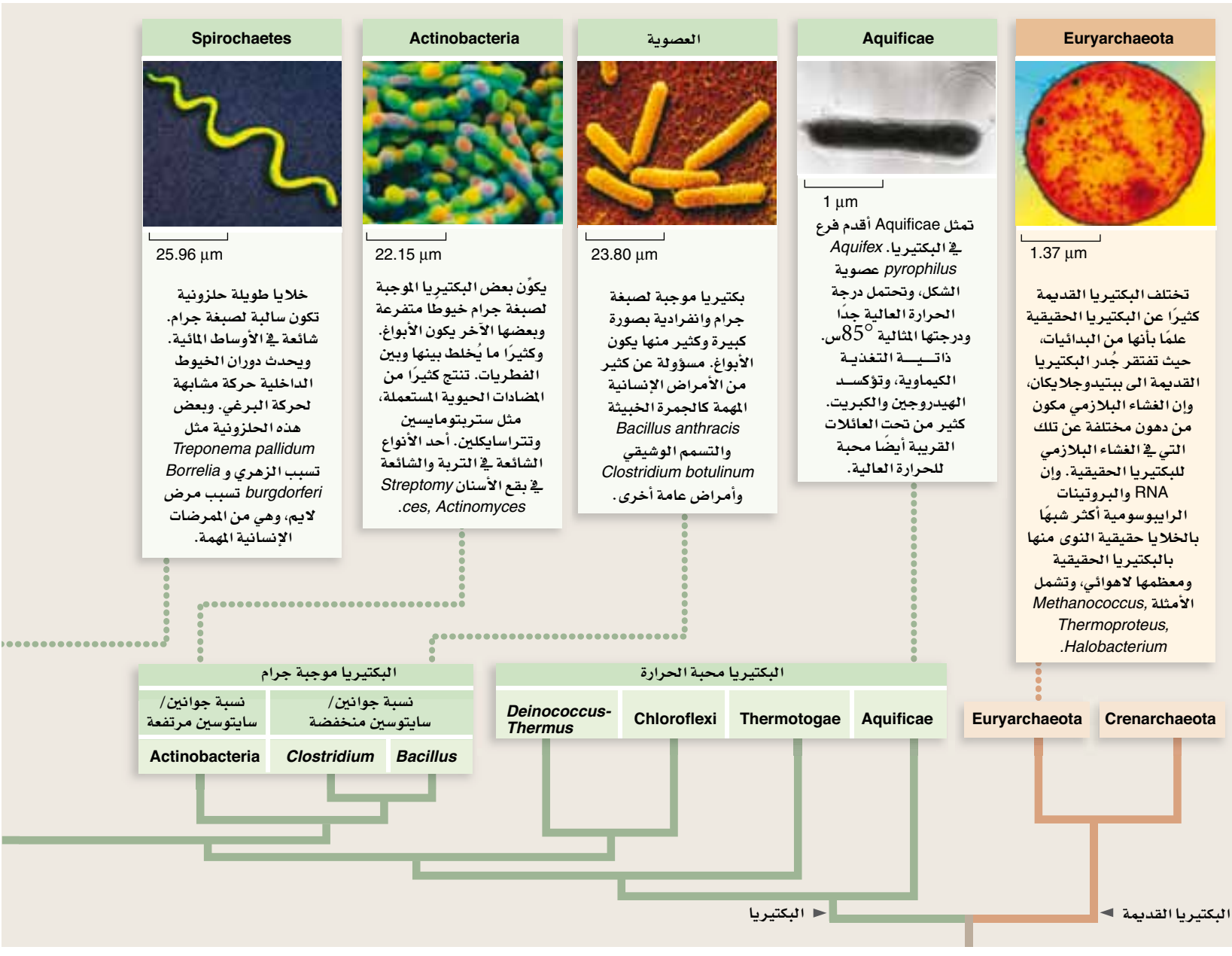
مقاربات جزيئية للتصنيف

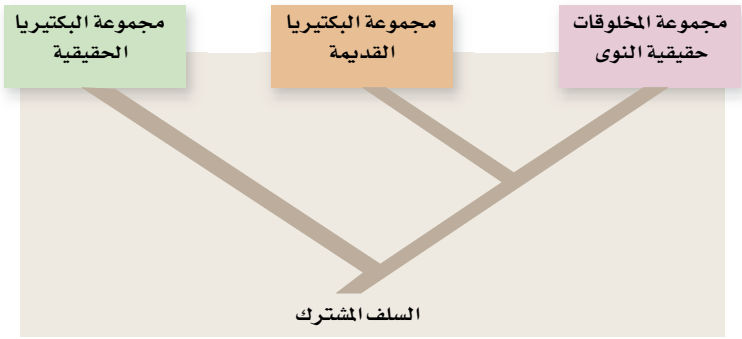
مع تطوير مقاربات وراثية وجزيئية، أصبح ممكنًا أخيرًا لتصنيف البدائيات أن يعكس درجة القرابة التطورية الحقيقية، وتشمل المقاربات الجزيئية:

1. تحليل تسلسل (تعاقب) الأحماض الأمينية في بروتينات أساسية.
2. تحليل تسلسل قواعد الأحماض النووية لتحديد النسب المئوية لقواعد الجوانين (G) والسايتوسين (C).
3. تهجين الحمض النووي الذي هو في الأساس خلط DNA أحادي الشريط من نوعين من المخلوقات، وتحديد كمية الازدواج بين القواعد (حيث إن الأنواع القريبة سوف تعكس نسبة ازدواج أكبر في القواعد).
4. تحديد التسلسل الجيني، وتسلسل RNA، وخصوصًا الاهتمام بـ RNA الرايبوسومي.
5. تحليل تسلسل كامل المحتوى الجيني للمخلوق.

إن نظام فوق الممالك الثلاث Domains أو نظام ووز Woese للنشوء النوعي (الشكل 28–5) يعتمد على كل هذه الأسس الجزيئية، إلا أنه يؤكد على مقارنة تسلسل RNA الرايبوسومي للتأسيس لعلاقات القرابة التطورية للمخلوقات كلها.

وبناءً على هذه الأنواع من المعلومات الجزيئية، فقد تم اقتراح مجموعات عدة من





الشكل 28– 5

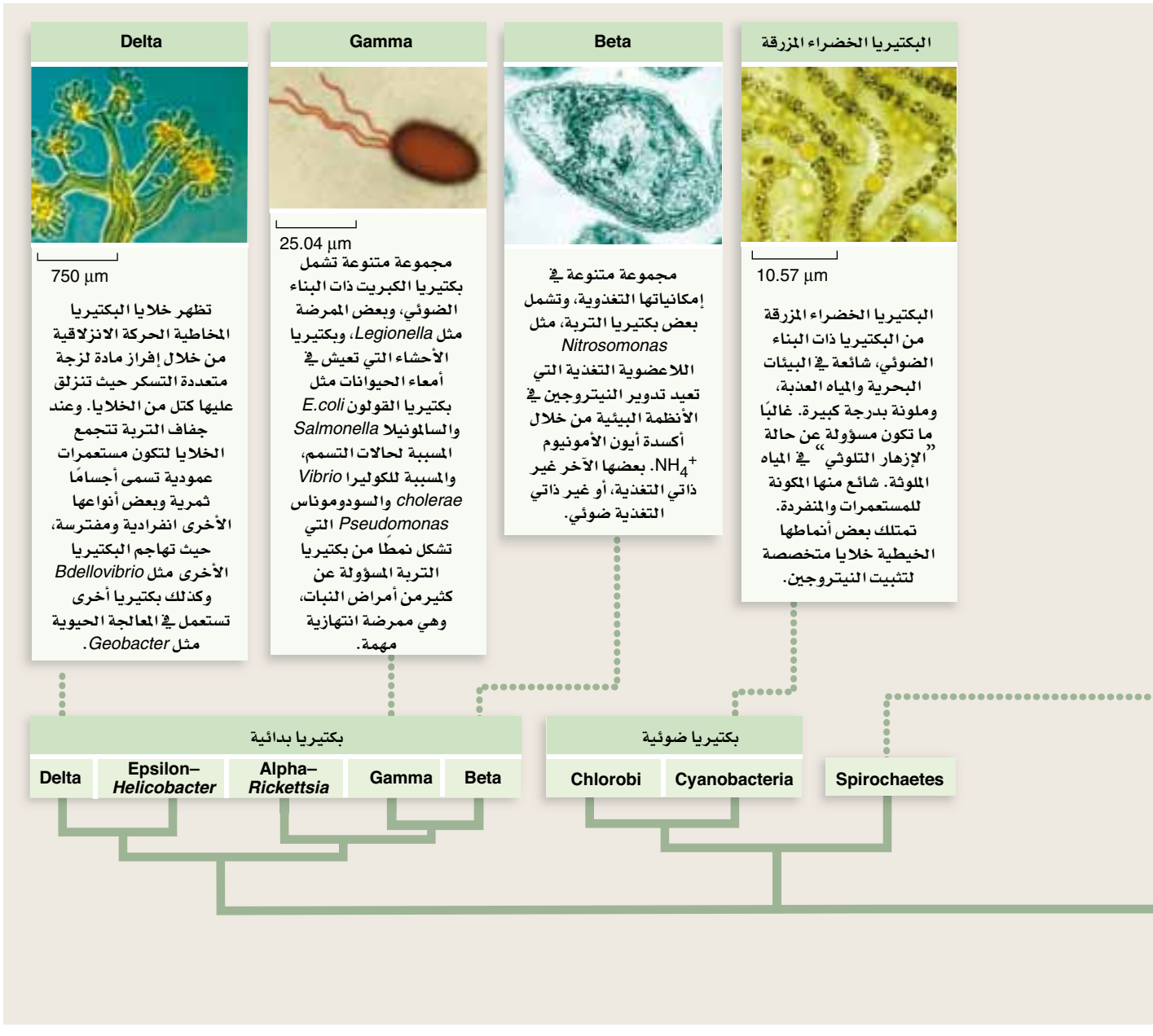
فوق الممالك الثلاث للمخلوقات الحية. مع أن مجموعتي البكتيريا والبكتيريا القديمة غير متقاربتين جدًا، إلا أنهما من البدائيات. وفي كثير من الوجوه، فإن (انظر النص) البكتيريا القديمة أكثر شبهًا بالمخلوقات حقيقية النوى منها بالبكتيريا الحقيقية. بنيت هذه الشجرة بناء على تسلسل (تعاقب) RNA الرايبوسومي.

البدائيات. إن التصنيف الأكثر قبولًا هو ذلك الذي يقدمه دليل بيرجي لتصنيف البكتيريا، الطبعة الثانية، المجلد الأول المنشور عام 2001 (الشكل 28–6). ومنذ عام 2005 فإن العدد الكلي لأنواع البكتيريا الحقيقية والبكتيريا القديمة قد بلغ 7000 نوع تقريبًا. وحيث إن نسبة كبيرة من هذه البكتيريا لا يمكن تكثيرها، إلا أن الرقم الحقيقي لهذه الأنواع أكثر بكثير، ويصل إلى حدود 100,000 نوع مختلف.

تتميز البدائيات باختلافها المميز عن حقيقية النوى، حيث تفتقر للغلاف النووي للنواة، وكذلك للعضيات المتنوعة. وإنها تتكاثر أيضًا بآلية مختلفة أساسًا، وهي الانشطار الثنائي. البكتيريا الحقيقية، والبكتيريا القديمة مختلفتان عن بعضهما اعتمادًا على تركيب كل منهما وأيضه. وقد ساعد تحليل DNA في تصنيف البدائيات، إلا أن عددًا كبيرًا من هذه البدائيات لم يتم تعريفه بسبب عدم قدرتنا على تكثيرها.

الشكل 28 – 6

بعض الفئات التصنيفية (Clades) الرئيسة للبدائيات. إن التصنيف المتبع هنا هو ذلك المنشور في دليل بيرجي لتصنيف البكتيريا، الطبعة الثانية، 2001.



3-28 تركيب الخلية البدائية

الخلايا البدائية بسيطة نسبيًّا، إلا أنه يمكن تصنيفها بناءً على شكلها. ويلاحظ أيضًا تباين في تركيبها ما يعطيها صفات اصطباغ مختلفة تجاه بعض الصبغات. وهناك صفات أخرى يمكن ملاحظتها في بعض أنواع الخلايا، وليس في الأخرى.

توجد البدائيات بأشكال أساسية ثلاثة: العصوية، والكروية، والحلزونية

تظهر معظم البدائيات في واحد من ثلاثة أشكال أساسية: عصوية الشكل، وتسمى **العصوية Bacillus** (العصويات للجمع) **وكروية Coccus** (كرويات للجمع) وتكون كروية أو بيضوية الشكل **وحلزونية Spirillum** (حلزونيات للجمع)، ولكونها طويلة ولولبية الشكل، فإن هذه البكتيريا تسمى أيضًا **السبيروكيت Spirochetes** (الشوكية الحلزونية).

ويعد الجدار الخلوي وحده أهم مسهم في تحديد شكل الخلية. فالبكتيريا التي تفتقر لوجود جدار خلوي كما هي الحال في المايكوبلازما ليس لها شكل محدد.

وبقدر ما هناك تنوع في أشكالها، فإن الخلايا البدائية تتحرك في بيئاتها بطرق متعددة مختلفة. يوجد **سوط Flagellum** أو أسواط عدة على السطح الخارجي لكثير من الخلايا البدائية. وتساعد هذه المكونات على دفع المخلوقات في البيئة السائلة. تقوم بعض الخلايا العصوية والكروية بالحفاظ على التصاقها جنبًا إلى جنب بعد انقسامها مكونة بذلك سلاسل من الخلايا. وتقوم بعض الخلايا بالتغير إلى تراكيب ذات سويقات، أو أنها تنمو طوليًّا مكونة خيوطًا متفرعة. وإن بعض أنواع البكتيريا الخيطية قادرة على التحرك انزلاقيًّا على سطوح صلبة، وغالبًا ما تتم العملية مصحوبة بالدوران حول محور طولي.

للبدائيات جدار خلوي متين وأجزاء خارجية أخرى

غالبًا ما يكون **الجدار الخلوي Cell wall** في البدائيات معقدًا ومكونًا من طبقات عدة. وفي حده الأدنى يتكون من الببتيدوجلايكان، وهو مبلمر خاص بالبكتيريا. يكوِّن هذا المبلمر شبكة متينة من جدائل متعددة التسكر المرتبطة عرضيًّا بسلاسل ببتيدية جانبية. وهذا التركيب مهم؛ لأنه يبنى على شكل الخلية، ويحميها من الانتفاخ والتمزق في حالة وجودها في محاليل أقل تركيزًا، وهي الموجودة عمومًا في البيئة. تفتقر البكتيريا القديمة لمادة الببتيدوجلايكان إلا أن بعضها يمتلك تركيبًا مشابهًا يسمى الميورين الكاذب، أو ببتيدوجلايكان الكاذب.

البكتيريا الموجبة والسالبة لصبغة جرام

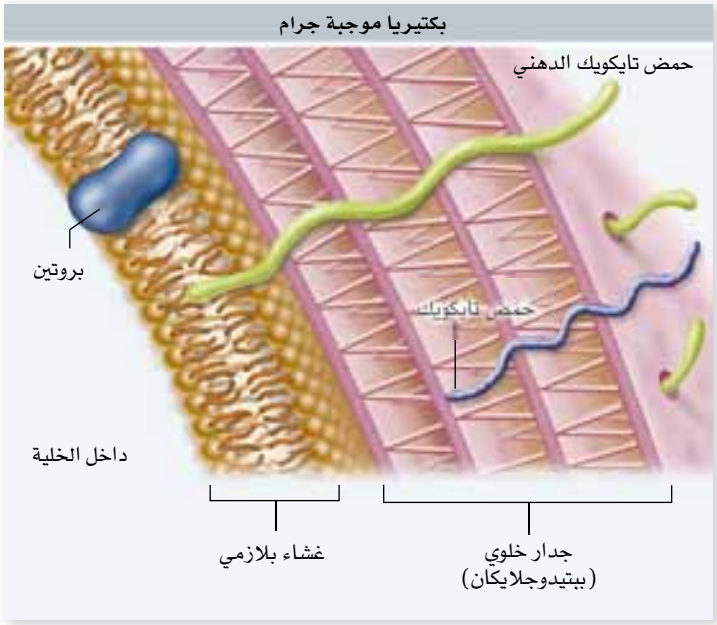
يمكن تعرف نوعين من البكتيريا باستعمال طريقة صبغ تدعى **صبغة جرام Gram stain** الدالة على اسمها. فالبكتيريا **الموجبة لصبغة جرام Gram-positive** تتميز بوجود جدار خلوي سميك، وتأخذ لونًا أرجوانيًّا في حين أن البكتيريا **السالبة لصبغة جرام Gram-negative**، والأكثر شيوعًا، تحوي

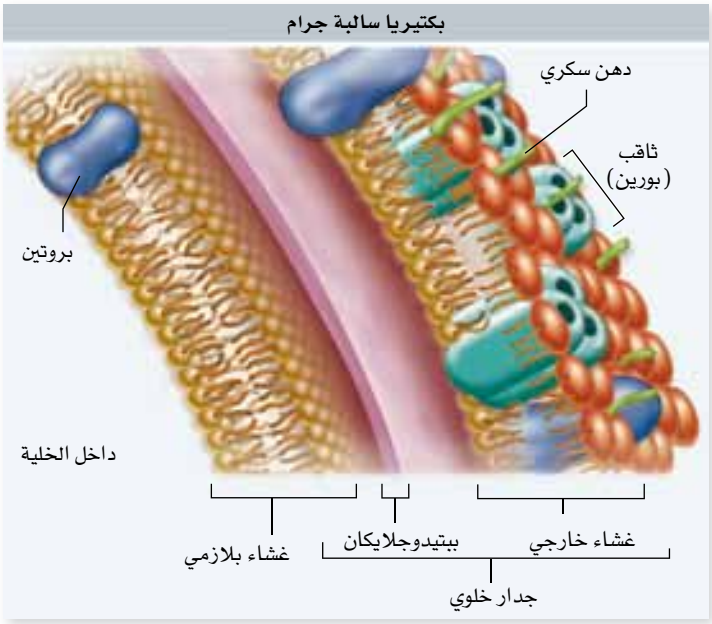
أ.

ب.

الشكل 28-7

صبغة جرام. أ. تقوم طبقة الببتيدوجلايكان المغلفة للبكتيريا الموجبة لصبغة جرام باقتناص صبغة البنفسجي البلّوري، حيث تظهر البكتيريا أرجوانية عند صبغها بهذه الصبغة (سميت هكذا تقديرًا للعالم هانس كريستيان جرام الذي طور هذه الصبغة ابتداءً). وحيث إن البكتيريا السالبة لصبغة جرام لديها كمية أقل من الببتيدوجلايكان (الموجود بين الغشاءين الخلوي والخارجي) فإنها لا تحتفظ بصبغة البنفسجي البلّوري. وهكذا، فإنها تظهر لون الصبغة المناظرة ذات اللون الأحمر (غالبًا ما تكون صبغة السفرانين). ب. صورة مجهرية تبين نتائج صبغة جرام مع الخلايا الموجبة لصبغة جرام، وتلك السالبة لصبغة جرام.





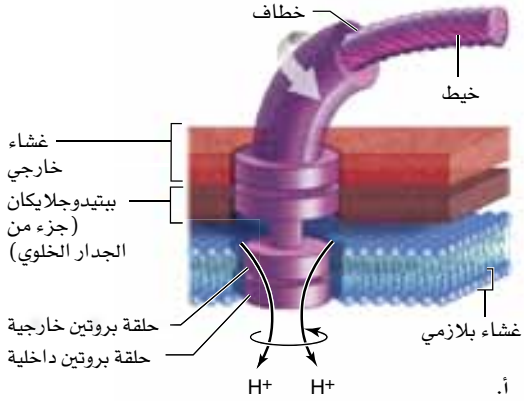
الشكل 28–8

تركيب الجدار الخلوي للبكتيريا الموجبة والسالبة لصبغة جرام. إن الجدار الخلوي لموجبة جرام أبسط تركيبًا، ويتكون من طبقة سميكة من سلاسل الببتيدوجلايكان المرتبطة عرضيًّا. جزيئات حمض التيكويك الدهنية، وحمض التيكويك مغمورة في الجدار، ومعراة على سطح الخلية. أما الجدار الخلوي لسالبة جرام فيتكون من طبقات عدة. وطبقة الببتيدوجلايكان أقل سمكًا منها في حالة البكتيريا موجبة جرام، ومحاطة بغشاء إضافي مكون من متعدد التسكر الدهني. تكوِّن بروتينات البورين ثقوبًا في الغشاء الخارجي، ويسمى الفراغ بين الغشاء الخارجي والببتيدوجلايكان الفراغ حول البلازمي.

كمية أقل من الببتيدوجلايكان، ولا تحتفظ باللون الأرجواني عند الصبغ. ويمكن صبغ هذه البكتيريا السالبة لصبغة جرام بصبغة حمراء معاكسة، وعندها تبدو زهرية داكنة (الشكل 28–7). يكوِّن الببتيدوجلايكان شبكة سميكة معقدة حول السطح الخارجي للخلية. وتحوي هذه الشبكة أيضًا أحماض التايكويك الدهنية والتايكويك، البارزة من الجدار الخلوي. أما في البكتيريا السالبة لصبغة جرام، فإن طبقة رقيقة من الببتيدوجلايكان تتموضع بين الغشاء البلازمي، وطبقة غشائية خارجية أخرى (الشكل 28–8). ويحتوي الغشاء الخارجي جزيئات كبيرة من **متعددة التسكر الدهنية Lipopolysaccharides** ودهونًا مع سلاسل متعدد التسكر مرتبطة بها. وتعمل هذه الطبقة الغشائية الخارجية على جعل البكتيريا السالبة لصبغة جرام مقاومة لكثير من المضادات الحيوية التي تتدخل في بناء الجدار الخلوي في البكتيريا الموجبة لصبغة جرام. فعلى سبيل المثال، يعمل المضاد الحيوي البنسلين على منع الارتباط العرضي لببتيدوجلايكان في الجدار الخلوي للبكتيريا موجبة جرام، ما يؤدي إلى قتل تجمعات البكتيريا خلال عملية تكاثرها.

طبقة *S*

تتكون طبقة إضافية في بعض أنواع البكتيريا الحقيقية والقديمة مكونة من البروتين أو البروتين السكري، ما يكوِّن سطحًا متينًا شبه بلّوري، يسمى **طبقة S S-layer**، وتتموضع خارج طبقة ببتيدوجلايكان أو طبقات الغشاء الخارجي في البكتيريا الموجبة لصبغة جرام، وتلك السالبة لصبغة جرام على التوالي. في البكتيريا القديمة، تكون طبقة S هذه سائدة، ويمكن أن توجد خارج طبقة ببتيدوجلايكان الكاذب، وبالمقارنة مع البكتيريا الحقيقية، فقد تكون الطبقة الوحيدة المتينة التي تحيط بالخلية. تتباين وتتعدد وظائف هذه الطبقة، إلا أنها غالبًا ما تكون ذات علاقة بالتصاق الخلايا بالسطوح، وحماية هذه الخلايا.



الشكل 28–9

المحرك السوطي للبكتيريا السالبة لصبغة جرام. أ. خيط بروتيني مكون من بروتين فلاجلين، يرتبط بقضيب بروتيني يمر في أنبوب في الغشاء الخارجي وعبر ثقب في طبقة الببتيدوجلايكان وصولًا إلى حلقات من البروتين المثبت في الجدار والغشاء الخلوي، كما في حلقات سطح ارتكاز الكرة. يدور القضيب عندما تدور حلقة البروتين الداخلي المرتبطة بالقضيب، حيث تدور نسبة للحلقة الخارجية المثبتة بجدار الخلية. الحلقة الداخلية عبارة عن قناة لأيون الهيدروجين، وهي مضخة بروتونية تستغل عبور البروتونات للخلية لضمان تحرك الحلقة الداخلية خلف الحلقة الخارجية. ويسمى جدار الغشاء المثبت للسوط الجسم القاعدي. ب. صورة بالمجهر الإلكتروني لسوط البكتيريا.

المحفظة

تحاط طبقات الجدار الخلوي لبعض أنواع البكتيريا بطبقة جيلاتينية إضافية تسمى **المحفظة Capsule**. تمكن هذه المحفظة الخلايا البدائية من الالتصاق بالسطوح والخلايا الأخرى، والأهم من ذلك أنها تساعد على تجنب الاستجابة المناعية، ولذلك فإن المحفظة تسهم في قدرة البكتيريا على إحداث المرض.

الأسواط البكتيرية والأهداب

يمتلك كثير من أنواع البدائيات أسواطًا متينة ورفيعة حلزونية مكونة من بروتين **فلاجلين Flagellin** (الشكل 28-9). يتراوح طول هذه الأسواط 3–12 ميكرومترًا، وهي رفيعة جدًا، بحيث لا تتجاوز 10–20 نانومترًا في سمكها. وهي مثبتة في الجدار الخلوي، وتدور كالمحرك، دافعة الخلية في البيئة السائلة. وخلايا البكتيريا التي فقدت الجينات اللازمة لبروتين فلاجلين لا تتمكن من السباحة.

الأهداب Pili. أجزاء تشبه الشعر، وتوجد على بعض الخلايا سالبة جرام في البدائيات (انظر الشكل 28–3). وهي أقصر من الأسواط في البدائيات، إذ يبلغ سمكها ما بين 7.5–10 نانومترات. والأهداب هذه أكثر أهمية في عملية التصاق الخلايا منها في الحركة ولها دور أيضًا في عملية تبادل المادة الوراثية (سيتم مناقشتها لاحقًا).

تكوين الأبواغ الداخلية

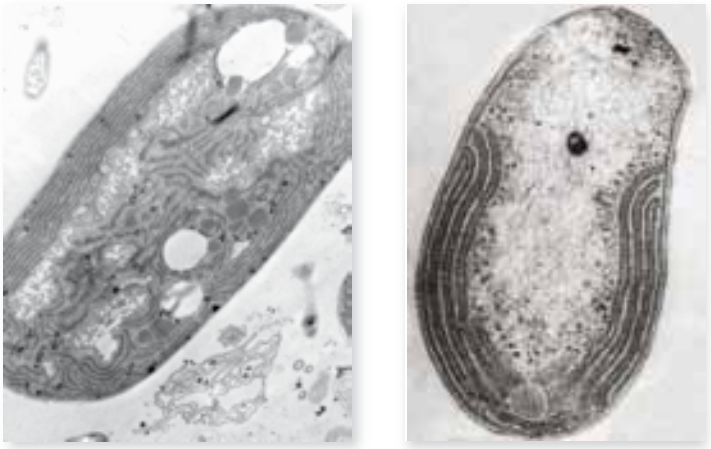
إن بعض البدائيات قادرة على تكوين **الأبواغ الداخلية Endospores**. حيث تطور جدارًا سميكًا حول مادتها الوراثية، وجزءًا قليلًا من السيتوبلازم عند تعرضها لظروف بيئية ضاغطة. وتكون هذه الأبواغ مقاومة بدرجة عالية للضغوط البيئية، خصوصًا الحرارة. وعند تحسن هذه الظروف، يمكن أن تنمو، وتعود لعملية انقسام الخلية العادية مكونةً خلايا جديدة بعد عقود، أو حتى قرون.

فالبكتيريا المكونة لمرض التيتانوس والتسمم الوشيقي والجمرة الخبيثة كلها قادرة على تكوين الأبواغ الداخلية. وفي حالة الجروح، فإن أبواغ التيتانوس تتمكن من الوصول إلى داخل الجلد، حيث الظروف الملائمة لنمو هذه الأبواغ، وإحداث المرض، أو حتى الموت.

داخل خلايا البدائيات منظم

إن الميزة الأساسية للخلايا البدائية هو تنظيمها الداخلي البسيط. تفتقر خلايا البدائيات للتقسيم الوظيفي الموسع الذي يمكن مشاهدته في الخلايا حقيقية النوى، إلا أنها تحوي التراكيب الآتية:

الأغشية الداخلية. يمتلك كثير من البدائيات مناطق منبعجة من الغشاء البلازمي، حيث تقوم بوظيفة تنفسية، أو بالبناء الضوئي (الشكل 28–10).



الشكل 28–10

الخلايا البدائية تمتلك أغشية داخلية معقدة غالبًا. أ. تظهر هذه البكتيريا أغشية تنفسية كثيرة في السيتوبلازم لا تختلف عن تلك الموجودة في الميتوكوندريا. ب. تمتلك هذه البكتيريا الخضراء المزرقة رزمًا شبيهة بالأغشية، توفر مكانًا لعملية البناء الضوئي.

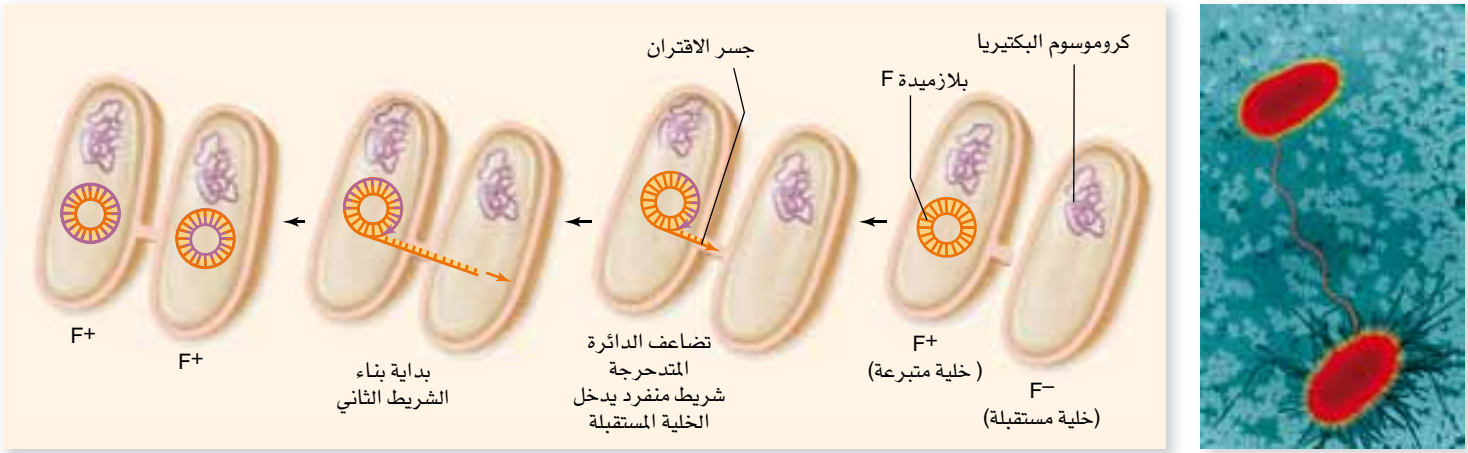
منطقة نظير النواة. تفتقر البدائيات للنواة، فليس لديها كروموسومات خيطية، وبدلًا من ذلك، فإن جيناتها موجودة في حلقة واحدة من DNA المكثف بدرجة عالية مكونًا منطقة مرئية من الخلية تعرف **بمنطقة نظير النواة Nucleoid region**. ويمتلك كثير من الخلايا البدائية البلازميدات التي وُصفت سابقًا، وهي حلقات صغيرة من DNA تتضاعف بصورة مستقلة. تحوي البلازميدات عددًا قليلًا من الجينات، ومع أن هذه الجينات قد تعطي الخلايا فائدة انتقائية إلا أنها ليست ضرورية لمعيشة الخلية.

الرايبوسومات. إن رايبوسومات الخلايا البدائية أصغر من تلك التي في الخلايا حقيقية النوى، وإنها تختلف في محتواها البروتيني وRNA. ويمكن لمضادات حيوية مثل تتراسايكلين وكلورأمفينيكول أن تفرق بينها، حيث ترتبط هذه المضادات مع رايبوسومات البدائيات، وتوقف بناء البروتينات في حين أنها لا ترتبط مع رايبوسومات الخلايا حقيقية النوى.

إن الأشكال الثلاثة الأساسية للبدائيات تتمثل في: العصوية، والكروية، والحلزونية. ومع أن البدائيات لا تحوي عضيات محاطة بأغشية إلا أن داخلها منظم، ويمكن أن تحوي انبعاجات داخلية كثيرة في الغشاء البلازمي. وإن RNA منظم أيضًا على شكل منطقة نظير النواة على الرغم من غياب أي غشاء حولها.

4-28 وراثة البدائيات

تنتقل الصفات عموديًا من الآباء إلى الأبناء في المجتمعات التي تتكاثر جنسيًا. والبدائيات لا تتكاثر جنسيًا، إلا أنها تستطيع تبادل المادة الوراثية بين الخلايا المختلفة. وتتم عملية انتقال الجينات الأفقية هذه عندما تتحرك الجينات من خلية إلى أخرى بعملية **الاقتران Conjugation** التي تتطلّب اتصالًا بين خلية وأخرى أو **بعملية التحول (التأبير) عن طريق الفيروسات Transduction**. وإن بعض أنواع البكتيريا تستطيع التقاط المادة الوراثية مباشرة من البيئة من خلال عملية **التحول Transformation**. وقد لوحظ حدوث هذه العمليات في البكتيريا القديمة، إلا أن دراسة وراثة البكتيريا القديمة لا تزال في مراحلها الأولى بسبب صعوبة تنمية معظم أنواعها واستزراعه. ونركز هنا على أنظمة البكتيريا الحقيقية وبصورة أولية على بكتيريا القولون *E. coli* التي تمت دراستها بصورة موسعة.



الشكل 28 – 11

جسر الاقتران وانتقال البلازميدة بين خلايا تحمل عامل الخصوبة F^+ وأخرى تفتقر لهذا العامل F^-.

أ . صورة بالمجهر الإلكتروني تبين بكتيريا القولون *E. coli* خلال قيامها بعملية الاقتران. يتم الاتصال بين الخلايا من خلال أهداب، أو زوائد *F* الممتدة.

ب. تتحول الخلايا التي تفتقر لعامل F^- إلى خلايا حاملة لعامل الخصوبة F^+ من خلال انتقال بلازميدة F. تتحد الخلايا عن طريق جسر الاقتران، وتتضاعف البلازميدة في الخلية المتبرعة، فتزيح أحد الأشرطة الأبوية، ومن ثم فإن الشريط المزاح ينتقل إلى الخلية المستقبلة، ثم يتضاعف. بعد نجاح عملية الانتقال، تصبح الخلية المستقبلة حاملة لعامل الخصوبة F^+ وقادرة على تفعيل جينات خاصة بهدب F، وتصبح خلية متبرعة.

يعتمد الاقتران على وجود بلازميدة اقتران

يمكن للبلازميدة تشفير صفات توفر امتيازًا للخلية، مثل مقاومة المضادات الحيوية–التي تعمل بها عملية الانتخاب الطبيعي– إلا أن البلازميدات هذه غير ضرورية للأداء الوظيفي العادي، وفي بعض الحالات، يمكن للبلازميدات الانتقال من خلية إلى أخرى من خلال عملية الاقتران. وأفضل هذه البلازميدات المعروفة والقادرة على الانتقال تدعى **بلازميدة الخصوبة F plasmid**$^-$. الخلايا المحتوية على بلازميدات الخصوبة F تسمى الخلايا الموجبة لعامل الخصوبة F^+ cells والخلايا الفاقدة لهذا العامل خلايا **سالبة لعامل الخصوبة cells** F^-. يوجد عامل الخصوبة هذا في بكتيريا القولون *E.coli*، وهي مثل كل البلازميدات تعمل بوصفها كيانًا جينيًّا مستقلًّا، ومع ذلك، فهي تعتمد على الخلية لتضاعفها. كانت الدراسات حول بلازميدة الخصوبة ذات أهمية كبيرة لفهمنا الحالي للوراثة في البكتيريا، وكذلك لتنظيم كروموسوم بكتيريا القولون *E.coli*.

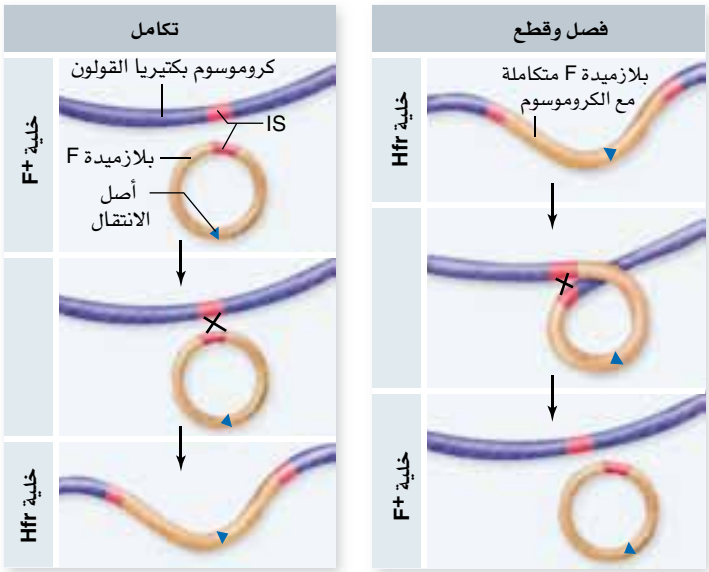
انتقال عامل الخصوبة *F*

يحتوي عامل الخصوبة F على أصل لتضاعف DNA وجينات عدة أخرى تشجع وتسهل انتقاله إلى خلايا أخرى. تقوم هذه الجينات بتشفير وحدات بروتينية صغيرة تجتمع على سطح الخلية البكتيرية مكونة هدبة جوفاء (أنبوبية) ضرورية لعملية الانتقال (الشكل 28–11أ).

في البداية، ترتبط بلازميدة الخصوبة بموقع في داخل الخلية الموجبة F^+ موجود تحت الهدب، ويطلق عليه جسر الاقتران *Conjugation bridge*. بعد ذلك، ومن خلال عملية تدعى عملية الدائرة المتدحرجة للتضاعف *Rolling -circle replication* فإن بلازميدة الخصوبة تبدأ باستنساخ DNA الخاص بها عند نقطة الارتباط. ومع عملية التضاعف، فإن الشريط المنفرد من البلازميدة المزاح يمر إلى الخلية الأخرى. وهناك يتم بناء الشريط المكمل للبلازميدة، وبذلك تكون قد بُنيت بلازميدة F جديدة ثابتة (الشكل 28–11ب).

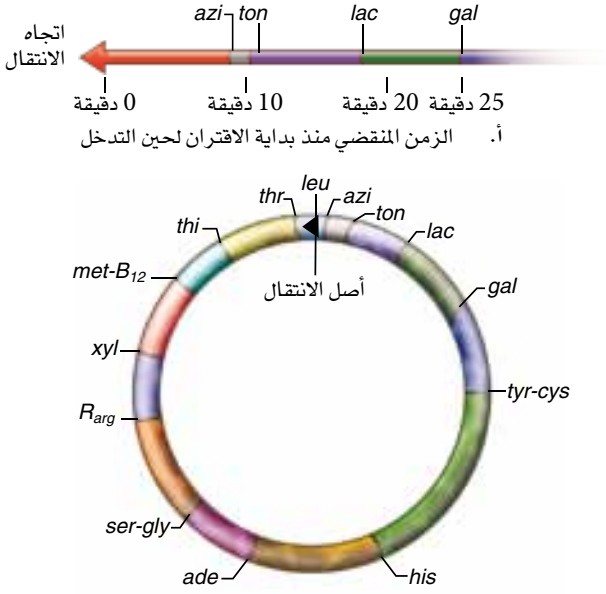
الخلط الوراثي بين بلازميدة *F* وكروموسوم الخلية العائل

يمكن لبلازميدة الخصوبة التكامل مع كروموسوم الخلية العائل من خلال عملية الخلط (الفصل الـ 13). إن الأحداث الجزيئية في هذه العملية شبيهة بتلك الحاصلة خلال عملية الانقسام الاختزالي في المخلوقات حقيقية النوى عند حدوث عملية العبور (الخلط الوراثي)، حيث يتم تبادل المواد الوراثية بين الكروموسومات. وتسمى هذه العملية الخلط المتجانس. وفي حالة بلازميدة الخصوبة وكروموسوم بكتيريا القولون، فإن عملية خلط واحدة بين اثنتين من البلازميدات الدائرية تؤدي



الشكل 28–12

تكامل (التحاق) البلازميدة وانفصالها. تحوي بلازميدة F أنماط تسلسل إدخال قصيرة موجودة أيضًا في الكروموسوم. يمكّن هذا البلازميدة للازدواج مع الكروموسوم، حيث تقود عملية خلط واحدة بين حلقتين إلى حلقة أكبر. يؤدي هذا لتكامل البلازميدة في الكروموسوم، وهذا بدوره يؤدي إلى إنشاء خلية ذات قدرة خلط عالية Hfr كما هو مبين إلى اليسار. هذه العملية عكسية؛ لأن أنماط تسلسل الإدخال في البلازميدة المتكاملة يمكنها الازدواج، حيث ستؤدي عملية خلط الآن إلى إعادة الحلقتين، وتحويل الخلية ذات قدرة الخلط العالية Hfr إلى خلية F^+ كما هو مبين إلى اليمين.



الشكل 28–13

خريطة المحتوى الجيني لبكتيريا القولون *E.coli*. لقد تم إنتاج الخريطة الجينية لبكتيريا القولون أصلًا عن طريق تجارب تزاوج تمت مقاطعتها مرارًا، تقوم خلية ذات نسبة خلط عالية Hfr بنقل جينات كروموسومية للخلية المستقبلة. أ. منطقة من الكروموسوم تبدأ بأصل الانتقال، ويبين الزمن بالدقائق لنقل سلسلة من المؤشرات الجينية. ب. نموذج مبسط من الخريطة الجينية لبكتيريا القولون *E.coli*.

إلى تكوين حلقة كبيرة مكونة من الكروموسوم والبلازميدة المرتبطة به. وتتم عملية التكامل هذه بمساعدة بروتينات من الخلية العائل، إلا أنها تستفيد من مناطق في بلازميدة الخصوبة F تسمى تعاقبات الإدخال التي توجد في كروموسوم بكتيريا القولون *E.coli*. وفي الحقيقة، فإن تعاقبات الإدخال هذه عبارة عن عناصر قافزة، يمكن أن تكون قد تحركت من الكروموسوم إلى بلازميدة الخصوبة F.

عند اندماج بلازميدة الخصوبة F في الكروموسوم، فإن هذه الخلية تسمى **الخلية ذات درجة الخلط العالية (Hfr cell)** (الشكل 28–12). يعود سبب ذلك إلى أن انتقال المادة الوراثية عن طريق بلازميدة الخصوبة F يشمل انتقال مادة وراثية من الكروموسوم. والموقع الذي تبدأ منه عملية الانتقال يكون في منتصف البلازميدة المتكاملة، بحيث إن كامل الكروموسوم عليه الانتقال لينقل أيضًا كل البلازميدة المرتبطة أو المتكاملة. يحتاج انتقال الكروموسوم كله إلى ما يقارب 100 دقيقة، وعادة ما يتحطم جسر الاقتران قبل هذا الوقت، وهذا يؤدي لانتقال أجزاء من كروموسوم الخلية المتبرعة لتحل محل أجزاء في كروموسوم الخلية المستقبلة خلال عملية الخلط المتجانس. ويتم ذلك كعمليتي خلط بين القطعة المستقيمة والكروموسوم الدائري بصورة مشابهة لعملية عبور مزدوجة في حالة الانقسام الاختزالي في الخلايا حقيقية النوى.

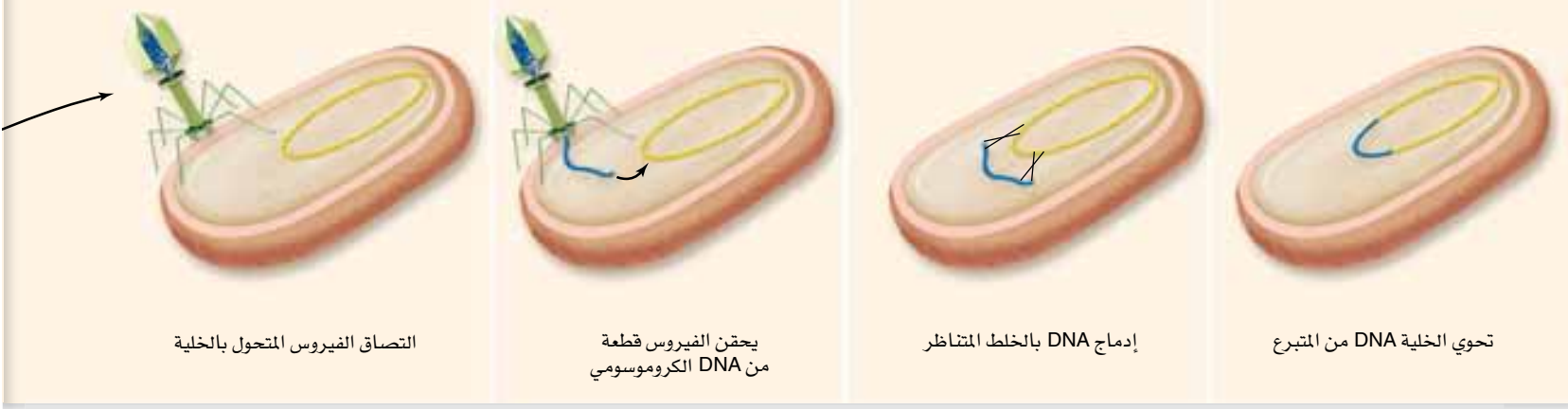
وقد استفاد علماء الوراثة من هذا لوضع خريطة لترتيب الجينات في كروموسوم بكتيريا القولون. تنتقل الجينات القريبة من أصل الانتقال مبكرًا، في حين تنتقل الجينات البعيدة عن الأصل متأخرة. ولو تم مقاطعة عملية الاقتران بأوقات مختلفة، فعندها يمكن تحديد مواقع الجينات اعتمادًا على زمن دخول كل واحد من هذه الجينات (الشكل 28–13). ويمكن تتبع دخول الجينات باستعمال متبرع يحمل أليلات الصفة الأصلية (يدعى الطراز البري) التي يمكنها أن تحل محل الأليلات الطافرة في الخلايا المستقبلة من خلال الخلط المتجانس كما تم وصفه. لقد بينت هذه التجارب أن كروموسوم بكتيريا القولون *E.coli* في الحقيقة دائري، وأن الخريطة الوراثية (الجينية) بناءً عليه دائرية أيضًا. إن وحدات الخريطة هي الدقائق، وإن طول الخريطة كاملًا يساوي 100 دقيقة.

يمكن لبلازميدة الخصوبة F أن تفصل نفسها بأن تعكس عملية التكامل مع كروموسوم الخلية العائل. في هذه الحالة، فإن عناصر تعاقب الإدخال الرابطة للبلازميدة تكون ازدواجًا، وعليه، إذا حدث خلط واحد فسيؤدي ذلك إلى تكوين دائرتين (انظر الشكل 28–12). وإذا كانت عملية الانفصال غير دقيقة، فإن بلازميدة الخصوبة F يمكنها التقاط بعض DNA من كروموسوم الخلية، وهذا يؤدي لإيجاد ما يسمى البلازميدة **F.** التي يمكنها فيما بعد أن تنتقل، وبصورة كاملة، وبسرعة إلى خلية أخرى. وفي هذه الحالة، فإن الخلية سوف تكون حاملة في كروموسومها للمادة الوراثية نفسها المحمولة ببلازميدة F.. يجعل هذا الخلية ثنائية التركيب **الجيني جزئيًا Partial diploid** بمفهوم وراثي (2n) ويطلق عليها أحيانًا **ثنائي التركيب الجيني الجزئي Merodiploid**. ويمكن استعمال ثنائي التركيب الجيني الجزئي لتحديد ما إذا كانت الطفرات الجديدة المعزولة هي أليلات لجينات معروفة. يتم ذلك باستخدام أنواع برية ذات أليلات لجينات معروفة لبلازميدة F. لتوفير خلايا غير متماثلة جينيًا، طبيعية الوظيفة، لأليلات طافرة غير معروفة في الكروموسوم.

الفيروسات تنقل DNA عن طريق التحول (Transformation)

يمكن أيضًا تسهيل عملية الانتقال الأفقي لمادة DNA عن طريق الفيروس البكتيري. وفي عملية **التأبير العامة Generalized transduction** يمكن في الواقع انتقال أي جين بين الخلايا. أما في عملية **التأبير المتخصص Specialized transduction**، فإن القليل من الجينات يتم انتقالها.

الإصابة بالفيروس المتحول



التأبير العام

يمكن النظر إلى عملية التأبير العام، وكأنها حادث عرضي في بيولوجية بعض الفيروسات البكتيرية المحللة (الفصل الـ 27). ففي هذه الفيروسات، وبعد تضاعف المادة الوراثية، وبناء رأس الفيروس البكتيري، تقوم آلية تغليف DNA بوضعه في رأس الفيروس إلى ألا يصبح بالإمكان إضافة المزيد، حيث يشار إلى ذلك بعملية تغليف ملء الرأس. وفي بعض الأحيان، يبدأ الفيروس البكتيري باستعمال DNA البكتيريا بدلًا من DNA الفيروس، ويغلف DNA البكتيري هذا في رأس الفيروس (الشكل 28-14). وعندما تقوم هذه الفيروسات بإصابة خلية أخرى، فإنها تحقن DNA البكتيريا في الخلية المصابة بدلًا من DNA الفيروسي. ومن ثم يتم إدماج DNA هذا بكروموسوم المستقبل عن طريق الخلط المتجانس. وكما هو الحال في الانتقال عن طريق الخلايا ذات الخلط العالي التكرار Hfr التي تم وصفها سابقًا، فإن عمليتي خلط ضروريتان لتكامل القطعة الخطية من DNA مع الكروموسوم الحلقي (انظر الشكل 28-14).

استعمل التأبير العام لأغراض الخرائط في *E.coli*، مع أن المنطق مختلف عما هو في حالة الاقتران. ففي التأبير، كلما كانت الجينات أقرب لبعضها، كانت إمكانية انتقالها في عملية تأبير واحدة أكثر احتمالًا. ويمكن التعبير عن هذا رياضيًّا بتكرار التأبير المرافق *Cotransduction frequency*. إن مقارنة الخرائط من هاتين الطريقتين يوفر تحويلًا تجريبيًّا بين تكرار التأبير المرافق والدقائق في الخرائط الجينية.

التحول الفيروسي (التأبير) المتخصص

إن عملية التحول المتخصص مقتصرة على فيروسات بكتيريا تظهر دورة حياة غير تحللية (الفصل الـ 27). النموذج الأولي لهذا هو فيروس λ من بكتيريا القولون *E.coli*. فعندما يصيب فيروس λ هذا الخلية، وترتبط مادته الوراثية مع كروموسوم الخلية العائل، فإنه لا يقوم بتخريب الخلية، لكنه يُمرر مع انقسامها. عملية الارتباط هذه شبيهة بارتباط بلازميدة الخصوبة F فيما عدا أنه في حالة فيروس λ تكون عملية الخلط حدثًا ذا خصوصية للموقع، ويتم بمساعدة بروتينات فيروسية الأصل.

في هذه الحالة غير التحللية، فإن الفيروس يدعى الفيروس البدائي، وهو كامن (غير نشط). يقوم الفيروس البدائي بالوظائف الضرورية لفصل نفسه، والدخول في النمو التحللي مؤديًا لموت الخلية. وإذا لم يتم ذلك الانفصال بصورة دقيقة، فمن المحتمل أن يأخذ معه بعض DNA الكروموسومي ما يؤدي لبناء فيروس قادر على التحول المتخصص. وتحمل هذه الفيروسات جينات من كل من الفيروس، وكروموسوم الخلية العائل، خلافًا للفيروس ذي التحول العام الذي يحمل DNA كروموسومي فقط.

وبسبب أن رأس الفيروس يمكنه حمل كمية من DNA معادلة لتلك الموجودة في مادته الوراثية، فإن الانفصال غير الدقيق يؤدي لإزالة بعض جينات الفيروس؛ ولذلك فإن الفيروسات ذات التحول المتخصص يمكن أن تكون ذات عيبٍ إذا كانت الجينات الضرورية لنمو الفيروس قد فقدت في العملية.

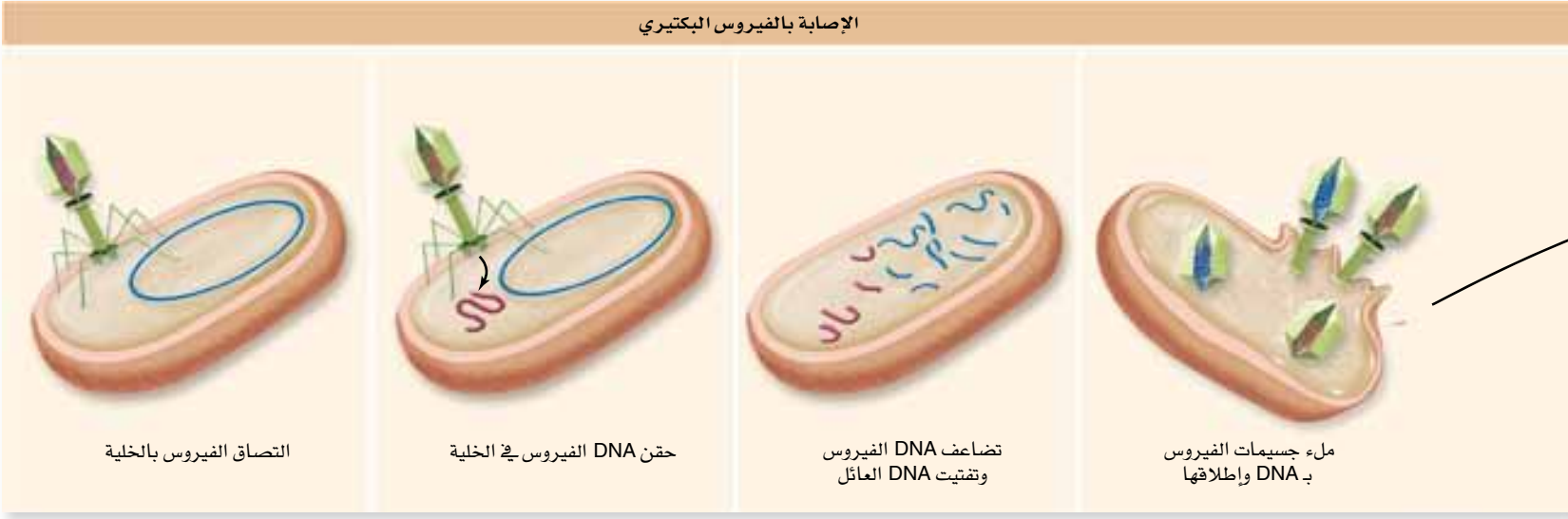
فيما بعد، يمكن لجسيمات الفيروسات ذات التحول المتخصص من الارتباط في الكروموسوم تمامًا كما هي الحال في الفيروسات البرية، ويمكنها أيضًا أن تجعل الخلية ثنائية التركيب الجيني فيما يتعلق بالجينات التي يحملها الفيروس. أما الفيروسات التي يمكنها الارتباط بوصفها فيروسات بدائية، فمن الممكن أن تصبح محصورة في المادة الوراثية للعائل إذا كانت الجينات الضرورية للانفصال قد تعطلت من خلال طفرة، أو أنها فقدت. يحتوي كروموسوم بكتيريا القولون *E.coli* كثيرًا من هذه الفيروسات البدائية المعطلة أو المعطوبة، وبعضها يقوم بوظائف مهمة للخلية، ويجب اعتبارها في حينها جزءًا من المادة الوراثية للعائل.

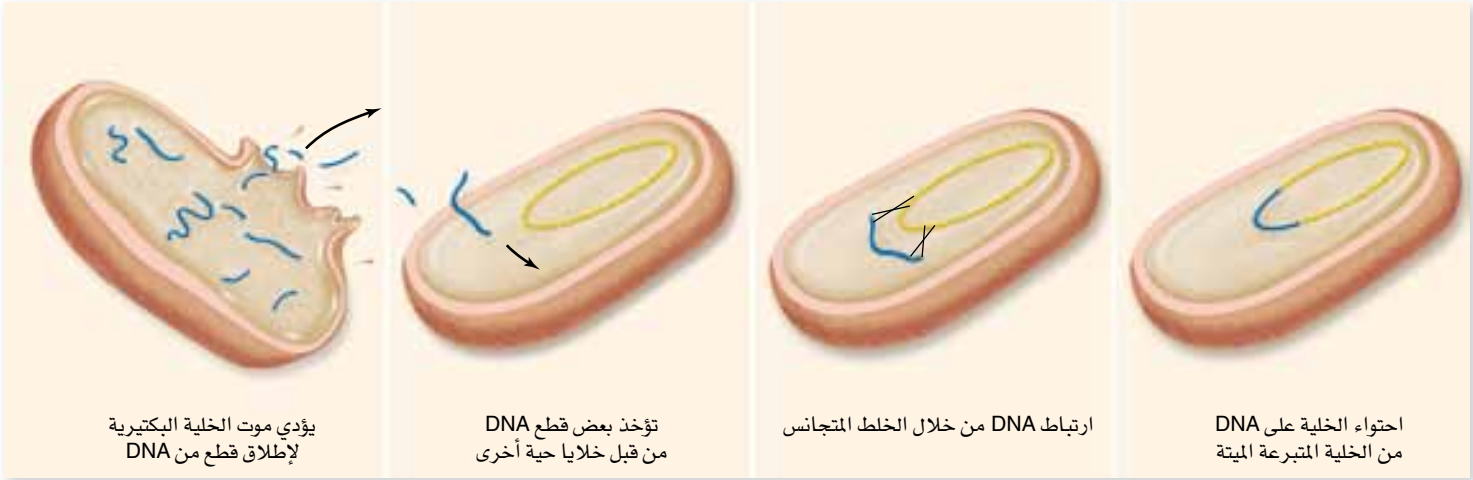
التحول هو أخذ DNA مباشرة من البيئة مباشرة

عملية التحول تحدث بشكل طبيعي في بعض الأنواع، مثل البكتيريا التي تمت دراستها من قبل فردريك جريفث (انظر الفصل الـ 14). اكتشف جريفث هذه العملية على الرغم من عدم معرفته بأي مادة كيماوية تم انتقالها. تتم عملية التحول هذه عند موت الخلية البكتيرية وانفجارها، ونشر المادة الوراثية المفتتة في البيئة المحيطة. ويمكن أن يتم أخذ هذه المادة من قبل خلايا أخرى لتربطها مع مادتها

الشكل 28-14

التحول باستعمال فيروس تحول عام. عند إصابة بعض الفيروسات للخلايا، فإنها تكسر DNA للعائل إلى قطع. وعندما يقوم الفيروس بتغليف DNA فيمكنه تغليف بعض مادة العائل الوراثية بدلًا من DNA الفيروس منتجًا بذلك فيروسًا قادرًا على إحداث التحول الفيروسي كما هو مبين على يسار الشكل. وعند إصابة الخلية بفيروس تحولي، فإنه يحقن DNA العائل الذي يمكنه فيما بعد الارتباط بـ DNA العائل من خلال الخلط المتجانس. وتحتاج قطعة مستقيمة من DNA إلى حدثين من الخلط، حيث يتم استبدال DNA الكروموسومي بـ DNA محول كما هو مبين على اليمين. وإذا كان الأليل الجديد مختلفًا عن القديم، فإن الصفات الشكلية للخلية سوف تتغير.





الشكل 28–15

التحول الطبيعي. تتم عملية التحول الطبيعي عند موت خلية، وإطلاق محتوياتها في البيئة المحيطة، وعادة ما يكون DNA مفتتًا. يمكن لبعض الخلايا الحية أخذ قطع صغيرة من هذه المادة، ويمكن لهذه المادة المأخوذة أن تحل محل DNA للكروموسوم من خلال الخلط المتجانس كما هي الحال في الاقتران والتحول الفيروسي. وإذا احتوى DNA الجديد أليلات مختلفة عن تلك التي في الكروموسوم، فإن الشكل الخارجي للخلية سيختلف مع إمكانية إعطائها ميزة انتخابية.

الوراثية، وبذلك تصبح متحولة (الشكل 28–15). وعندما تتم عملية أخذ المادة الوراثية تحت ظروف طبيعية، فتسمى حينها بالتحول الطبيعي، وتتم هذه العملية في بعض أنواع البكتيريا السالبة والموجبة لصبغة جرام على الرغم من أن آلية حدوثها تبدو مختلفة بين المجموعات البكتيرية.

إن البروتينات الفاعلة في عملية التحول الطبيعي مشفَّرة بكروموسوم الخلية البكتيرية. هذا يعني ضمنًا أن التحول الطبيعي يمكن أن يكون الآلية الوحيدة بين آليات تبادل المادة الوراثية التي ظهرت بوصفها جزءًا من الآليات الخلوية. يمكن النظر لانتقال المادة الوراثية الكروموسومية من خلال الاقتران أو التحول الفيروسي، وكأنها أخطاء في بيولوجية البلازميدة أو الفيروس على التوالي.

لعملية التحول أهمية في عملية الاستنسال الجزيئي Cloning، إلا أن بكتيريا القولون *E.coli* لا تظهر قدرة على التحول الطبيعي. وعند إنجاز عملية التحول مخبريًّا يشار إليها بأنها تحول اصطناعي مفيد لعملية الاستنسال وتحوير DNA (انظر الشكل 17).

مقاومة المضادات الحيوية وإمكانية انتقالها ببلازميدة المقاومة

يمكن لبعض بلازميدات الاقتران أن تلتقط جينات مقاومة للمضادات الحيوية، بحيث تصبح **بلازميدات مقاومة R plasmids**. وقد أصبح الانتقال السريع لجينات مقاومة المضادات الحيوية المكتسبة حديثًا من قبل البلازميدات عاملًا مهمًّا في ظهور عزلات مقاومة من بكتيريا المكورات العنقودية الذهبية الممرضة التي ستناقش في القسم الآتي.

إن سبل اكتساب جينات مقاومة المضادات الحيوية من قبل بلازميدات المقاومة غالبًا ما تتم من خلال العناصر القافزة التي تم وصفها في الفصل الـ 18. تتحرك هذه العناصر من كروموسوم إلى آخر، أو من بلازميدة لكروموسوم والعودة، ويمكنها أن تنقل جينات المقاومة للمضادات الحيوية خلال العملية. وإذا التقطت بلازميدة اقتران هذه الجينات، فإن البكتيريا بعدئذ ستمتلك ميزة انتخابية بوجود هذه المضادات.

من الأمثلة المهمة المتعلقة بصحة الإنسان عائلة البكتيريا المعوية التي تنتمي إليها بكتيريا القولون المعوية العامة *E.coli*. هذه العائلة تشمل كثيرًا من البكتيريا الممرضة بما فيها البكتيريا المسببة للدوسنتاريا (الزحار) والتيفوئيد، وأمراض رئيسة أخرى. يتم أحيانًا تبادل بعض المادة الوراثية من هذه الأنواع من البكتيريا الممرضة أو انتقالها إلى بكتيريا القولون عن طريق بلازميدة قابلة للانتقال، أو عن طريق الفيروسات البكتيرية. وبسبب وجود بكتيريا القولون الكثيف في القناة الهضمية للإنسان، فإنها تشكل تهديدًا إذا امتلكت صفات ضارة، كما تم ملاحظته بحدوث إصابات بعزلة بكتيريا القولون O157:H7 المحمولة عن طريق الأغذية. إن الإصابة بهذه العزلة يمكن أن تؤدي لحالة مرضية خطيرة، وهذه عزلة جديدة ظهرت من خلال اكتسابها جينات لصفات إمراضية. وتشير الدلائل إلى أن هذا قد حدث عن طريق كل من التحول الفيروسي، واكتساب بلازميدة إمراضية كبيرة خلال عملية الاقتران.

يمكن حدوث التنوع من خلال الطفرات أيضًا

كما هو الحال في أي مخلوق، يمكن للطفرات أن تظهر تلقائيًّا في البكتيريا. وتزيد بعض العوامل إمكانية حدوث مثل هذه الطفرات خصوصًا تلك التي تؤدي لخلل في المادة الوراثية مثل الإشعاع، والأشعة فوق البنفسجية، ومواد كيماوية أخرى.

إن بكتيريا نموذجية مثل بكتيريا القولون *E.coli* تحتوي نحو 5000 جين وإمكانية حدوث طفرة عشوائية تقارب 1 بالمليون من نسخ جين معين. وبوجود 5000 جين في الخلية البكتيرية، فيمكننا أن نتوقع أن واحدة من كل 200 بكتيريا تقريبًا يمكن أن تحدث بها طفرة. وبتوافر الغذاء، فإن أعداد البكتيريا في مجتمع بكتيري يمكن أن تتضاعف في عشرين دقيقة. وحيث إن البكتيريا تتكاثر بسرعة كبيرة، فإن الطفرات يمكن أن تنتشر بسرعة في ذلك المجتمع، ويمكن أن تغير ميزات ذلك المجتمع خلال مدة قصيرة نسبيًّا.

تنمو البكتيريا مخبريًّا على أوساط غذائية مختلفة تسمى الأوساط الغذائية *Growth media* التي تعكس الاحتياجات الغذائية لها. وبالنسبة إلى نوع معين، فإن الوسط الغذائي الذي يحوي فقط تلك المواد الغذائية اللازمة للطراز البري سمي وسط الحد الأدنى للغذاء *Minimal medium*. تسمى الطفرةُ التي لا

تستطيع الاستمرار في المعيشة على وسط الحد الأدنى، وتحتاج إلى إضافات غذائية خاصة مثل الأحماض الأمينية **الطفرةَ الغذائية Auxotroph**. ويمكن لطريقة **الزرع النسخي Replica plating** التعرف إلى طفرات البكتيريا هذه من خلال استعمال طبق رئيس من البيئة الغذائية للزراعة، ومن ثم عزل مستعمرات منفردة ومتابعة نموها (أو عدم نموها) على أوساط مختلفة بها مُضافات غذائية. تشبه هذه الطريقة استعمال الخاتم المطاطي، حيث تؤخذ طبعة من المستعمرات النامية في طبق بتري على سطح مخملي، ومن ثم يتم طبع أو نقل هذه الطبعة على أطباق تحوي أوساطًا غذائيةً مختلفة. وتحوي هذه الطبعة آلاف الخلايا إن لم تكن ملايين الخلايا من كل مستعمرة. وكل مستعمرة نمت أصلًا من خلية واحدة. وبهذه الطريقة، فإن أي بكتيريا تحمل طفرة مميزة جدًا يمكن عزلها، وتعريفها وتنميتها.

إن قدرة البدائيات على التغير السريع استجابة لتحديات جديدة غالبًا ما يكون له آثار كبيرة على الإنسان. ظهرت حديثًا عزلات من المكورات العنقودية الذهبية *S. aureus* مقاومة للمضادات تسمى المقاومة لمضاد الميثيسيلين (MRSA)، وقد ظهر بعضها بتكرار ونسب مخيفة. ترتبط هذه البكتيريا بإصابات خطرة من ضمنها أحيانًا الوفيات بين المرضى المقيمين في المستشفيات، وهي غالبًا ما تكون مقاومة لأكثر من مضاد حيوي واحد. الأكثر أهمية بين هذه السلالات هي تلك **المكورات العنقودية الذهبية المقاومة لمضاد الفانكومايسين (VRSA) Vancomycin-resistant *Staphylococcus aureus***. وعلى ما يبدو، فإن هذه السلالات قد ظهرت بسرعة، ومن خلال طفرة. وهي مثيرة للقلق؛ لأن مضاد الفانكومايسين هو الخيار الأخير ما يجعل من هذه العزلات وإصاباتها عملية من الصعب إيقافها. إن إصابات المكورات العنقودية توفر مثالًا ممتازًا للطريقة التي من خلالها يمكن للطفرة أو الانتخاب المكثف أن يؤدي إلى تغير سريع في المجتمعات البكتيرية.

على الرغم من عدم وجود التكاثر الجنسي، فإن البدائيات ما زالت قادرة على تبادل DNA، وهذا التبادل أفقي من خلية متبرعة إلى أخرى مستقبلة. ويمكن تبادل DNA من خلال الاقتران بمساعدة البلازميدات، أو التحول الفيروسي بمساعدة الفيروسات، وعن طريق التحول من خلال التقاط وأخذ DNA من البيئة. ويمكن ظهور الاختلاف في البدائيات من خلال الطفرات. إن انتقال الجينات الحاملة للمقاومة تجاه المضادات الحيوية يمكن أن يكون له آثار سلبية على الإنسان والمخلوقات الأخرى.

5-28 أيض البدائيات

يعبِّر التنوع المرئي في البدائيات عن نفسه في تنوع كيميائي حيوي أكثر منه تنوعًا في الشكل الخارجي. لقد وجد تنوع واسع في أنواع الأيض التي تقوم بها هذه البدائيات خصوصًا في سبل الحصول على الطاقة والكربون.

تحصل البدائيات على الكربون والطاقة بأربع طرق أساسية

لقد طورت البدائيات كثيرًا من الآليات للحصول على الكربون والطاقة التي تحتاج إليها للنمو والتكاثر. فكثير منها **ذاتي التغذية Autotrophs** حيث تحصل على الكربون من ثاني أكسيد الكربون غير العضوي. تحصل بدائيات أخرى **غير ذاتية التغذية Heterotrophs** على الأقل على بعض الكربون من مركبات عضوية مثل الجلوكوز. واعتمادًا على الطريقة التي تحصل بها على الطاقة، يمكن تصنيف كل من ذاتية التغذية وغير ذاتية التغذية إلى ما يأتي:

ذاتية التغذية الضوئية Photoautotrophs. تقوم كثير من البكتيريا بعملية البناء الضوئي مستعملة ضوء الشمس لبناء جزيئات عضوية من ثاني أكسيد الكربون. فتقوم البكتيريا الخضراء المزرقة باستعمال كلوروفيل a بوصفه صبغة ملتقطة للضوء والماء بوصفه متبرعًا للإلكترونات، وتطلق غاز الأكسجين بوصفه مُنْتَجًا ثانويًّا. ولذلك، فهي هوائية (أكسجينية) وعملية البناء الضوئي بها شبيهة جدًا بتلك الموجودة في الطحالب والنباتات، ويعطيها كلوروفيل a اللون الأزرق المخضر.

وهناك بكتيريا أخرى تستعمل الكلوروفيل البكتيري بوصفه صبغة لالتقاط الضوء، وتستعمل كبريتيد الهيدروجين بوصفه متبرعًا للإلكترونات، مخلفة الكبريت بوصفه منتجًا ثانويًّا. لا تنتج هذه البكتيريا الأكسجين (لاهوائية) وعملية بنائها الضوئي أقل تعقيدًا، وهذه تشمل البكتيريا الأرجوانية والخضراء الكبريتية.

ذاتية التغذية اللاعضوية Chemolithoautotrophs. تحصل بعض البدائيات على الطاقة بأكسدة مواد غير عضوية. فعلى سبيل المثال، تقوم البكتيريا المنتجة للنيترات بأكسدة الأمونيا أو النيتريت للحصول على الطاقة منتجة النيترات التي تستعملها النباتات، وتسمى العملية **إنتاج النيترات Nitrification**، وهي أساسية في الأنظمة البيئية في اليابسة؛ لأن النباتات تستطيع امتصاص النيتروجين على شكل نيترات.

تقوم بعض ذاتية التغذية غير العضوية بأكسدة الكبريت، وغاز الهيدروجين، وجزيئات غير عضوية أخرى. وفي قعر المحيط المظلم، وعلى أعماق 2500 متر، فإن النظام البيئي كله يعتمد على البدائيات التي تؤكسد ثاني أكسيد الكبريت حال خروجه من الثغرات الحرارية.

المخلوقات الضوئية غير ذاتية التغذية Photoheterotrophs. تستعمل ما اصطلح على تسميتها البكتيريا الأرجوانية والخضراء غير الكبريتية الضوءَ مصدرًا للطاقة، إلا أنها تحصل على الكربون من جزيئات عضوية، مثل الكربوهيدرات والكحوليات التي أنتجتها مخلوقات أخرى.

المخلوقات غير ذاتية التغذية الكيماوية Chemoheterotrophs. تحصل معظم البدائيات على ذرات الكربون والطاقة من جزيئات عضوية، وتشمل هذه المحللات، ومعظم البدائيات الممرضة. وإن الإنسان وكل حقيقية النوى غير القادرة على البناء الضوئي أيضًا غير ذاتية التغذية الكيماوية.

يمكن لبعض البكتيريا إصابة خلايا أخرى مباشرة

وجد باحثون في الثمانينيات من القرن الماضي أن بعض الخلايا لأنواع من بكتيريا يرسينيا *Yersinia* أنتجت وأفرزت كميات كبيرة من البروتينات. فبكتيريا *Yersinia pestis* هي المسؤولة عن إصابات الطاعون. تحمل معظم البروتينات التي تفرزها البكتيريا السالبة لصبغة جرام تعاقبات إشارة تمكِّن هذه البروتينات من المرور عبر غشاء البكتيريا المزدوج. ويفتقر البروتين الذي تنتجه يرسينيا لتعاقب الإشارة الرئيس الذي تحتاج إليه آليتان من آليات الإفراز للنقل. ولهذا، فقد كان لزامًا أن يُفرز البروتين عن طريق نوع ثالث أطلق عليه الباحثون نظام النوع الثالث *Type III system*.

ومع دراسة المزيد من الأنواع، لوحظ وجود الجينات المسؤولة عن نظام النوع الثالث في البكتيريا السالبة لصبغة جرام، والممرضة للحيوانات، وحتى في ممرضات نباتية بعيدة. وتبدو الجينات قريبة لبعضها أكثر من تقارب الأنواع البكتيرية. إضافة إلى ذلك، فإن الجينات مشابهة لتلك المسؤولة عن الأسواط البكتيرية.

تقوم هذه البروتينات بنقل بعض البروتينات الإمراضية مثل السموم إلى الخلايا حقيقية النوى المجاورة. وبالنظر إلى درجة التشابه بين جينات النوع الثالث والجينات المسؤولة عن الأسواط، يمكن أن تشكل بروتينات النقل ما يشبه السوط الذي يطلق بروتينات إمراضية إلى خلايا العائل، وعند وصولها إلى الخلية حقيقية النواة، فإن البروتينات الإمراضية هذه تؤثر في استجابة العائل للممرض.

في بكتيريا يرسينيا، تُحقن البروتينات المفرزة لنظام النوع الثالث في المبلعمات الكبيرة، وتقوم البروتينات بتخريب الإشارة التي تطلب من المبلعمات التهام البكتيريا. وتقوم بكتيريا السالمونيلا، والشجلا باستعمال بروتينات النوع الثالث للدخول إلى السيتوبلازم في الخلايا حقيقية النوى، وهكذا تصبح محمية من الجهاز المناعي للعائل. ويمكن للبروتينات المفرزة من بعض أنواع بكتيريا القولون *E.coli* أن تغير الهيكل الخلوي لخلايا الأمعاء حقيقية النواة المجاورة، ما يؤدي لانبعاج، حيث ترتبط به وبقوة خلايا البكتيريا.

البكتيريا ممرض نباتي عالي التكلفة

على الرغم من أن غالبية الممرضات النباتية ذات الأهمية التجارية هي من الفطريات، فإن كثيرًا من النباتات مرتبطة ببكتيريا خاصة غير ذاتية التغذية. وغالبًا ما نجد أن نوعًا من النباتات قابل للإصابة بنوع أو أكثر من الأمراض البكتيرية بما في ذلك اللفحة، والتعفن الطري والذبول. فاللفحة النارية التي تدمر أشجار الإجاص، والتفاح، والنباتات المشابهة مثال جيد ومعروف عن الأمراض البكتيرية.

تختلف أعراض هذه الأمراض النباتية، إلا أنها عمومًا تبدو كبقع بأحجام مختلفة على الساق، والأوراق، والزهور، والثمار. تنتمي معظم البكتيريا المسببة لأمراض النبات لأفراد من مجموعة العصويات السالبة لصبغة جرام والمعروفة بمجموعة السودوموناس.

تظهر البدائيات تنوعًا مدهشًا في أيضها، حيث توجد أنواع من كلٍّ من ذاتية التغذية وغير ذاتية التغذية. فذاتية التغذية الضوئية تستعمل الضوء مصدرًا للطاقة، وذاتية التغذية غير العضوية تؤكسد المركبات غير العضوية. وتقوم غير ذاتية التغذية الضوئية باستعمال الضوء مصدرًا للطاقة، ومركبات عضوية مصدرًا للكربون، أما غير ذاتية التغذية الكيماوية فتستعمل مركبات عضوية مصدرًا للطاقة والكربون. وتقوم بعض البكتيريا بالمعيشة بوصفها ممرضات تصيب مخلوقات أخرى.

6-28 أمراض البكتيريا في الإنسان

في السنوات المبكرة من القرن العشرين، وقبل اكتشاف المضادات الحيوية والانتشار الواسع لاستعمالها، كانت الأمراض المعدية تقتل 20% من كل أطفال الولايات المتحدة تقريبًا قبل بلوغهم سن الخامسة. وقد تحسن الحال مع ارتفاع المستوى الصحي وتوفر المضادات الحيوية. إلا أنه في السنوات الأخيرة لوحظ ظهور كثير من الأمراض البكتيرية، بل وعودتها بما فيها الكوليرا، والجذام والتيتانوس، وذات الرئة البكتيرية، والسعال الديكي، والدفتيريا، ومرض لايم (الجدول 28–1). إن بعض البكتيريا من نوع السبحيات *Streptococcus* تؤدي دورًا في الحمى القرمزية، وحمى الروماتيزم، وذات الرئة، (مرض التغذي على الجسد)، وأمراض أخرى، ومرض التدرن الرئوي (السل)، وهو مرض بكتيري آخر، ما زال عالميًّا سببًا أساسيًّا لموت الإنسان.

تنتشر البكتيريا بكثير من الطرق في أي مجتمع قابل للإصابة. فينتشر مرض السل الرئوي وكثير من الأمراض البكتيرية للقناة التنفسية غالبًا عن طريق الهواء الحامل لقطيرات اللعاب والمادة المخاطية. وتنتشر بعض الأمراض مثل التيفوئيد، وشبيه التيفوئيد، والزحار البكتيري من خلال تلوث الماء، والغذاء بالبراز. أما مرض لايم، وحمى جبال روكي المبقعة فتنتشر بين الناس من خلال القراد بوصفه ناقلًا.

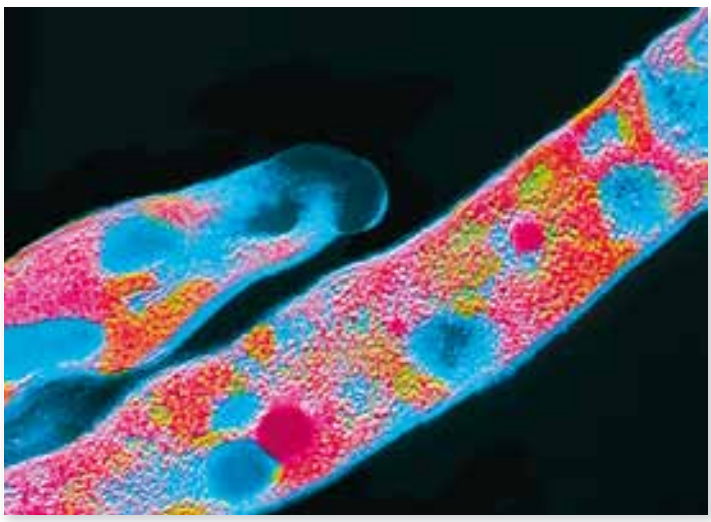
أصاب السل الرئوي الإنسان منذ بداية التاريخ

لقد ابتليت الإنسانية بمرض السل الرئوي لآلاف السنين. فهناك أدلة تشير إلى إصابة الناس وموتهم في مصر القديمة، وفي أمريكا الجنوبية قبل كولومبوس نتيجة إصابتهم بهذا المرض. وتم التعرف إلى عصيات السل الرئوي في مومياوات ما قبل التاريخ. تصيب بكتيريا السل الرئوي الجهاز التنفسي، وتعيق جهاز المناعة، وتنتقل بسهولة في الهواء من شخص إلى آخر.

انتشار السل الرئوي

ثلث سكان العالم تقريبًا يتعرضون حاليًا وبصورة منتظمة لبكتيريا السل الرئوي *Mycobacterium tuberculosis* (الشكل 28–16). يتم تشخيص ما يقدر بتسعة ملايين حالة جديدة كل عام، وقد حدث 1.7 مليون حالة عام 2004. عام 2006، أشارت تقارير منظمة الصحة العالمية إلى هبوط حالات السل الرئوي في خمس من مناطق منظمة الصحة العالمية. إلا أن الأعداد مازالت بارتفاع في إفريقيا، وقد ساعد على ذلك انتشار فيروس نقص المناعة الإنساني.

ومنذ منتصف الثمانينيات من القرن الماضي، تمر الولايات المتحدة بحالة من عودة درامية لمرض السل الرئوي. وسبب ذلك عوامل اجتماعية؛ كالفقر والازدحام، والتشرد، وهي العوامل نفسها التي أسهمت دائمًا في انتشار مرض السل. ويمكن انتقال السل من شخص إلى آخر بسهولة مدهشة، حيث إن كل ما يتطلبه



الشكل 28 – 16

بكتيريا التدرن (السل) الرئوي *Mycobacterium tuberculosis*. تبين هذه الصورة المحسنة لونيًّا البكتيريا العصوية المسببة لمرض السل الرئوي في الإنسان.

الجدول 28-1 بعض الأمراض البكتيرية المهمة في الإنسان

المرض	المسبب	الحامل / المستودع	وبائية المرض
الجمرة	*Bacillus anthracis*	الحيوانات بما فيها الجلود المعالجة	إصابة بكتيرية يمكن انتقالها بالملامسة أو بالابتلاع. وهي نادرة الحدوث فيما عدا الإصابات المفاجئة ويمكن أن تكون الإصابة قاتلة.
التسمم الوشيقي	*Clostridium botulinum*	الأغذية المحضرة بطريقة غير سليمة	تحدث الإصابة خلال تناول الأغذية أو ملامستها للجروح. ينتج سم حاد عالي الفعالية، ويمكن أن تكون الإصابة قاتلة.
الكلاميديا	*Chlamiydia trachamatis*	الإنسان والأمراض المنقولة جنسيًّا	إصابات القناة البولية التناسلية مع احتمال الانتشار للعيون والجهاز التنفسي. وقد ازداد شيوعها في العشرين سنة الماضية.
الكوليرا	*Vibrio cholerae*	براز الإنسان والعوالق	تسبب إسهالًا حادًّا قد يؤدي إلى الموت بسبب الجفاف. وتصل نسبة الموت إلى 50 % إن لم تعالج. وتكون سببًا رئيسًا للموت في حالات الاكتظاظ السكاني والمستوى المتدني من النظافة. وقد توفي أكثر من 100,000 شخص في الوباء الذي أصاب رواندا عام 1994.
تسوس الأسنان	*Streptococcus mutans* *Streptoccus sabrinus*	الإنسان	تقوم مجموعة منوعة من البكتيريا على سطح الأسنان بإفراز أحماض تؤدي إلى تخريب المعادن في العاج السني. ويشار هنا إلى أن السكريات وحدها لن تؤدي إلى تسوس الأسنان.
الدفتيريا (الخناق)	*Corynebacterium diphtheriae*	الإنسان	التهاب حاد، ويقع في الأغشية المخاطية التنفسية. تنتقل من خلال الرذاذ التنفسي. ويتوافر مطاعيم لهذا المرض.
السيلان	*Neisseria gonorrhoeae*	الإنسان فقط	الأمراض المنقولة جنسيًّا وتزداد انتشارًا عبر العالم، إلا أنها ليست قاتلة عادة.
مرض هانسن (الجذام)	*Mycobacterium leprae*	الإنسان والمدرع	إصابة مزمنة في الجلد وتحدث بين 10–12 مليون حالة عالميًّا خصوصًا في جنوب شرق آسيا. ينتشر عن طريق الملامسة أو الاتصال بأشخاص مصابين.
مرض لايم	*Borrelia burgdorferi*	القرود والغزلان والقوارض الصغيرة	ينتقل من خلال عضة القراد المصاب، وتظهر بقع مصحوبة بضعف، وحمى وإجهاد، وألم، وتشنج الرقبة، وصداع.
القرحة المعدية	*Helicobacter pylori*	الإنسان	كان يعتقد أنها تحدث بسبب الإجهاد والغذاء، ومعظم القرحات الآن على ما يبدو ناجمة عن الإصابة بهذه البكتيريا. ومن الأخبار السارة للمرضى أنها تعالج بالمضادات الحيوية.
الطاعون	*Yersinia pestis*	براغيث القوارض البرية مثل الجرابيع والسناجب	أدى هذا الوباء لقتل ربع سكان أوروبا في القرن الرابع عشر. وهو منتشر في القوارض البرية في غرب الولايات المتحدة.
ذات الرئة	*Streptococcus*, *Mycoplasma*, *Chlamydia haemophilus*	الإنسان	إصابة حادة للرئتين وغالبًا ما تكون مميتة إذا لم تعالج. يتوافر مطعوم لإصابات ذات الرئة التي تسببها السبحيات.
السل الرئوي	*Mycobacterium tuberculosis*	الإنسان	إصابة بكتيرية حادة للرئتين والأغشية الدماغية، ويلاحظ ازدياد مدى الإصابة بها. ما يزيد الأمر تعقيدًا تطور عزلات جديدة من البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية.
حمى التيفوئيد	*Salmonella typhi*	الإنسان	إصابة بكتيرية واسعة الانتشار، حيث تشكِّل أقل بقليل من 500 إصابة سنويًّا في الولايات المتحدة. تنتقل من خلال الماء والغذاء الملوث مثل الفواكه والخضراوات غير المغسولة جيدًا، ويتوافر مطاعيم للمسافرين.
التيفوس	*Rickettsia typhi*	القمل، وبراغيث القوارض، والإنسان	مرض تاريخي قاتل في حالات الاكتظاظ السكاني وتدني المستوى الصحي. ينتقل من شخص إلى آخر من خلال العض من قبل القمل والبراغيث المصابة، وفي حالة عدم المعالجة تصل نسبة الوفيات أعلاها، وبحدود 70%.

حدوث العدوى في شخص سليم لا يتجاوز 10 خلايا من عصويات السل. إن ازدياد ظهور حالات فيروس نقص المناعة الإنساني تشكل أيضًا عاملًا مهمًّا مساعدًا؛ لأن الأشخاص المصابين بمرض نقص المناعة المكتسبة معرضون بدرجة للإصابة بمرض السل أكثر من غيرهم من ذوي الأجهزة المناعية السليمة.

معالجة السل الرئوي

يوضع معظم مرضى السل الرئوي على نظام مضادات حيوية متعدد وعالي التكلفة مدة تصل إلى 6 أشهر. ومع ذلك، فقد حدثت انفجارات وبائية خطيرة من سلالات مقاومة لكثير من المضادات في الولايات المتحدة والعالم، وكانت هذه السلالات مقاومة لمعظم أفضل المضادات الحيوية المضادة للسل. هذه السلالات ذات أهمية خاصة؛ لأنها تحتاج إلى وقت أطول للمعالجة، وهي أكثر تكلفة علاجية، ويمكن أن تؤدي إلى الموت.

ويمكن القول: إن انتشار هذه السلالات المقاومة مرتبط بطول مدة تناول المضادات الحيوية اللازمة للمعالجة. ففي الغالب، نجد أن المرضى يتوقفون عن تناول المضادات قبل إتمام دورة المعالجة، ما يهيئ الظروف في أجسامهم لتسمح للبكتيريا المقاومة بالازدهار.

إن المبادئ الأساسية لمعالجة السل الرئوي والسيطرة عليه تكمن في التأكد من أن كل المرضى يكملون دورة المعالجة، بحيث يتم التأكد من موت كل البكتيريا المسببة للمرض والعمل على منع ظهور سلالات مضادة. وتبذل جهود عظيمة للتأكد من أن الأشخاص المعرضين أكثر من غيرهم للإصابة، والمصابين دون ظهور الأعراض يتم الاعتناء بهم وقائيًّا، وتتم متابعتهم. ومثل هذه البرامج فعالة فيما يصل إلى 90% في تخفيض احتمال ظهور حالة مرضية فعلية، ونقلها لآخرين. وتبدو هذه الجهود فعالة، حيث إن السل الرئوي يتراجع في الولايات المتحدة، وقد انخفض بما يعادل 3.3% ما بين 2003–2004.

دور الرقائق الحيوية البكتيرية في تسوس الأسنان

يمكن أن تكوِّن البكتيريا وبعض المخلوقات الأخرى على سطوح معينة مزارع مختلطة تكون معالجتها صعبة جدًا. فعلى الأسنان، تتكون الرقائق الحيوية أو الطبقة البكتيرية أساسًا من خلايا بكتيرية محاطة بوسط متعدد التسكر (كربوهيدرات). تكوّن معظم البكتيريا في هذه الرقائق الحيوية خيوطًا من خلايا عصوية تصنف في كثير من أنواع البكتيريا الخيطية *Actinomyces* التي تبرز عمودية على سطح السن، وتوجد أنواع بكتيرية أخرى في هذه الرقائق الحيوية.

إن سبب **تسوس الأسنان Dental caries** يعود لوجود البكتيريا في الرقائق الحيوية الموجودة بشكل خاص في أماكن لا يمكن الوصول إليها باستعمال فرشاة الأسنان. إن الأغذية المحتوية على سكريات بسيطة بنسب عالية ضارة، وبشكل خاص للأسنان؛ لأن بعض أنواع البكتيريا خصوصًا السبحيات من نوعي *Streptococus sobrinus* و *Streptococcus mutans* تخمر هذه السكريات منتجة حمض اللبنيك. يؤدي هذا إلى انخفاض درجة الحموضة في المنطقة حول الرقائق الحيوية مؤديًا لتحطيم بنية هيدروكسي أباتيت الذي يعطي صلابة لعاج الأسنان. عندما يضعف العاج، فإن ما تبقى من الوسط اللين للسن يصبح معرضًا لفعل البكتيريا.

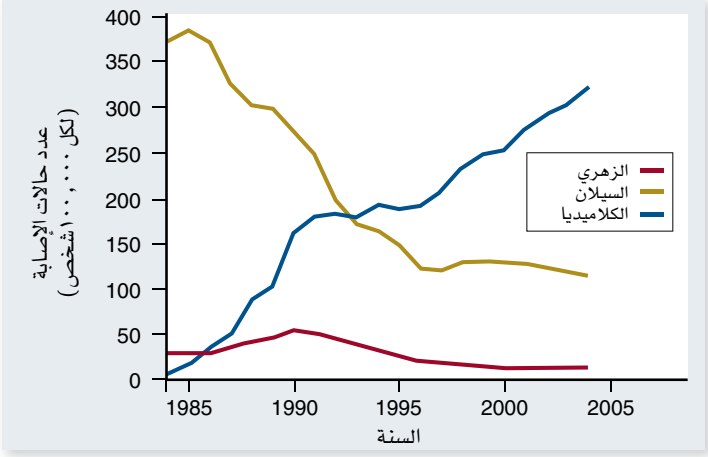
يمكن للبكتيريا أن تسبب القرحات

يمكن للبكتيريا أن تسبب حالات مرضية لا يبدو أنها مرتبطة بإصابات بكتيرية دون النظر إليها بعمق. فمرض القرحة يعود لوجود تقرحات تشبه فوهات البراكين في القناة الهضمية المعرضة لأحماض المعدة. يمكن أن تتسبب الأدوية بالقرحات كما هي الحال في الأدوية غير الستيرويدية المضادة للالتهاب، وكذلك بسبب سرطانات البنكرياس المسببة للإفراز المفرط لأحماض المعدة. وعام 1982 تم عزل بكتيريا أطلق عليها *Campylobacter pylori* واسمها الآن *Helicobacter pylori* من العصير المعدي. وقد تجمعت أدلة على مر السنين تشير إلى أن هذه البكتيريا في الواقع السبب في غالبية إصابات مرض القرحة المعدية.

يمكن للمعالجة بالمضادات الحيوية الآن التغلب على البكتيريا *H. pylori* المسببة للمرض، وليس فقط إيقاف الأعراض. ويوضح اكتشاف دور هذه البكتيريا في الإصابة كيف أن بعض الحالات المرضية التي تبدو، وكأنها غير مرتبطة بأمراض معدية يمكن في الواقع أن تكون قد نتجت عن إصابة غير معروفة.

كثير من الأمراض المنقولة جنسيًّا بكتيرية

إن كثيرًا من البكتيريا تسبب أمراضًا منقولة جنسيًّا، وثلاثة منها ذات أهمية خاصة، هي: السيلان، والزهري، والكلاميديا (الشكل 28–17).



الشكل 28–17

اتجاهات الإصابات بالأمراض المنقولة جنسيًّا في الولايات المتحدة.

استقصاء

كيف يمكن أن يرتفع مدى حدوث أحد الأمراض المنقولة جنسيًّا (الكلاميديا) وفي الوقت نفسه ينخفض مرض آخر (السيلان)؟

السيلان *Gonorrhea*

يعدّ **مرض السيلان** من أكثر الأمراض السارية ظهورًا في شمال أمريكا. والسيلان الذي تسببه بكتيريا *Neisseria gonohorrhoeae* يمكن أن ينقل من خلال الاتصال الجنسي، أو أي اتصالات جنسية تؤدي لتبادل سوائل الجسم كما هي الحال في الممارسة الجنسية الشفوية أو الشرجية. ويمكن أن ينتقل أيضًا من الأم إلى الطفل خلال عملية الولادة وعند المرور بقناة الولادة. ويمكن للسيلان الانتشار ليصيب العيون والأعضاء الداخلية مسببًا التهاب الملتحمة (التهاب حاد في العيون) والتهاب المفاصل. وحاليًا، فإن التهاب الملتحمة يمكن التغلب عليه بشكل عادي في حديثي الولادة باستعمال قطرة عيون بها مضادات للبكتيريا.

وإذا أهملت الحالة دون علاج في النساء، فإن السيلان يمكن أن يؤدي لالتهاب الحوض، وهي حالة تؤدي لندب في قناة فالوب، ومن ثم إغلاقها، ويمكن أن تؤدي هذه الحالة مع الزمن للعقم.

ومع أن حالات السيلان في انخفاض في الولايات المتحدة، إلا أنها تبقى خطرًا داهمًا عالميًّا. وما يثير الاهتمام هو بداية ظهور سلالات من بكتيريا *N. gonorrhoeae* مقاومة للمضادات الحيوية.

الزهري *Syphilis*

الزهري أحد الأمراض المنقولة جنسيًّا المدمرة جدًا، كان شائعًا في مرحلة ما وقاتلًا، إلا أنه الآن أقل شيوعًا بسبب اكتشاف طرق لفحوص الدم، وكذلك لتوافر المضادات الحيوية. ويتسبب الحلزون البكتيري *Treponema pallidum* في مرض الزهري، حيث ينتقل خلال الممارسة الجنسية، أو خلال اتصال أو ملامسة قروح مفتوحة لمصابٍ بالزهري. يمكن أن تنتقل البكتيريا من الأم إلى جنينها ما يسبب تلفًا في الغالب لقلب الجنين وعيونه وللجهاز العصبي له. عند دخول الممرض للجسم يتقدم المرض في مراحل أربع محددة. المرحلة الأولى أو الأولية متميزة بظهور تقرّح صغير *Chancre* غير مؤلم وغالبًا لا يمكن ملاحظته. ويشبه هذا التقرّح (نفط البَرَد) ويحدث بعد نحو 3 أسابيع في مكان دخول البكتيريا المسببة للمرض. تتميز هذه المرحلة بأنها معدية جدًا، ويمكن لشخص مصاب أن ينقل هذا المرض إلى آخرين ربما دون قصد منه، وخلال أربعة أسابيع منذ بدء الإصابة تشفى هذه التقرحات دون معالجة ما يعطي انطباعًا غير صحيح بشفاء المريض علمًا بأن البكتيريا ما زالت في الجسم.

أما المرحلة الثانية من الزهري أو الزهري الثانوي فتكون مصحوبة بحكة وألم في الحلق والفم، ويمكن للبكتيريا في هذه المرحلة أن تنتقل من خلال التقبيل أو ملامسة تقرّح مفتوح، وفي هذه الحالة عادة ما يدخل الزهري المرحلة الثالثة، وهي مرحلة الكمون. تكون مرحلة الكمون هذه غير مصحوبة بأي أعراض، ويمكن أن تستمر سنوات عدة، في هذه المرحلة، لا يعود الشخص قادرًا على نقل العدوى، إلا أن البكتيريا ما زالت في الجسم، وتهاجم الأعضاء الداخلية.

إن المرحلة النهائية من الزهري هي المرحلة الموهنة، حيث يصبح فعل البكتيريا المدمر في المرحلة الثالثة واضحًا. ويعاني المصاب بالزهري في هذه المرحلة أمراض القلب، والوهن العقلي، وتلف الأعصاب الذي يمكن أن يؤدي لفقد وظائف عصبية أو للعمى.

الكلاميديا *Chlamydia*

تسبب بكتيريا *Chlamydia trachomatis* غير العادية مرض الكلاميديا، وهي تنتمي وراثيًّا للبكتيريا إلا أنها متطفلة إجبارية داخلية، وتشبه إلى حد ما الفيروس في هذه الصفة. تتأثر الكلاميديا بالمضادات الحيوية، إلا أنها تعتمد على عائلها في مضاعفة مادتها الوراثية، وتنتقل هذه البكتيريا عبر المهبل، والشرج، أو الممارسة الجنسية الشفوية مع شخص مصاب.

تسمى الكلاميديا المرض الصامت المنقول جنسيًّا، إذ إن النساء المصابات لا يظهرن أي أعراض إلى ما بعد تموضع الإصابة. يعود ارتفاع معدل الإصابة بهذا المرض بشكل جزئي لطبيعة الإصابة الصامتة غير المصحوبة بالأعراض، حيث ارتفعت نسبة الإصابة بمعدل سبع مرات منذ عام 1984.

إن تأثيرات حالة الإصابة المؤكدة للكلاميديا، على جسم المرأة خطيرة جدًا؛ لأن الكلاميديا تسبب التهاب الحوض الذي يمكن أن يؤدي إلى العقم.

وقد أُثبت حديثًا أن إصابة القناة التناسلية للأنثى أو الذكر بالكلاميديا يمكن أن يؤدي لأمراض القلب، حيث إن الكلاميديا تنتج ببتيدًا شبيهًا ببتيد تنتجه العضلة القلبية، وعند قيام الجهاز المناعي بمقاومة الإصابة الكلاميدية، فإنه يستجيب أيضًا للببتيد الذي تنتجه عضلة القلب، ويؤدي هذا التشابه لإرباك الجهاز المناعي، حيث تقوم خلايا T بمهاجمة ألياف العضلة القلبية مؤدية بذلك لالتهاب القلب ومشكلات أخرى.

لقد تم خلال السنوات القليلة الماضية تطوير طريقتين للكشف عن الكلاميديا. تتم معالجة الكلاميديا باستعمال المضادات الحيوية، التتراسايكلين عادة، الذي يمكنه اختراق الغشاء البلازمي للخلايا حقيقية النوى، حيث يؤثر عندها في البكتيريا الموجودة داخلها. يجب فحص كل النساء اللواتي يعانين أعراضًا مرتبطة بالأمراض المنقولة جنسيًّا أو المعرضات لخطر الإصابة بها، للتأكد من وجود بكتيريا الكلاميديا، وإلاّ فإن قدرتهن على الإنجاب ستكون معرضة للخطر.

إن هذا النقاش حول الأمراض البكتيرية المنقولة جنسيًّا، وكذلك فيروس نقص المناعة في الفصل السابق يمكن أن يعطي انطباعًا بأن ممارسة النشاط الجنسي محفوفة بالأخطار- ومن حيث انتقال المرض، فهذا صحيح. وهنا يجب القول: إن اتخاذ الاحتياطات ضد انتشار الأمراض المنقولة جنسيًّا يعد عملًا مسؤولًا من قبل كل شخص.

طُوِّرت البكتيريا لتصبح أسلحة بيولوجية

مع التقدم الحاصل في استعمال المضادات الحيوية في معالجة الأمراض البكتيرية الفتاكة مثل التيفوس، والكوليرا، اعتُقد أن المعركة ضد عدوى البكتيريا الممرضة قد تم كسبها. إلا أنه وللتغلب على الأمراض، عليك السيطرة على انتقالها. ولسوء الحظ، فإن القرن الجديد قد أدخل طرقًا جديدة مميتة لنشر المرض من خلال الاستعمال المقصود للأمراض بوصفها سلاحًا. فعام 2001، قام إرهابيون حيويون بضرب الولايات المتحدة باستعمال الأبواغ الداخلية لبكتيريا الجمرة الخبيثة، حيث أضافوها لرسائل أرسلت عبر البريد، وأدى ذلك لإصابة 22 شخصًا، توفي خمسة منهم. وعلى الرغم من أن هذا العدد صغير، فإنه يشكل 20% من المصابين و50% ممن استنشقوا جراثيم العدوى.

ويشير هذا الهجوم إلى الخطر الكبير للأسلحة الحيوية. ويعتقد أن كلًّا من الجمرة الخبيثة وفيروس الجدري هما الأكثر خطورة في الوقت الراهن. وقد تمت مناقشة مطولة للأسلحة الحيوية في فصل إثرائي عنوانه الأمراض المعدية والإرهاب البيولوجي، يمكنك دراسته في الموقع www.ravenbiology.com

تتسبب البكتيريا في كثير من الأمراض الإنسانية، وكثير منها مثل السل الرئوي موجود بين ظهرانينا منذ بدء التاريخ. وإن البكتيريا أيضًا فاعلة في تسوس الأسنان، وهي سبب رئيس للأمراض المنقولة جنسيًّا، وقد تم تحويل البكتيريا إلى أسلحة محتملة.

7-28 بدائيات مفيدة

كانت البدائيات مسؤولة وبدرجة رئيسة عن صفات الجو والأرض لبلايين السنين، وتؤثر اليوم في الأرض والحياة الإنسانية في كثير من السبل المهمة.

للبدائيات دور في تدوير عناصر مهمة

تعتمد الحياة على الأرض على تدوير العناصر الكيماوية بين المخلوقات والبيئة الفيزيائية التي تعيش فيها- أي بين المكونات الحية وغير الحية في الأنظمة البيئية. وتؤدي البدائيات، والطحالب، والفطريات دورًا أساسيًّا في هذا التدوير الكيماوي الذي سيناقش بتفصيل في (الفصل الـ 57)

التحلل

تعود عناصر الكربون، والفوسفور، والكبريت، وذرات الأنظمة الحيوية الأخرى في أصلها إلى البيئة الفيزيائية. وعند موت المخلوقات وتعفنها، تعود هذه العناصر لهذه البيئة. وتقوم البدائيات والفطريات بعملية التحلل التي هي جزء من دورات العناصر، مؤدية لإطلاق ذرات المخلوقات الميتة هذه للبيئة، وتسمى عندها **المحللات Decomposers**.

التثبيت

تؤدي بعض الأوليات الأخرى دورًا مهمًّا في عملية التثبيت، وهي النصف الآخر من دورات العناصر، حيث تساعد على إعادة العناصر من الشكل غير العضوي إلى الشكل العضوي الذي تستعمله المخلوقات غير ذاتية التغذية.

الكربون: إن دور البدائيات ذات البناء الضوئي في تثبيت الكربون واضح. فالمركبات العضوية التي تنتجها النباتات، والطحالب، والبدائيات ذات البناء الضوئي من ثاني أكسيد الكربون تمر في حلقات الغذاء لتكوّن أجسام المخلوقات غير ذاتية التغذية في النظام البيئي. ويعتقد أن البكتيريا الخضراء المزرقة قد أضافت الأكسجين إلى جو الأرض بوصفه منتجًا ثانويًّا لعملية البناء الضوئي، وما زالت البدائيات الحديثة ذات البناء الضوئي تسهم في إنتاج الأكسجين.

النيتروجين: على الرغم من أن دور البدائيات في تدوير النيتروجين أقل وضوحًا إلا أنه بنفس أهميتها في دورة الكربون. يوجد النيتروجين في الجو على شكل غاز النيتروجين، حيث تربط رابطة ثلاثية تشاركية ذرتي النيتروجين وهي لا يمكن كسرها بسهولة. فقليل من أنواع البدائيات من بين المخلوقات على الأرض قادرة على عمل ذلك، أي تختزل النيتروجين إلى الأمونيا التي تستعمل لبناء الأحماض الأمينية وجزيئات حيوية أخرى محتوية على النيتروجين. وعندما تموت المخلوقات المحتوية على هذه الجزيئات فإن بدائيات أخرى تدعى المطلقة للنيتروجين *Denitrifiers* تعيده للجو مكملة بذلك الدورة. ولتثبيت النيتروجين الجوي، فإن البدائيات تستخدم معقدًا أنزيميًّا يسمى محلل النيتروجين، تسيطر عليه مجموعة من الجينات تسمى جينات تثبيت النيتروجين *nif*. هذا المعقد الأنزيمي حساس جدًا للأكسجين، وموجود في مدى واسع من البدائيات الحرة.

وفي البيئة المائية، يُثبّت النيتروجين أساسًا من قبل البكتيريا الخضراء المزرقة مثل أنابينا *Anabaena* التي تشكل سلاسل من الخلايا. وحيث إن عملية تثبيت النيتروجين عملية لاهوائية إجبارية، فإن خلايا مفردة من البكتيريا الخضراء المزرقة يمكن أن تتطور مكونة **خلية الكيس المختلف Heterocyst** وهي متخصصة في تثبيت النيتروجين وغير نفاذة للأكسجين.

يحدث تثبيت النيتروجين في التربة في جذور النباتات الحاملة لمستعمرات من البكتيريا التكافلية المثبتة له، ويشمل هذا التكافل الجنس رايزوبيوم *Rhizobium* وهو جنس من البكتيريا الأولية *Proteobactria* مع البقوليات (انظر الشكل 28–6)، والجنس *Frankia* (بكتيريا خيطية) مع كثير من الشجيرات، وأنابينا *Anabaena* مع الخنشار المائي.

يمكن للبدائيات العيش بصورة تكافلية مع حقيقية النوى

يعيش كثير من البدائيات **معيشة تكافلية Symbiosis** مع مخلوقات حقيقية النوى. ويشير التكافل إلى علاقة بيئية بين أنواع مختلفة تعيش باتصال مباشر مع بعضها. يمثل هذا النوع من التكافل بين البكتيريا المثبتة للنيتروجين مع جذور النبات عملية تكافؤ *Mutualism* حيث إن كلا الطرفين مستفيد؛ لأن البكتيريا تزود النبات بالنيتروجين، والنبات يزود البكتيريا بالسكريات ومواد غذائية عضوية أخرى (الفصل الـ 39).

يعيش كثير من البكتيريا تكافليًّا في القناة الهضمية للحيوانات مزودة إياها ببعض المغذيات. فالمواشي والثدييات الرعوية غير قادرة على هضم السيلولوز في النباتات والأعشاب التي تتغذى عليها؛ كونها لا تنتج الأنزيم محلل السليولوز اللازم. تقوم مستعمرات البكتيريا المنتجة للأنزيم والقاطنة في أمعاء الحيوان بجعل الحيوان قادرًا على هضم غذائه (انظر الفصل الـ 48 لسرد مكتمل). وبصورة مشابهة، يحتفظ الإنسان بمستعمرات كبيرة من البكتيريا في الأمعاء الغليظة، وهذه قادرة على إنتاج الفيتامينات، خصوصًا فيتامين B_{12} وفيتامين K اللذين لا يمكن للجسم إنتاجهما.

يعيش كثير من أنواع البكتيريا على السطح الخارجي للحيوانات والنباتات دون إحداث أي أذى، وتمثل هذه العلاقة أمثلة على الترمم أو المؤاكلة *Commensalism* حيث يستفيد أحدها (البكتيريا هنا) في حين لا يتأثر الآخر، سواء أكان نباتًا أم حيوانًا، سلبًا أو إيجابًا.

هناك نوع آخر من هذه العلاقة ألا وهو التطفل *Parasitism*؛ حيث إن أحد المخلوقات (وفي هذه الحالة البكتيريا) هو المستفيد، والآخر (وهو الحيوان أو النبات المصاب) يصيبه الأذى، ويمكن اعتبار الإصابة نوعًا من التطفل.

تستعمل البكتيريا في الهندسة الوراثية

لأن الشيفرة الوراثية شمولية، فإن جينًا من الإنسان يمكن إدخاله في خلية بكتيريا يجعل البكتيريا قادرة على إنتاج بروتين إنساني. وقد تم مناقشة استعمال البكتيريا في الهندسة الوراثية في الفصل الـ 17، ويشكل هذا جزءًا كبيرًا من البيولوجيا الجزيئية الحديثة.

إضافة إلى إنتاج مواد صيدلانية مثل الأنسولين الذي نوقش في (الفصل الـ 17)، فإن استعمال طرق الهندسة الوراثية لإنتاج سلالات بكتيرية محسنة لأغراض تجارية يحمل أملًا كبيرًا للمستقبل. وتستعمل البكتيريا حاليًا بصورة واسعة بوصفها معامل حيوية في الإنتاج التجاري لكثير من الأنزيمات، والفيتامينات، والمضادات الحيوية. وقد تم استعمال عدد كبير من المزارع البكتيرية، التي غالبًا ما تم تعديلها وراثيًّا لتحسين إمكاناتها، لإنتاج الأسيتون بصورة تجارية، وكذلك إنتاج مركبات صناعية مهمة أخرى.

تستعمل البكتيريا في المعالجة الحيوية للتلوث

إن استعمال المخلوقات في إزالة التلوث من الماء والهواء والتربة يدعى المعالجة الحيوية للتلوث *Bioremediation*، إذ إن فعالية محطات تنقية المياه العادمة يعتمد على نشاط المخلوقات الدقيقة. ففي محطات التنقية يتم تكسير المادة

الشكل 28–18

استعمال البكتيريا لإزالة بقع النفط. يمكن استعمال البكتيريا في الغالب لإزالة الملوثات البيئية، مثل الهيدروكربون النفطي والمركبات المكلورة. وفي المناطق الصخرية التي تلوثت ببقعة نفط الناقلة إكسون فالديز (اليسار) قامت البكتيريا المحطمة للنفط بعمل ذي نتائج درامية (اليمين).

الصلبة من المياه العادمة الخام عن طريق البكتيريا والبكتيريا القديمة الموجودة بصورة طبيعية في المياه العادمة. والناتج النهائي هو غاز الميثان (CH_4) الذي غالبًا ما يستعمل مصدرًا للطاقة لتشغيل محطة التنقية نفسها.

إن عملية التنبيه الحيوي، أي إضافة مغذيات مثل مصادر النيتروجين والفوسفور قد استُعملت لتشجيع نمو المخلوقات الدقيقة الطبيعية القادرة على تحطيم بقع النفط الخام. وقد تم استعمال هذه المقاربة بنجاح لتنظيف شواطئ ألاسكا بعد تسرب بقعة الزيت الخام للناقلة إكسون فالديز عام 1998 (الشكل 28–18). وبالصورة نفسها، استُعمل التنبيه الحيوي لتشجيع نمو المخلوقات الدقيقة الطبيعية في المياه الجوفية الملوثة.

وتشمل الجهود الحالية تلك التي تتركز على استعمال المخلوقات الدقيقة، مثل الجيوباكتر *Geobacter* (الشكل 28–6) للتخلص من اليورانيوم المشع في المياه الجوفية الملوثة خلال فترة الحرب الباردة.

إن المركبات المكلورة التي تُطلق في البيئة من مصادر عدة هي أيضًا ملوثات خطرة. ويمكن لبعض أنواع البكتيريا الحقيقية استعمال هذه المركبات مصادر للطاقة من خلال تفاعلات الهالوجينات المختزلة، والمرتبطة بعملية انتقال الإلكترونات المعروفة بعملية التنفس الهالوجيني *Halorespiration*. إن استعمال مثل هذه البكتيريا لإزالة المركبات الهالوجينية من النفايات السامة يحمل وعدًا كبيرًا، على الرغم من أنها ما زالت في مراحل التطوير.

إن البدائيات حيوية لكل من تدوير العناصر وتثبيتها، أو جعل العناصر متاحة في شكلها العضوي. والبكتيريا ذات دور في عملية تثبيت الكربون والنيتروجين، وهي الوحيدة فقط القادرة على تثبيت النيتروجين. يمكن للبكتيريا المثبتة للنيتروجين أن تعيش تكافليًّا مع النباتات. تشكل البكتيريا مكونًا أساسيًّا في معالجة النفايات، وتُستعمل أيضًا في المعالجة الحيوية للتلوث من أجل إزالة المركبات السامة المدخلة إلى البيئة.

مراجعة المفاهيم

28–1 الخلايا الأولى

يشمل دليل الخلايا الأولى الأحافير الدقيقة، وترسباتها، والتغيرات في نسب النظائر المشعة، ووجود الكيماويات العضوية.

- تعود أقدم الأحافير الدقيقة إلى 3.5 بلايين سنة.
- أشباه الأنسجة خليط من الرسوبيات، والمواد المترسبة، ويعود عمرها إلى نحو 2.7 بليون سنة.
- ارتفاع مستويات الكربون 12- الموجود في الأحافير نسبيًّا بالمقارنة مع الصخور المجاورة يشير إلى عملية تثبيت الكربون قديمًا.
- تشير المؤشرات الحيوية مثل الدهون إلى أن البكتيريا الخضراء المزرقة تعود إلى 2.7 بليون سنة على الأقل.

28–2 تنوع البدائيات

البدائيات مجموعة ذات تنوع كبير ومختلفة بشكل مميز عن المخلوقات حقيقية النوى.

- من صفات البدائيات أنها وحيدة الخلية، ولها DNA دائري صغير، والانشطار الثنائي، وافتقارها للتجزئة التنظيمية الداخلية، والسوط الواحد، وتنوع الأيض.
- على الرغم من وجود بعض أوجه الشبه، فإن البكتيريا تختلف عن البكتيريا القديمة في أربعة أمور أساسية، هي: الأغشية البلازمية، والجدر الخلوية، وتضاعف DNA، والتعبير عن الجينات.
- تحتوي دهون البكتيريا القديمة على روابط الإيثر بدلًا من الإستر، ويمكن أن تكوّن طبقة مفردة رباعية الإيثر.
- تحتوي جدر البكتيريا على ببتيدوجلايكان إلا أن البكتيريا القديمة تفتقر له، وبعضها يحوي الميورين الكاذب في جدرها الخلوية.
- تمتلك كل من البكتيريا والبكتيريا القديمة أصل تضاعف منفردًا، إلا أن الأصل وبروتينات التضاعف مختلفة.
- إن بدء تضاعف DNA في البكتيريا القديمة مشابه لما في المخلوقات حقيقية النوى.
- الأنزيم المبلمر للحمض النووي الرايبوزي RNA في البكتيريا القديمة يشبه الأنزيم المبلمر لـ RNA للمخلوقات حقيقية النوى أكثر مما يشبه الأنزيم المناظر المنفرد في البكتيريا.
- تم التعرف الآن إلى تسع مجموعات من الأنواع في البدائيات إلاّ أن كثيرًا من البكتيريا لم يدرس بعد (الشكل 28–4).

28–3 تركيب الخلية البدائية

الخلايا البدائية بسيطة التركيب نسبيًّا، إلا أنها تصنف من خلال شكل الخلية والاختلافات التركيبية.

- توجد البدائيات في ثلاثة أشكال أساسية، هي: عصوية، ودائرية أو بيضوية، وحلزونية (على شكل حلزون طويل).
- تصنف البكتيريا؛ إما موجبة لصبغة جرام، أو سالبة لصبغة جرام اعتمادًا على صبغة جرام (الشكل 28–8).
- تحوي البكتيريا الموجبة لصبغة جرام طبقة سميكة من ببتيدوجلايكان في الجدار الخلوي الذي يحتوي حمض التايكويك (الشكل 28–8).
- تحوي البكتيريا السالبة لصبغة جرام طبقة رقيقة من ببتيدوجلايكان وغشاء خارجيًّا يحتوي سكريات دهنية في جدارها الخلوي (الشكل 28–8).
- تحوي بعض البكتيريا طبقية جيلاتينية، المحفظة، تمكن البكتيريا من الالتصاق بالسطوح، وتجنب الاستجابة المناعية.
- تمتلك كثير من البكتيريا سوطًا دقيقًا متينًا حلزونيًّا مكونًا من فلاجلين، ويمكنه الدوران لإتمام الحركة (الشكل 28–9).
- تمتلك بعض البكتيريا زوائد تشبه الشعر ذات أهمية في الالتصاق وفي تبادل المعلومات الوراثية.
- تمتلك بعض البكتيريا أبواغًا داخلية عالية المقاومة للإجهاد البيئي.
- تقوم الانبعاجات في الغشاء البلازمي في البدائيات بدور في التنفس والبناء الضوئي.
- تحوي منطقة نظير النواة DNA الدائري المضغوط دون غشاء يحيط به.
- رايبوسومات البكتيريا أصغر من تلك في الخلايا حقيقية النوى.
- تقوم بعض المضادات الحيوية بعملها من خلال الارتباط مع رايبوسومات البدائيات معطلة بناء البروتينات.

28–4 وراثة البدائيات

لا تتكاثر البدائيات جنسيًّا إلا أنها تتبادل DNA بين الخلايا المختلفة.

- يمكن أن يتم تبادل DNA عن طريق الاقتران، أو الاتصال الخلوي، أو التحول الفيروسي (التأبير) وعن طريق الفيروسات، أو من خلال التقاط DNA، أو أخذه من البيئة عن طريق التحول (الشكل 28–11، 28–12، 28–14).
- يعتمد الاقتران على وجود بلازميدات الاقتران مثل بلازميدة الخصوبة F في بكتيريا القولون *E.coli*.
- تدخل بلازميدة الخصوبة F^+ من خلية متبرعة إلى خلية مستقبلة من خلال جسر الاقتران بعملية تسمى تضاعف الحلقة المتدحرجة.
- يمكن للبلازميدة F الالتحاق أو الارتباط مع المادة الوراثية للبكتيريا. ويمكن أن تكون عملية الانفصال غير دقيقة، بحيث تحمل بلازميدة الخصوبة معها بعض الجينات من العائل.
- يحدث التحول العام عندما تضم الفيروسات DNA العائل، وتنقله في أثناء عدوى لاحقة.
- تقتصر عملية التحول الفيروسي (التأبير) فقط على الفيروسات ذات الدورة غير التحللية.
- يمكن لمقاومة المضادات الحيوية الانتقال عن طريق بلازميدات المقاومة.
- يمكن أن تحدث الطفرات في البكتيريا تلقائيًّا، أو بفعل الإشعاع والأشعة فوق البنفسجية وكيماويات أخرى.

28–5 أيض البدائيات

تحصل البدائيات على الكربون والطاقة باستعمال الأشعة الضوئية، أو التفاعلات الكيماوية عن طريق تفاعلات ذاتية التغذية، أو غير ذاتية التغذية.

- تقوم ذاتية التغذية الضوئية بعملية البناء الضوئي، وتحصل على الكربون من ثاني أكسيد الكربون.
- تقوم ذاتية التغذية الكيماوية بالحصول على الطاقة بأكسدة مواد غير عضوية.
- تستعمل غير ذاتية التغذية العضوية الضوء للطاقة إلا أنها تحصل على الكربون من جزيئات عضوية.
- معظم البكتيريا غير ذاتية التغذية كيماوية، وتحصل على الكربون والطاقة من الجزيئات العضوية.
- تفرز بعض البكتيريا بروتينات عبر جدرها الخلوية، ويمكن لهذه البروتينات نقل بروتينات ممرضة إلى خلايا حقيقية النوى.
- البكتيريا السالبة لصبغة جرام والمعروفة من الجنس سودوموناس مسؤولة عن معظم أمراض النباتات.

28–6 أمراض البكتيريا الإنسانية

لقد ظهر، وعاد للظهور مجددًا كثير من الأمراض البكتيرية في المجتمعات الإنسانية في السنوات الأخيرة (الجدول 28–1).

- تنتشر الأمراض البكتيرية من خلال رذاذ المخاط، أو اللعاب، والمواد الغذائية الملوثة والماء، والعوامل الحشرية الناقلة.
- أصابت بكتيريا السل الرئوي الإنسان على مدى التاريخ، وتعد الآن سببًا رئيسًا للوفيات.
- تؤدي الرقائق الحيوية البكتيرية دورًا في تسوس الأسنان.
- تتسبب إصابات بكتيريا هيلكوباكتر بايلوري *H. pylori* في معظم القرحات.
- الأمراض المنقولة جنسيًّا مثل السيلان، والزهري، والكلاميديا بكتيرية الأصل.

28–7 بدائيات مفيدة

تؤدي البدائيات دورًا رئيسًا في تكوين الجو العلوي والتربة على الأرض.

- تدوِّر البدائيات عناصر مهمة مثل الكربون والنيتروجين.
- تكوِّن البدائيات علاقات تكافلية مع مخلوقات حقيقية النوى.
- يمكن استعمال البدائيات المحورة وراثيًّا لإنتاج مواد صيدلانية وأخرى مفيدة للإنسان.
- يمكن استعمال البكتيريا في عملية المعالجة الحيوية للنفايات، وإزالة المركبات السامة المدخلة إلى البيئة.

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. واحد مما يأتي يعد مثالًا لمؤشر حيوي:
   أ. متحجرة دقيقة موجودة في نيزك.
   ب. هيدروكربون وُجد في طبقة صخرية قديمة.
   ج. منطقة تحوي طبقة صخرية محتوية على نسبة عالية من الكربون12-.
   د. تكوينات أشباه أنسجة تم اكتشافها حديثًا.
2. تقدير العمر اعتمادًا على النظائر تقنية تستعمل في:
   أ. دراسات تثبيت الكربون.
   ب. تحديد عمر الأحافير الدقيقة.
   ج. دراسة المؤشرات الحيوية.
   د. كل ما ذكر.
3. في فتحة بركانية غنية بكبريتيد الهيدروجين اكتشف كائن جديد وحيد الخلية غير قادر على البناء الضوئي، ويفتقر للنواة. اعتمادًا على هذه الصفات تقرر تعريفه مبدئيًّا بأنه:
   أ. بكتيريا خضراء مزرقة. ب. بكتيريا.
   ج. كائن حقيقي النواة. د. بكتيريا قديمة.
4. واحد مما يأتي غير متعلق عادة بالبدائيات:
   أ. الانتقال الأفقي للمادة الوراثية.
   ب. الافتقار للتنظيم الحجيري الداخلي.
   ج. كروموسومات خيطية عدة.
   د. حجم خلية بحدود 1 ميكرومتر.
5. الصفة التي تميز البكتيريا القديمة هي:
   أ. نموذج غشاء بلازمي فسيفسائي سائل.
   ب. استعمال أنزيم المبلمر للحمض الرايبوزي خلال تفعيل الجينات.
   ج. الدهون المفسفرة المرتبطة بروابط الإيثر.
   د. أصل منفرد لتضاعف الحمض الرايبوزي منقوص الأكسجين (DNA).
6. واحد مما يأتي موجود في البكتيريا الموجبة لصبغة جرام:
   أ. ببتيدوجلايكان. ب. حمض التايكويك.
   ج. متعددة التسكر الدهنية. د. الغشاء البلازمي.
7. التي تحتوي على المادة الوراثية في الخلية البدائية هي:
   أ. منطقة نظير النواة. ب. الزوائد (الأهداب).
   ج. المحفظة. د. النواة.
8. ينتج التحول الفيروسي العام عن:
   أ. RNA الذي أطلقته الخلايا الميتة.
   ب. الإصابة بفيروس الدورة غير التحللية.
   ج. فيروس بكتيري يحمل مادة وراثية من العائل بدلًا من مادته الوراثية.
   د. انتقال المادة الوراثية للعائل عن طريق بلازميدة الخصوبة F.
9. انتقال المادة الوراثية أفقيًّا باستعمال البلازميدة مثال على:
   أ. التحول الفيروسي العام. ب. الانشطار الثنائي.
   ج. التحول. د. الاقتران.
10. تحصل البكتيريا ذاتية التغذية الكيماوية على الكربون من _____ و الطاقة من _____
    أ. ثاني أكسيد الكربون وضوء الشمس.
    ب. جزيئات عضوية وجزيئات لاعضوية.
    ج. ثاني أكسيد الكربون وجزيئات غير عضوية.
    د. جزيئات عضوية وضوء الشمس.
11. البكتيريا التي تنتقل عبر الممارسة الجنسية هي:
    أ. *Yersinia pestis*. ب. *Salmonella typhi*.
    ج. *Clostridium botulinum*. د. *Chlamydia trachomatis*.
12. المرض الذي لا تسببه البكتيريا هو:
    أ. القرحة المعدية. ب. الإنفلونزا.
    ج. السل الرئوي. د. تسوس الأسنان.
13. البكتيريا تفتقر لأنظمة أغشية داخلية مستقلة إلا أنها قادرة على البناء الضوئي والتنفس اللذين يستعملان الأغشية، سبب قدرتها على القيام بذلك أنها:
    أ. تحتوي فعلًا على أغشية داخلية فقط لهذه الأغراض.
    ب. انبعاجات الغشاء البلازمي توفر سطحًا لغشاء داخلي.
    ج. تحدث خارج الخلية وبين الغشاء والجدار الخلوي.
    د. تستعمل تراكيب بروتينية لتحل محل الأغشية الداخلية.
14. لا تستطع النباتات أن تثبت النيتروجين إلا أن بعضها لا يحتاج إليه من التربة بسبب:
    أ. تكافلها أو ارتباطها مع بكتيريا تقوم بتثبيت النيتروجين.
    ب. أن هذه النباتات هي الاستثناء الذي يثبت النيتروجين.
    ج. إصابتها بفيروس طفيلي قادر على تثبيت النيتروجين.
    د. قدرتها على الحصول على النيتروجين من الجو.
15. واحدة من العمليات الآتية تشمل إزالة المركبات السامة من البيئة باستعمال بعض أنواع البكتيريا:
    أ. الترمم. ب. تحليل المواد العضوية.
    ج. تثبيت النيتروجين. د. المعالجة الحيوية.

أسئلة تحدٍّ

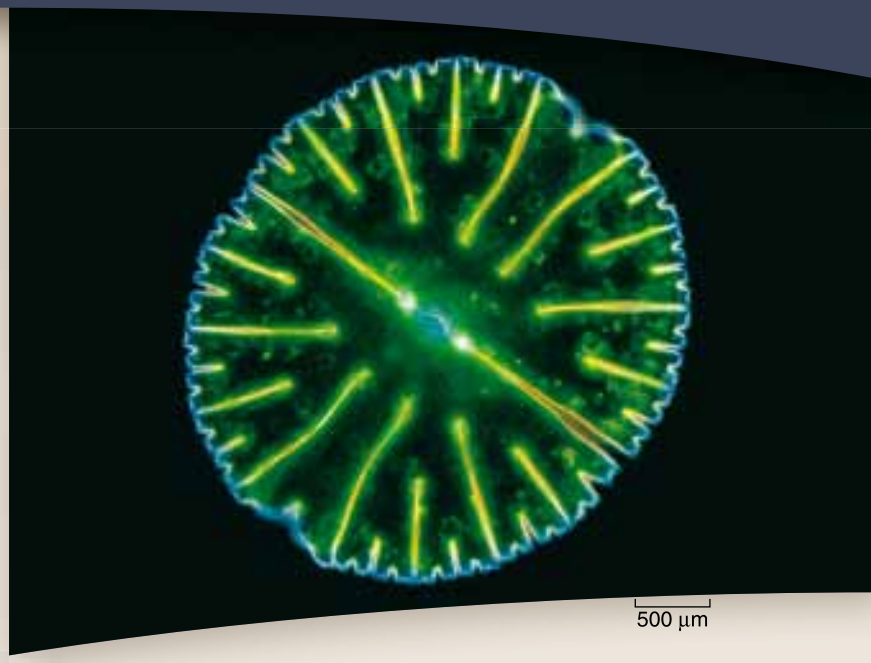
1. إذا اكتُشف نمط جديد من تثبيت الكربون لا يحابي الكربون 12 فهل سيؤثر ذلك في تحليلنا لدلائل الحياة البدائية الأولى؟
2. أدت تجربة فريدرك جريفث (الفصل الـ 14) دورًا مهمًّا في التأكد من أن DNA هو المادة الوراثية. فقد بين جريفث أن البكتيريا الملساء (الممرضة) والمقتولة بالحرارة عند خلطها مع بكتيريا حية خشنة (غير ممرضة) فإنها تسبب الإصابة بذات الرئة عند حقنها في الفئران. إضافة إلى ذلك، يمكن استزراع البكتيريا الخشنة الحية من الفئران المصابة. والفرق بين هاتين السلالتين هو وجود محفظة من الكربوهيدرات على سلالات البكتيريا الملساء. اعتمادًا على ما تعلمته في هذا الفصل، كيف يمكنك تفسير هذه الملاحظات؟
3. في الستينيات من القرن الماضي كان شائعًا وصف مضادات حيوية عدة لمقاومة العدوى البكتيرية، وإن المرضى أيضًا غالبًا لا يكملون دورة العلاج بالمضادات الموصوفة. وحيث إن جينات مقاومة المضادات الحيوية غالبًا ما تكون موجودة على بلازميدات الاقتران، فكيف تؤثر هذه العوامل في تطور المقاومة للمضادات، وكذلك المقاومة لمضادات عدة بشكل خاص؟
4. يبدو أن البكتيريا المثبتة للنيتروجين والمعزولة من التربة تتأثر بدرجة عالية عند تعرضها للأشعة فوق البنفسجية، ولو افترضنا استمرار نضوب مستوى الأوزون، فماذا سيكون التأثير طويل المدى في كوكب الأرض؟

هل أنت في حاجة إلى مراجعة إضافية؟ زر الموقع www.ravenbiology.com. لتتدرب على الاختبارات القصيرة، والرسوم المتحركة، والتسجيلات التلفزيونية، وأنشطة مخصصة؛ لمساعدتك على فهم المادة الموجودة في هذا الفصل.
ARIS

الفصل 29

الطلائعيات

Protists



موجز المفاهيم

29-1 تعريف الطلائعيات

- *الطلائعيات ليست أحادية الأصل.*
- *عُرِفت مجموعات أحادية الأصل بين الطلائعيات.*

29-2 أصول حقيقية النوى والتكافل الداخلي

- *دليل من الأحافير يؤرخ لأصول حقيقية النوى.*
- *نشأت النواة والشبكة الإندوبلازمية من انثناءات غشائيّة.*
- *نشأت الميتوكندريا من بكتيريا هوائية مبتلعة.*
- *نشأت البلاستيدات الخضراء من بكتيريا مبتلعة تقوم بعملية التمثيل الضوئي.*
- *لم يكن التكافل الداخلي نادر الحدوث.*
- *هاجرت الجينات من عضيات ذات تكافل داخلي.*
- *نشأ الانقسام المتساوي في حقيقية النوى.*

29-3 البيولوجيا العامة للطلائعيات

- *تتنوع سطوح الخلايا بشكل كبير في الطلائعيات.*
- *يمتلك كثير من الطلائعيات وسائل حركة متعددة.*
- *تمتلك الطلائعيات إستراتيجيات تغذية مختلفة.*
- *تتكاثر الطلائعيات جنسيًّا ولا جنسيًّا.*
- *الطلائعيات هي الجسر لتعدد الخلايا.*

29-4 ثنائية الأنوية المتساوية (الدبلوموناد) وذات الأجسام نظير القاعدية (البارابيساليد): طلائعيات ذات أسواط تفتقر إلى الميتوكندريا

- *تمتلك ثنائية الأنوية المتساوية نواتين.*
- *تمتلك ذات الأجسام نظير القاعدية أغشية متموِّجة.*

29-5 اليوغلينات: مجموعة متنوعة، يمتلك بعض أعضائها بلاستيدات خضراء

- *نظيرة اليوغلينا هي حقيقية النوى، وحرة المعيشة، ولها أسواط أماميّة.*
- *الكاينيتوبلاستيدات طفيلية.*

مقدّمة

منذ أكثر من نصف تاريخ الحياة على الأرض، كانت الحياة كلّها لا تُرى بالعين المجردة. أكبر المخلوقات الحية التي وُجدت قبل أكثر من بليوني سنة كانت بكتيريا وحيدة الخلية لا يزيد طولها على 6 ميكرومترات. لم تكن بدائيات النوى هذه تمتلك أغشية داخلية، باستثناء انطواءات غشائية سطحية في بكتيريا التمثيل الضوئي.

أول دليل على نوع من المخلوقات المختلفة ظهر في أحفورة صغيرة عمرها 1.5 بليون سنة. هذه الخلايا الأحفورية أكبر بكثير من البكتيريا (أكبر بعشر مرات تقريبًا) وتحتوي على أغشية داخلية، وعلى ما ظهر، وكأنه تراكيب صغيرة محاطة بغشاء. تعقيد الشكل وتنوعه بين وحيدات الخلية هذه مذهلٌ. تُميز هذه القفزة بين الخلايا البسيطة نسبيًّا والأكثر تعقيدًا أكثر الأحداث أهمية في تطور الحياة، بظهور نوع جديد من المخلوقات هو **حقيقية النوى Eukaryotes**. إن حقيقيّات النوى ليست حيوانات، أو نباتات، أو فطريات واضحة. لذا، تم جمعُها معًا تحت اسم واحد هو الطلائعيات.

29-6 الحويصليات (ألفيولاتا): طلائعيات ذات حويصلات تحت غشائية

- *السوطيات الثنائية الدوارة مخلوقات تقوم بالبناء الضوئي، وذات خصائص مميزة.*
- *معقدات القمة تضم طفيل الملاريا.*
- *تتميز الهدبيات بطريقة حركتها.*

29-7 شُعيرية الأسواط (سترامينوبيلا): طلائعيات ذات شعيرات دقيقة

- *تضم الطحالب البنية أعشاب البحر الكبيرة.*
- *الدياتومات مخلوقات وحيدة الخلية ذات أصداف مزدوجة.*
- *بعض أفراد الفطريات البيضية، "عفن الماء"، ممرضة.*

29-8 الطحالب الحمراء

29-9 السوطيات الطوقية: يحتمل أن تكون أسلاف الحيوانات

29-10 طلائعيات دون سلالة

- *الأميبيات متوازية الأصول.*
- *شكلت أحافير المثقبات ترسبات كلسية ضخمة.*
- *تبدي الفطريات الغروية "تصرّف المجموعة".*

1-29 تعريف الطلائعيات

الطلائعيات Protists من أكثر الممالك تنوعًا من بين الممالك الأربع في تحت مملكة حقيقية النوى. تقسيمُ الخلية إلى حجرات هي أهمُّ صفة ميزت الطلائعيات وحقيقية النوى الأُخرى عن البكتيريا القديمة والبكتيريا. تحتوي مملكة الطلائعيات كثيرًا من مجموعات أحادية الخلية، ومستعمرات، ومجموعات متعددة الخلايا. إن أصل حقيقية النوى، الذي بدأ مع أسلاف الطلائعيات، هو أحد أهم الأحداث في تطور الحياة.

الطلائعيات ليست أحادية الأصل

أحد أهم العبارات التي يمكن صياغتها عن مملكة الطلائعيات هو أنها متوازية الأصول، وليست مملكة على الإطلاق؛ وقد جرى العرف على تجميع حقيقية النوى ووحيدة الخلية معًا، وسميت بالطلائعيات. وهذه جمعت 200,000 مخلوق مختلف ومتباعد الأصل معًا. إن تصنيف "وحيدة الخلية" للطلائعيات مُصطنع، ولا يمثل أيّ علاقات تطورية.

عُرِفت مجموعات أحادية الأصل من بين الطلائعيات

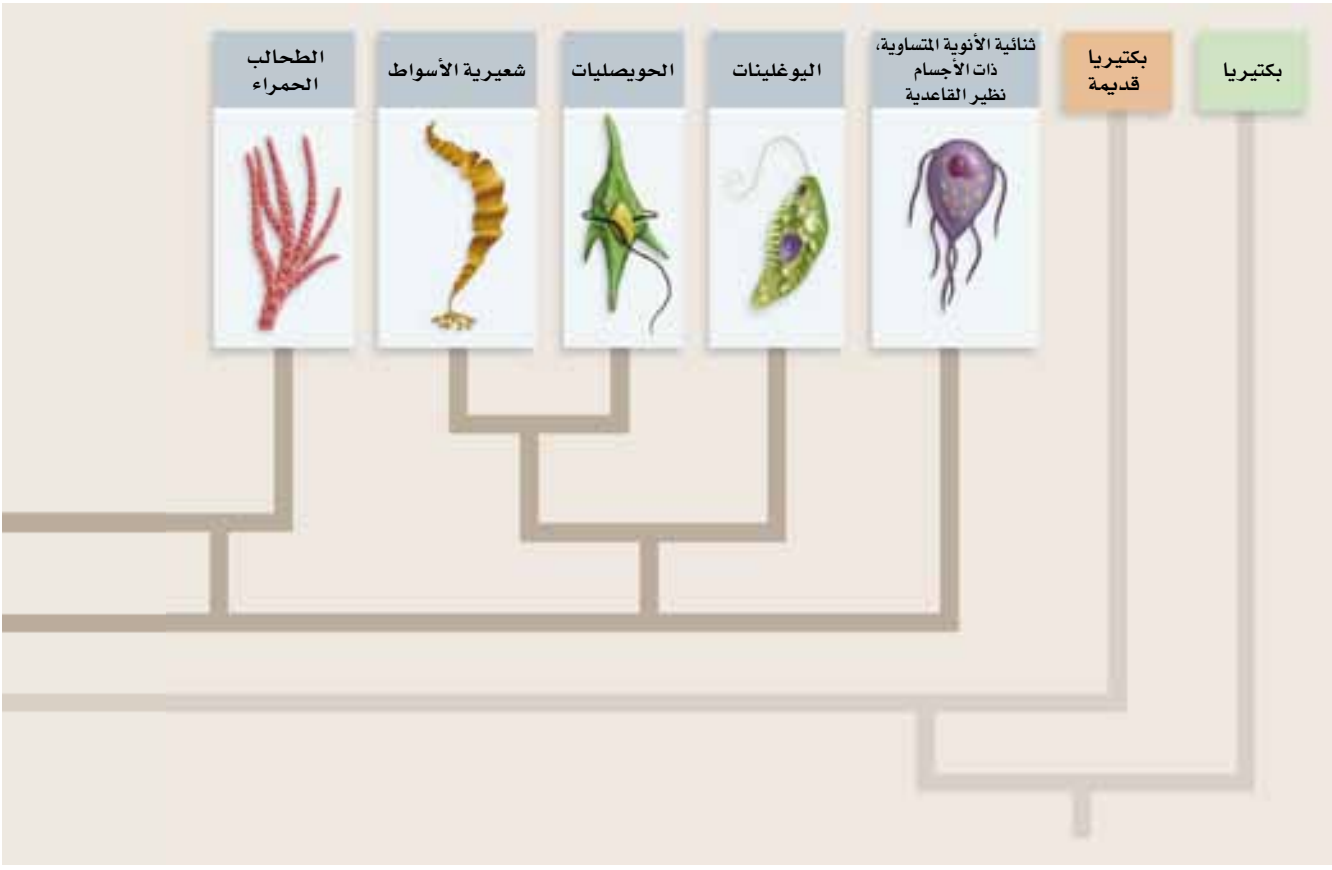
وفرت تطبيقات جديدة واسعة ومتنوعة لطرق جزيئية معلومات مهمة عن العلاقات بين الطلائعيات. كثير من الأسئلة حول كيفية تصنيف الطلائعيات تم طرحها باستعمال هذه التقنيات. هل يمكن اعتبار الطلائعيات ممالك عدة مختلفة، كل مملكة لها منزلة مساوية للحيوانات، أو النباتات، أو الفطريات؟ هل بعض الطلائعيات في الحقيقة أعضاء في ممالك أخرى؟ وفي حين لايزال كثير من الأسئلة قيد النقاش، أصبح، وبشكل متزايد، الكثير من المعلومات متوافرًا حول أيّ الطلائعيات يُحتمل أن يكون أحادي الأصل.

في هذا الفصل، جمعنا خمس عشرة قبيلة رئيسة في سبع مجموعات رئيسة أحادية الأصل، مُعتمدين على فهمنا الحالي لتاريخ الأنواع (الشكل 29-1). وعلى الرغم من احتمال تغير هذه العلاقات، فإن هذا المسار يسمح لنا بدراسة المجموعات التي لها صفات عدة مشتركة. وبالأخذ في الحسبان أن 60 علاقة بين الطلائعيات تقريبًا لا يمكن تمثيلها على شجرة الحياة بأي درجة من الثقة! تُمثل الطلائعيات التحدي والإثارة التي تعالجها التغيرات الثورية في علم التصنيف، وعلم تاريخ الأنواع التي درسناها في (الفصل الـ 26). إن فهم تطور الطلائعيات مفتاحٌ لفهم أصول النباتات، والفطريات، والحيوانات.

ولأن الطحالب الخضراء، ونباتات اليابسة تُشكلان مجموعة أحادية الأصل، فإن الطحالب الخضراء سيتم دراستها بتفصيل أكثر في الفصل القادم الذي يتناول تنوع النباتات.

الفهم الأفضل لخصائص الطحالب الخضراء ونباتات اليابسة يتم عند النظر إليهما معًا بسبب تاريخهما التطوري المشترك. وستتم دراسة المجموعات السّتّ أحادية الأصل المتبقية والمسماة بشكل غير دقيق الطلائعيات في هذا الفصل.

إن تصنيف الطلائعيات في تغيّر مستمر؛ كلما برزت معلومات جديدة يُصْقَلُ فهمُنا لهذه المملكة.



الشكل 29-1

التحدي في تصنيف الطلائعيات. فهمنا للعلاقات التطورية بين الطلائعيات حاليًا هو في حالة تغيُّر. تدعم أحدث المعلومات سبع مجموعات رئيسة أحادية الأصل داخل الطلائعيات. اعتبر هذا النموذج عمليًّا، وليس حقيقيًّا. الطحالب الخضراء ليست حقيقةً أحادية الأصل من حيث إن فرعًا آخر، هو النباتات السبحية، أعطت نباتات اليابسة. مجموعات الطلائعيات ملونة باللون الأزرق.

2-29 أصول حقيقية النوى والتكافل الداخلي

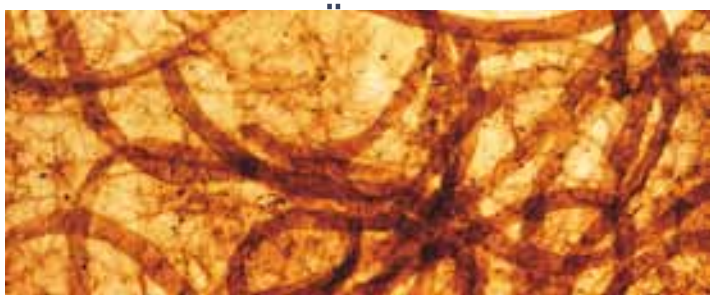
تتميز الخلايا حقيقة النوى عن بدائية النوى بوجود الهيكل الخلوي، وبتقسيمها إلى حجرات تشمل الغلاف النووي والعُضيات. التتابع الصحيح للأحداث التي أدت إلى خلايا حقيقية النوى معقدة وكبيرة غير معروف. لقد سمح فقدان الجدار الخلوي الصلب للأغشية بالانطواء إلى الداخل، ما زاد من مساحة السطح. وجعلت مرونة الغشاء أيضًا من الممكن أن تبتلع خلية أُخرى.

دليل من الأحافير يؤرخ لأصول حقيقية النوى

تُشير آثار كيميائية غير مباشرة إلى أن حقيقية النوى وجدت قبل نحو 2.7 بليون سنة، ولكن لا توجد لغاية الآن أحافير تدعم مثل هذا الوجود المُبكر. في صخور عمرها 1.5 بليون سنة تقريبًا، بدأنا نرى أول الأحافير الدقيقة التي تختلف في المظهر عن الأشكال البدائية البسيطة، التي لم يزد أيّ منها من حيث القطر على أكثر من 6 ميكرومترات (الشكل 29-2). هذه الخلايا أكبر بكثير من بدائيات النوى، وتمتلك أغشية داخلية وجدرانًا أسمك.

تشير هذه الأحافير البدائية إلى حدث رئيس في تطور الحياة؛ ظهور نوع جديد من المخلوقات. هذه الخلايا الجديدة تدعى **حقيقية النوى Eukaryotes** – وهي مشتقة من اليونانية– لأنها تمتلك تركيبًا داخليًّا يسمى النواة. كل المخلوقات الحية عدا بدائيات النوى هي حقيقة النوى.

في الأجزاء القادمة، سندرس أصول التراكيب الداخلية لحقيقية النوى. خذ في الحسبان، ما ناقشناه في الفصل الـ 24، إن انتقالًا أفقيًّا للجينات وقع بشكل متكرر في حين كانت خلايا حقيقية النوى تتطور. لم تتطور خلايا حقيقية النوى عن طريق الانتقال الجيني الأفقي فقط، بل من خلال تثني الأغشية، وابتلاع خلايا أخرى. إن



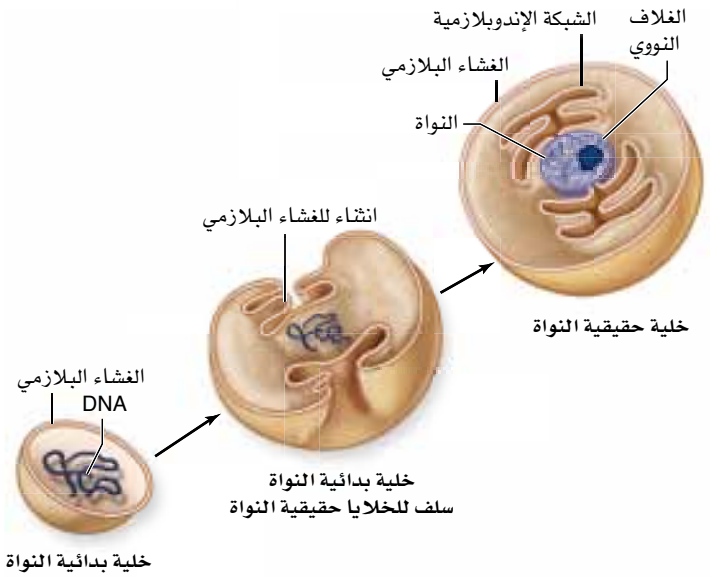
الشكل 29-2

أحفورة لحقيقية نواة بدائية. أحفورة طحالب عاشت في سيبيريا قبل 1,000 مليون سنة خلت.

الخلية حقيقية النواة الحالية هي قطع ولصق لـ DNA وعضيات من أنواع مختلفة.

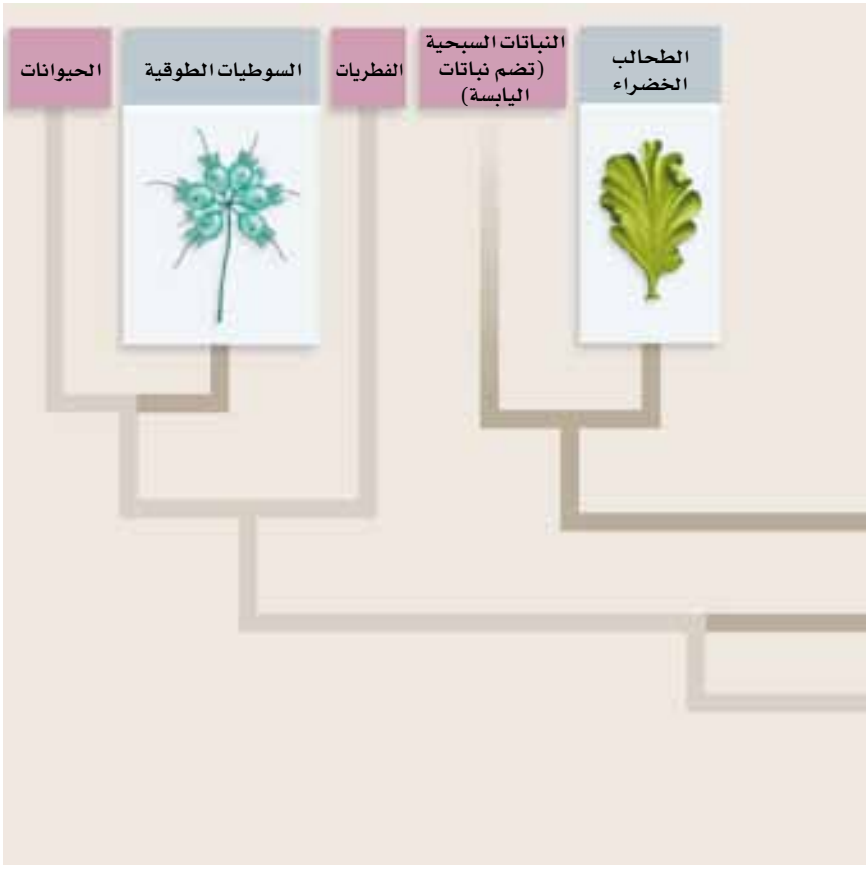
نشأت النواة والشبكة الإندوبلازمية من انثناءات غشائية

كثير من بدائيات النوى تمتلك انثناءات لأغشيتها الخارجية إلى الداخل نحو السيتوبلازم مشكلة "ممرات" نحو السطح. ويُعتقد أنّ شبكة من الأغشية الداخلية في حقيقية النوى تسمى الشبكة الإندوبلازمية (ER)، والغشاء النووي – وهو امتداد للشبكة الإندوبلازمية يعزل النواة، ويحميها– نشأت من مثل هذه الانثناءات (الشكل 29-3).



الشكل 29-3

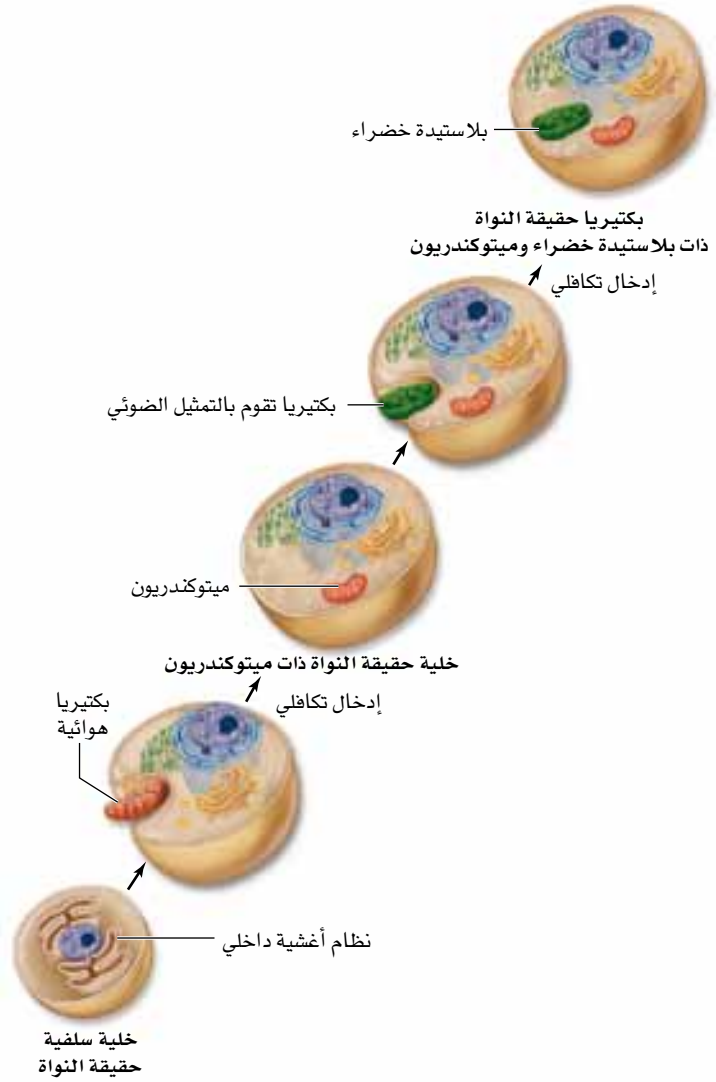
أصل النوى والشبكة الإندوبلازمية. يمتلك كثير من بدائيات النوى اليوم انثناءات للغشاء البلازمي (انظر أيضًا الشكل 27-6). الجهاز الداخلي الغشائي لحقيقية النواة المسمى الشبكة الإندوبلازمية، والغلاف النووي ربما نشأت من مثل هذه الانثناءات للغشاء البلازمي، التي غلفت DNA للخلايا بدائية النوى، وهذا الأمر أدى إلى ظهور خلايا حقيقية النوى.



نشأت الميتوكندريا من بكتيريا هوائية مبتلعة

تُسمى البكتيريا التي تعيش داخل خلايا أُخرى، وتؤدي وظائف أُخرى خاصة في خلايا عوائلها بكتيريا التكافل الداخلي *Endosymbiotic bacteria*. إن وجودها الواسع الانتشار في الطبيعة جعل عالِمة الأحياء لِنْ مارجيولس في بداية سنة 1970 تدافع عن نظرية التكافل الداخلي التي اقترحها أولًا قسطنطين ميريشكوفسكي سنة 1905. **التكافل الداخلي Endosymbiosis** هو العيش معًا بعلاقة وثيقة. ربما تتذكر هذه النظرية من النقاش المتعلق ببيولوجيا الخلية في الفصل الـ 4.

تقترح نظرية التكافل الداخلي، التي أصبحت أكثر قبولًا اليوم، أن مرحلة حرجة في تطور الخلايا حقيقية النوى تتضمن علاقات تكافل داخلي مع مخلوقات بدائية النوى. بحسب هذه النظرية، ربما استقرت بكتيريا منتجة للطاقة داخل بكتيريا أكبر، معطية في النهاية ما نعرفه نحن اليوم، الميتوكندريا (الشكل 29-4).



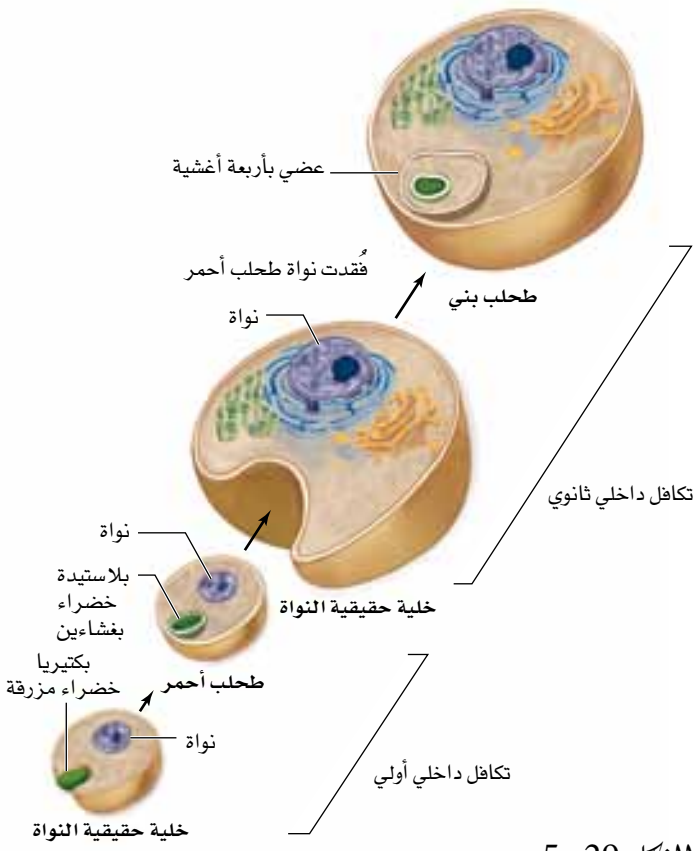
الشكل 29-4

نظرية التكافل الداخلي. اقترح العلماء أن خلايا حقيقية النوى سلفية، تمتلك نظامًا داخليًّا للأغشية، ابتلعت بكتيريا هوائية، التي أصبحت فيما بعد ميتوكندريا في الخلية حقيقية النواة. نشأت البلاستيدات الخضراء بالطريقة نفسها، في خلايا حقيقية النوى ابتلعت بكتيريا تقوم بالتمثيل الضوئي.

نشأت البلاستيدات الخضراء من بكتيريا مبتلعة تقوم بعملية التمثيل الضوئي

يُعتقد أن بكتيريا تقوم بالتمثيل الضوئي استوطنت في بكتيريا أكبر مؤديةً إلى نشوء البلاستيدات الخضراء، وهي عضيات التمثيل الضوئي في النباتات والطحالب (راجع الشكل 29-4). إنّ تاريخَ نشوء البلاستيدة الخضراء مثالٌ على الحذر الذي يجب أخذه في الحسبان في دراسات تاريخ الأنواع. ربما اشتقت كل البلاستيدات الخضراء من خط واحد من البكتيريا الزّرقاء، ولكن المخلوقات التي استضافت هذه البلاستيدات الخضراء لم تكن وحيدة الأصل. تم حلّ هذا التعارض الواضح باعتماد احتمال التكافل الداخلي الثانوي، أو حتى المستوى الثالث. يُفسر (الشكل 29-8) كيف أنّ كلًّا من الطحالب الحمراء والخضراء قد حصلت على البلاستيدات الخضراء عن طريق ابتلاع بكتيريا زرقاء تقوم بالتمثيل الضوئي. ربما تكون الطحالب البنية قد حصلت على بلاستيداتها الخضراء عن طريق ابتلاع طحلب أحمر واحد أو أكثر، وهي عملية تدعى **التكافل الداخلي الثانوي Secondary endosymbiosis** (الشكل 29-5). (كما ذكرنا، تم الحديث عن الطحالب الخضراء في الفصل اللاحق على الرغم من أنها طلائعيات).

أظهرت دراسةُ شجرة تاريخ الأنواع بالاعتماد على ترتيب القواعد النيتروجينية لجين البلاستيدات الخضراء من طحالب حمراء وخضراء علاقةً تطوريةً قريبةً



الشكل 29-5

أصول التكافل الداخلي للبلاستيدات الخضراء في الطحالب الحمراء والبُنية.

استقصاء

كيف يمكنك التمييز بين التكافل الداخلي الأولي والثانوي بالنظر إلى صور مأخوذة بالمجهر الإلكتروني لخلايا ذات بلاستيدات خضراء؟

بشكل عجيب. هذه الشجرة مُضَلِّلة، على كل حال؛ لأنّ من الصعب القول من خلال هذه المعلومات فقط كم اختلف (ابتعد) خَطّا الطحالب في الوقت الذي ابتلعا به خط البكتيريا الزرقاء نفسه. إن الصفات الشكلية والكيميائية أكثر فائدة من ترتيب القواعد النيتروجينية في جين البلاستيدات الخضراء في فهم علاقات الطحالب الخضراء والحمراء. ما زلنا في حاجة إلى معلومات وتحليل أكثر لتأكيد موقع الطحالب الحمراء في الشكل 29-1.

لم يكن التكافلُ الداخلي نادرَ الحدوث

تحتوي كثير من الخلايا حقيقة النوى على بكتيريا تكافل داخلي أُخرى إضافة إلى الميتوكندريا. فربما انضمت بكتيريا بأسواط، وهي زوائد خلوية طويلة تشبه السوط تستعمل في الحركة، تكافليًّا مع بكتيريا غير مزودة بأسواط لإنتاج خلايا أكبر قادرة على الحركة. إنّ المريكزات، وهي عضيات مرتبطة بتكوين الأنيبيبات الدقيقة، تشبه البكتيريا الحلزونية من نواحٍ عدة، وتحتوي على DNA يشبه ذلك الذي في البكتيريا، مسؤول عن إنتاج بروتيناتها البنائية.

حقيقة أننا نشهد الآن كثيرًا من العلاقات التكافلية تقدِّمُ دعمًا عامًّا لنظرية التكافل الداخلي. إن دعمًا أقوى يأتي من ملاحظة أن العضيات الحالية مثل الميتوكندريا، والبلاستيدات الخضراء والمريكزات تحتوي على DNA خاص بها، وهو شبيه لدرجة كبيرة بـ DNA البكتيريا في الحجم والصفة.

هاجرت الجينات من عضيات ذات تكافل داخلي

خلال البليون ونصف بليون سنة التي وجدت فيها الميتوكندريا بوصفها أعضاء تكافل داخلي داخل الخلايا حقيقية النوى، انتقلت معظم جيناتها إلى كروموسومات الخلايا المضيفة، ولكن ليس الجينات كلّها. كل ميتوكندريون بقي يحتفظ بمحتواه الجيني الخاص، جزيء DNA دائري، مغلق شبيه بذلك الموجود في البكتيريا، توجد عليه جينات مسؤولة عن بروتينات الأيض المؤكسد. هذه الجينات يتم نسخُها داخل الميتوكندريون، باستخدام رايبوسومات الميتوكندريا التي هي أصغر من تلك التي في الخلايا حقيقية النوى، وهي شبيهة جدًا برايبوسومات البكتيريا من حيث الحجم والتركيب.

تنقسم الميتوكندريا بالانشطار البسيط، تمامًا كما تفعل البكتيريا. على كل حال، تتحكم جينات النواة في العملية، ولا تستطيع الميتوكندريا النمو خارج الخلية حقيقة النوى، في وسط زراعي خالٍ من الخلايا.

نشأ الانقسام المتساوي في حقيقية النوى

آليات الانقسام المتساوي، وانقسام السيتوبلازم الشائعة الآن بين حقيقية النوى، لم تنشأ دفعة واحدة. القليل جدًا من آليات مختلفة، وربما وسطية، توجد اليوم في بعض حقيقية النوى. فمثلًا، في الفطريات وبعض مجموعات الطلائعيات، لا يختفي الغشاء النووي، كما يحصل في النباتات، أو الحيوانات، أو معظم الطلائعيات الأُخرى، وينحصر الانقسام المتساوي في النواة. عندما ينتهي الانقسام المتساوي في هذه المخلوقات، تنقسم النواة إلى نواتين جديدتين، ومن ثَمَّ تنقسم بقية الخلية. لا نعلم فيما إذا كان الانقسام المتساوي دون تحلل الغشاء النووي يمثل خطوة وسطية في رحلة التّطوّر، أم هو، ببساطة، طريقة أخرى لحل المشكلة نفسها. لا نستطيع أن نرى جيدًا داخل خلايا أحفورية تنقسم لنتمكن من تتبع تاريخ الانقسام المتساوي.

تنص نظرية التكافل الداخلي على أن الميتوكندريا، والبلاستيدات الخضراء، وربما عضيات أخرى نشأت بوصفها بكتيريا تكافلية. مع الوقت، انتقلت جينات من البلاستيدات الخضراء والميتوكندريا إلى النواة، ولم يعد المحتوى الجيني للعضية شموليًا بوصفه بكتيريا حرة المعيشة.

3-29 البيولوجيا العامة للطلائعيات

اتحدت الطلائعيات على أساس صفة واحدة سلبية؛ هي أنها حقيقية النوى، وليست فطريات، أو نباتات، أو حيوانات. في نواحٍ أخرى، هي عالية التنوع، دون صفات جامعة. كثير منها وحيد خلية، ولكن الكثيرَ منها على شكل مستعمرات ومتعددات خلايا. معظمها مجهرية، ولكن بعضها كبير بحجم شجرة. إنها تظهر أنواع التماثل جميعها، وتمتلك أنواع التغذية كلّها.

تتنوع سطوح الخلايا بشكل كبير في الطلائعيات

تمتلك الطلائعيات عددًا كبيرًا متنوعًا من سطوح الخلايا. بعض الطلائعيات مثل الأميبيات، محاطة بغشاء بلازمي فقط. الطلائعيات الأُخرى جميعها تمتلك غشاء بلازميًّا مع حشوة خارج خلوية متراكمة على السطح الخارجي للغشاء. ويُشكل بعض أشكال الحشوة جدرانًا خلوية قوية. تُفرز الدياتومات والفورامنيفرا أصدافًا زجاجية من مادة السيليكا.

نجحت كثير من الطلائعيات ذات السطوح الرقيقة في الكثير من البيئات القاسية. كيف نجحت في البقاء بشكل جيد؟ لقد شكلت حويصلات أو أكياسًا، وهي أشكال ساكنة من الخلايا ذات غطاء خارجي قاسٍ، ويكون فيها معدل الأيض منخفضًا لدرجة الكفاف. ومن الجدير بالذكر أن ليس للحويصلات جميعها الدرجة نفسها من المقاومة؛ فأشكال الأميبا المتطفلة على الفقريات تشكل حويصلات تقاوم حموضة المعدة، ولكنها لا تتحمل الجفاف، ولا درجة الحرارة العالية.

يمتلك كثير من الطلائعيات وسائل حركة متعددة

تعتمد حركة الطلائعيات على آليات متعددة. تتحرك الطلائعيات أساسًا بطريقتين: دوران الأسواط، وحركة الأقدام الكاذبة. تحرك كثير من الطلائعيات سوطًا أو سوطين لتدفع أجسامها خلال الماء، وأُخرى تستعمل مجموعات من تراكيب قصيرة تشبه الأسواط، تدعى الأهداب، لصنع تيارات مائية لتغذيتها وحركتها. الأقدام الكاذبة هي أهم وسيلة حركة بين الأميبيات، التي تكون عادة أقدامها الكاذبة كبيرة، وتشكل امتدادات غير مدببة من جسم الخلية تدعى الأقدام المفصصة. طلائعيات أُخرى قريبة تمد بروزات رفيعة متشعبة تُدعى الأقدام الخيطية. وتمدّ طلائعيات أخرى أقدامًا كاذبة طويلة ورفيعة تُدعى الأقدام المحورية، يدعمها عصيٌّ محورية من الأنيبيبات الدقيقة. يمكن للأقدام المحورية أنْ تتمدد وتنكمش. ولأنّ القمم يمكنها أنْ تلتصق بالسطوح المجاورة، فإن الخلية يُمكنها أن تتحرك عن طريق الحركة الدورانية، مقصرةً الأقدام المحورية التي في الأمام، ومادّةً أقدامها التي في الخلف.

تمتلك الطلائعيات إستراتيجيات تغذية مختلفة

توظف الطلائعيات أيّ شكل من أشكال الاستحواذ الغذائي، إلاّ الشكل الذاتي التغذية الكيميائي الذي لوحظ حتى الآن في بدائيات النوى فقط. تقوم بعض

الطلائعيات بالتمثيل الضوئي وتسمى **ضوئية التغذية Phototrophs**. طلائعيات أُخرى عضوية التغذية (غير ذاتية التغذية) تحصل على الطاقة من الجزيئات العضوية التي تصنعها مخلوقات أُخرى.

من بين الطلائعيات عضوية التغذية تلك التي تبتلع جزيئات غذاء واضحة بالعين، وتدعى **ابتلاعية التغذية Phagotrophs**. تُدخل ابتلاعية التغذية جزيئات الغذاء إلى حويصلات داخل خلوية تسمى فجوات الغذاء أو أجسام ابتلاع. تلتحم الأجسام الحالَّة مع فجوات الغذاء، مطلقة أنزيمات تهضم جزيئات الغذاء داخلها. يتم امتصاص الجزيئات المهضومة عبر غشاء الفجوة.

الطلائعيات التي تبتلع الغذاء السائل تُدعى **أسموزية التغذية Osmotrophs**. ويمكن للطلائعيات أنْ تمتلك مرونة عالية كما في **خلطية التغذية Mixotrophs**، وهي طلائعيات ذاتية التغذية الضوئية وعضوية التغذية في آن واحد.

تتكاثر الطلائعيات جنسيًّا ولاجنسيًّا

تتكاثر الطلائعيات لاجنسيًّا، على الرغم من أن بعضها يمتلك مرحلة تكاثر جنسي إجبارية، في حين يتكاثر بعضها الآخر جنسيًّا وقت الأزمات، عند نقص الغذاء مثلًا.

التكاثر اللاجنسي

يتضمن **التكاثر اللاجنسي Asexual reproduction** الانقسام المتساوي، لكن العملية على الأغلب تختلف نوعًا ما عن الانقسام المتساوي الذي يحدث في الحيوانات متعددة الخلايا. فمثلًا، يبقى الغشاء النووي عادة خلال الانقسام المتساوي، مع تكوّن الخيوط المغزلية داخله.

في بعض الأنواع، تنقسم الخلية ببساطة إلى نصفين متساويين تقريبًا بعد الانقسام المتساوي. أحيانًا، تكون الخلية الابنة أصغر بكثير من الخلية الأم، ومن ثَمَّ تنمو إلى حجم البالغ، ويُدعى هذا الانقسام الخلوي **التبرعم Budding**. **الانشطار Schizogony**، شائع بين بعض الطلائعيات، ويسبق انقسام السيتوبلازم انقسامات نووية عدة، وينتج من هذا أفراد عدة في الوقت نفسه تقريبًا.

التكاثر الجنسي

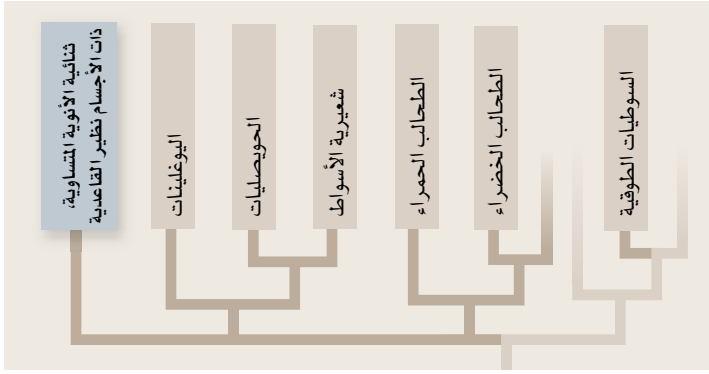
تمتلك معظم الخلايا حقيقية النوى أيضًا القدرة على التكاثر الجنسي، وهي عملية لا تمتلك بدائيات النوى القدرة على القيام بها. الانقسام المنصف (راجع الفصل الـ 11) هو أهم حدث تطوري ظهر في أسلاف الطلائعيات، وسمح بإنتاج خلايا أحادية العدد الكروموسومي من خلايا ثنائية العدد الكروموسومي. **التَكاثُر الجنسيّ Sexual reproduction** عمليةُ إنتاج أجيال عن طريق الإخصاب، أي اتحاد خليتين أحاديتي العدد الكروموسومي. من الإيجابيات العظيمة للتكاثر الجنسي أنه يسمح بالخلط الوراثي، الذي ولّد التنوع الذي كان نقطة بدء للتطور. لا تتكاثر حقيقية النوى جميعها جنسيًّا، لكن معظمها يمتلك القدرة على ذلك. أدى نشوء الانقسام المنصف والتكاثر الجنسي إلى انفجار هائل في التنوع بين حقيقية النوى.

الطلائعيات هي الجسر لتعدّد الخلايا

شجع التنوع أيضًا على ظهور **تعددية الخلايا Multicellularity**. بدأت بعض أحاديات الخلية بالعيش متحدة مع بعضها في مستعمرات. في النهاية، بدأ أعضاء المستعمرة بشكل فردي بالأخذ على عاتقهم مسؤوليات مختلفة، وبدأت المستعمرة بأخذ خصائص الفرد الواحد. ظهر تعدد الخلايا مرات عدة بين حقيقية النوى. عمليًّا، كلُّ مخلوق كبير بشكل كافٍ لكي يُرى بالعين المجرّدة – بما في ذلك النباتات والحيوانات جميعها– هو متعدد الخلايا. الإيجابية العظمى لتعدد الخلايا هي أنه يتبنى التخصص؛ بعض الخلايا تكرس كل طاقاتها لمهمة واحدة، في حين تكرَّس خلايا أُخرى لمهمات أُخرى. إبداعات قليلة كان لها تأثير عظيم على تاريخ الحياة تمامًا مثل التّخصص الذي أصبح ممكنًا عن طريق التّعدّد الخلويّ.

امتلكت الطلائعيات تنوعًا واسعًا في: الشكل، والحركة، والتغذية، والتكاثر.

4-29 ثنائية الأنوية المتساوية (الدبلوموناذ) وذات الأجسام نظير القاعدية (البارابيساليد): طلائعيات ذات أسواط تفتقر إلى الميتوكندريا



كيف كان أول حقيقي نواة؟ لا نستطيع أن نكون متأكدين، ولكن **ثنائية الأنوية المتساوية Diplomonads** وذات الأجسام **نظير القاعدية Parabasalids** ربما امتلكت أسلافًا حقيقية النواة مبكرًا. على الرغم من أن هذه المجموعات تملك صفات متشابهة، فإن الاختلاف بينهما وضعهما في مجموعتين مختلفتين.

تمتلك ثنائية الأنوية المتساوية نواتين

ثنائية الأنوية المتساوية مخلوقات وحيدة الخلية، وتتحرك بالأسواط. تفتقر هذه المجموعة للميتوكندريا، ولكن لها نواتان. الجيارديا *Giardia intestinalis* مثالٌ على الدبلوموناد (الشكل 29-6). الجيارديا طفيل ينتقل من إنسان إلى آخر عن طريق الماء الملوث، مسبِّبة الإسهال. توجد جينات الميتوكندريا في أنويتها، ما يقود إلى الاستنتاج بأن الجياردیا نشأت من مخلوقات هوائية، ولهذا فمن غير المحتمل أن تمثل الجياردیا الطلائعيات المبكرة.

تمتلك ذات الأجسام نظير القاعدية أغشية متموجة

تحتوي ذات الأجسام نظير القاعدية على سلسلة من الأنواع. بعضها يعيش في أمعاء النمل الأبيض، ويقوم بتحطيم السيليولوز، وهو المكون الأساسي في غذاء النمل الأبيض المعتمد على الخشب. العلاقة التكافلية أكثر تعقيدًا بدرجة على الأقل؛ لأن هذه المخلوقات تمتلك علاقة تكافلية مع بكتيريا تساعد أيضًا على هضم السليليوز. إن استمرار العلاقة التكافلية بين هذه المخلوقات الثلاثة من

.62 µm

الشكل 29–6

الجيارديا *Giardia intestinalis*. هذا المخلوق ثنائي النوى المتساوية المتطفل يفتقر للميتوكندريون.

ممالك مختلفة، يمكن أنْ يؤدي إلى انهيار منزل مبني من الخشب، أو إعادة تدوير أطنان من الأشجار الساقطة في غابة. ويسبب مخلوق آخر من الباراباساليد هو ترايكوموناس *Trichomonas vaginalis*، مرضًا ينتقل جنسيًّا في البشر.

تمتلك ذات الأجسام نظير القاعدية أغشية متموجة تساعد على الحركة (الشكل 29-7). هي كمثل الدبلوموناد، تستعمل ذات الأجسام نظير القاعدية

.83 µm

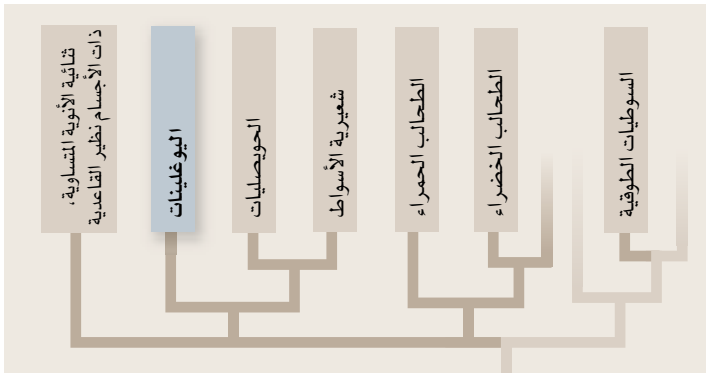
الشكل 29–7

الغشاء المتموج خاصية لذات الأجسام نظير القاعدية. يمكن أن يحدث التهاب المهبل من هذا النوع المتطفل من ترايكوموناس *Trichomonas vaginalis*.

أيضًا الأسواط لكي تتحرك، وهي تفتقر للميتوكندريا. إن افتقارها للميتوكندريا يُعتقد الآن أنه صفة مشتقة لا سلفية.

ثنائية الأنوية المتساوية وذات الأجسام نظير القاعدية مخلوقات مرتبطة بقوة بالمخلوقات المنقرضة الآن من حقيقية النوى المبكرة. إنها تفتقر للميتوكندريا، ولكنها ربما فقدتها، وليس أنها لم تكتسبها مطلقًا.

5-29 اليوغلينات: مجموعة متنوعة، يمتلك بعض أعضائها بلاستيدات خضراء



من ضمن صفاتها المميزة، اكتسب عدد من **اليوغلينات Euglenozoa** بلاستيدات خضراء عن طريق التكافل الداخلي. لا يوجد أي طحلب يرتبط ارتباطًا وثيقًا مع اليوغلينات، وهذا يذكّرنا بأن التكافل الداخلي واسع الانتشار. وفي فترة ما، عُدّت هذه المخلوقات حيوانات، ولهذا ينتهي الاسم بالمقطع zoa وتعني حيوان.

نظيرة اليوغلينا هي حقيقية النوى وحرة المعيشة ولها أسواط أمامية

انفصلت **نظيرة اليوغلينا Euglenoids** مبكرًا، وكانت من بين أوائل حقيقية النوى حرة المعيشة التي امتلكت الميتوكندريا. تمثل نظيرة اليوغلينا بوضوح استحالة تمييز "النباتات" عن "الحيوانات" ضمن الطلائعيات. يمتلك تقريبًا ثلث الـ 40 جنسًا تقريبًا من نظيرة اليوغلينا بلاستيدات خضراء، وهي ذاتية التغذية بشكل تام. أما البقية، فيفتقرون إلى البلاستيدات الخضراء، ويبتلعون غذاءهم، وغير ذاتيي التغذية.

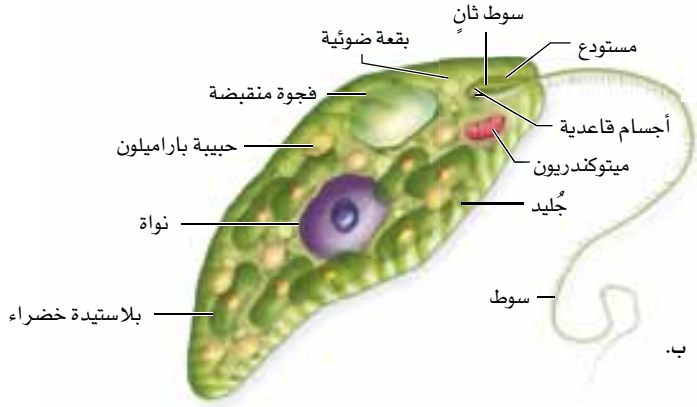
قد تُصبح بعض نظيرة اليوغلينا التي تمتلك بلاستيدات خضراء غير ذاتية التغذية في الظلام؛ إذ تصبح البلاستيدات صغيرة وغير فعّالة. فإذا وضعت نظيرة اليوغلينا هذه في الضوء مرة أُخرى، فقد تصبح خضراء بعد ساعات قليلة. وقد تتغذى نظيرة اليوغلينا أحيانًا على الغذاء الذائب أو على دقائق الغذاء.

نظيرة اليوغلينا منفردة، يتراوح طولها من 10 إلى 50 ميكرومترا، وهي متنوعة كثيرًا في الشكل. تشكل أشرطة متداخلة بروتينية مرتبة حلزونيًّا تركيبًا مرنًا يُدعى القشرة، أو الجليد *Pellicle*، تقع في الغشاء البلازمي لنظيرة اليوغلينا. ولأنّ القشرة مرنة، فإن نظير اليوغلينا يمكنه تغيير شكله.

الشكل 29-8

نظيرة اليوغلينا. أ. صورة بالمجهر الإلكتروني لـ *Euglena gracilis*. ب. رسم لليوغلينا. حبيبات الباراميلون هي مناطق تخزين الغذاء.

أ.



ب.

يحدث التكاثر في هذه القبيلة عن طريق الانقسام المتساوي. وخلال هذا الانقسام، يبقى الغلاف النووي متماسكًا. والتكاثر الجنسي غير معروف في هذه المجموعة.

اليوغلينا، أكثر نظيرة اليوغلينا شهرة

في اليوغلينا (*Euglena*) (الشكل 29-8)، وهو الجنس الذي سميت به القبيلة، يرتبط سوطان عند قاعدة فتحة تشبه الدورق تدعى المستودع *Reservoir*، وتوجد في النهاية الأمامية للخلية. أحد الأسواط طويل، ويمتلك صفًّا من زوائد تشبه الشعر، قصيرة جدًا، ورفيعة على طول أحد الجوانب. السوط الثاني أقصر، ويوجد داخل المستودع، ولكن لا يخرج منه. تجمع الفجوات المنقبضة الماء الزائد من أجزاء المخلوق جميعه، وتُفرغه داخل المستودع الذي ينظم على ما يبدو الضغط الأسموزي داخل المخلوق. البقعة العينية، وهي عضو يوجد أيضًا في الطحالب الخضراء (قبيلة الطحالب الخضراء)، حسّاسة للضوء، وتساعد هذه المخلوقات على التحرك نحو الضوء من أجل عملية التمثيل الضوئي.

تحتوي خلايا اليوغلينا على كثير من البلاستيدات الخضراء الصغيرة. هذه البلاستيدات الخضراء، مثل تلك التي في الطحالب الخضراء والنباتات، تحتوي على الكلورفيل أ و ب، إضافة إلى الكاروتينويدات. وعلى الرغم من أنّ البلاستيدات الخضراء في نظيرة اليوغلينا تختلف في التركيب نوعًا ما عن تلك التي في الطحالب الخضراء، إلاّ أنه قد يكون لهما أصل مشترك. من المحتمل على ما يبدو أنّ البلاستيدات الخضراء لنظيرة اليوغلينا نشأت في النهاية من علاقة تكافلية من خلال ابتلاع طحالب خضراء. وقد أشار دليل حديث إلى أنّ اليوغلينا تمتلك أصولًا متعددة داخل نظيرة اليوغلينا، وأنّ مفهوم الجنس الواحد لليوغلينا أصبح الآن مشكوكًا فيه.

الكاينيتوبلاستيدات طفيليةٌ

المجموعة الثانية الكبيرة في اليوغلينات هي **الكاينيتوبلاستيدات Kinetoplastids**. يشير الاسم كاينيتوبلاستيد إلى ميتوكندريون فريد ووحيد في كل خلية. تمتلك الميتوكندريا نوعين من DNA: دوائر صغيرة وأخرى كبيرة. (تذكّر أنّ بدائيات النوى تملك DNA دائريًّا، وأنّ الميتوكندريا ذات أصول بدائية النوى). هذا الـ DNA داخل الميتوكندريا مسؤول عن عملية التحلل الجلايكولي السريعة جدًا، ومسؤول أيضًا عن نوع غير عادي من عمليات تنقيح DNA عن طريق جزيئات RNA موجهة ومشفرة في الدوائر الصغيرة.

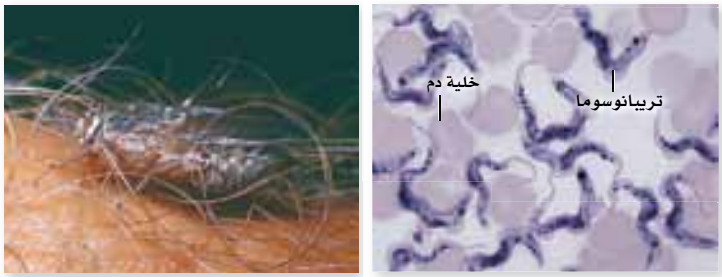
التريبانوسومات: كاينيتوبلاستيدات مسببة للمرض

نشأ التطفل مرات عدة داخل الكاينيتوبلاستيدات. التريبانوسوماتُ مجموعةٌ من الكاينيتوبلاستيدات تسبب أمراضًا بشرية خطيرة، أكثرها شهرة هو مرض النوم الإفريقي، الذي يسبب نعاسًا شديدًا وتعبًا (الشكل 29-9).

يسبب مرض اللشمانيا، الذي تنقله ذبابة الرمل، تقرُّحات جلدية، وفي بعض الحالات يمكنه التأثير في الأعضاء الداخلية، مؤديًا إلى الموت. وتسجل 1.5 مليون حالة جديدة تقريبًا كل عام. ويرتبط ارتفاع حالات مرض اللشمانيا في جنوب إفريقيا مع انتقال الأشخاص المصابين من الرّيف إلى المدينة، حيث تكون الفرصة أكبر لانتشار الطفيل.

مرض تشاغاز سببه *Trypansoma cruzi*. هناك 90 مليون شخص على الأقل، من جنوب الولايات المتحدة إلى الأرجنتين، معرضون لفرصة التقاط *T. cruzi* من حيوانات برية صغيرة من الثدييات تحمل الطفيل وباستطاعتها نقله إلى ثدييّات أُخرى وإلى الإنسان من خلال ملامسة الجلد للبول والبراز. وزادت عمليات نقل الدم أيضًا من انتشار المرض. يمكن أنْ يؤدي مرض تشاغاز إلى مشكلات قلبية وهضمية في البشر والحيوانات الأليفة، ولكن يبدو أنّ الثدييات البرية قادرة على تحمله.

مكافحة المرض صعبة بشكل خاص، بسبب الخصائص الفريدة لهذه المخلوقات. فمثلًا، التريبانوسومات التي تنقلها ذبابة تسي تسي طوّرتْ آليةً وراثية للتغيير المستمر لطبيعة مولد الضد (الأنتيجن) للغلاف الواقي المصنّع من البروتينات السكرية، وبهذا فهي تراوغ الأجسام المضادة التي ينتجها مضيفها (راجع الفصل الـ 51). جين واحدٌ فقط من بين 1000 – 2000 جين متنوع مسؤول عن مولد الضد يتم التعبير عنه في المرة الواحدة. وتسمح إعادة ترتيب الجينات في



ب. أ.

الشكل 29-9

كاينيتوبلاستيد. أ. تريبانوسوما بين خلايا دم حمراء. الأنوية (أجسام مصبوغة بلون غامق)، والأسواط أمامية، والشكل متموج والمتغير للتريبانوسوما كلها واضحة في هذه الصورة. ب. ذبابة تسي تسي، تظهر هنا، وهي تمتص الدم من ذراع إنسان، يمكن لهذه الذبابة أن تحمل التربانوسوما.

أثناء التكاثر اللاجنسي للمخلوق بالتعبيرعن الجينات بعدد من الاحتمالات التي على ما يبدو لا نهاية لها.

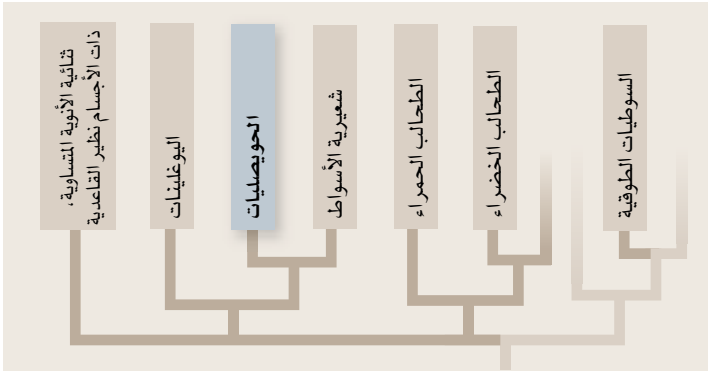
في أمعاء الذباب الذي ينقلها، تكون التريبانوسومات غير مسببة للمرض. فعندما تصبح جاهزة للنقل إلى الجلد أو مجرى دم المضيف، تهاجر التريباتوسومات إلى الغدد اللعابية، وتكتسب الغلاف السميك من مولدات الضد البروتينية السكرية التي تحميهم من الأجسام المضادة للمضيف. بعد ذلك، وعندما تأخذها ذبابة تسي تسي ثانية، تنزع التريبانوسومات غُلُفها مرة أخرى.

إن إنتاج مطاعيم ضد مثل هذا النظام يُعَدُّ معقدًا، ولكن التجارب لا تزال تُجرى. إن إطلاقَ ذباب عقيم لإعاقة تكاثر الذباب طريقةٌ أخرى للوصول إلى مكافحة مجموعات الذّباب. وقد أثبتت مصائدُ مصنوعة من أقمشة غامقة اللون أضيفت إليها رائحة الأبقار، وسممت بمبيدات حشرية- نجاعتَها.

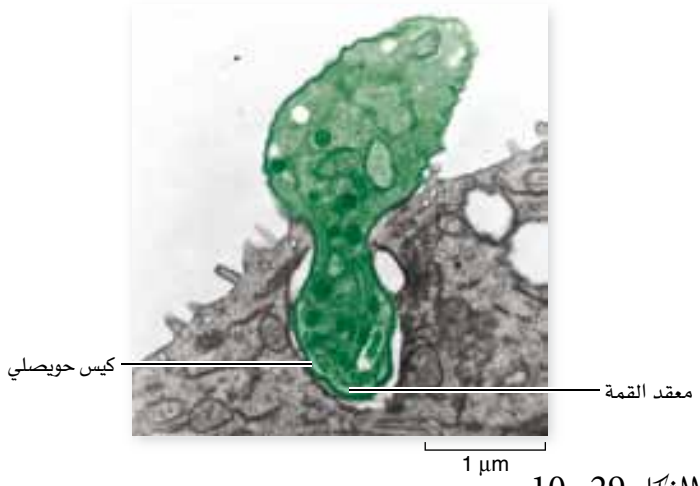
إن معرفة تعاقب القواعد النيتروجينية للمحتوى الجينيّ لثلاثة كاينيتوبلاستيدات، الذي وُصِفَ سابقًا، أظهر لبًّا مشتركًا بين الثلاثة كاينيتوبلاستيدات، كما وصفنا في (الفصل الـ 24). إن الضريبة الباهظة التي تفرضها الأنواع الثلاثة على حياة البشر يمكن أنْ تُخفف وطأتها بتطوير عقار واحد موجه إلى بروتين أو أكثر من مجموعة البروتينات المشتركة بين الطفيليات الثلاث.

تشمل اليوغلينات طلائعيات حرة المعيشة، وطفيلية تتحرك عن طريق الأسواط. تمتلك نظيرة اليوغلينا بلاستيدات خضراء حصلت عليها عن طريق التكافل الداخلي. تمتلك الكاينيتوبلاستيدات، مثل التريبانوسومات، ميتوكندريا غير عادية تستخدم تنقيحًا عن طريق RNA.

6-29 الحويصليات (ألفيولاتا): طلائعيات ذات حويصلات تحت غشائية



تشمل **أعضاء الحويصليات Alveolata** كلًّا من **السوطيات الثنائية الدوارة Dinoflagelletes**؛ **ومعقدات القمة Apicomplexans**، **والهُدبيّات Ciliates**. وجميعها لها نسب مشترك، على الرغم من أنّ لكل منها طريقة حركة خاصة. الصفة المشتركة الوحيدة لها جميعًا هي وجود حويصلات منبسطة (ومن هنا جاء الاسم) مرصوصة على شكل طبقة متصلة تحت أغشيتها البلازمية (الشكل 29-10). ربما تقوم الحويصلات بوظيفة النقل الغشائي، بشكل مشابه لأجسام جولجي.



الشكل 29-10

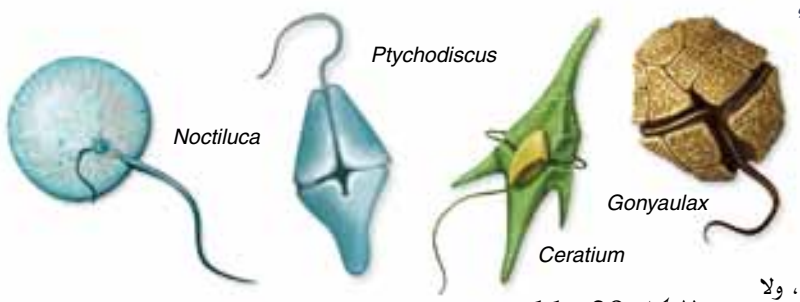
الحويصلاتُ تراكيبُ كيسية متصلة، وتقع مباشرةً تحت الغشاء البلازمي للسوطيات الدوارة. ومعقدات القمة، والهدبيات. القمة المعقدة تدفع الطفيل داخل خلايا العائل.

السوطيات الثنائية الدوارة مخلوقات تقوم بالبناء الضوئي وذات خصائص مميزة

معظمُ **السوطيات الثنائية الدوارة Dinoflagellates** مخلوقاتٌ وحيدة الخلية، تقوم بالبناء الضوئي، وتمتلك سوطين. تعيش السوطيات الثنائية الدوارة في البيئتين العذبة والمالحة. بعض السوطيات الدوارة مضيئة، وتسهم في تأثيرات اللمعان المشاهدة ليلًا في البحر، خاصة في المناطق الاستوائية.

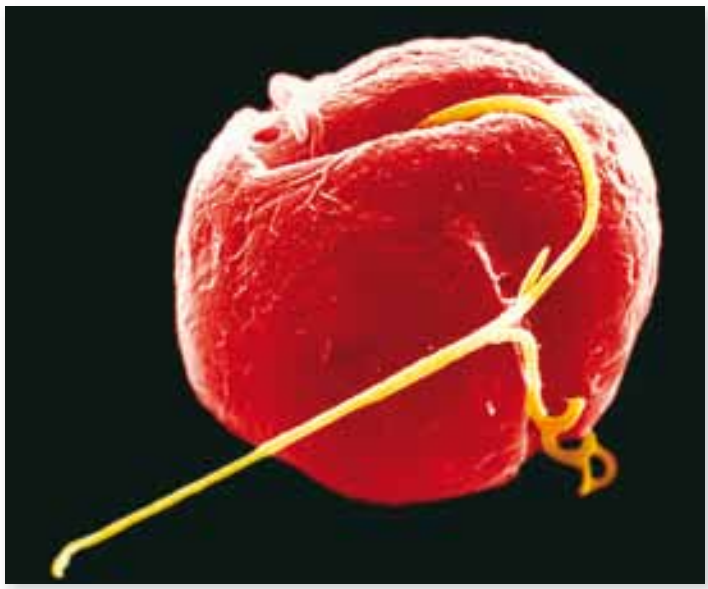
إنّ الأسواطَ، والغُلُف الواقية، والكيمياء الحيوية للسوطيات الدوارة مميزةٌ، ولا يبدو أنّ السوطيات الثنائية الدوارة لها ارتباط مع أيّ قبيلة أُخرى. تغلف خلايا السوطيات الدوارة صفائح مصنوعة من مادة تشبه السيليلوز مقواة غالبًا بالسيليكا (الشكل 29-11). وتحتضن أخاديد عند التقاء هذه الصفائح الأسواط غالبًا، التي يحيط أحدهما بالخلية مثل الحزام، ويكون الآخر عموديًّا عليه. بحركة هذه الأسواط داخل الأخاديد، تسبب دوران المخلوق في أثناء مسيره.

معظم السوطيات الثنائية الدوارة تمتلك الكلوروفيل أ و ج، إضافة إلى



الشكل 29-11

بعض السوطيات الثنائية الدوارة. *Noctiluca*، الذي يفتقد الدرع السليليوزي الذي يميز معظم السوطيات الدوارة، هو أحد المخلوقات التي تضيء حيويًّا والتي تسبب لمعان البحار الدافئة. في الأجناس الثلاثة الأخرى، يُشاهد السوط الأقصر الدوار في أخدوده، مع بروز السوط الأطول بعيدًا عن جسم المخلوق السوطي الدوار. (لم ترسم بمقياس الرسم نفسه).



الشكل 29-12

المد الأحمر. على الرغم من صِغر حجم السوطيات الدوارة، يمكن للكميات الضخمة منها، ومن ضمنها هذا النوع *Gymnopodium*، تلوين البحر باللون الأحمر، وبثّ سموم في الماء.

الكاروتينويدات، لذلك فإنها تشبه من حيث الكيمياء الحيوية لبلاستيداتها الخضراء الدياتومات والطحالب البنية. وربما اكتسبت هذه المجموعة مثل هذه البلاستيدات الخضراء عن طريق علاقات التكافل الداخلي مع أعضاء تلك المجموعات.

المد الأحمر: نمو مفرط للسوطيات الثنائية الدوارة

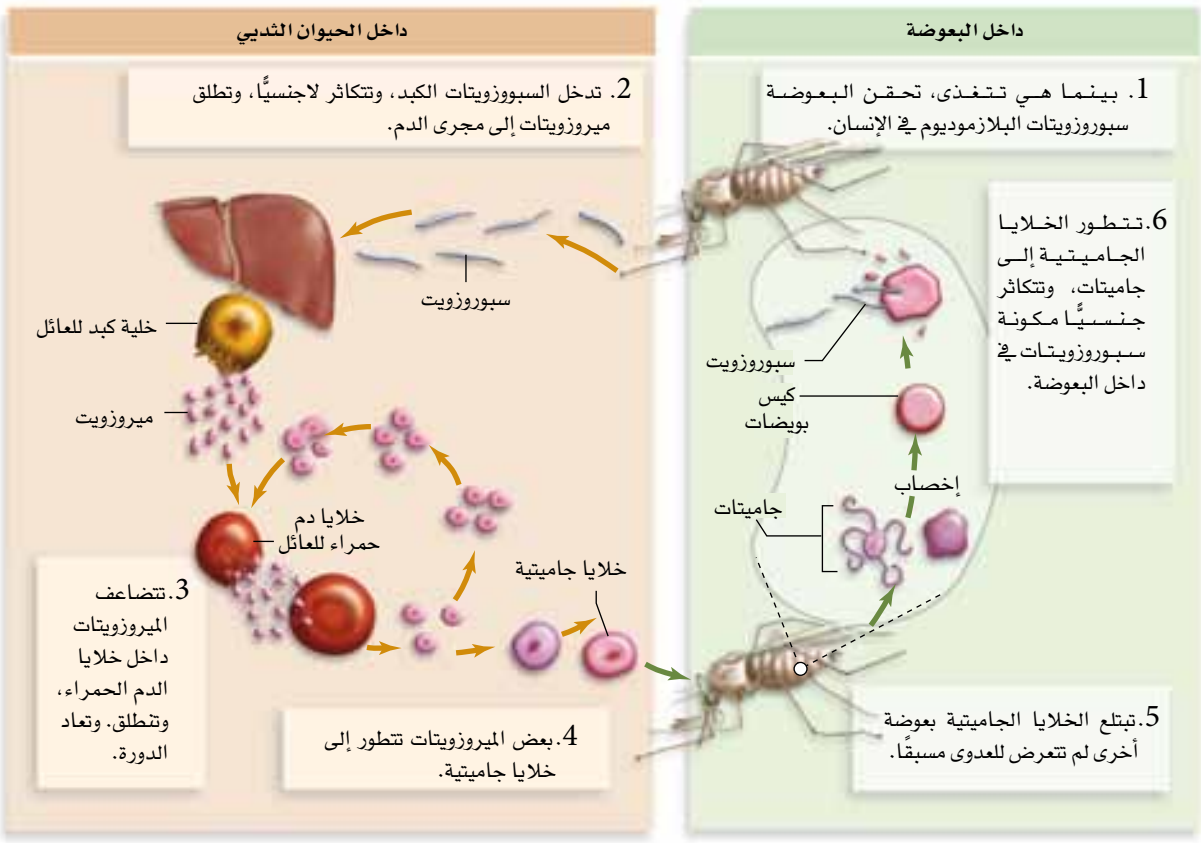
يرتبط "المدّ الأحمر" السام والمدمِّر الذي يقع بشكل متكرر في المناطق الساحلية عادة مع انفجارات سكانية مفرطة، أو "ازدهار" للسوطيات الدوارة، التي تلوّن أصباغُها المياه (الشكل 29-12). يؤثر المدّ الأحمر بصورة قوية في صناعة الصّيد في الولايات المتحدة. نحو 20 نوعًا من السوطيات الدوارة، ينتج سمومًا قوية تستوطن عضلات الحجاب الحاجز، وتسبب فشلًا تنفسيًّا في كثير من الفقريات. وعندما تصبح السوطيات الدوارة السامة مُتوافرة بكثرة، فإن كثيرًا من الأسماك، والطيور، والثدييات البحرية قد تموت.

على الرغم من أنّ التكاثر الجنسي يقع تحت ظروف المجاعة، فإنّ السوطيات الدوارة تتكاثر بشكل رئيس بالانقسام الخلوي اللاجنسي. يعتمد الانقسام الخلوي اللاجنسي على نوع فريد من الانقسام المتساوي، يتم فيه انقسام الكروموسومات الدائمة التكاثف بشكل طولي داخل الغلاف النووي الدائم. بعد أنْ تتضاعف الكروموسومات المتعددة، تنقسم النواة إلى نواتين.

إضافة إلى ذلك، فإنّ كروموسوم السوطيات الدوارة فريد من نوعه من بين حقيقية النوى، حيث إنه غير متحد بشكل عام مع بروتينات الهستونات. في كل حقيقية النوى الأُخرى، يتحد DNA الكروموسوم بشكل معقد مع الهستونات مكونًا جسيمات نووية أو نيوكليوسومات، وهي تراكيب تمثل المرحلة الأولى في عملية توضيب DNA في النواة (الفصل الـ 10). وأمّا كيف استطاعت السوطيات الدوارة المحافظة على كروموسومات مميزة مع كمية قليلة من الهستونات، فما زال لغزًا.

معقدات القمة تضم طفيل الملاريا

معقدات القمة Apicomplexans حيوانات طفيلية مكونة للأبواغ. سميت معقدات القمة بسبب الترتيب الفريد للييفات، والأنيبيات الدقيقة، والفجوات، وعضيات خلوية أخرى عند جهة واحدة للخلية، تدعى المعقد القمّي *Apical complex* (انظر الشكل 29-10). يُعَدُّ المعقد القمي هيكلًا خلويًّا وإفرازيًّا



الشكل 29-13

دورة حياة البلازموديوم. البلازموديوم معقد القمة، ويسبب مرض الملاريا، وهو يمتلك دورة حياة معقدة تتبادل بين البعوض والثدييات.

معقدًا يُمكّن المجموعة من غزو مُضيفها. أشهر معقدات القمة هو طفيل الملاريا **البلازموديوم** *Plasmodium*. (نوقش استعمال تحديد ترتيب القواعد النيتروجينية في المحتوى الجيني للطفيل والبعوض الذي يحمله في الفصل الـ 24).

البلازموديوم والملاريا

ينزلق البلازموديوم *Plasmodium* داخل خلايا الدم الحمراء الخاصة بمضيفه بحركة تشبه الحركة الأميبية. وكمعقدات القمة الأُخرى، للبلازموديوم دورة حياة معقدة تتضمن مراحل جنسية ولاجنسية، والتبادل بين مضيفين مختلفين: البعوض والبشر (الشكل 29-13). وعلى الرغم من امتلاك البلازموديوم للميتوكندريا، فإنه ينمو أفضل في بيئة قليلة الأكسجين وعالية التركيز بثاني أكسيد الكربون.

ركّزت جهود مكافحة الملاريا على: (1) القضاء على حشرات البعوض. (2) تطوير عقاقير لتسميم الطفيليات التي دخلت جسم الإنسان. (3) تطوير مطاعيم. من أربعينيّات إلى ستينيّات القرن الماضي، أدى الاستعمال الواسع لثنائي الكلور ثنائي الفينيل ثلاثي الكلورإيثان أو د.د.ت. (DDT) إلى قتل البعوض في الولايات المتحدة، وإيطاليا، واليونان، ومناطق معينة من أمريكا اللاتينية. للوهلة الأولى، بدا أنّ مكافحة الملاريا عالميًّا ممكنة. ولكن سرعان ما تلاشى هذا الأمل بظهور بعوض مقاوم لـ د.د.ت. في كثير من المناطق. إضافة إلى ذلك، ظهر لـ د.د.ت. عواقب بيئية خطيرة. إضافة إلى مشكلات سلالات البعوض المقاوم لـ د.د.ت.، ظهرت سلالات بلازموديوم مقاومة لعقاقير تاريخية استخدمت لقتلها مثل الكوينين.

يبدو أنّ مطعومًا تجريبيًّا يحتوي على بروتين سطحي لطفيل واحد مسبب للملاريا، *P. falciparum*، يحفز جهاز المناعة للدفاع ضد إصابات مستقبلية. في الاختبارات، ستة من سبعة أشخاص مُطَعَّمين لم تصبهم الملاريا بعد تعريضهم لبعوض يحمل *P. falciparum*. ويأمل كثيرون أن يقاوم هذا المطعوم الجديد الملاريا. (الفصل الـ 24 يحتوي على نقاش عن تحديد ترتيب المحتوى الجيني لكل من البلازموديوم وعائلةِ البعوض).

الجريجارينات *Gregarines*

الجريجارينات مجموعةٌ أخرى من معقدات القمة التي تستخدم المعقد القمي لربط نفسها بالخلايا الطلائية لأمعاء مفصليات القدم، والديدان الحلقية، والرّخويّات. معظم جسم الجريجارين، ما عدا المعقد القمي، يكون في تجويف الأمعاء، ويبدو أنّ الحصول على المواد الغذائية يتم من خلال ارتباط المعقد القمي مع الخلية (الشكل 29-14).

التوكسوبلازما

تهاجم التوكسوبلازما *Toxoplasma gondii* الخلايا الطلائية لأمعاء الإنسان، مستخدمة معقدها القمي. يبدي معظم الأفراد المصابين بهذا الطفيل ردة فعل مناعية، ولا يحدث أيّ تلف دائم. وبغياب جهاز مناعي فعّال بشكل كامل، يمكن للتوكسوبلازما تدمير الدّماغ (الشكل 29-15) والقلب والأنسجة الهيكلية، إضافة إلى الأمعاء والنسيج اللمفاوي، خلال العدوى طويلة الأمد. الأفرادُ المصابون بالإيدز معرضون بشكل محدد للإصابة بالتوكسوبلازما. يمكن لطفيليات التوكسوبلازما أنْ تجد طريقها من صندوق مواليد القطط إلى النساء الحوامل، ومن هناك تعبر المشيمة، وتؤذي الجنين ذا الجهاز المناعي غير المكتمل.

تتميز الهدبيّات بطريقة حركتها

كما يشير الاسم، تمتلك معظم **الهدبيات Ciliates** أعدادًا كبيرة من الأهداب (شعيرات دقيقة متحركة). هذه الطفيليات غير ذاتية التغذية، وحيدة الخلية وتبلغ في الطول من 10 - 3000 ميكرومتر. تترتب أهدابها عادة على شكل صفوف

الشكل 29-14

جريجارين يدخل خلية.

الشكل 29-15

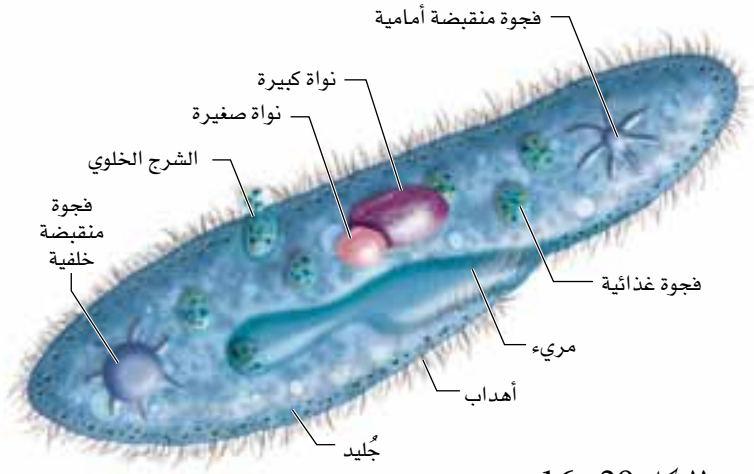
يمكن للتوكسوبلازما أن تدخل الدماغ، وتشكل أكياسًا مملوءة بطفيليات تتضاعف ببطء. صورة بالمجهر الإلكتروني لكيس مملوء بالتوكسوبلازما.

طويلة أو على شكل حلزونيّ حول الخلية. ترتبط الأهداب مع أنيبيبات دقيقة تحت الغشاء البلازمي (انظر الفصل الـ 5)، وهي تتحرك بشكل متناغم. في بعض المجموعات، تمتلك الأهداب وظائف خاصة، فقد تلتحم على شكل صفائح، وأشواك، وقضبان، ثمّ تعمل بعد ذلك كأفواه، أو مجاذيف، أو أسنان، أو أقدام.

تمتلك الهدبيات جُليدًا رقيقًا، وهو غطاء خارجي قاسٍ، ولكنه مرن، يمكّنها من الهروب من خلال العوائق أو حولها.

النوى: الصغيرة والكبيرة

تمتلك الهدبيات جميعها نوعين من الأنوية المختلفة داخل خلاياها: **نواة صغيرة Micronucleus** وأخرى **كبيرة Macronucleus** (الشكل 29-16). تنقسم النوى الكبيرة عن طريق الانقسام المتساوي، وهي ضرورية للوظيفة الفسيولوجية للمخلوق الهدبي المشهور البراميسيوم *Paramecium*. تم إزالة النوى الصغيرة لبعض أفراد *Tetrahymena pyriformis*، وهو نوع شائع في مختبرات التدريس، في ثلاثينيّات القرن الماضي، واستمر أسلافها في التكاثر اللاجنسي إلى الوقت الحاضر! مع ذلك، لم يعد البراميسيوم خالدًا لا يموت. فقد انقسمت الخلايا لاجنسيًا إلى 700 جيل تقريبًا، ومن ثَمَّ ماتت بسبب عدم حدوث التكاثر الجنسي. من الواضح أنّ النوى الصغيرة في الهدبيات مطلوبة فقط للتكاثر الجنسي.



الشكل 29-16

البراميسيوم. الصفات الرئيسة لهذا المخلوق المعروف تشمل: الأهداب، ونواتين، وعضيات متعددة متخصصة.

الفجوات

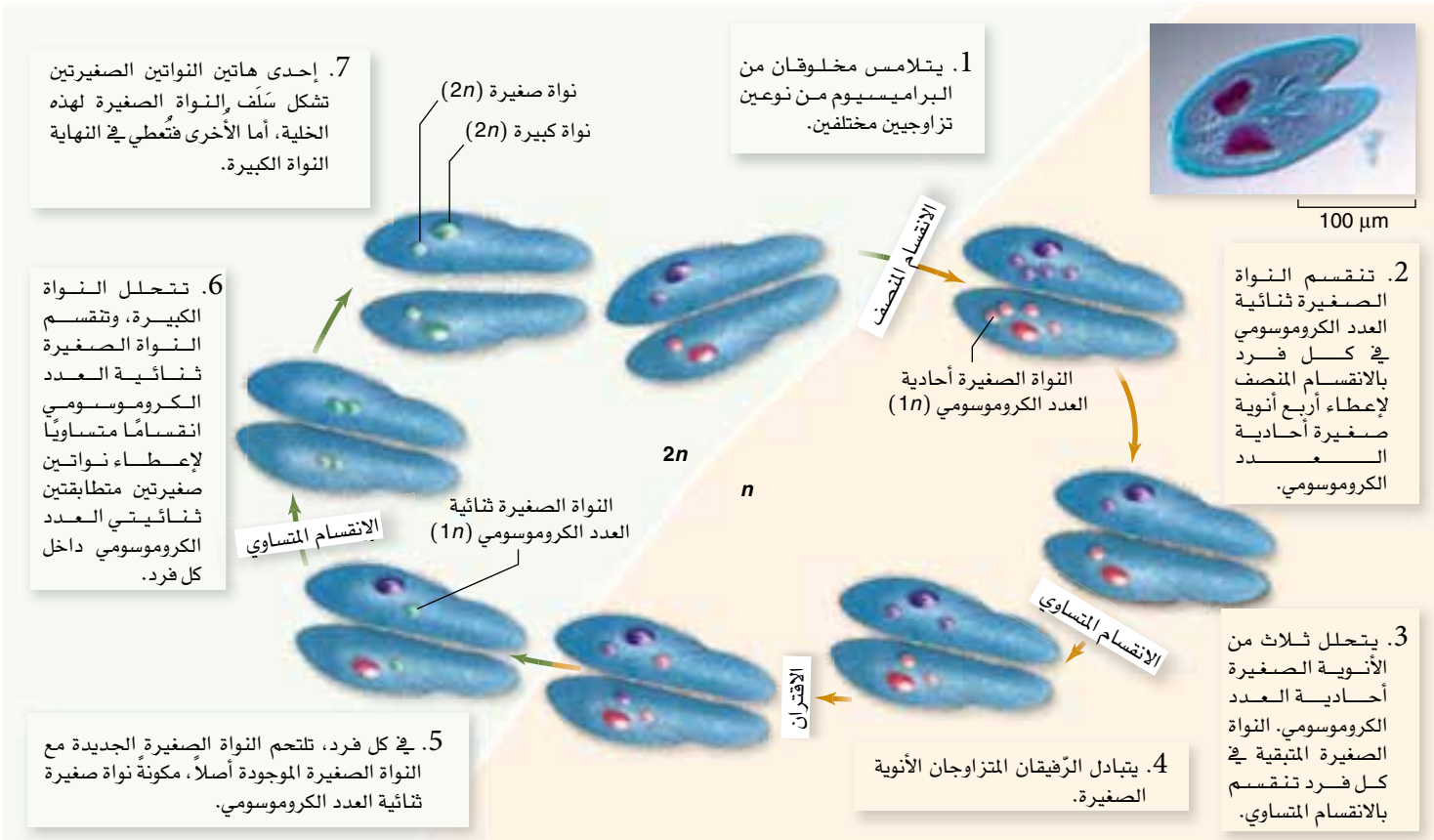
تشكل الهدبيات فجوات لابتلاع الغذاء وتنظيم الاتزان المائي. يدخل الغذاء أولًا المريء والذي يغطيه في البراميسيوم أهداب ملتحمة على شكل غشاء (الشكل 29-16). يتحرك الغذاء من المريء نحو فجوات الغذاء، حيث تساعد الأنزيمات وحامض الهيدروكلوريك في هضمه. بعد ذلك، تُفرغ الفجوة فضلاتها من خلال ثقب خاص في القشرة الرقيقة يُدعى **الشرح الخلوي Cytoproct**، وهو عبارة عن حويصلة إخراج خلوية تظهر بشكل دوري عندما تكون الجزيئات الصلبة جاهزة للإخراج.

الفجوات المُنقبضة التي تنظم الإتزان المائي تتسع وتنقبض بشكل دوري عندما تفرغ محتوياتها خارج المخلوق الحي.

الاقتران: تبادل الأنوية الصغيرة

يقوم البراميسيوم، مثل معظم الهدبيات، بعملية جنسية تسمى **الاقتران Conjugation**، حيث تبقى خليتان مرتبطتين ببعضهما لعدة ساعات (الشكل 29-17).

تمتلك خلايا البراميسيوم عدة أنواع تزاوجية. يمكن لخلايا نوعين تزاوجيين



الشكل 29-17

دورة حياة البراميسيوم. في التكاثر الجنسي، تلتحم خليتان ناضجتان بعملية تُدعى الاقتران.

محددين وراثيًا فقط أن يقترنا. يُنتج الانقسام المنصف للأنوية الصغيرة في كل فرد أنوية صغيرة عدة أحادية العدد الكروموسومي، ويتبادل الرفيقان زوجًا من هذه الأنوية الصغيرة من خلال جسر سيتوبلازمي بينهما.

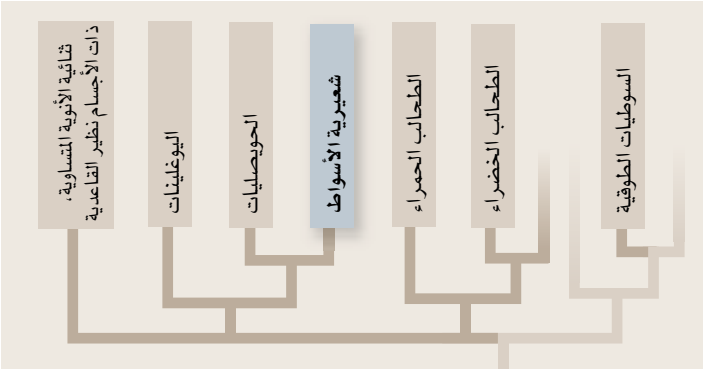
تلتحم النوى الصغيرة الجديدة، في كل فرد مقترن، مع إحدى الأنوية الموجودة أصلًا في ذلك الفرد، مسببة تكوين نواة صغيرة ثنائية العدد الكروموسومي، جديدة. بعد انتهاء الاقتران، تضمحلّ النوى الكبيرة في كل خلية، وتتعرض النوى الصغيرة زوجية العدد الكروموسومي للانقسام المتساوي، معطيةً بذلك نواتين صغيرتين متطابقتين جديدتين في كل فرد. تُصبح إحدى النواتين الصغيرتين مادة أساسية للنواة الصغيرة المستقبلية في تلك الخلية، في حين تتعرض النوى الصغيرة الأخرى إلى جولات عدة من تضاعف DNA، مشكلةً النوى الكبيرة الجديدة. هذا الانعزال الكامل للمادة الوراثية خاص بالهدبيّات ما يجعلها مخلوقات مثالية لدراسة جوانب معينة من علم الوراثة.

السلالات "القاتلة"

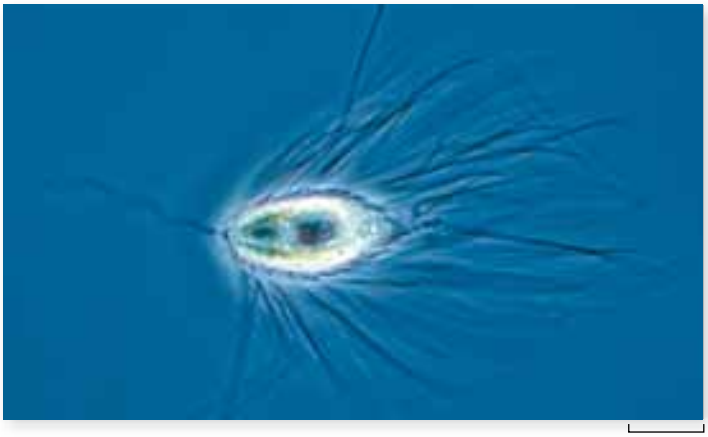
سلالات البراميسيوم التي تقتل سلالات أخرى حساسة من البراميسيوم طالما حيرت الباحثين. في البداية، اعتقد أن السلالات القاتلة تمتلك جينات تنتج مواد سامة للسلالات الحساسة. لقد تبين أنّ المصدر الحقيقي للمادة السامة هو بكتيريا دخلت عن طريق التكافل الداخلي إلى السلالات "القاتلة". فإذا تم ابتلاع هذه البكتيريا من قبل سلالات "غير قاتلة" فإن المادة السامة ستنطلق، فيموت البراميسيوم الحساس.

تمثل الحويصليات ما يعتقد أنه مجموعة أحادية الأصل من المخلوقات بأشكال متنوعة من الحركة والتكاثر وحويصلات غشائية مميزة.

7-29 شُعيرية الأسواط (سترامينوبيلا): طلائعيات ذات شعيرات دقيقة



تشمل **شُعيرية الأسواط Straminopila** كلًّا من **الطحالب البنية Brown algae**، **والدياتومات Diatoms** وكذلك **الفطريات البيضية Oomycetes** (عفن الماء). يشير الاسم *Straminopila* إلى شعيرات دقيقة فريدة (الشكل 29-18) موجودة على أسواط أعضاء هذه المجموعة، على الرغم من أن القليل من الأنواع فقدت شعيراتها خلال التطور.



الشكل 29-18

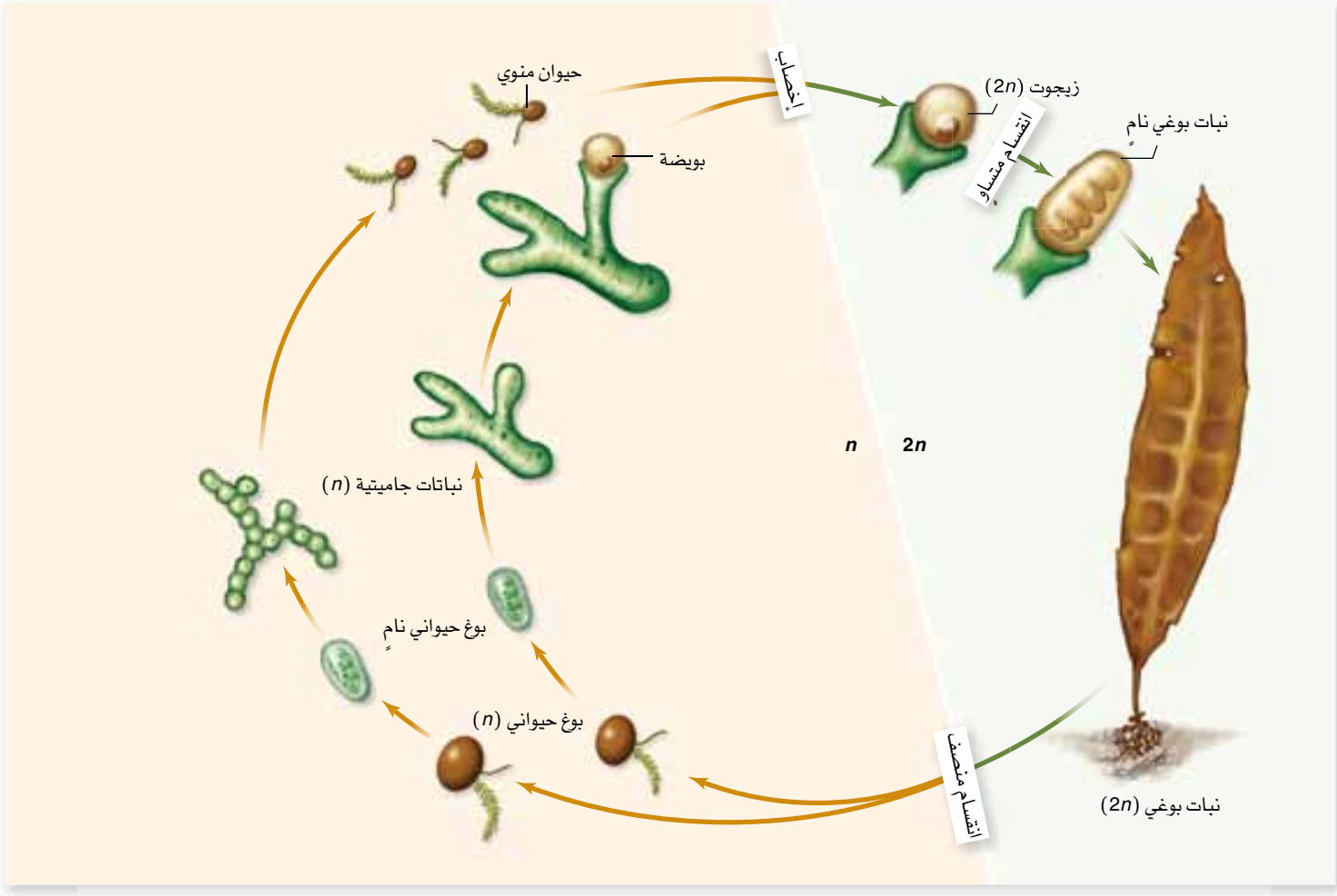
تمتلك شعيرية الأسواط شعيرات دقيقة على أسواطها.

تضم الطحالب البنية أعشاب البحر الكبيرة

الطحالب البنية Brown algae من أكثر أعشاب البحر وضوحًا في كثير من المناطق الشمالية (الشكل 29-18). تتميز دورة حياة الطحالب البنية بتبادل الأجيال بين النبات البوغي متعدد الخلايا (ثنائي العدد الكروموسومي)

الشكل 29-19

طحلب بني. أعشاب البحر العملاقة من النوع كِلْب، *Macrocystis pyrifera*، تنمو في المياه الضحلة نسبيًّا على طول السواحل في كل أنحاء العالم، وتوفر الغذاء والمأوى لكثير من المخلوقات المختلفة.



الشكل 29–20

دورة حياة اللامينياريا، طحلب بني. توجد مراحل أحادية وثنائية العدد الكروموسومي متعددة الخلايا في دورة حياة هذ الطحلب، على الرغم من صغر حجم النباتين الجاميتين: الذكري والأنثوي.

والنبات الجاميتي (أحادي العدد الكروموسومي) (الشكل 29-20). تدخل بعض خلايا النبات البوغي الانقسام المنصف، وتنتج أبواغًا. تنمو هذه الأبواغ، وتدخل في انقسام متساوٍ لإعطاء المخلوقات الكبيرة التي نُلاحظها، مثل أعشاب البحر من نوع الكِلْب (Kelps). تكون النباتات الجاميتية غالبًا أصغر بكثير من النباتات البوغية، وهي عادة أفراد خيطية، ربما يصل عرضها إلى سنتيمترات عدة.

يمكن أن يُشكل النقل تحديًا لأنواع الطحالب البنية الكبيرة جدًا حتى في الوسط المائي. وتصطف خلايا نقل مميزة الواحدة فوق الأخرى، وتشجع النقل داخل بعض الأنواع (انظر الشكل 23-10).

الدياتومات مخلوقات وحيدة الخلية ذات أصداف مزدوجة

الدياتومات Diatoms، أعضاء قبيلة الطحالب الذهبية، هي مخلوقات وحيدة الخلية قادرة على البناء الضوئي، وذات أصداف مزدوجة مصنوعة من السيليكا التي تميزها بشكل خاص (الشكل 29-21). تُشبه أصداف الدياتومات الصناديق، حيث يتلاءم نصف الصدفة مع النصف الآخر. تحتوي البلاستيدات الخضراء للدياتومات على الكلورفيل أ و ج، وكذلك على الكاروتينويدات، وهي مشابهة لتلك التي في الطحالب البنية والسوطيات الثنائية الدوارة. تنتج الدياتومات سكرًا خاصًا بها يدعى كرايزولامينارين.

الشكل 29–21

الدياتومات. تمتلك هذه الدياتومات، ذات التماثل الشعاعي، المختلفة سيليكا فريدة، وصدفة من جزأين.

تتحرك بعض الدياتومات باستخدام أخاديد طويلة، تدعى الالتحامات *Raphes*، التي يُغطيها لييفات متذبذبة (الشكل 29-22). الآلية الصحيحة لا تزال غير معروفة، وربما تتضمن إطلاق متعدد تسكر مخاطي من أخاديد الالتحام مما يدفع الدياتوم. يمكن للدياتومات الشبيهة بالقلم أن تتزحلق إلى الخلف وإلى الأمام فوق بعضها، مكوّنة شكلًا دائم التغيّر.

بعض أفراد الفطريات البيضية، "عفن الماء" ممرضة

الفطريات البيضية Oomycetes جميعها طفيليات أو رميّات (مخلوقات تعتمد في غذائها على المادة العضوية الميتة). اعتبرت هذه المخلوقات، في وقت ما، فطريات، وهذا هو أصل مصطلح عفن الماء *Water molds* والسبب وراء احتواء الاسم على المقطع – *mycetes*.

تتميز الفطريات البيضية عن الطلائعيات الأُخرى بتركيب أبواغها المتحركة، أو الأبواغ الحيوانية، التي تمتلك زوجًا من الأسواط غير المتساوية في الطول، الأول يتجه إلى الأمام، والآخر إلى الخلف. يتم إنتاج الأبواغ الحيوانية لاجنسيًّا داخل محفظة أبواغ. يتضمن التكاثر الجنسي تكوين الأعضاء التناسلية الذكرية والأنثوية التي تقوم بإنتاج الجاميتات. توجد معظم الفطريات البيضية في الماء، ولكن أقرباءها على اليابسة تسبب أمراضًا للنباتات.

كان الفطر *Phytophthora infestans*، الذي يسبب اللفحة المتأخرة لمحصول البطاطا، مسؤولًا عن مجاعة البطاطا الأيرلندية سنة 1845 و 1847. خلال المجاعة، قضى نحو 400,000 شخص جوعًا، أو بسبب أمراض ناتجة عن

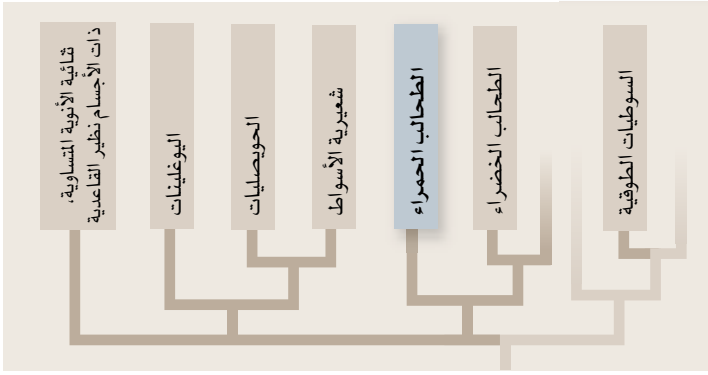
الشكل 29-22

الالتحامات دياتومية مغطاة بشعيرات تساعد على الحركة.

المجاعة. أكثر من مليوني أيرلندي هاجروا إلى الولايات المتحدة وأماكن أخرى بسبب هذه الكارثة.

تتميز شُعيرية الأسواط المتنوعة بشعيرات دقيقة، وهي صفة مشتقة فقدتها لاحقًا بعض الأنواع.

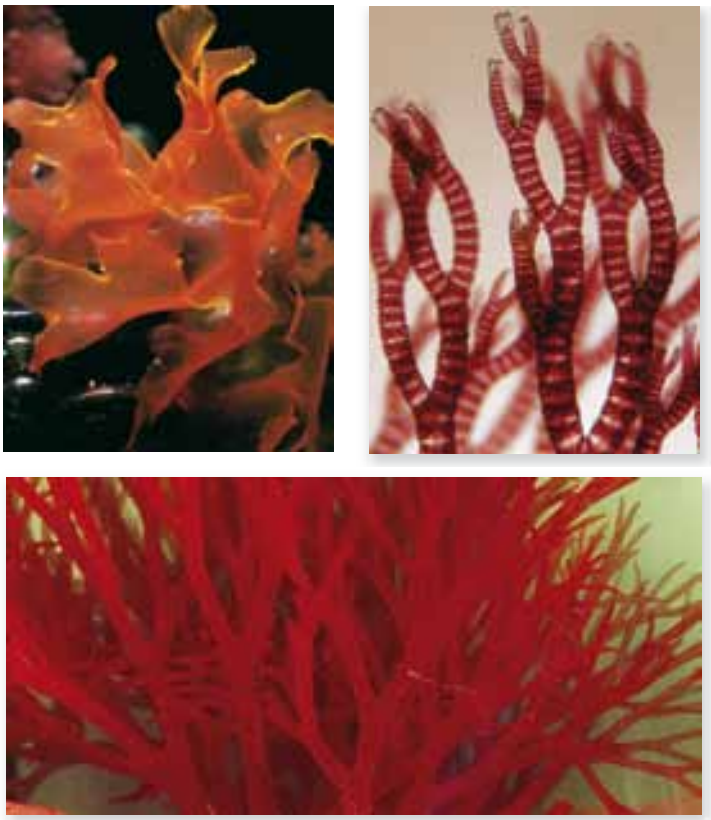
8-29 الطحالب الحمراء



تتراوح **الطحالب الحمراء Rhodophyta**، في الحجم من مخلوقات مجهرية إلى *Schzymenia borealis* ذات الأنصال التي يصل طولها إلى نحو 2م (الشكل 29-23). تُلفّ لفائف السوشي باستخدام النَّوري، وهو طحلب أحمر. تُستعمل متعددات التّسكّر المستخرجة من الطحالب الحمراء بشكل تجاري لزيادة كثافة البوظة، وأدوات التجميل.

هذه المخلوقات ينقصها الأسواط والمريكزات، وتمتلك أصباغ التمثيل الضوئي الإضافية مثل فايكوإريثرين، وفايكوسيانين وأللوفايكوسيانين، التي تترتب داخل تراكيب تُدعى أجسام فايكوبيلين *Phycobilisomes*. تتكاثر الطحالب الحمراء باستخدام تبادل الأجيال.

أصل الأنواع التي تزيد على 7000 نوع من الطحالب الحمراء مازال محل جدل. تم الأخذ في الحسبان أدلة تدعم أصول حقيقية النوى المبكرة جدًا، وأسلاف مشتركة مع الطحالب الخضراء. وتدعم المقارنات الجزيئية للبلاستيدات الخضراء في الطحالب الحمراء والخضراء أصلًا واحدًا لكليهما، وهو التكافل الداخلي.



الشكل 29-23

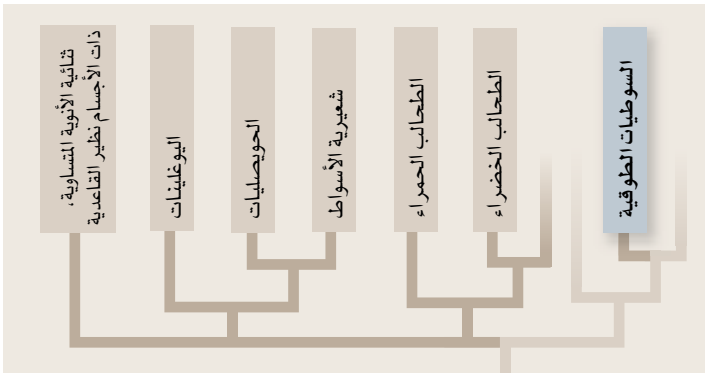
توجد الطحالب الحمراء بأشكال وأحجام متعددة.

إن مقارنة DNA النووي المسؤول عن تصنيع الوحدة البنائية الكبيرة لأنزيم مبلمر RNA polymerase II من طحلبين أحمرين، وطحلب أخضر، ومخلوق طلائعي آخر- تدعم الاستنتاج الذي يقول: إن الطحالب الحمراء نشأت قبل السلالة التطورية التي قادت إلى النباتات والحيوانات والفطريات.

كيف نوفق بين نتائج البلاستيدات ونتائج DNA النووي؟ لم تتبع الخلايا المُضيفة والبكتيريا الزرقاء التكافلية مسارات تطورية متطابقة. ربما كانت الخلية المُضيفة التي أعطت الطحالب الحمراء مختلفة عن تلك التي أعطت النباتات. أحد الاحتمالات أنّ خلايا مُضيفة مختلفة ابتلعت البكتيريا التكافلية نفسها. مبدئيًّا، سوف نعامل الطحالب؛ الحمراء والخضراء (راجع الفصل الـ 30) بوصفهما مجموعتين شقيقتين معتمدين على الكمية المتوافرة من المعلومات الخاصة بالبلاستيدة الخضراء.

الطحالب الحمراء مخلوقات بحرية، أو تعيش في مياه عذبة قادرة على القيام بالبناء الضوئي. تُستعمل بعض الأفراد تجاريًّا في الأطعمة والمنتجات الأخرى.

9-29 السوطيات الطوقية: يُحتمل أنْ تكون أسلاف الحيوانات



من المحتمل أنّ **السوطيات الطوقية Choanoflagellates** هي أكثر سلف مشترك للإسفنجيات، وبالفعل للحيوانات جميعها. تمتلك السوطيات الطوقية سوطًا واحدًا بارزًا يحيط به طوق منقبض يشبه القُمع، مكوّن من خيوط متقاربة الموقع، وهذا التركيب يطابق تمامًا ما في الإسفنجيات، التي هي حيوانات. تتغذى هذه الطلائعيات على بكتيريا تلتقطها من الماء عبر طوقها. تُشبه الأفراد التي على شكل مستعمرات الإسفنجيات التي تعيش في المياه العذبة (الشكل 29-24).

تتضح علاقة السوطيات الطوقية الوثيقة مع الحيوانات أكثر بالتشابه القوي بين مستقبل سطحي (مستقبل تايروسين كاينيز) في السوطيات الطوقية والإسفنجيات. هذا المستقبل السطحي، يحفّز مسار إشارة يتضمن الفسفرة (الفصل الـ 9).

الشكل 29-24

تُشبه السوطيات الطوقية التي تعيش على شكل مستعمرات أقرباءها من الحيوانات، أي الإسفنجيات.

السوطيات الطوقية من أكثر الطلائعيات قربًا للحيوانات. تمتلك السوطيات الطوقية صفات مشابهة لتلك التي في الإسفنجيات.

10-29 طلائعيات دون سلالة

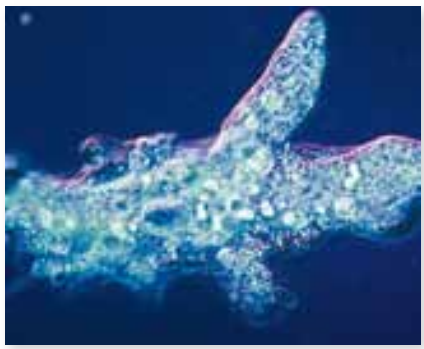
كثير من الطلائعيات لغاية الآن لم توضع على شجرة الحياة. الأمثلة الآتية لها أهمية خاصة لصحة البشر والبيئة.

الأميبيات متوازية الأصول

لغاية الآن، رتبنا الطلائعيات استنادًا إلى أقرب أقربائها. تختلف بعض المجموعات بشكل كبير إذا تم الاعتماد على صفة واحدة. فمثلًا، تتضمن شعيرية الأسواط مخلوقات ذاتية التغذية، وطحالب بحرية، ومسببات أمراض نباتية تعيش على اليابسة. وكما هو مبين في (الفصل الـ 25)، يمكن للمخلوقات البعيدة اكتساب صفات مشابهة. هذا هو الحال مع الأميبيات التي تمتلك شكلًا خلويًّا مشابهًا، ولكنها ليست أحادية الأصل.

جذريات القدم: الأميبيات الحقيقية

تتحرك **الأميبيات Amaebas** من مكان إلى آخر باستخدام أقدامها الكاذبة. الأقدام الكاذبة عبارة عن زوائد متحركة من السيتوبلازم تمتد وتدفع الأميبا إلى الأمام، أو تبتلع حبيبات الغذاء بطريقة تُدعى جريان السيتوبلازم. تضع الأميبا القدم الكاذبة للأمام، ومن ثم تندفع نحوه (الشكل 29-25). تؤدي خيوط دقيقة من الآكتين والميوسين شبيهة بتلك التي في العضلات دورًا في تلك الحركات. يمكن للأقدام الكاذبة أن تتكوّن عند أي نقطة من جسم الخلية. لذا، فإن الأميبا يمكن أنْ تتحرك في أي اتجاه.



الشكل 29-25

الأميبا *Amoeba proteus*. تُدعى البروزات بالأقدام الكاذبة، تتحرك الأميبا بالتدفق نحو هذه البروزات.

خيطيات القدم: الشعاعيات (الراديولاريا)

أعطت الأقدام الكاذبة للخلايا الأميبية حقيقةً شكلًا متغيرًا. إحدى المجموعات، على كل حال تمتلك تراكيب مميزة. تفرز أفراد قبيلة خيطيات القدم، **الشّعاعيّات Radiolarians**، هيكلًا خارجيًّا زجاجيًّا مصنوعًا من مادة السيليكا. أعطت هذه الهياكل المخلوقات وحيدة الخلية شكلًا مميزًا، معطيةً تناظرًا ثنائيًّا أو شعاعيًّا. تشكل أصداف الأنواع المختلفة عددًا من التشّعبّات المعقدة وذات الأشكال الجميلة، حيث تبرز الأقدام الكاذبة إلى الخارج على طول الزوائد الشوكية للهيكل (الشكل 29-26). تدعم الأنيبيات الدقيقة هذه الزوائد السيتوبلازمية.

شكلت أحافير المثقبات ترسبات كلسية ضخمة

معظمُ أفراد **قبيلة المثقبات Foraminifera** طلائعياتٌ بحرية غير متجانسة. يتراوح قطرها من سنتمترات عدة إلى 20 ميكرومترًا تقريبًا. وتشبه حلزونات صغيرة، ويمكنها أنْ تكوّن طبقات عمقها 3 م في الترسبات البحرية. تتميز هذه المجموعة بأصدافها المزودّة بثقوب (تُدعى الغُلُف Tests) والمكونة من مواد عضوية مدعمة بحبيبات من مادة غير عضوية. يمكن أنْ تكون هذه الحبيبات كربونات الكالسيوم، أو الرمل، أو صفائح من أصداف شوكيات الجلد أو أشواك (إبر دقيقة من كربونات الكالسيوم) من هياكل الإسفنجيات.

وبناء على مواد البناء التي تستعملها، قد تمتلك المثقبات أصدافًا بأشكال مختلفة. بعضها بلون أحمر فاقع، أو قرنفلي، أو بني مصفر.

تعيش معظم المثقبات في الرمال، أو ملتصقةً بمخلوقات أخرى، لكن عائلتين تتكونان من مخلوقات من العوالق الطافية الحرة، يمكن أن تتكون غُلُفها من حجرة واحدة، ولكن غالبًا ما تكون متعددة الحجرات، وفي بعض الأحيان تمتلك شكلًا حلزونيًّا شبيهًا بالحلزون الصغير. تبرز من ثقوب الغلف زوائد ستيوبلازمية تُدعى الأقدام (الشكل 29-27). تُستعمل هذه الأقدام في السباحة، وجمع المواد للغلف وللتغذية. تتغذى المثقبات على تنوع واسع من المخلوقات الحية الصغيرة.

دورات حياة المثقبات معقدة جدًا، وتتضمن تبادلًا للأجيال بين أحادية العدد الكروموسومي وثنائية العدد الكروموسومي. أسهمت المثقبات بتراكمات ضخمة من غُلُفها في سجلات الأحافير لأكثر من 200 مليون سنة. وبسبب الحفظ الممتاز لهذه الغُلُف والاختلافات المذهلة بينها، تُعدُّ المثقبات ذات أهمية بوصفها علامات جيولوجية. يُستعمل نمط وجود المثقبات المختلفة عادةً دليلًا للبحث عن الطبقات المحتوية على النفط. الأحجار الجيرية في كل أنحاء العالم، بما فيها المنحدرات البيضاء الشهيرة لدوفر في جنوب بريطانيا غنية عادة بالمثقبات (الشكل 29-28).

الشكل 29-26

المخلوق *Actinosphaerium* له أقدام كاذبة تشبه الإبر.

الشكل 29-27

مثال على المثقبات. الأقدامُ، زوائدُ سيتوبلازمية رفيعة، تمتد من خلال ثقوب في الغلاف الكلسي، أو الصدفة، لهذا المثقب الحيّ.

تبدي الفطريات الغروية "تصرف المجموعة"

نشأت **الفطريات الغروية Slime molds** على الأقل 3 مرات مختلفة، والسلالات الثلاث مرتبطة بشكل متباعد جدًا. عُدّت هذه المخلوقات ذات مرة فطريات، مثل فطريات الماء، سوف ندرس مجموعتين: الفطريات الغروية البلازمودية، وهي كتل كبيرة، وحيدة الخلية، متعددة الأنوية. والفطريات الغروية الخلوية، التي تلتحم فيها الخلايا الأحادية وتتمايز، مكونةً نموذجًا مبكرًا لتعدد الخلايا.

الشكل 29-28

الشقوق البيضاء في دوفر. الحجر الجيري الذي يكوّن هذه الشقوق مكون بشكل كامل تقريبًا من أصداف أحفورية للطلائعيات، من ضمنها المثقبات.

الشكل 29-29

طلائعيات بلازمودية. هذا العفن الغروي *Hemitrichia serpula* متعدد الأنوية يشبه البسكويت المشبك، وهو يتحرك للبحث عن البكتيريا والمواد العضوية الأُخرى ليأكلها.

الشكل 29-30

الكيس البوغي لعفن غروي بلازمودي. هذه المحافظ البوغية لعفن *Arcyria* موجودة في قبيلة الفطريات المخاطية.

الفطريات الغروية البلازمودية

تتحرك الفطريات الغروية البلازمودية مثل **بلازموديوم Plasmodium**، على هيئة كتل سيتوبلازمية متعددة الأنوية دون جدران خلوية، فتُشبه بذلك كتلة متحركة من المخاط (الشكل 29-29). يُسمى هذا الشكل الطور المتغذي *Feeding phase*، ويمكن أن تكون الكتل برتقالية، أو صفراء، أو بأيّ لون آخر.

تُظهر هذه الفطريات جريانًا واضحًا جدًا للسيتوبلازم إلى الأمام وإلى الخلف، خاصة تحت المجهر. إنها قادرة على العبور من خلال تشابك خيوط الملابس، وهي تستطيع ببساطة أنْ تنزلق من خلال العوائق الأُخرى أو حولها. وعندما تتحرك، تبتلع وتهضم البكتيريا، والخميرة، والجزيئات الصغيرة من المواد العضوية.

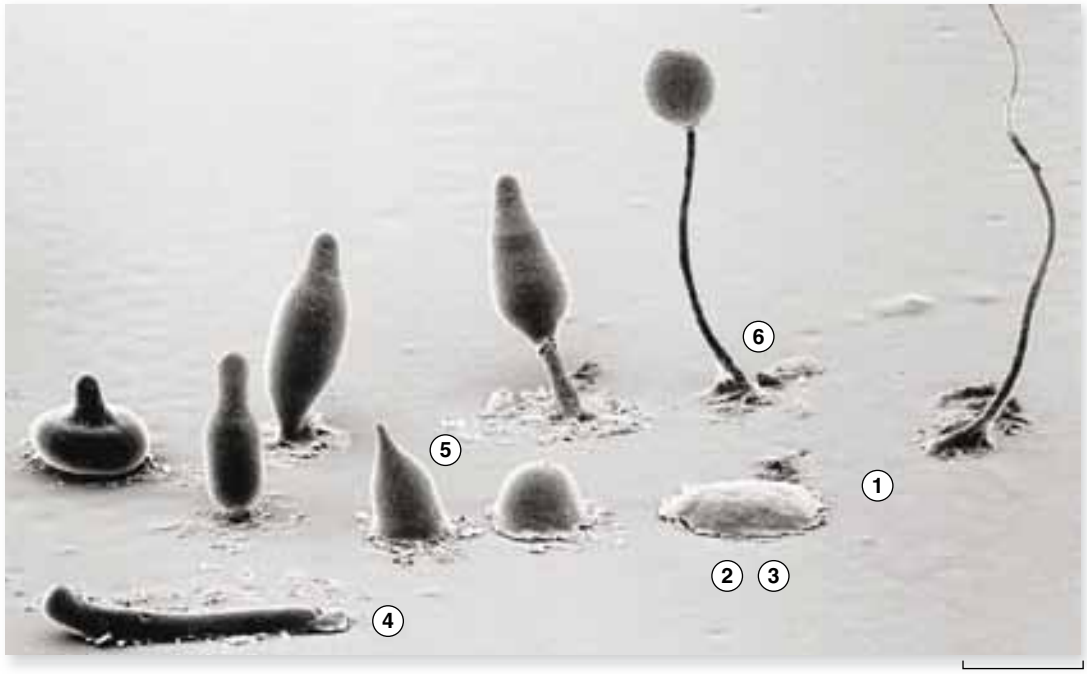
تتعرض الخلية البلازمودية *Plasmodium* متعددة الأنوية إلى الانقسام المتساوي المتزامن، مع تكسر الغلاف النووي، لكن ذلك لا يحدث الاّ في الطّور الانفصالي النهائي المتأخر. المريكزات غائبة في الفطريات الغروية البلازمودية.

عندما يقل الغذاء أو الرطوبة، تهاجر خلايا الفطر البلازمودي بسرعة نسبيًّا لمنطقة أُخرى. وهناك يتوقف الفطر عن الحركة، ويُشكل كتلةً تتمايز فيها الأبواغ، أو تنقسم إلى عدد كبير من الكتل الصغيرة، ويُنتج كل واحدٍ منها **محفظة بوغية Sporangium** واحدة ناضجة، حيث تتكون فيها الأبواغ. غالبًا ما تكون هذه المحافظ البوغية جميلة، وشديدة التعقيد في الشكل (الشكل 29-30). تكون الأبواغ شديدة المقاومة للظروف البيئية غير المناسبة، ويمكنها أنْ تبقى سنوات إنْ بقيت جافة.

الفطريات الغروية الخلوية

أصبحت الفطريات الغروية الخلوية مجموعة مهمة لدراسة تمايز الخلايا بسبب أنظمتها التطورية البسيطة نسبيًّا (الشكل 29-31). تتصرف المخلوقات المنفردة بوصفها أميبا مستقلة، وتتحرك خلال التربة وتأكل البكتيريا. وعندما يقل الغذاء، تتجمع الأفراد لتكوّن "كتلة رخوية" متحركة. تُرسل بعض الخلايا إشارات من الأدينوسين أحادي الفوسفات الحلقي (cAMP)، وتتحرك الخلايا الأُخرى نحو مصدر cAMP لتكوين الكتلة الرخوية. في الفطر الغروي الخلوي *Dictyostelium discoideum*، تدخُل هذه الكتلة الرخوية عملية تشكُّل لإعطاء سويقة وخلايا بوغية. بعد ذلك، تكوّن الأبواغ أميبا جديدة إذا سقطت فوق بيئة رطبة.

الأصول التطورية لبعض الطلائعيات، من ضمنها الأميبيات والفطريات الغروية، ليست مفهومة بشكل جيد، وربما تكون هذه المخلوقات قد تطورت بشكل منفصل أكثر من مرة.



الشكل 29-31

النمو في العفن الغروي الخلوي *Dictyostelium discoideum*.

1. في البداية، ينبت البوغ مكونًا أميبا. تتغذى وتتكاثر الأميبات حتى ينفد الغذاء.
2. تتجمع الأميبات، وتتحرك نحو مركز ثابت.
3. بعد ذلك، تقوم بتكوين "كتلة رخوية" متعددة الخلايا، 2-3 ملم في الطول، وتتحرك نحو الضوء.
4. تتوقف الكتلة الرخوية عن الحركة، وتبدأ بالتمايز إلى:
5. جسم مكون للأبواغ يدعى الثمرة البثرية.
6. أميبات تتكيس على شكل أبواغ داخل رؤوس الثمرة البثرية.

مراجعة المفاهيم

29-1 تعريف الطلائعيات

الطلائعيات من أكثر الممالك الأربع تنوعًا في فوق مملكة حقيقية النوى، وهي تحتوي على مجموعات وحيدة الخلية، وعلى شكل مستعمرات ومتعددة الخلايا.

- الطلائعيات متوازية الأصول، ووضعت على شكل مجموعة عُرفًا، إنها مملكة ليست أحادية الأصل.
- رُتبت مجموعات الطلائعيات الـ 15 الرّئيسة بناءً على التقنيات الجزيئية، إلى سبع مجموعات رئيسة أحادية الأصل. لا يمكن وضع 60 من المجموعات تقريبًا بدقة على شجرة الحياة (الشكل 29-1).

29-2 أصول حقيقية النوى والتكافل الداخلي

تتميز حقيقية النوى عن بدائيات النوى بوجود هيكل خلوي وبتقسيم الخلية إلى غرف تشمل الغلاف النووي والعضيات.

- حدثت اختلافات في أشكال الأحافير الدقيقة قبل 1.5 بليون سنة خلت.
- نشأت خلايا حقيقية النوى من خلال: الانتقال الجيني الأفقي، وانطواء الأغشية لتكوين الغلاف النووي والشبكة الإندوبلازمية، والتكافل الداخلي (الشكل 29-3، 29-4، 29-5).
- يتضمن التكافل الداخلي انضمام بدائيات النوى من أجل تكوين الميتوكندريا والبلاستيدات الخضراء، وربما المريكزات.
- خلال الزمن، تحركت جينات من مخلوقات التكافل الداخلي نحو نواة حقيقية النوى، مانعة هذه العضيات من العيش في مزارع خالية من الخلايا.

29-3 البيولوجيا العامة للطلائعيات

اتحدت الطلائعيات على أساس صفة واحدة سلبية هي عدم انتمائها إلى الممالك الأُخرى.

- تتضمن سطوح خلايا الطلائعيات الغشاء البلازمي، أو غشاءً يغطيه عادة حشوة خارج خلوية.
- يُمكن للطلائعيات الهشّة أن تعيش في الظروف الصعبة عن طريق تكوين أكياس واقية، وإيقاف عملية الأيض.
- يُمكن أن تتحرك الطلائعيات عن طريق الأسواط، أو الأهداب، أو الأقدام الكاذبة مثل الأقدام الخيطية، والأقدام المفصصة، أو الأقدام المحورية.
- توظف الطلائعيات إستراتيجيات التغذية جميعها ما عدا التغذية الذاتية الكيميائية. يمكنها أن تكون ضوئية التغذية، أو عضوية التغذية تبتلع إما دقائق المواد (ابتلاعية التغذية) أو أغذية ذائبة (أسموزية التغذية)، أو خلطية التغذية تستعمل التمثيل الضوئي أو التغذية العضوية.
- تستطيع الطلائعيات أن تتكاثر لاجنسيًّا بالانقسام المتساوي، أو بالتبرعم، أو بالانشطار، أو جنسيًّا عن طريق تكوين الجاميتات عن طريق الانقسام المُنصف.
- يُمكن للطلائعيات أن تعيش على شكل مُستعمرات، وهذا شجع ظهور تعددية الخلايا وتقاسم العمل.

29-4 ثنائية الأنوية المتساوية (الدبلوموناد) وذات الأجسام نظير القاعدية (البارابيساليد): طلائعيات ذات أسواط تفتقر للميتوكندريا

يُعتقد أنّ فقدان الميتوكوندريا في ثنائية الأنوية المتساوية وذات الأجسام نظير القاعدية صفة مشتقة، وليست سلفية.

- تتحرك ثنائية الأنوية المتساوية عن طريق الأسواط، وتمتلك نواتين.
- إضافة إلى السوط، تمتلك المخلوقات ذات الأجسام نظير القاعدية غشاء متموجًا للحركة.

29-5 اليوغلينات: مجموعة متنوعة، يمتلك بعض أنواعها بلاستيدات خضراء

- اكتسبت اليوغلينات البلاستيدات الخضراء عن طريق التكافل الداخلي.
- نظيرة اليوغلينا حقيقية نواة حرة المعيشة، وتمتلك جُليدًا، وأسواطًا أمامية، وقد تمتلك بلاستيدات خضراء (الشكل 29-8).
- الكاينيتوبلاستيدات طفيليات تمتلك ميتوكندريونًا واحدًا فريدًا مع نوعين من DNA الدائري، أحدهما يشترك في تنقيح وراثي يتضمن RNA.

29-6 الحويصليات (ألفيولاتا): طلائعيات ذات حويصلات تحت غشائية

تشترك الأعضاء المتنوعة من الحويصليات بصفة مشتركة، حويصلات منبسطة تعمل كأجسام جولجي تحت أغشيتها البلازمية (الشكل 29-10).

- مُعظم السوطيات الثنائية الدوارة وحيدات خلية بسوطين، وتقوم بالبناء الضوئي. مُعظمهما يحتوي على كلورفيل أ و ج، إضافة إلى كاروتينويدات. وقد تنتج المد الأحمر السام للفقريات.
- معقدات القمة تمتلك ترتيبًا فريدًا للعضيات عند طرف واحدٍ للخلية، وتستعمل القمة المعقدة لغزو المضيف، وهي طفيليات مكونة للأبواغ.
- تتحرك الهدبيات بالأهداب وتمتلك نواتين؛ كبيرة وصغيرة، يتم تبادلها خلال الاقتران.

29-7 شعيرية الأسواط (سترامينوبيلا): طلائعيات ذات شعيرات دقيقة

تحتوي أجسام شعيرية الأسواط شعيرات دقيقة على أسواطها على الرغم من أن القليل من هذه المجموعة فقدت أسواطها.

- الطحالب البنية أعشاب بحر كبيرة تمتلك تبادل أجيال متعدد الخلايا، وانقسامًا منصفًا يُكّون الأبواغ، وليس الجاميتات (الشكل 29-20).
- الدياتومات مخلوقات متعددة الخلايا فريدة وذات أصداف مزدوجة مصنوعة من السيليكا. تتحرك عن طريق أخدودين طويلين يُدعيان الالتحامين. وهي مغطاة بلييفات متذبذبة.
- تشبه الفطريات البيضية الفطريات؛ فهي إما طفيليات، أو رميّات. وتتميز عن غيرها من الطلائعيات بأبواغها الحيوانية المتحركة، وإنها تمتلك أسواطًا غير متساوية الطول.

29-8 الطحالب الحمراء

تختلف الطحالب الحمراء كثيرًا في الحجم، وأصلها ما زال مشكوكًا فيه.

- تفتقر الطحالب الحمراء للأسواط والمريكزات.
- تمتلك الطحالب الحمراء أصباغ التمثيل الضوئي الإضافية، وهي موجودة في أجسام الفايكوبيلين: فايكواريثرين، وفايكوسيانين، واللوفايكوسيانين.
- مقارنة شيفرة DNA الذي يصنّع مبلمر RNA Polymerase II يدعم الاستنتاج الذي يرى أنّ الطحالب الحمراء مجموعة نشأت قبل النباتات، والحيوانات، والفطريات.

29-9 السوطيات الطوقية: يحتمل أن تكون أسلاف الحيوانات

السوطيات الطوقية من أقرب المخلوقات للحيوانات.

- السوطيات الطوقية تمتلك سوطًا واحدًا بارزًا محاطًا بطوق منقبض، يشبه القمع الذي يشبه ذلك الذي في الإسفنجيات.
- تمتلك السوطيات الطوقية أيضًا مستقبل تايروسين كاينيز الموجود في الإسفنجيات.

29-10 طلائعيات دون سلالة

لا يمكن وضع الطلائعيات كلها على شجرة الحياة في الوقت الحالي

- تملك الأميبيات صفات شكلية متشابهة، ولكنها متوازية الأصول.
- المثقبات طلائعيات بحرية عضوية التغذية، وذات أصداف مزودة بالثقوب، أو الغُلُف.
- نشأت الفطريات الغروية ثلاث مرات بسلالات متميزة: اثنتان من هذه المجموعات تشمل الفطريات الغروية التي تجري مثل البلازموديوم، وليس لها جدار، وهي كتلة متعددة الأنوية، والفطريات الغروية الخلوية التي تتصرف كالأميبا إلى أن يصبح الغذاء شحيحًا، عند ذلك تتجمع لتُشكل ثمرة بثرية (الأشكال 29-29 و 29-31).

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أي الآتي صحيح بالنسبة إلى الطبيعة النشوئية لمملكة الطلائعيات:
   أ. وضع العلماء الطلائعيات المعروفة جميعها في واحدٍ على الأقل من السلالات وحيدة القبيلة.
   ب. أفراد المملكة جميعهم يشتركون في صفات تنفرد بها الطلائعيات.
   جـ. المملكة ككل متوازية الأصول.
   د. كل ما ذكر صحيح.
2. أي الأحداث الآتية يُعتقد أنها حصلت أولًا في تطور حقيقات النوى:
   أ. التكافل الداخلي الثانوي للبلاستيدات الخضراء.
   ب. التكافل الداخلي للبكتيريا الزرقاء.
   جـ. التكافل الداخلي لبكتيريا منتجة للطاقة.
   د. الانثناء الداخلي للغشاء البلازمي.
3. أي الآتي يُعَدّ صفة مهمة ومميزة للعضي الذي تعرض للإدخال التكافلي الثانوي:
   أ. غشاء بلازمي وحيد.
   ب. مجموعة من غشاءين بلازميين.
   جـ. أربعة أغشية بلازمية.
   د. لا شيء مما ذكر.
4. نشوء أيّ الآتي وَفَّر مستويات عالية من التبادل الوراثي والتنوع:
   أ. الانشطار. ب. التكاثر الجنسي.
   جـ. التكاثر اللاجنسي. د. التبرعم.
5. الطلائعيات التي تنقصها الميتوكندريا يمكن أن تُصنف مع:
   أ. الطحالب الحمراء. ب. ذات نظير الجسم القاعدي.
   جـ. اليوغلينات. د. شعيرية الأسواط.
6. أي العبارات الآتية تصف جيدًا التعبير كاينيتوبلاستيد:
   أ. مخلوق بميتوكندريا وحيدة في كل خلية.
   ب. طريقة حركة في الحويصليات.
   جـ. نوع من التكاثر اللاجنسي في نظيرة اليوغلينا.
   د. عضي شبيه بجولجي موجود في الحويصليات.
7. النوع الذي يقوم بالتمثيل الضوئي، وذو شعيرات دقيقة على الأسواط، يمكن أن يصنف في مجموعة:
   أ. الطحالب الخضراء. ب. اليوغلينات.
   جـ. الحويصليات. د. شعيرية الأسواط.
8. المخلوق الذي يسبب المد الأحمر هو _____ وينتمي إلى المجموعة _____
   أ. معقد القمة؛ الحويصليات. ب. كاينيتوبلاستيد؛ يوغلينات.
   جـ. سوطيات دوارة؛ الحويصليات. د. طحالب بنية؛ شعيرية الأسواط.
9. أيّ صفة تفصل بين الطحالب: الحمراء والخضراء:
   أ. طريقة الحركة. ب. غياب الميتوكندريا.
   جـ. طريقة التكاثر. د. نوع أصباغ البناء الضوئي.
10. أي الآتي يمثل مجموعة أحادية الأصل:
    أ. نظيرة اليوغلينا. ب. الأميبيات.
    جـ. المثقبات. د. الفطريات الغروية.
11. مرض الملاريا يتسبب عن نوع من الجنس _____ الذي ينتمي إلى _____:
    أ. جياردیا؛ ثنائية الأنوية المتساوية.
    ب. بلازموديوم؛ معقدات القمة.
    جـ. البراميسيوم؛ الهدبيات.
    د. التريبانوسوما؛ كاينيتوبلاستيدات.
12. في القائمة الآتية، أي مملكة متعددة الخلايا حقيقة النوى ليست مرتبطة مع سلفها الطلائعي الصحيح؟
    أ. النباتات الخضراء، الطحالب الخضراء.
    ب. الفطريات، الفطريات البيضية.
    جـ. الحيوانات، السوطيات الطوقية.
    د. كل ما ذكر مرتبط بشكل صحيح.
13. أحد الأمثلة على تعدد الخلايا يقع في:
    أ. نظيرة اليوغلينا. ب. الأميبيات.
    جـ. الطحالب الحمراء. د. الفطريات الغروية الخلوية.
14. أصل أي من الآتي لا يمثل حدثًا تكافليًّا داخليًّا:
    أ. الميتوكندريا. ب. البلاستيدات الخضراء.
    جـ. النوى. د. كل ما سبق هي أحداث تكافل داخلي.
15. في البراميسيوم، إزالة أي عضي من العضيات الآتية يوقف التكاثر الجنسي؟
    أ. الحويصلات. ب. النوى الصغيرة.
    جـ. النوى الكبيرة. د. الشرح الخلوي.

أسئلة تحدٍّ

1. كثير من ثنائية الأنوية المتساوية وذات الأجسام نظير القاعدية هي أنواع تفتقر للميتوكندريا، ومع هذا، فهي تبقى هوائية. في الفصل الـ 9 تعرفت إلى الميتوكوندريا بوصفها مكانًا للتنفس الهوائي. إذا احتفظت هذه الأنواع بقدراتها الهوائية، ما الذي سيحدث للمسارات الأيضية؟
2. لخص تنوع صبغات التمثيل الضوئي للطلائعيات. هل يمكن استعمال التمثيل الضوئي أساسًا للتصنيف؟ فَسر إجابتك.
3. معظم العلماء يتفقون على أن مملكة الطلائعيات فوضى. يعتقد بعض العلماء أن هذه المخلوقات يجب أن توضع داخل ممالك متعددة الخلايا حقيقة النوى (نباتات، وفطريات، وحيوانات). هل هذا التوجه قابل للتطبيق؟ دعّم إجابتك.
4. أنت تشاهد طحلبًا لم يتم التعرف إليه سابقًا تحت المجهر الضوئي. تبدو البلاستيدة الخضراء محاطة بأربعة أغشية. أي مجموعة من الطحالب تتوقع أن تكون الأقرب إلى هذا النوع الجديد؟ لماذا؟

هل أنت في حاجة إلى مراجعة إضافية؟ زر الموقع www.ravenbiology.com. لتتدرب على الاختبارات القصيرة، والرسوم المتحركة، والتسجيلات التلفزيونية، وأنشطة مخصصة؛ لمساعدتك على فهم المادة الموجودة في هذا الفصل.
ARIS™

الفصل 30

نظرة عامة على النباتات الخضراء

Overview of Green Plants

موجز المفاهيم

30-1 تعريف النباتات
- *نشأت نباتات اليابسة من طحالب المياه العذبة.*
- *تكيّفت نباتات اليابسة للعيش على اليابسة.*

30-2 دورات حياة النباتات
- *تنتج الدورات أحادية وثنائية الكروموسومات تعاقب الأجيال.*
- *يتباين الحجم النسبي للأجيال أحادية وثنائية العدد الكروموسومي.*

30-3 الطحالب الخضراء: الطحالب الخضراء المائية
- *قد تكون الطحالب الخضراء أحادية الخلية.*
- *الطحالب الخضراء المكوّنة للمستعمرات تبدي بعض التخصص في الخلايا.*
- *قد تُظهر الطحالب الخضراء متعددة الخلايا دورات حياة أحادية وثنائية العدد الكروموسومي.*

30-4 طحالب الكارا: طحالب خضراء ذات علاقة بنباتات اليابسة

30-5 الحزازيات: نباتات خضراء لا وعائية
- *الحزازيات غير متخصصة ولكنها ناجحة في كثير من البيئات.*
- *تشكل حشائش الكبد قبيلة قديمة.*
- *طوّرت الحشائش القرنية ثغورًا.*
- *الحزازيات الطحلبية لها أشباه جذور وأنسجة ناقلة للماء.*

30-6 سمات النباتات الوعائية
- *يسمح النسيج الوعائي بتوزيع المواد الغذائية.*
- *تضم النباتات الوعائية سبع قبائل قائمة تندرج في ثلاث سلالات.*
- *شكّلت البذور ابتكارًا آخر في بعض القبائل.*

30-7 الحزازيات الصولجانية

30-8 النباتات المجنّحة: الخنشاريات وأقرباؤها
- *فقدت خنشاريات المُكنَسة جذورها وأوراقها ثانويًّا.*
- *ذيل الحصان له سيقان متمفصلة وأوراقٌ تشبه الفرشاة.*
- *للخنشاريات أوراق تحمل بثرات.*

مقدّمة

إنّ تطور النبات يمثل قصة التكيّف للحياة البريّة من قِبل أسلاف الطحالب الخضراء. تشترك الطحالب الخضراء كلّها ونباتات اليابسة في سلف مشترك، مشكلةً مجموعةً وحيدة الأصل تدعى النباتات الخضراء.

كانت الطحالب، نحو 500 مليون سنة، مقتصرةً على منطقة مائية ومحددة بالحاجة إلى الماء الذي كان ضروريًّا للتكاثر، ولدعم التراكيب، ولمنع فقدان الماء، ولبعض الحماية من الأشعة فوق البنفسجية للشمس. وقد أنتجت الحلول التطورية لتحديات اليابسة أكثر من 300,000 نوع من النباتات التي سادت مجتمعات اليابسة اليوم، بدءًا من الغابات إلى التندرا الصنوبرية، ومن الحقول الزراعية إلى الصحارى.

إن معظم النباتات ذاتية التغذية ضوئية، ونحن نعتمد على النباتات في الغذاء، والملابس، والخشب للبيوت، وبوصفها وقودًا، وفي المواد الكيميائية، وكثير من الأدوية. يستقصي هذا الفصل التاريخ التطوري وإستراتيجيات النباتات الخضراء.

30-9 تطور النباتات البذرية
- *البذرة تحمي الجنين.*
- *حبوب اللقاح هي الطور الجاميتي الذكري.*

30-10 معراة البذور: نباتات ذات بذور عارية
- *المخروطيات أكبر قبيلة في معراة البذور.*
- *تمثل الصنوبريات جنسًا من المخروطيات.*
- *السيكادا تشبه النخيل، لكنها ليست نباتات زهرية.*
- *النباتات النيتوية لها أوعية خشبية.*
- *نوع واحد فقط من النباتات الجنكية بقي حيًّا.*

30-11 مغطاة البذور: النباتات الزهرية
- *يُعدّ أصل مغطاة البذور لغزًا.*
- *تأوي الأزهار الجيل الجاميتي لمغطاة البذور.*
- *تستخدم معظم الأنواع الأزهار لجذب الملقحات وللتكاثر.*
- *تشمل دورة حياة مغطاة البذور إخصابًا مزدوجًا.*

1-30 تعريف النباتات

كما رأيت في (الفصل الـ 26)، فقد غيّرت الثورة في علم نشوء الأنواع تعريفنا للنباتات تمامًا. ونحن نعرف الآن أن الطحالب الخضراء جميعها، ونباتات اليابسة تشترك في سلف مشترك منذ أكثر من بليون سنة خلت، وأن المجموعتين تشكلان الآن مملكة أو مجموعة رئيسة تدعى مملكة **النباتات الخضراء Viridiplantae** أو ببساطة النباتات الخضراء. إن بيانات تعاقب DNA تنسجم مع الادعاء بأنَّ «حوّاء» واحدة أعطت النباتات جميعها. ولهذا فالنباتات جميعها أعضاء في عائلة النباتات الخضراء.

إنّ تعريف النبات واسع، ولكنه يستثني الطحالب الحمراء والبنية. الطحالب كلّها - الحمراء والبنية والخضراء تتشاطر حدثًا تعايشيًّا داخليًّا أوليًّا واحدًا منذ 1500 مليون سنة. لكن التشارك في سلالة سلفية ذات بلاستيدات خضراء ليس هو الشيء نفسه، كالقول: إنها وحيدة الأصل. إنّ الطحالب الحمراء والخضراء اشتركت في سلف مشترك لآخر مرّة منذ 1400 مليون سنة. أصبحت الطحالب البنية ضوئية التمثيل خلال تعايش داخلي مع طحلب أحمر حقيقي النوى اكتسب نفسه بكتيريا خضراء مزرقة ضوئية التمثيل، كما وصفنا في الفصل السابق.

إن النباتات أيضًا ليست فطريات، التي هي أكثر قربًا من الحيوانات متعددة الخلايا (انظر الفصل الـ 31)، لكن الفطريات كانت ضرورية لكي تستعمر النباتات الخضراء اليابسة.

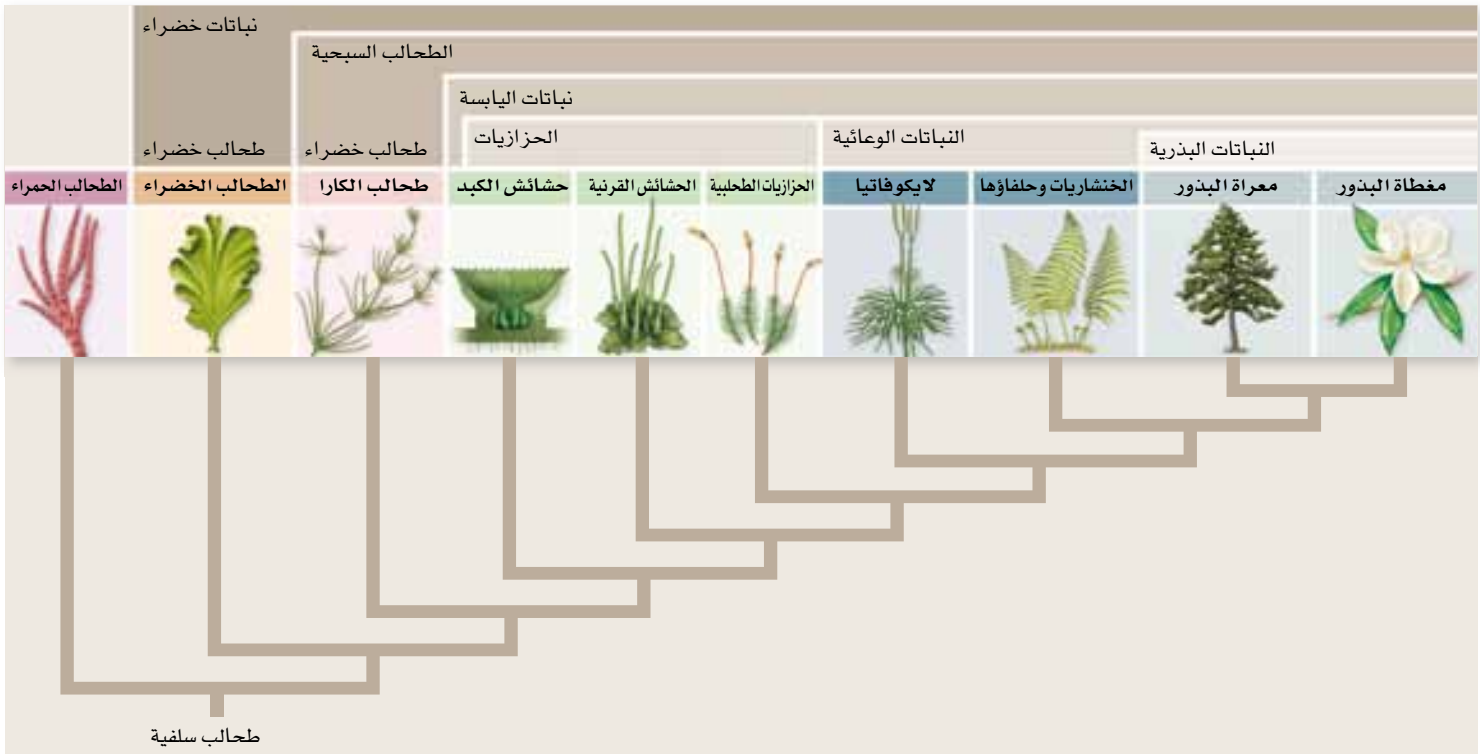
نشأت نباتات اليابسة من طحالب المياه العذبة

لقد نشأت بعض طحالب المياه المالحة، وازدهرت في بيئة من المياه العذبة، فقد أعطى نوع واحد من طحالب المياه العذبة الخضراء كامل سلالات نباتات اليابسة، بدءًا من الطحالب، وحتى النباتات الزهرية (مغطاة البذور). وبالأخذ في الحسبان ظروف الحياة القاسية على اليابسة، فإنّ من غير المستغرب أن تتشاطر نباتات اليابسة جميعها سلفًا مشتركًا واحدًا. أمّا ما كان عليه هذا الطحلب السلفي فلا يزال لغزًا، لكن أقاربه الحميمة (طحالب الكارا) تعيش اليوم في بحيرات الماء العذب.

تنشق الطحالب الخضراء إلى سلالتين رئيستين: الطحالب الخضراء التي لم تتمكن من الوصول إلى اليابسة، وطحالب الكارا التي تشكل شقيقًا لجميع نباتات اليابسة (الشكل 30-1). وعلى الرغم من أن نباتات اليابسة متباينة، فإنّ لها سمات مشتركة. فمثلًا؛ تتمكن جميعها من حماية أجنتها، وجميعها لديها أطوار متعددة الخلايا، أحادية وثنائية الكروموسومات. ومع الزمن، فإن الميل كان لمزيد من حماية الجنين ولطور أحادي الكروموسومات أصغر في دورة الحياة. وتؤثر جينات متنحية ضارة في الطراز الشكلي وفي الطور أحادي الكروموسومات، ولكن أثرها يختفي في الطور ثنائي الكروموسومات.

تكيفت نباتات اليابسة للعيش على اليابسة

بخلاف أسلافها التي كانت تعيش في الماء العذب، يتوافر لمعظم نباتات اليابسة كميات محدودة من الماء. وتكيفًا للعيش على اليابسة، فإن معظم النباتات تحتمي من **الجفاف Desiccation** -ميل المخلوقات لفقد الماء إلى الهواء- عن طريق كيوتكل **Cuticle** شمعي تفرزه على سطوحها المعرَّضة. إن الكيوتيكل غير منفذ للماء نسبيًّا، ما يمنع فقد الماء. إن هذا الحل، مع ذلك، يُقيد تبادل الغازات الضروري لعملية التنفس وللتمثيل الضوئي. يتم انتشار الغازات إلى داخل النباتات، ومنها خلال فتحات صغيرة تشبه الأفواه تدعى **الثغور Stomata**، وهي تسمح للماء بالانتشار إلى الخارج في الوقت نفسه. ويمكن إغلاق الثغور في بعض الأوقات لتقليل الماء المفقود.



الشكل 30-1

شجرة نشوء النباتات الخضراء

يمكن تمييز أفراد نباتات اليابسة بناء على وجود **القصيبات Tracheids** أو عدم وجودها، وهي خلايا متخصصة تُيسر نقل الماء والمعادن (الفصل الـ 36). **النباتات الوعائية Tracheophytes** لديها قصيبات، وطورت أنظمة نقل عالية الكفاءة: خشب ناقل للماء، ولحاء ناقل للغذاء، على هيئة أشرطة من الأنسجة في السيقان، والجذور، والأوراق.

ولقد سمح تكيفان إضافيان بازدهار نباتات أكبر حجمًا على اليابسة. تطور الأوراق الذي قد يكون حدث مرات متعددة، وأنتج مساحة سطحية أكبر للبناء الضوئي. وسمحت الإزاحة باتجاه جيل سائد ثنائي العدد الكروموسومي، مصحوبًا بالدعامة التركيبية للأنسجة التوصيلية للنباتات بالاستفادة من البعد العمودي لبيئة اليابسة، ما جعل تطور الأشجار ممكنًا.

وقد قسمنا النباتات الخضراء، لغرض المناقشة في هذا الفصل، إلى مجموعات بحسب أصل النشوء من أجل التأكيد على استحواذها لصفات قادت إلى استغلال مذهل لليابسة، ولتنوع هائل للنباتات الخضراء اليوم.

تشمل النباتات كل الطحالب الخضراء ونباتات اليابسة. لقد غزا طحلب أخضر يعيش في الماء العذب اليابسة بنجاح، وقد طورت أحفاده في النهاية إستراتيجيات تكاثرية وأنظمة للتوصيل، وثغورًا وكيوتيكل ما مكنها من التكيف جيدًا مع الحياة على اليابسة.

2-30 دورات حياة النباتات

تمر النباتات متعددة الخلايا بانقسام متساوٍ بعد كل اتحاد للجاميتات وانقسام منصف. وتكون نتيجة ذلك أفراد أحادية العدد الكروموسومي، متعددة الخلايا، وأفراد ثنائية العدد الكروموسومي متعددة الخلايا، وذلك بخلاف دورة حياة الإنسان، الذي يتبع فيه اتحاد الجاميتات الانقسام الاختزالي مباشرة. إن الإنسان ذو دورة حياة **ثنائية الكروموسومات Diplontic**، بمعنى أن المرحلة ثنائية العدد الكروموسومي هي فقط متعددة الخلايا، وفي المقابل، فإن دورات حياة النبات هي **أحادية ثنائية الكروموسومات Haplodiplontic**، أي إن لها مراحل متعددة الخلايا أحادية الكروموسومات وثنائية الكروموسومات.

تُنتج الدورات أحادية وثنائية الكروموسومات تعاقبًا في الأجيال

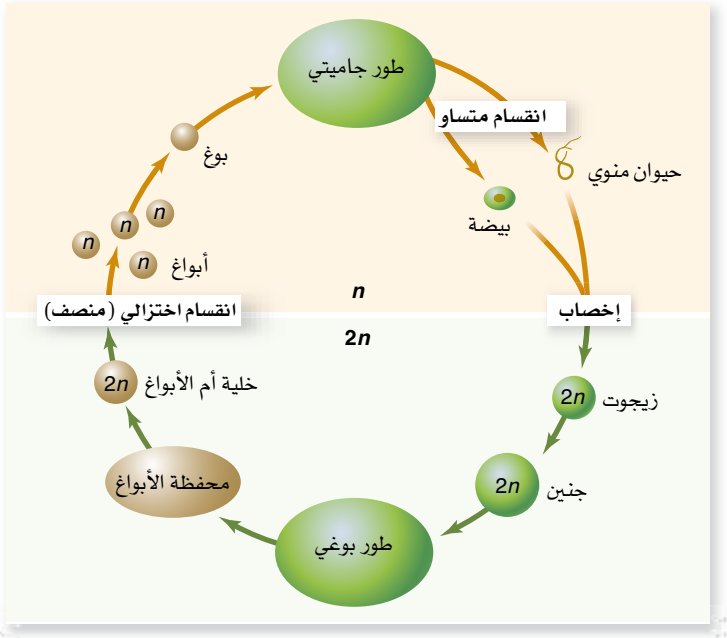
يلخص (الشكل 30-2) دورة الحياة الأحادية الثنائية الأساسية. الطحالب البنية والحمراء والخضراء هي أيضًا أحادية ثنائية. ينتج الإنسان الجاميتات عن طريق الانقسام المنصف، ولكن نباتات اليابسة تنتج الجاميتات بالانقسام المتساوي في أفراد تكون أحادية العدد الكروموسومي متعددة الخلايا. فالجيل ثنائي العدد الكروموسومي، أو **الطور البوغي Sporophyte**، يتبادل مع الطور أحادي العدد الكروموسومي، أو **الطور الجاميتي Gametopyte**. الطور البوغي يعني النبات البوغي، والطور الجاميتي يعني النبات الجاميتي. إنّ هذه المفردات تشير إلى نوع الخلايا التكاثرية التي تنتجها الأجيال على التوالي.

ينتج الطور البوغي ثنائي الكروموسومات أبواغًا أحادية (ليست جاميتات) عن طريق الانقسام الاختزالي. ويتم الانقسام الاختزالي في تراكيب تدعى **محافظ الأبواغ Sporangia** حيث تمر **الخلايا أم الأبواغ Spore mother cell** الثنائية بالانقسام الاختزالي، فينتج كل منها **أربعة أبواغ Spores** أحادية الكروموسومات. إنّ الأبواغ هي الخلايا الأولى للجيل الجاميتي، وهي تنقسم انقسامًا متساويًا، فتنتج طورًا جاميتيًّا أحادي الكروموسومات متعدد الخلايا.

الطور الجاميتي أحادي الكروموسومات هو مصدر الجاميتات. عندما تتحد الجاميتات، فإن الزيجوت المتشكل يكون ثنائي الكروموسومات، ويشكل الخلية الأولى للجيل البوغي اللاحق. ينمو الزيجوت إلى طور بوغي ثنائي الكروموسومات بالانقسام المتساوي، وينتج محافظ الأبواغ التي يحدث بها الانقسام الاختزالي أخيرًا.

يتباين الحجم النسبي للأجيال أحادية وثنائية العدد الكروموسومي

النباتات جميعها أحادية – ثنائية الكروموسومات، ومع ذلك فإنّ الجيل الأحادي يستغرق الجزء الأكبر من دورة الحياة في الحزازيات والخنشاريات، مقارنة بما هو



الشكل 30-2

دورة حياة نبات متعدد الخلايا عامة. لاحظ أن الأفراد أحادية العدد الكروموسومي وثنائية العدد الكروموسومي يمكن أن تكون متعددة الخلايا. تنتج الأبواغ كذلك عن طريق الانقسام الاختزالي، في حين تنتج الجاميتات عن طريق الانقسام المتساوي.

في معراة ومغطاة البذور. في الحزازيات الطحلبية، وحشائش الكبد، والخنشار، يكون الطور الجاميتي ضوئي التغذية، وحرّ المعيشة. فعندما تنظر إلى الحزازيات الطحلبية، تجد أن ما تراه هو أنسجة الطور الجاميتي بشكل رئيس؛ والطور البوغي يكون عادة أصغر، وذا تراكيب بنية أو مصفّرة ومتعلّقًا بأنسجة الطور الجاميتي. وعندما تنظر إلى معراة البذور أو مغطاة البذور كما في معظم الأشجار، فإن الطور البوغي هو الجزء الأضخم والأكثر وضوحًا.

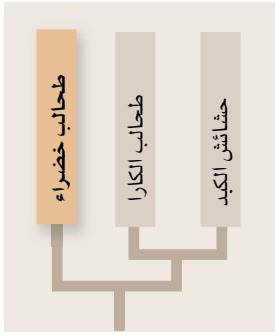
وعلى الرغم من أنّ الجيل البوغي يمكن أن يصل إلى حجم كبير، فإنّ حجم الطور الجاميتي صغير ومحدود في النباتات كلّها. ينتج الطور الجاميتي في الحزازيات الطحلبية جاميتات عند قمّته، وتكون البيضة مستقرة، ويسقط الحيوان المنوي بالقرب من البيضة في قطيرة من الماء. فإذا كان النبات الحزازي الطحلبي بحجم نبات السيكويا، فلن نحتاج فقط إلى نسيج وعائي للنقل والدعامة، بل إنّ على الحيوان المنوي أن يسبح ليتسلق الشجرة. في المقابل، يتطور الطور

الجاميتي الصغير للخنشار على أرضية الغابة، حيث يمكن أن تلتقي الجاميتات. إنّ الخنشاريات الشجرية متوافرة بشكل خاص في أستراليا، وتسقط الأبواغ الأحادية التي تكوّنها أشجار الطور البوغي على الأرض، وتتطور إلى طور جاميتي.

بعد أن أكملنا المراجعة العامة لدورات حياة النبات، علينا أن ننظر بعد ذلك إلى مجموعات النبات الرئيسة. في حين نحن نقوم بذلك، ستلاحظ اختزالًا في الطور الجاميتي من مجموعة إلى أخرى وفقدًا **لمحافظ الجاميتات Gametangia** متعددة الخلايا (تراكيب تنتج بها الجاميتات) وزيادة في التخصص للعيش على اليابسة بما في ذلك التكيفات التركيبية المدهشة للنباتات المزهرة، وهي النباتات السائدة اليوم.

النباتات متعددة الخلايا لها دورات حياة أحادية ثنائية العدد الكروموسومي. تنتج الأطوار البوغية الثنائية متعددة الخلايا أبواغًا أحادية بالانقسام الاختزالي. تتطور الأبواغ إلى طور جاميتي أحادي الكروموسومات متعدد الخلايا بالانقسام المتساوي ينتج جاميتات أحادية بالانقسام المتساوي.

3-30 الطحالب الخضراء: الطحالب الخضراء المائية

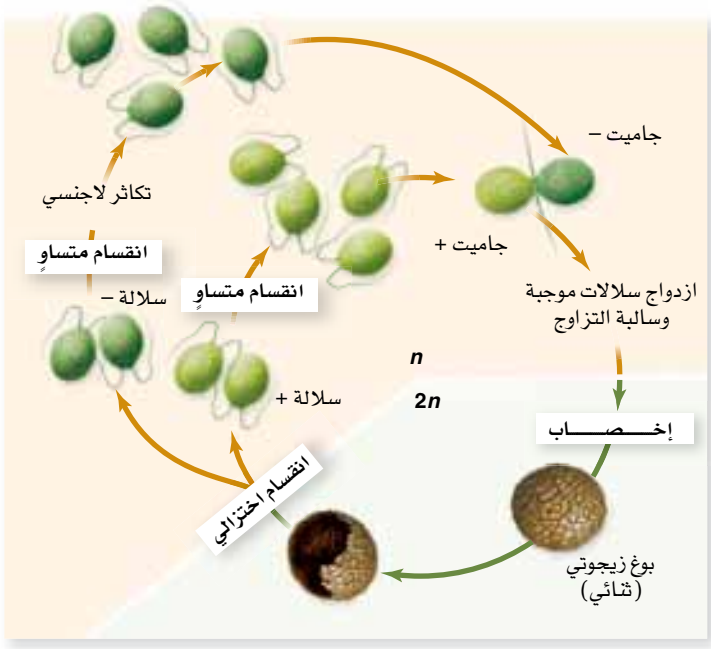


للطحالب الخضراء سلالتان متميزتان: **الطحالب الخضراء Chlorophytes** التي سنناقشها هنا، وسلالة أخرى هي **الطحالب السبحية Streptophytes** التي أعطت نباتات اليابسة (انظر الشكل 30-1). تحظى الطحالب الخضراء باهتمام خاص هنا بسبب تنوّعها غير العادي وخطوط تخصصها. للطحالب الخضراء سجل أحافير واسع يعود إلى 900 مليون سنة. الطحالب الخضراء الحديثة تشبه كثيرًا نباتات اليابسة خاصة في بلاستيداتها الخضراء التي تشبه من ناحية بيوكيميائية مثيلاتها في النباتات. فهي تحتوي كلوروفيل a و b إضافة إلى الكاروتينات.

قد تكون الطحالب الخضراء وحيدة الخلية

ربّما يمثل الطحلب الأخضر الكلاميدوموناس *Chlamydomonas* الحالة البدائية للطحالب الخضراء (الشكل 30-3). فالأفراد مجهرية (عادة أقل من 25 ميكرومترًا طولًا) وخضراء، ومستديرة، ولها سوطان في الطرف الأمامي. تتحرك سريعًا في الماء بالضرب بالأسواط في اتجاهات متعاكسة. وكل فرد لديه بقعة عينية تحتوي نحو 100,0000 جزيء من الرودوبسين، وهي الصبغة نفسها المستخدمة في عيون الفقريات. يستخدم الضوء الذي تستقبله البقعة العينية من قِبل الطحلب لتوجيه السباحة. معظم أفراد الكلاميدوموناس أحاديّ العدد الكروموسومي، ويتكاثر لاجنسيًّا، وجنسيًّا كذلك (انظر الشكل 30-3).

لقد اشتقت خطوط عدة من التخصص التطوري من مخلوقات، مثل الكلاميدوموناس. أول هذه الخطوط تطور طحالب خضراء أحادية الخلية غير متحركة. فالكلاميدوموناس قادر على استرجاع أسواطه، والاستقرار بوصفه مخلوقًا وحيد الخلية إذا ما جفت البركة التي يعيش فيها. فقد وجدت بعض الطحالب الشائعة في التربة، والقلف مثل كلوريللا *Chlorella* وهي بشكل أساسي تشبه الكلاميوموناس في هذه الصفة، ولكنها لا تمتلك القدرة على تكوين الأسواط. الكلوريللا شائعة الانتشار في الماء العذب، والمالح، وفي التربة. ومعروف أنها تتكاثر لاجنسيًّا فقط.

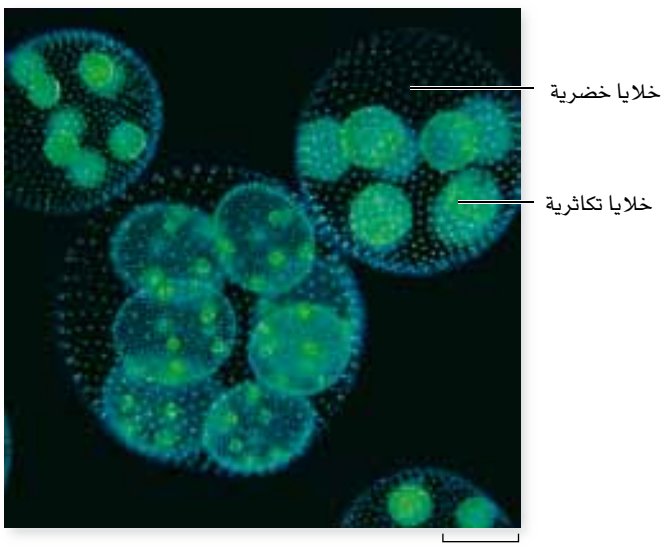


الشكل 30-3

دورة حياة الكلاميدوموناس. هذا الطحلب الأخضر وحيد الخلية له تكاثر جنسي ولاجنسي. بخلاف الطحالب الخضراء متعددة الخلايا لا يكون اتحاد الجاميتات متبوعًا بانقسام متساوٍ.

الشكل 30-4

الفولفوكس. يشكل هذا الطحلب الأخضر مستعمرة، حيث تتخصص بعض الخلايا للتكاثر. يمثل الفولفوكس مرحلة وسطية على الطريق نحو تعدد الخلايا.



الطحالب الخضراء المكوّنة للمستعمرات تبدي بعض التخصص في الخلايا

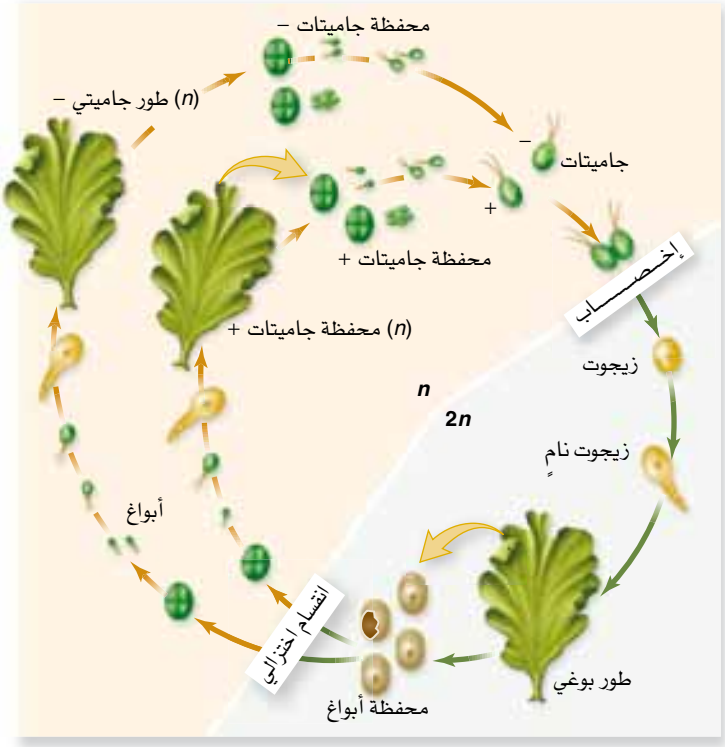
يتعلّق خط رئيس آخر من التخصص من خلايا تشبه خلايا كلاميدوموناس، بتكوين مخلوقات مشكّلة للمستعمرات ومتحركة. في هذه الأجناس من الطحالب الخضراء، تحتفظ الخلايا شبيهة الكلاميدوموناس ببعض فرديتها.

يُعدّ الفولفوكس *Volvox* (الشكل 30-4) الأكثر تعقيدًا بين هذه المخلوقات، وهو يشبه كرة مجوّفة مكوّنة من طبقة واحدة من 500 – 60,000 خلية مفردة، كل منها لها سوطان. عدد قليل من الخلايا فقط هي تكاثرية، وبعض الخلايا التكاثرية تنقسم لاجنسيًّا؛ إذ تنبعج داخليًّا وتعطي مستعمرات جديدة تبقى بصورة مبدئية ضمن المستعمرة الأم. أمّا بعضها الآخر فينتج جاميتات.

قد تظهر الطحالب الخضراء متعددة الخلايا دورات حياة أحادية وثنائية العدد الكروموسوميّ

توجد دورات الحياة الأحادية-الثنائية في بعض الطحالب الخضراء والطحالب السبحية التي تضم طحالب الكارا ونباتات اليابسة. إنّ طحلب أولفا *Ulva* هو طحلب أخضر متعدد الخلايا له جيل جاميتي، وآخر بوغي متماثلان تمامًا، ويتألف كل منهما من طبقتين من الخلايا المسطحة (الشكل 30-5). وبخلاف طحالب الكارا، فإنّ أيًّا من الطحالب الخضراء السلفية لا يعطي نباتات اليابسة.

اشتقت طحالب وحيدة الخلية غير متحركة وطحالب متعددة الخلايا مشكّلة للمستعمرات، وذات أسواط من طحالب خضراء، مثل الكلاميدوموناس، وهو مخلوق أحادي الخلية، ثنائي الأسواط. واشتقت طحالب خضراء متعددة الخلايا، من ضمنها أولفا من أسلاف وحيدة الخلايا بسيطة. الطحالب الخضراء لم تتطور إلى نباتات اليابسة.



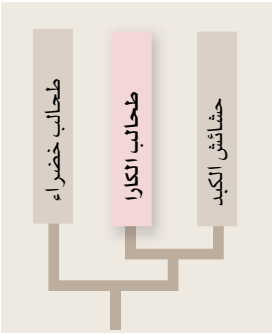
الشكل 30-5

دورة حياة الطحلب أولفا. هذا الطحلب الأخضر له دورة حياة أحادية وثنائية العدد الكروموسومي. الطوران البوغي والجاميتي متعددا الخلايا ومتطابقان في المظهر.

استقصاء

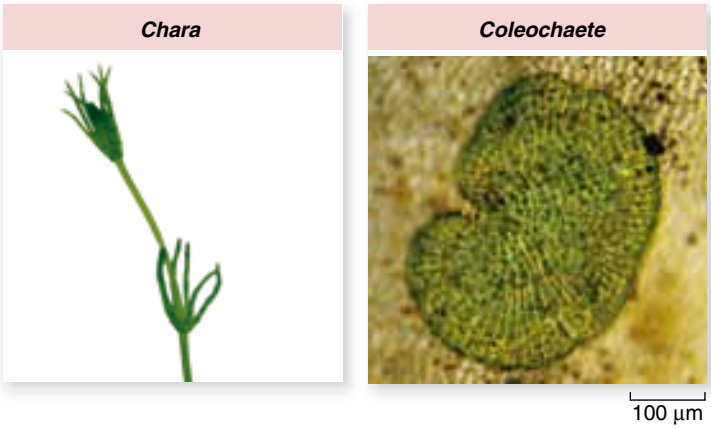
هل تتشكل جاميتات أولفا بالانقسام الاختزالي؟ اشرح إجابتك.

4-30 طحالب الكارا: طحالب خضراء ذات علاقة بنباتات اليابسة



طحالب الكارا سلالة من الطحالب السبحية، وهي طحالب خضراء أيضًا، تتميز عن بقية الطحالب الخضراء بقرب علاقتها النشوئية مع نباتات اليابسة. لقد حيَّر تشخيص أي سلالات طحالب الكارا هي شقيقة (ذات علاقات وثيقة) لنباتات اليابسة علماء الأحياء مدة من الزمن. وفي الوقت الراهن، يحابي الدليل الجزيئي المشتق من RNA الرايبوسومي وتعاقبات DNA طحالب الكارا على أنها السلالة الطحلبية الخضراء في الطحالب السبحية.

إنّ السلالتين المرشحتين من طحالب الكارا، هما Charales التي تضم نحو 300 نوع و Coleochaetales التي تضم 30 نوعًا (الشكل 30-6). كلتا السلالتين طحالب ماء عذب بشكل أساسي، لكن الأولى، Charales، أضخم مقارنة بالسلالة الثانية المجهرية. وإن كلتاهماذات شبه مع نباتات اليابسة. السلالة الثانية، *Coleochaete*، وأقاربها لها روابط سيتوبلازمية بين الخلايا



الشكل 30-6

تمثل طحالب *Chara* و *Coleochate* السلالتين الأكثر قربًا مع نباتات اليابسة. طحلب الكارا وأقرباؤه يعتقد الآن أنه يتشاطر سلفًا مشتركًا مع الطحلب الذي أعطى نباتات اليابسة كلّها.

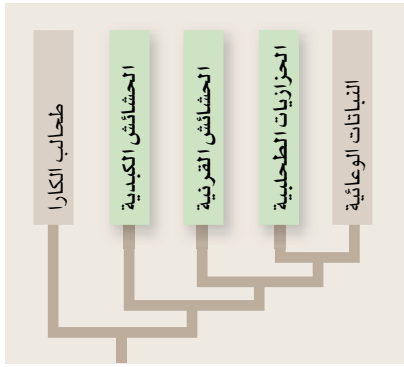
تدعى بلازمودسماتا *Plasmodesmata* توجد في نباتات اليابسة. طحلب الكارا *Chara* يمر بانقسام متساوٍ وتخصّر في السيتوبلازم، مثل خلايا نباتات اليابسة. وشكلت كلتا السلالتين سجادة خضراء حول حواف برك الماء العذب والسبخات، ولا بد أنّ أحد الأنواع قد تمكن من شق طريقه نحو اليابسة بنجاح.

في الوقت الراهن، يبدو أن **السلالة الأولى** Charales هي السلالة الشقيقة لنباتات اليابسة. في حين أن السلالة الثانية هي ثاني الأقارب قربًا. تعود متحجرات السلالة الأولى إلى 420 مليون سنة، ما يشير إلى أن السلف المشترك مع نباتات اليابسة كان طحلبًا معقدًا نسبيًّا يعيش في الماء العذب.

السلالة Charales طحالب خضراء ربما تكون الشقيق الأقرب لنباتات اليابسة.

5-30 الحزازيات: نباتات خضراء لا وعائية

إن **الحزازيات Bryophytes** أقرب الأحفاد الحية لنباتات اليابسة الأولى. النباتات في هذه المجموعة تدعى أيضًا لاوعائيات بسبب افتقارها إلى خلايا نقل مشتقة تدعى القصيبات *Tracheids*.



يمكن استخدام الدليل من الأحافير، ومن علم التصنيف التطوري الجزيئي لإعادة بناء أشكال حياة نباتات اليابسة الأولى. لقد كان توافر الماء والغازات عوامل محددة. ومن المحتمل أن هذه النباتات كان لديها قدرة محدودة على تنظيم مستويات الماء داخليًّا، وربما كانت قادرة على تحمل الجفاف. وهي صفات موجودة في معظم الحزازيات الحية، على الرغم من أن بعضها مائيّ.

تفتقر الطحالب، بما في ذلك Charales، إلى الجذور. الفطريات ونباتات اليابسة تعايشتا معًا، إذ شكلت الفطريات علاقة وثيقة مع النباتات حسنت من امتصاص الماء. إن علاقة التعايش الحميمة التي نشأت بين الفطريات والنباتات، وتدعى علاقة **الفطريات الجذرية Mycorrhizal association**، موجودة أيضًا في كثير من الحزازيات الحية.

الحزازيات غير متخصصة ولكنها ناجحة في كثير من البيئات

تضم الحزازيات 24,700 نوعًا تقريبًا، وكلها بسيطة، ولكنها متكيفة لبيئات يابسة متنوعة تضم حتى الصحاري. معظم الحزازيات صغيرة، والقليل منها يتجاوز ارتفاعه 7سم. للحزازيات خلايا ناقلة للماء والمواد الغذائية غير القصيبات. إن القصيبات صفة مشتقة تميز كل النباتات الوعائية، وهي نباتات اليابسة جميعها باستثناء الحزازيات.

أحيانًا، تدعى الحزازيات النباتات اللاوعائية، لكن مصطلح عديمة القصيبات *Nontracheophyte* هو أكثر دقة؛ لأن لديها خلايا ناقلة من أنواع مختلفة.

يتفق العلماء الآن على أن الحزازيات تتألف من ثلاث سلالات من نباتات غير متخصصة متميزةً تمامًا، هي: **حشائش الكبد Liverworts**، **والحشائش القرنية Hornworts والحزازيات الطحلبية Mosses**. الأطوار الجاميتية بها ضوئية التغذية وأكثر وضوحًا من الأطوار البوغية. تتعلق الأطوار البوغية بالأطوار الجاميتية، وتعتمد عليها في التغذية بدرجات مختلفة. بعض الأطوار البوغية تنغمر كليًّا في أنسجة الطور الجاميتي، وبعضها الآخر ليس كذلك، وهو عادة ما يتحول إلى لون بني أو مصفر عند النضج. ومثلها مثل الخنشاريات والنباتات الوعائية الأخرى (ذوات القصيبات)، تحتاج الحزازيات إلى الماء (كماء المطر) لكي تتكاثر جنسيًّا، وكأنما هي تتبع أصولها المائية. ولهذا، فليس مستغربًا أن تكون شائعة بشكل خاص في الأماكن الرطبة في كل من المناطق الاستوائية والمعتدلة.

تُشكّل حشائش الكبد قبيلة قديمة

إنَّ الكلمة الإنجليزية القديمة *Wyrt* تعني نباتًا أو عشبًا. تمتلك بعض حشائش الكبد الشائعة (قبيلة النباتات الكبدية) أطوارًا جاميتية مسطحة ذات فصوص تشابه تلك التي في الكبد، ومن هنا جاء اسمها. وعلى الرغم من أن حشائش الكبد المفصصة هي أفضل من يمثل هذه القبيلة، فإنها لا تشكل سوى 20% من الأنواع (الشكل 30-7). أما الـ 80% الباقية فهي ورقية، وتشبه الحزازيات ظاهريًّا. يكون الطور الجاميتي منبطحًا لا قائمًا، وأشباه الجذور وحيدة الخلايا.

لدى بعض حشائش الكبد أكياس هوائية تحتوي صفوفًا متفرعةً قائمةً من الخلايا القادرة على البناء الضوئي، وكل كيس له ثقب عند القمة لتسهيل تبادل الغازات. وبخلاف الثغور، تكون هذه الثقوب مفتوحة بشكل ثابت، ولا تستطيع الإغلاق.

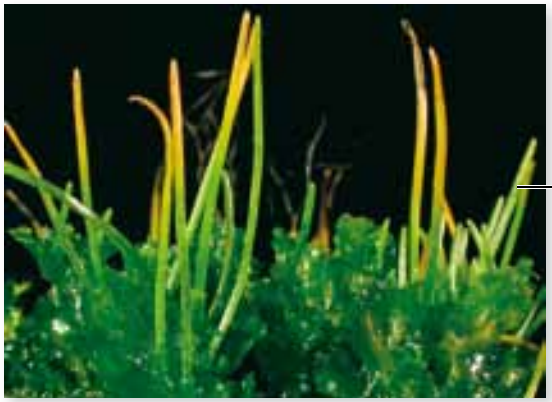
التكاثر الجنسي في حشائش الكبد شبيه بذلك الذي في الحزازيات. قد تشكل حشائش الكبد المفصصة محافظ جاميتية في تراكيب تشبه المظلّة. يحدث التكاثر اللاجنسي عندما تنمو قطع من الأنسجة تشبه العدسة، بعد أن تتحرر من النبات الجاميتي، لكي تنمو مشكلة نباتًا جاميتيًّا جديدًا.

طوّرت الحشائش القرنية ثغورًا

يُعَدُّ أصل الحشاش القرنية (قبيلة Anthocerophyta) محيرًا. فربما تكون من بين أقدم نباتات اليابسة، ومع ذلك، فإن أقدم متحجرات أبواغ الحشائش القرنية تعود إلى الحقبة الطباشيرية (65-145 مليون سنة خلت) عندما بدأت مغطاة البذور بالظهور.

الشكل 30-7

حشيشة الكبد الشائعة، الماركنتيا، (قبيلة النباتات الكبدية). النباتات البوغي المجهري يتشكل بالإخصاب ضمن أنسجة تراكيب تشبه المظلّة ترتفع من سطح النبات الجاميتي الزاحف الأخضر المسطح.



الشكل 30-8

الحشائش القرنية (قبيلة Anthocerophyta). يبدو الطور البوغي للحشائش القرنية في هذه الصورة. تكون معظم النباتات البوغية للحشائش القرنية ضوئية التغذية، بخلاف الطور البوغي لأنواع الحزازيات الأخرى.

يشبه الطور البوغي الصغير للحشائش القرنية يد المكنسة الخضراء الصغيرة أو القرون، إذ يرتفع من الطور الجاميتي الرقيق الذي يكون عادةً أقل من 2 سم قطرًا (الشكل 30-8). وتكون قاعدة الطور البوغي مغمورة في أنسجة الطور الجاميتي التي تستمد منها بعض الغذاء. ومع ذلك، فإن الطور البوغي له ثغور تنظم التبادل الغازي، وهو ضوئي التغذية، ويعطي معظم الطاقة المطلوبة للنمو والتكاثر. تحتوي خلايا الحشائش القرنية عادة على بلاستيدة خضراء واحدة كبيرة.

الحزازيات الطحلبية لها أشباه جذور وأنسجة ناقلة للماء

بخلاف نوعي الحزازيات السابقين، يتألف الطور الجاميتي **للحزازيات الطحلبية Mosses** بشكل نموذجي من تراكيب صغيرة تشبه الأوراق (ليست أوراقًا حقيقية تحتوي أنسجة وعائية)، وتكون الأوراق مرتبة حلزونيًّا أو بالتبادل حول محور يشبه الساق (الشكل 30-9)؛ ويكون المحور مثبتًا بالأرضية التي يعيش عليها عن طريق **أشباه جذور Rhizoids**. يتألف كل شبه جذر من خلايا متعددة تمتص الماء، ولكن ليس بحجم الماء نفسه الذي تمتصه جذور النباتات الوعائية.

الشكل 30-9

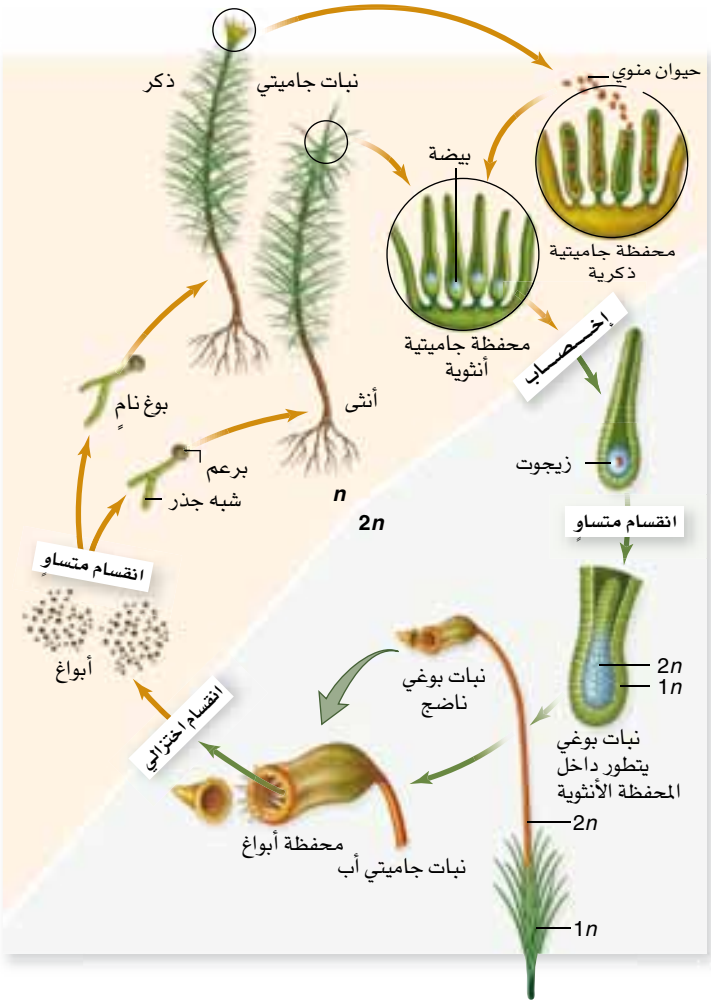
الحزاز الطحلبي الكأس الشَّعْري Polytrichum (قبيلة النباتات الحزازية). التراكيب التي تشبه الأوراق تعود للنبات الجاميتي، وكل من الأعناق البنية المصفرة وذات المحفظة (محفظة الأبواغ) عند قمتها تشكل النبات البوغي.

لا تشترك التراكيب الورقية للحزازيات الطحلبية في الكثير مع أوراق النباتات الوعائية، فيما عدا المظهر الخارجي للنصل المسطح الأخضر، وللعرق الوسطي السميك قليلًا الذي يمتد طوليًّا في وسط الورقة. الأوراق سمكها طبقة خلوية واحدة فقط (فيما عدا العرق الوسطي) وإنها تفتقر إلى الأشرطة الوعائية، والثغور. والخلايا جميعا مفردة العدد الكروموسومي.

قد يرتفع الماء في شريط من الخلايا المتخصصة في مركز محور النبات الجاميتي للحزازيات الطحلبية. بعض هذه النباتات له أيضًا خلايا متخصصة لنقل الغذاء تحيط بتلك الناقلة للماء.

تكاثر الحزازيات الطحلبية

تتشكل محافظ جاميتية متعددة الخلايا عند قمة النبات الجاميتي الورقي (الشكل 30-10). فالمحافظ الجاميتية الأنثوية **Archegonia** قد تتطور إما على النبات الجاميتي المنتج **للمحافظ الجاميتية الذكرية Antheridia** أو على نباتات مختلفة. تنتج بيضة واحدة في الجزء السفلي المنتفخ من المحفظة الأنثوية، في حين ينتج كثير من الحيوانات المنوية في المحفظة الجاميتية الذكرية.



الشكل 30-10

دورة حياة حزاز طحلبي نموذجي. معظم دورة حياة الحزاز الطحلبي حالة فردية الكروموسومات. النبات الجاميتي الورقي ضوئي التغذية، لكن النبات البوغي الأصغر ليس كذلك، بل هو معتمد غذائيًّا على النبات الجاميتي. الماء ضروريّ لحمل الحيوانات المنوية إلى البيضة.

عندما تتحرر الحيوانات المنوية من المحفظة الذكرية تسبح بمساعدة الأسواط خلال طبقة رقيقة من الندى أو ماء المطر إلى المحفظة الأنثوية. ويتحد حيوان منوي واحد (مفرد الكروموسومات) مع البيضة (مفردة أيضًا) فيشكلان زيجوتًا ثنائي الكروموسومات. ينقسم الزيجوت انقسامًا متساويًا، ويتطور إلى نبات بوغي، وعنق قاعدي رفيع ذي محفظة منتفخة عند القمة هي محفظة الأبواغ *Sporangium*. وفي حين يتطور النبات البوغي، فإن قاعدته تكون مغمورة في أنسجة النبات الجاميتي الذي يشكل مصدره الغذائي.

تكون محفظة الأبواغ غالبًا أسطوانية أو صولجانية الشكل. وتعايش خلايا أمهات الأبواغ انقسامًا اختزاليًّا داخل المحفظة، فتنتج كل منها أربعة أبواغ مفردة. في كثير من الحزازيات الطحلبية، تنفجر قمة المحفظة عند النضج، وتتحرر الأبواغ. والأبواغ التي تستقر في موقع رطب مناسب قد تنمو، مستخدمة الانقسام المتساوي، إلى تراكيب تشبه الخيوط تتفرع لتشكل أشباه الجذور، وتتبرعم لتنمو قائمة، حيث يتطور كل برعم إلى نبات جاميتي جديد مكون من محور ورقي.

انتشار الحزازيات الطحلبية

تشكل هذه النباتات أكثر النباتات وفرة في المنطقة القطبية الشمالية والجنوبية، ما يشكل العدد الأكبر من الأفراد في هذه المناطق القاسية. غير أن أكبر تنوّع لأنواع الحزازيات الطحلبية موجود في المناطق الاستوائية. كثير من الحزازيات قادر على مقاومة فترات الجفاف الطويلة على الرغم من أنها ليست شائعة في الصحاري.

معظم الحزازيات الطحلبية حساسة جدًا لتلوّث الهواء، ونادرًا ما توجد بوفرة في المدن، أو قربها، أو في المناطق ذات المستوى العالي من تلوّث الهواء. بعض الحزازيات الطحلبية مثل طحالب الخُثّ *Sphagnum* تستطيع امتصاص نحو 25 مرّة قدر وزنها من الماء، وهي مهمة تجاريًّا بوصفها مكيفًا للتربة، أو وقودًا عندما تجف.

السلالات الثلاث الرئيسة من النباتات عديمة القصيبات، هي: الحشائش الكبدية والحشائش القرنية، والحزازيات الطحلبية، جميعها غير متخصصة نسبيًّا، ولكنها متلائمة بشكل جيد مع بيئات أرضية متباينة.

6-30 سمات النباتات الوعائية

إنّ أول النباتات الوعائية التي لدينا ولها سجل كامل تقريبًا تنتمي إلى قبيلة Rhyniophyta. لقد ازدهرت هذه النباتات منذ 410 ملايين سنة، ولكنها الآن منقرضة. ونحن غير متأكدين كيف كانت تبدو أقدم النباتات الوعائية، ولكن متحجرات *Cooksonia* تعطينا فكرة عن خصائصها (الشكل 30-11). نبات *Cooksonia*، أول نباتات اليابسة الوعائية المعروفة، ظهر في الحقبة السيلورية المتأخرة منذ نحو 420 مليون سنة. لقد كان نباتًا ناجحًا جزئيًّا؛ لأنه واجه منافسة قليلة في أثناء انتشاره فوق مساحات واسعة من اليابسة. والنباتات كانت تصل إلى بضعة سنتمترات فقط في الطول، ولم يكن لها جذور أو أوراق. لقد تكوّنت من محور متفرع تشعبت أغصانه بشكل متساوٍ، وامتدت بخفّة نحو القمة. وقد كانت **متجانسة الأبواغ Homosporous** (تنتج نوعًا واحدًا فقط من الأبواغ)، وكانت محافظ الأبواغ تتشكل عند قمم الأفرع. وقد طوّرت النباتات الوعائية القديمة الأخرى التي أعقبته تشكيلات أكثر تعقيدًا من محافظ الأبواغ، ثم بدأت الأوراق بالظهور على هيئة درنات من السيقان.

الشكل 30-11

الجنس *Cooksonia*، أول نباتات اليابسة الوعائية المعروفة. تمثل الأحفورة نباتًا عاش منذ 410 ملايين سنة. يعود الجنس *Cooksonia* إلى قبيلة *Rhyniophyta* التي تتألف بشكل كامل من نباتات منقرضة. ينتهي ساقها القائم المتفرع الذي لا يتجاوز ارتفاعه بضعة سنتمترات بمحافظ بوغية، كما تشاهد هنا. وربما عاش هذا الجنس في بيئات رطبة مثل المستويات الوحلية، وكان له كيوتيكل مقاوم، وأنتج أنواعًا تشبه أنواع النباتات الوعائية.

يسمح النسيج الوعائي بتوزيع المواد الغذائية

لقد أصبح نبات *Cooksonia* والنباتات المبكرة الأخرى التي أعقبته مستعمرًا ناجحًا لليابسة بتطويره أنظمة لنقل الماء والغذاء تدعى الأنسجة الوعائية *Vascular tissue*. تتألف هذه الأنسجة من أشرطة من خلايا أسطوانية أو متطاولة، متخصصة، وتشكل شبكة خلال النبات، وتمتد من قرب قمم الجذور، وخلال السيقان، وإلى داخل الأوراق الحقيقية، التي تُعرّف بوجود الأنسجة الوعائية في النصل. أحد أنواع الأنسجة الوعائية، وهو **الخشب Xylem** ينقل الماء والمعادن المذابة به إلى الأعلى من الجذور؛ والنوع الآخر من الأنسجة هو **الماء Phloem** الذي ينقل السكروز والإشارات الهرمونية خلال النبات. تمكّن الأنسجة الوعائية من تحسين الارتفاع والحجم في النباتات الوعائية. إن من المهم ملاحظة أن الأنسجة الوعائية تتطور في النبات البوغي، وليس (مع القليل من الاستثناءات) في النبات الجاميتي. (سيناقش تركيب الأنسجة الوعائية بشكلٍ وافٍ في الفصل الـ 38). إن وجود الكيوتيكل والثغور هما أيضًا من سمات النباتات الوعائية.

استقصاء

ربما كان للنباتات الوعائية ميزة انتخابية في أثناء تطور نباتات اليابسة. اشرح السبب.

تضم النباتات الوعائية سبع قبائل قائمة تندرج في ثلاث سلالات

توجد اليوم ثلاث سلالات من النباتات الوعائية، هي: (1) **لايكوفاتيا Lycophyta** (الحزازيات الصولجانية، (2) **النباتات المجنحة Pterophyta** (الخنشاريات وأقرباؤها)، (3) **والنباتات البذرية Seed**

plants. لقد غير التقدم في علم التصنيف التطوري الجزيئي الطريقة التي ننظر بها إلى التاريخ التطوري للنباتات الوعائية. فالخنشاريات المُكَنَسة، وذيل الحصان كان يعتقد مدة طويلة أنها قبائل متميزة وانتقالية بين الحزازيات والنباتات الوعائية. ويبين الدليل النشوئي الآن أنها أقرب الأقارب الحية للخنشاريات، وضُمت في سلالة النباتات المجنحة.

سادت قبائل النباتات الوعائية السبع الحية (الجدول 30-1) البيئات اليابسة في كل مكان باستثناء أعلى القمم الجبلية والتندرا. وتسود فيها دورات الحياة الأحادية والثنائية العدد الكروموسومي، ولكن النبات الجاميتي اختزل في الحجم نسبة للنبات البوغي في أثناء تطور النباتات الوعائية. وقد حدث اختزال مماثل في محافظ الجاميتات متعددة الخلايا كذلك.

شكلت البذور ابتكارًا آخر في بعض القبائل

لقد صاحب اختزال حجم النبات الجاميتي وتعقيده ظهورُ البذور. إن **البذور Seeds** تراكيب عالية المقاومة، ومتلائمة بشكل جيد لحماية جنين النبات من الجفاف، ولدرجة ما من المفترسات. إضافة إلى ذلك، فإن البذور جميعها غالبًا ما تحتوي وافرًا من الغذاء للنبات الصغير. توجد البذور فقط في النباتات **مختلفة الأبواغ Heterosporous** (النباتات التي تنتج نوعين من الأبواغ التي تتطور إلى طور جاميتي مذكر ومؤنث مفرد الكروموسومات). يعتقد أن اختلاف الأبواغ ظهر عدة مرات في مسيرة تطور النباتات من تماثل الأبواغ. فزيجوتات متماثلة

الجدول 30-1 القبائل السبع القائمة للنباتات الوعائية

القبيلة	المثال	السمات الأساسية	العدد التقريبي للأنواع الحية
النباتات البذرية			
النباتات الزهرية	النباتات المزهرة (مغطاة البذور)	مختلفة الأبواغ، الحيونات المنوية غير متحركة، تُنقل إلى البيضة عن طريق أنبوب اللقاح، البذور محاطة بالثمرة، والأوراق تتباين كثيرًا في الحجم والشكل. أعشاب، ومتسلقات، وشجيرات، وأشجار. نحو 14.000 جنس.	250,000
النباتات المخروطية	المخروطيات (بما في ذلك الصنوبر، والبيّسيَّة، والطَّقْوس، والتُّوب، والخشب الأحمر وغيرها)	نباتات بذرية مختلفة الأبواغ، الحيوانات المنوية غير متحركة، تنتقل إلى البيضة عن طريق أنبوب اللقاح. الأوراق غالبًا إبرية أو حرشفية. أشجار وشجيرات. نحو 50 جنسًا. كثير منها ينتج بذورًا في مخاريط.	601
النباتات السيكادية	السيكادا	مختلفة الأبواغ، الحيوانات المنوية ذات أسواط ومتحركة، ولكنها مقيدة ضمن أنبوب اللقاح الذي ينمو نحو البيضة. نباتات تشبه نبات النخيل، وأوراقها ريشية. النمو الثانوي بطيء بالمقارنة مع المخروطيات. عشرة أجناس. البذور في مخاريط.	206
النباتات النيتووِيَّة	النباتات النيتوية	مختلفة الأبواغ، الحيوانات المنوية غير متحركة؛ تنتقل إلى البيضة عن طريق أنبوب اللقاح. هي الوحيدة من بين معراة البذور التي لها أوعية؛ وأشجار، وشجيرات، ومتسلقات. ثلاثة أجناس شديدة التباين (*EphedraGnetum,Welwitschia*).	65
النباتات الجِنَكيَّة	الجنكو *Ginkgo*	مختلفة الأبواغ، الحيوانات المنوية ذات أسواط ومتحركة، ولكنها تُنقل إلى مقربة من البيضة عن طريق أنبوب اللقاح. أشجار متساقطة الأوراق ذات أوراق تشبه المروحة، ولها عروق متشعبة بالتساوي. البذور تشبه الثمرة الصغيرة وذات غطاء خارجي لحمي كريه الرائحة. جنس واحد.	1
النباتات الوعائية اللابذرية			
النباتات المجنحة	الخنشاريات	متماثلة الأبواغ غالبًا (القليل منها مختلف الأبواغ). الحيوانات المنوية متحركة. الماء الخارجي ضروري للإخصاب. تنفرد لفات الأوراق مع النضج. الطور البوغي الأطوار الجاميتية كلها ضوئية التغذية. نحو 365 جنسًا.	11,000
	ذيل الحصان	متماثلة الأبواغ، الحيوانات المنوية متحركة. الماء الخارجي ضروري للإخصاب. السيقان مُضلعة ومتمفصلة، وهي إما ضوئية أو غير ضوئية التغذية. الأوراق حرشفية، وفي دوائر حول الساق، وغير ضوئية التغذية عند النضج. جنس واحد. متماثلة الأبواغ.	15
	خنشار المكنسة	متماثلة الأبواغ، الحيوانات المنوية متحركة، الماء الخارجي ضروري للإخصاب. لا يوجد تمايز بين الساق والجذر، ليس لها أوراق، أحد الجنسين له امتدادات تشبه الحراشف، والآخر له زوائد تشبه الأوراق.	6
النباتات الصولجانية	الحزاز الصولجاني	متماثلة أو مختلفة الأبواغ، الحيوانات المنوية متحركة. الماء الخارجي ضروري للإخصاب. نحو 12-13 جنسًا.	1150

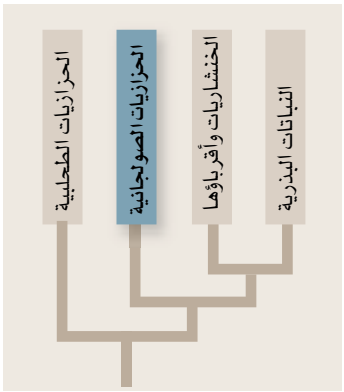
الأبواغ يمكن إنتاجها من النبات الجاميتي نفسه، أو من نباتين جاميتين مختلفين. أما زيجوتات مختلفة الأبواغ فتنتج من نباتين جاميتيين مختلفين. إن اختلاف الأبواغ يزيد من فرص التشكيلات الجنسية الجديدة في أثناء التكاثر الجنسي.

تضيف الثمار في النباتات المزهرة طبقة من الوقاية للبذرة، وتجتذب الحيوانات التي تساعد على انتشار البذور، ما يوسع المدى الكامن للأنواع. أما الأزهار التي نشأت في مغطاة البذور، فتجذب الملقحات. وتسمح الأزهار للنباتات لكي تضمن فوائد تلقيح خارجي واسع ما يشجع التباين الوراثي.

تمتلك معظم النباتات الوعائية أنسجة ناقلة متطورة جدًا، وجذورًا، وأوراقًا، وجذورًا متخصصة، إضافة إلى الثغور والكيوتيكل. كثير من النباتات لها بذور تحمي الجنين إلى أن تصبح الظروف ملائمة لمزيد من التطور الجنيني.

7-30 الحزازيات الصولجانية

كانت أقدم النباتات الوعائية تفتقر إلى البذور، إذ إن أفراد أربع قبائل من النباتات الوعائية الحية تفتقر أيضًا إلى البذور، وتفتقر إليها كذلك ثلاث قبائل على الأقل معروفة من سجل الأحافير. وبينما نحن نستقصي تكيفات النباتات الوعائية، سنركز على الإستراتيجيات التكاثرية والمزايا التي تمنحها أنظمة النقل المعقدة بصورة متزايدة.



الحزازيات الصولجانية بقايا معمرة لأنواع عاشت في الزمن القديم عندما نشأت النباتات الوعائية أول مرّة (الشكل 30-12). إنها تشكل المجموعة الشقيقة للنباتات الوعائية جميعها. وقد أصبحت أجناس عدة من الحزازيات الصولجانية منقرضة منذ 270 مليون سنة (بعضها يشبه الأشجار). أما اليوم فإنها واسعة الانتشار عالميًّا، ولكنها أكثر وفرة في المناطق الاستوائية والمناطق المعتدلة الرطبة.

تشابه أفراد 12-13 جنسًا ونحو 1150 نوعًا حيًّا من الحزازيات الصولجانية الحزازيات الطحلبية الحقيقية ظاهريًّا، ولكن ما إن عُرف تركيبها الداخلي وعملياتها التكاثرية حتى أصبح واضحًا أن هذه النباتات الوعائية ليست مرتبطة تمامًا مع الحزازيات الطحلبية. الحزازيات الصولجانية الحديثة إما متماثلة الأبواغ، أو مختلفة الأبواغ. والطور البوغي له ساق ورقية نادرًا ما تتجاوز 30 سم طولًا.

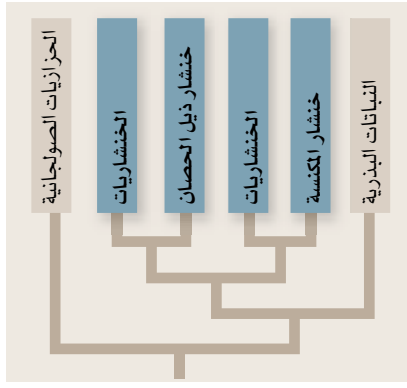
الشكل 30-12

الحزاز الصولجاني. ينمو *Lycopodium clavatum* على أرضية الغابات الرطبة.

الحزازيات الصولجانية تشكل قاعدة للنباتات الوعائية الأخرى جميعها. إنها تشبه الحزازيات ظاهريًّا، ولكنها ليست قريبة لها.

8-30 النباتات المجنّحة: الخنشاريات وأقرباؤها

لا يزال البحث جاريًا في علاقات النشوء بين الخنشاريات وأقرب أقربائها. هناك سلف مشترك أعطى سلالتين: الأولى انشقت لتنتج خطًّا من الخنشاريات وذيل الحصان. والثانية انشقت لتنتج خطًّا من الخنشاريات، وخنشار المكنسة، وهي نباتات تشبه النباتات القديمة.



خنشار المكنسة وذيل الحصان هما قريبان حميمان للخنشاريات. ومثلها كمثل الحزازيات الصولجانية. والحزازيات كلّها تشكّل محافظ جاميتية ذكرية وأنثوية. والماء الحر ضروري لعملية الإخصاب، حيث تسبح الحيوانات المنوية ذات الأسواط، وتتحد مع البيوض. في المقابل، فإن معظم النباتات البذرية لها حيوانات منوية ليست مسوّطة.

فقدت خنشاريات المكنسة جذورها وأوراقها ثانويًّا

يتكون الجيل البوغي في **خنشار المكنسة Whisk ferns**، الذي يعيش في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية، من مجرد سيقان خضراء متفرعة بشكل متساوٍ، ودون جذور (الشكل 30-13). والنوعان الاثنان أو الثلاثة من الجنس *Psilotum* لها ثنيات من الأنسجة صغيرة وخضراء، ومرتبة حلزونيًّا. ولكن ليس لديها عروق وسطى أو ثغور. ويعتقد علماء التصنيف التطوري حاليًّا أن خنشار المكنسة فقد الأوراق والجذور عندما انشق عن غيره من سلالات الخنشار.

وبالنظر إلى التركيب البسيط لخنشار المكنسة، فإن من المدهش بشكل خاص أن نكتشف أنه موحد الأصل مع الخنشار. إن النبات الجاميتي لخنشار المكنسة عديم اللون بشكل أساسي، وقطره أقل من 2 ملم، في حين يصل طوله إلى 18 ملم.

الشكل 30-13

خنشار المكنسة. ليس لخنشار المكنسة جذور أو أوراق. السيقان الخضراء ضوئية التغذية ولها محافظ أبواغ صفراء تتعلق بها.

إنه يشكل علاقة تعايشية مع الفطريات التي تزوده بالمواد المغذية. وبعضه يطور عناصر الأنسجة الوعائية، ويتميز أنه النبات الجاميتي الوحيد الذي يقوم بهذا العمل.

ذيل الحصان له سيقان متمفصلة وأوراق تشبه الفرشاة

الأنواع الحية الخمسة عشر من **ذيل الحصان Horsetails** كلها متماثلة الأبواغ، إذ تشكل جنسًا واحدًا هو *Equisetum*. تعود الأشكال المتحجرة من هذا الجنس إلى 300 مليون سنة خلت، أي إلى الحقبة التي كان بعض أقاربها يشبه الأشجار. إنها اليوم واسعة الانتشار في العالم، وخاصة في المناطق الرطبة. وقد يصل طول بعضها الذي يعيش في غابات الخشب الأحمر الساحلية في كاليفورنيا – إلى ثلاثة أمتار. في حين أن طول معظمها أقل من متر (الشكل 30-14).

يتكون النبات البوغي لخنشار ذيل الحصان من ساق مضلعة متمفصلة ضوئية التغذية تنشأ من رايزومات *Rhizomes* تحت الأرض متفرعة، ولها جذور عند عُقدها. عند كل عقدة تبرز دائرة من أوراق تشبه الحراشف، غير ضوئية التغذية.

الشكل 30-14

خنشار ذيل الحصان *Equisetum telmateia*. يشكل هذا النوع نوعين من السيقان القائمة: أحدهما أخضر وضوئي التغذية والآخر ينتهي بمخروط منتج للأبواغ، غالبًا ما يكون بنيًّا فاتحًا.

تمتلك السيقان التي تكون مجوفة عند مركزها ترسبات من السيليكا في خلايا البشرة للعروق، وجزء السيقان الداخلي له مجموعتان من قنوات أنبوبية عمودية. القناة الخارجية الأضخم التي تتبادل الموقع مع العروق، تحتوي هواء، في حين تحتوي القناة الداخلية الأصغر المقابلة للعروق على الماء. يُدعى خنشار ذيل الحصان أيضًا نبات الجَلْي؛ لأن رواد الغرب الأمريكي كانوا يستعملونه في تنظيف آنية الطبخ.

للخنشاريات أوراق تحمل بثرات

تشكل الخنشاريات المجموعة الأكثر وفرة من النباتات الوعائية اللابذرية، حيث يوجد فيها 11,000 نوع حي. وتشير البحوث الحديثة إلى أنها قد تكون أقرب الأقارب للنباتات البذرية. يشير دليل الأحافير إلى أن الخنشاريات نشأت خلال الحقبة الديفونية منذ 350 مليون سنة، وأصبحت متوافرة. وتباينت في الشكل خلال الخمسين مليون سنة التي أعقبتها. لقد نشأت أسلافها الظاهرية على اليابسة منذ أكثر من 375 مليون سنة. تزدهر الخنشاريات اليوم في مدى واسع من البيئات عبر العالم، لكن 75% تقريبًا من الأنواع موجود في المناطق الاستوائية.

النبات البوغي الواضح قد يكون قطره أقل من 1 سم كما نراه في خنشاريات مائية صغيرة مثل *Azolla* أو أن يكون طوله أكثر من 24 مترًا. في حين يصل طول أوراق أشجار الخنشار إلى 5 أمتار أو أكثر (الشكل 30-15). إن النبات البوغي والنبات الجاميتي الأصغر كثيرًا، الذي نادرًا ما يصل قطره إلى 6 ملم في قطره، كلاهما ضوئي التغذية.

الشكل 30-15

خنشار شجري (قبيلة النباتات المجنحة) في غابات ماليزيا. الخنشاريات أضخم مجموعات النباتات الوعائية بشكل عام.

تختلف دورة حياة الخنشار (الشكل 30-16) من تلك التي للحزازيات الطحلبية بشكل أساسي في درجة التطور الأكبر وفي استقلالية الطور البوغي للخنشار وسيادته. إن الطور البوغي أكثر تعقيدًا من ناحية تركيبية من الطور البوغي للحزازيات؛ لأن له أنسجة وعائية، وجذورًا، وسيقانًا، وأوراقًا جيدة التمايز. يفتقر الطور الجاميتي مع ذلك للأنسجة الوعائية الموجودة في الطور البوغي.

الشكل الخارجي للخنشار

النبات البوغي للخنشار، مَثَلَه مثل ذيل الحصان، له رايزومات. تتطور الأوراق الملتفة *Fronds* عند قمة الرايزومات، وتكون شديدة الالتفاف، وهي تفك لفاتها تدريجيًّا وتمتد (الشكل 30-17). تعد هذه الأوراق الملتفة غذاء غنيًّا، لكن بعض الأنواع تحتوي مركبات ثانوية ذات علاقة بسرطان المعدة.

كثير من الأوراق الملتفة شديدة التشعب، وهي ريشية ما يجعل من الخنشار نبات زينة بالدرجة الأولى. بعض الخنشار مثل *Marsilea* له أوراق تحاكي البرسيم رباعي الأوراق، لكن أوراق *Marsilea* تبدأ بصورة شديدة الالتفاف. تُنتج أنواع أخرى من الخنشار مزيجًا من أوراق ضوئية التغذية وأوراق تكاثرية غير ضوئية التغذية تميل إلى أن تكون بنية اللون.

الشكل 30-17

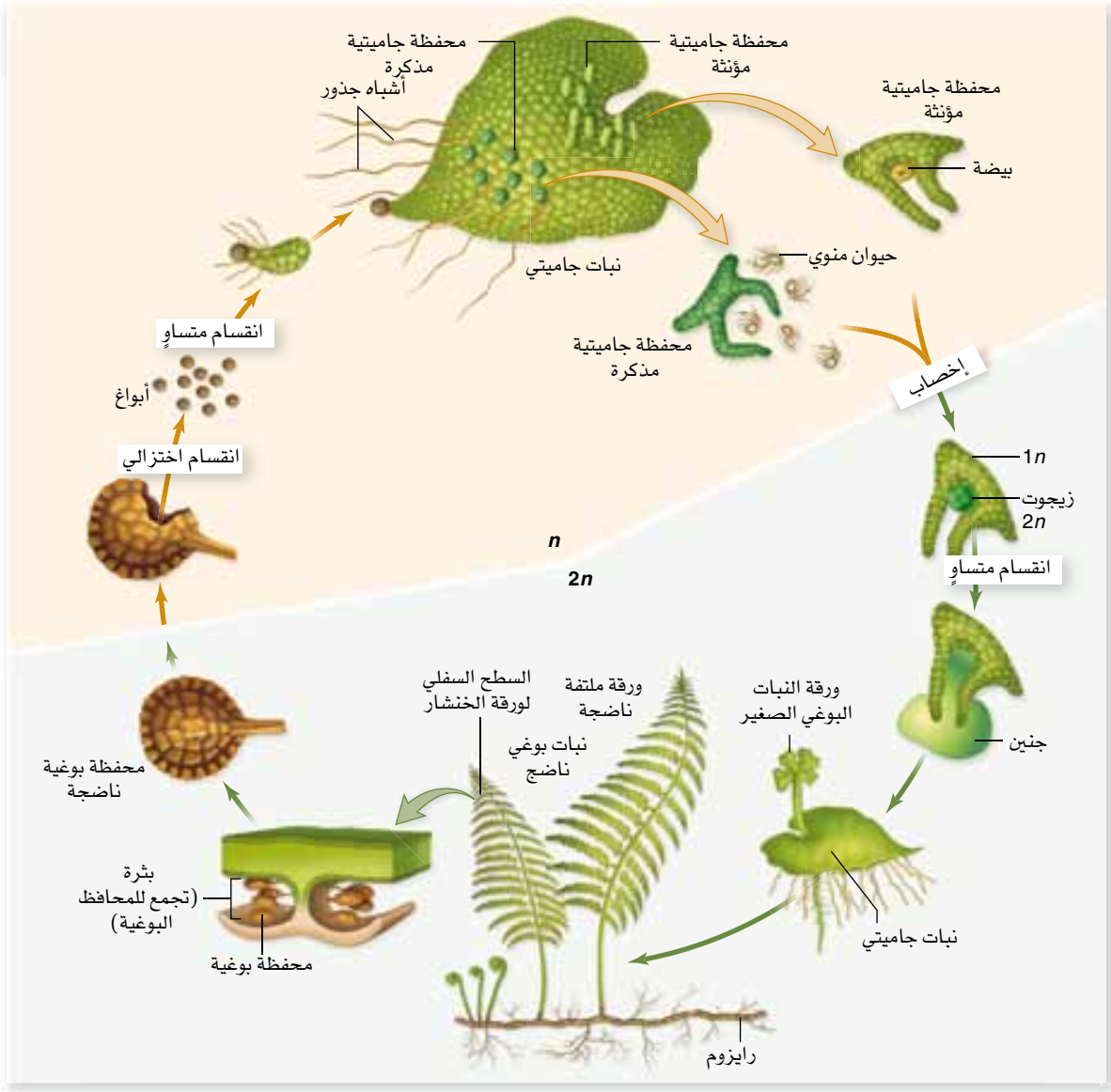
خنشار رأس الكمان. تتطور الأوراق على هيئة حلزون، وتنفرد لفاته ببطء لتعطي الخنشار، بما في ذلك أوراق أشجار الخنشار الموجودة في هذه الصور.

تكاثر الخنشار

معظم الخنشار، متماثل الأبواغ، إذ ينتج محافظ جرثومية متميزة عادة على هيئة مجموعات تدعى **بثرات Sori**، تكون موجودة بصورة نموذجية على السطح السفلي للأوراق الملتفة. عادة، تكون البثرات محمية في أثناء التطور الجنيني

الشكل 30-16

دورة حياة خنشار نموذجي. كلّ من الطور الجاميتي والبوغي ضوئي التغذية، ويستطيع العيش باستقلال. والماء ضروري للإخصاب. تتحرر الحيوانات المنوية على السطح السفلي للنبات الجاميتي، وتسبح في التربة الرطبة إلى النبات الجاميتي المجاور. تنتشر الأبواغ عن طريق الريح.



بغطاء شفاف يشبه المظلة. (للوهلة الأولى، قد يعتقد المرء خطأً أن البثرات هي إصابة على النبات). تُعايش خلايا أمهات الأبواغ ثنائية العدد الكروموسومي في كل محفظة أبواغ انقسامًا اختزاليًّا، فتنتج أبواغًا مفردة العدد الكروموسومي.

عند النضج، تنطلق الأبواغ كالمنجنيق من محفظة الأبواغ، وما يستقر منها على اليابسة في مواقع رطبة قد ينمو منتجًا النبات الجاميتي الذي يكون قلبي الشكل، ويكون سمكه طبقة واحدة من الخلايا (ما عدا في المركز)، وله أشباه جذور تعلقه بالوسط الذي يعيش عليه. أشباه الجذور هذه ليست جذورًا حقيقية؛ لأنها تفتقر إلى الأنسجة الوعائية، ولكنها تساعد على نقل الماء والمواد الغذائية من التربة. وتنتج المحافظ الجاميتية الأنثوية الدورقية الشكل، والمحافظ الذكرية الكروية، إما على النبات الجاميتي نفسه، أو على نباتين مختلفين.

إن الحيوانات المنوية المتكونة في المحفظة الجاميتية الذكرية لها أسواط تستخدمها في السباحة نحو المحفظة الأنثوية عندما يكون الماء موجودًا، وغالبًا ما يتم ذلك استجابة لإشارة كيميائية تفرزها المحفظة الأنثوية. يتحد حيوان منوي واحد مع البيضة الوحيدة الموجودة عند قاعدة المحفظة الأنثوية، فيشكلان الزيجوت. عندئذٍ، يتطور الزيجوت إلى نبات بوغي جديد مكملًا دورة الحياة (الشكل 30-16).

إن محافظ الجاميتات متعددة الخلايا لا تزال تتطور في الخنشاريات. وكما ناقشنا سابقًا، فإن التوجه نحو جيل بوغي سائد في النباتات الوعائية يسمح للخنشاريات بتحقيق ارتفاع أعلى دون أن يؤثر ذلك في سباحة الحيوان المنوي نحو البيضة. وتقدم المحفظة الجاميتية الأنثوية بعض الحماية للجنين المتطور.

الخنشاريات وأقرباؤها لها نبات بوغي واضح، ضخم الحجم، وذو أنسجة وعائية. كثير منها لها جذور وسيقان وأوراق جيدة التمايز. وقد قادت الإزاحة نحو نبات بوغي سائد إلى تطور الأشجار.

9-30 تطور النباتات البذرية

ظهرت النباتات البذرية، التي تُحظى بحماية أكبر للجنين، أول مرة منذ 305-465 مليون سنة، وقد كانت أسلافًا لمعراة البذور ومغطاة البذور. ويبدو أن النباتات البذرية تطورت من نباتات حاملة للأبواغ تدعى **سوابق معراة البذور Progymnosperms**. تشترك سوابق معراة البذور في سمات عدة مع معراة البذور الحديثة، بما في ذلك الأنسجة الوعائية الثانوية (تسمح بزيادة في القطر في مراحل لاحقة من التطور الجنيني). بعض سوابق معراة البذور كان لها أوراق، وتكاثرها بسيط. ومن غير المؤكد معرفة المجموعة من سوابق معراة البذور التي أنتجت النباتات البذرية.

البذرة تحمي الجنين

تمثل البذور تقدمًا مهمًّا من منظور تطوري وبيئي. فالجنين محمي بطبقة إضافية من نسيج النبات البوغي ما ينتج البويضة. في أثناء التطور الجنيني يتصلب هذا النسيج، فيشكل القصرة أو غلاف البذرة. إضافة إلى حماية الجنين من الجفاف. يمكن للبذور أن تنتشر بسهولة. وربما يكون الأكثر أهمية أن وجود البذور يعطي طورًا كامنًا في دورة الحياة ما يسمح للجنين بالعيش، إلى أن تصبح الظروف البيئية مناسبة لمزيد من النمو.

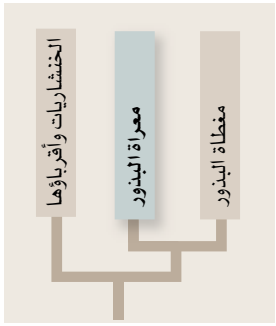
حبوب اللقاح هي الطور الجاميتي الذكري

تنتج النباتات البذرية نوعين من النباتات الجاميتية: ذكري وأنثوي، وكل منهما يتكون من عدد قليل من الخلايا فقط. تنتقل **حبوب اللقاح Pollen grains**، وهي الطور الجاميتي الذكري متعدد الخلايا، إلى البيضة الموجودة في الطور الجاميتي الأنثوي عن طريق الرياح، أو عن طريق الملقحات الأخرى. في بعض النباتات البذرية، يتحرك الحيوان المنوي نحو البيضة خلال **أنبوب لقاح Pollen tube** نام، وهذا يلغي الحاجة إلى الماء الخارجي. وبالمقارنة مع النباتات عديمة البذور، فإنّ النبات الجاميتي كله ينتقل إلى النبات الجاميتي الأنثوي، وليس الحيوان المنوي فقط.

يتطور النبات الجاميتي الأنثوي ضمن البويضة. في مغطاة البذور، تكون البويضات محاطة تمامًا ضمن نسيج النبات البوغي ثنائي الكروموسومات (المبايض التي تتطور إلى ثمارٍ). أما في معراة البذور (غالبًا نباتات بذرية حاملة للمخاريط) فإن البويضات ليست محاطة تمامًا بأنسجة النبات البوغي في أثناء فترة التلقيح.

أعطى سلف مشترك كان له بذور كلًّا من معراة البذور ومغطاة البذور. تعطي البذور حماية للجنين، ويمكن أن تسمح بفترة توقف مطولة في دورة الحياة إلى أن تصبح الظروف البيئية مثالية. تنتج النباتات البذرية نباتات جاميتية ذكرية وأنثوية، النبات الجاميتي الذكريّ هو حبة اللقاح التي تُحمل إلى النبات الجاميتي الأنثوي عن طريق الريح، أو بوسائل أخرى.

10-30 معراة البذور: نباتات ذات بذور عارية



هناك أربع مجموعات من **معراة البذور Gymnosporms** الحية، هي: المخروطيات، والسيكاديات، والنباتات النيتويّة، والجنكيات، وكلها تفتقر إلى الأزهار والثمار التي تمتلكها مغطاة البذور. وفي جميعها تستقر **البويضة Ovule**، التي أصبحت بذرة، مكشوفة على ورقة حرشفية (ورقة أو ساقًا متحوّرة)، وهي ليست محاطة كليًّا بنسيج النبات البوغي في أثناء التلقيح. إن مصطلح *Gymnosperms* يعني حرفيًّا البذور العارية. وعلى الرغم من أن البويضات تكون عارية عند التلقيح، إلا أن بذور معراة البذور تكون محاطة أحيانًا بأنسجة أخرى للنبات البوغي وقت نضجها.

تختلف تفاصيل التكاثر إلى حدٍّ ما في معراة البذور، وتتباين أشكالها بدرجة كبيرة. فالسيكادا والجنكيات مثلًا لهما حيوانات منوية متحركة، في حين أن المخروطيات والنباتات النيتوية لها حيوانات منوية دون أسواط. والحيوانات المنوية جميعها تُحمل إلى البويضة في أنبوب لقاح. يتراوح حجم المخروط الأنثوي من تركيب خشبي صغير يزن أقل من 25 جرامًا، قطره بضعة ملمترات إلى تراكيب هائلة

الشكل 30–18

المخروطيات.
الصنوبر الطويل *Pinus palustris* في فلوريدا هو ممثل للنباتات المخروطية، التي هي أضخم قبيلة من معراة البذور

الحجم تنتجها بعض السيكادا، وتزن أكثر من 45 كيلوجرامًا، وتنمو إلى أطوال تتجاوز المتر.

المخروطيات أكبر قبيلة في معراة البذور

أكثر معراة البذور شيوعًا هي **المخروطيات Conifers** (قبيلة النباتات المخروطية) التي تضم الصنوبر (الشكل 30-18) والبِيسّيّة، والطَّقْوس، والأرز، والشوكران، والتنّوب، واللاّرَكس، والسرو، وغيرها. يُعدّ الخشب الأحمر الساحلي (*Sequoia sempervirens*)، أطول النباتات الوعائية الحية، حيث يصل إلى ارتفاع 100 متر تقريبًا، وهو مخروطي يتوطن شمال غرب كاليفورنيا وجنوب غرب ولاية أوريجون،. وهناك مخروطي آخر هو الصنوبر أو المخروط المهلّب (*Pinus longaeva*) الذي يعيش في الجبال البيضاء بكاليفورنيا، ويُعدّ أقدم الأشجار الحيّة عمرًا؛ فإحدى الأشجار قدر عمرها بـ 4900 سنة.

توجد المخروطيات في المناطق المعتدلة الأبرد، وأحيانًا الأكثر جفافًا. كثير من الأنواع يُعدّ مصدرًا لخشب البناء والورق، والراتنج، والتاكسول (يستخدم لمعالجة السرطان) ومنتجات أخرى مهمة اقتصاديًّا.

تمثّل الصنوبريات جنسًا من المخروطيات

يوجد اليوم أكثر من 100 نوع من الصنوبريات، وكلها متوطنة في نصف الكرة الشمالي على الرغم من أن مدى أحد الأنواع يمتد إلى جنوب خط الاستواء بقليل. إن الصنوبر والبِيسّيّة، وهما ينتميان للعائلة نفسها، هما أعضاء في الغابات الصنوبرية الواسعة التي تقع بين التندرا القطبية، والغابات متساقطة الأوراق المعتدلة والسهوب إلى جنوبهما. وخلال القرن الماضي، تمت زراعة الصنوبر بشكل مكثف في نصف الكرة الجنوبي.

الشكل الخارجي للصنوبر

للصنوبر أوراق إبرية قاسية تكون غالبًا في مجموعات من اثنتين إلى خمس. تمثل الأوراق التي تمتلك كيوتيكلا سميكًا وثغورًا غائرة تكيفًا تطوريًّا لمنع فقدان الماء. إن هذه إستراتيجية مهمة؛ لأن كثيرًا من الأشجار تنمو في مناطق، حيث تكون التربة السطحية متجمدة لجزء من العام، ما يجعل حصول الجذور على الماء أمرًا صعبًا.

تمتلك الأوراق وأجزاء أخرى من الطور البوغي قنوات تُفرز فيها الخلايا المجاورة مادة راتنجية. يردع الراتنج هجمات الحشرات والفطريات. ويُجمع الراتنج لبعض أنواع الصنوبر تجاريًّا من أجل الجزء السائل المتطاير الذي يدعى تربنتين *Turpentine*، ومن أجل الجزء الصلب المسمى روزن *Rosin* الذي يستخدم في الأدوات الموسيقية الوترية المقوسة. يفتقر خشب الصنوبر إلى بعض أنواع الخلايا الصلبة التي توجد في الأشجار الأخرى، ولهذا فإنه يعد خشبًا لينًا وليس صلبًا. إن قلف الصنوبر السميك هو تكيف لمقاومة الحرائق ودرجات الحرارة المتدنية تحت الصفر. إن بعض المخاريط تعتمد في الواقع على النار من أجل أن تتفتح لتحرر البذور عند إعادة تحريج المناطق المحترقة.

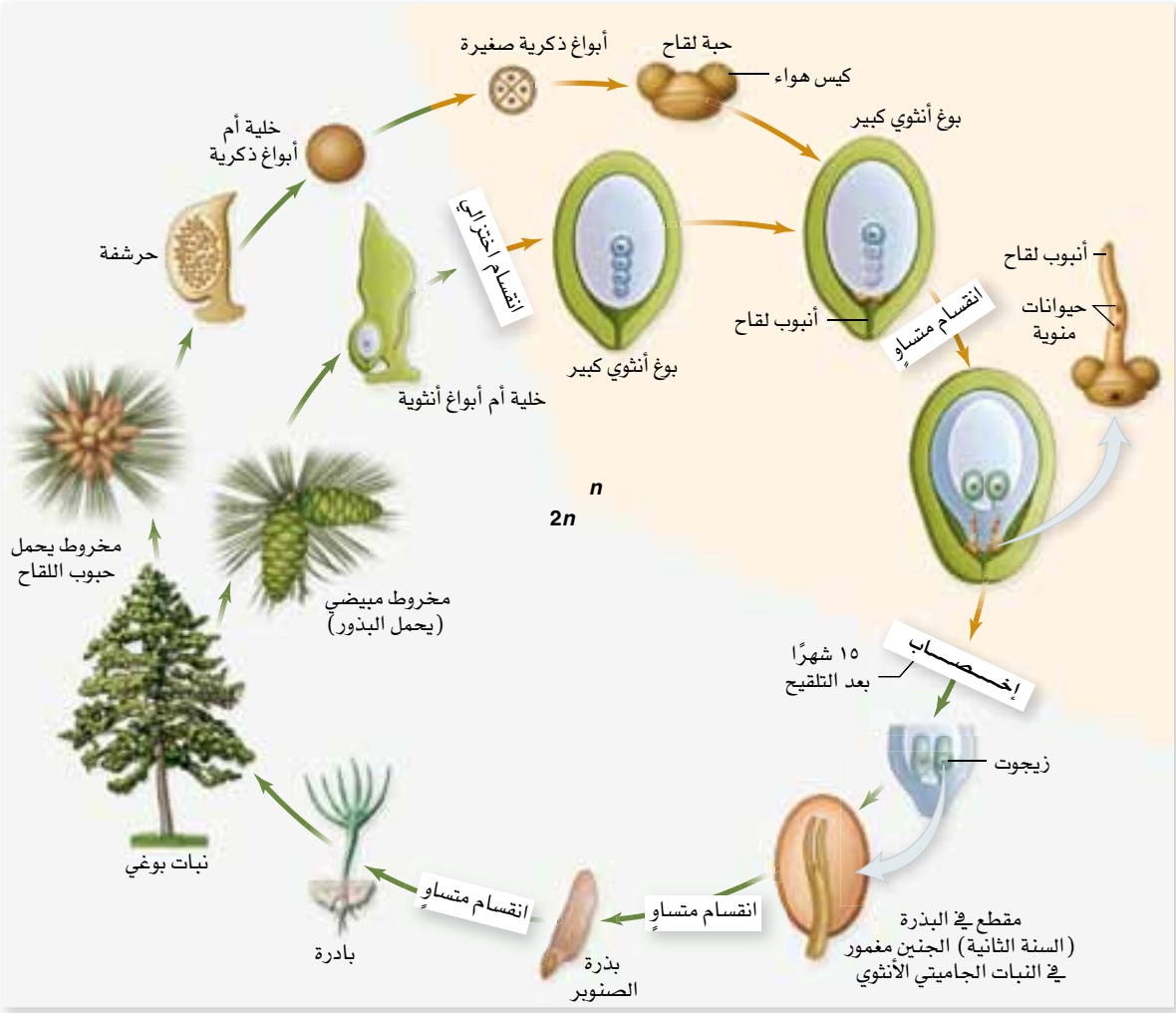
تراكيب التكاثر

كما ذكرنا سابقًا، النباتات البذرية جميعها مختلفة الأبواغ. لذا، فإنّ الأبواغ تعطي نوعين من النباتات الجاميتية (الشكل 30-19). النبات الجاميتي الذكري (حبوب اللقاح) للصنوبر يتطور من أبواغ صغيرة تنتج في المخاريط الذكرية التي تتطور في مجموعات من 30-70، وتكون موجودة بشكل نموذجي على قمم الأغصان السفلى، حيث قد توجد المئات من هذه المجموعات على شجرة واحدة. المخروط الذكري للصنوبر يتراوح طوله بين 1-4 سم، ويتألف من حراشف ورقية صغيرة مرتبة بشكل حلزوني، أو في دوائر. وتتشكل المحافظ البوغية الصغيرة على هيئة زوج من الأكياس في كل حرشفة. تعايش كثير من خلايا **أمهات الأبواغ الصغيرة Microspore mother cells** في المحافظ البوغية الصغيرة انقسامًا اختزاليًّا لتصبح كل منها أربعة أبواغ صغيرة. تتطور الأبواغ الصغيرة إلى حبوب لقاح كل منها مكون من أربع خلايا، ولها زوج من أكياس الهواء تمنحها طفوًا إضافيًّا عندما تتحرر في الهواء. وقد تنتج مجموعة واحدة من المخاريط الذكرية للصنوبر أكثر من مليون حبة لقاح. تنتج المخاريط الأنثوية للصنوبر بشكل نموذجي على الأغصان العليا للشجرة نفسها التي تنتج المخاريط الذكرية. المخاريط الأنثوية أكبر حجمًا من الذكرية، وحراشفها تصبح خشبية. تتطور بويضات عند قاعدة كل حرشفة. وتحتوي كل بويضة على محفظة بوغية كبيرة تدعى **النيوسيلة Nucellus**. تحاط النيوسيلة نفسها تمامًا بطبقة سميكة من الخلايا تدعى **الغُلُف Integument** لها فتحة صغيرة، هي **النقير Micropyle**، عند إحدى نهايتيها. تصبح إحدى طبقات الغُلُف لاحقًا غطاء البذرة أو القصرة. تعايش **خلية أم أبواغ كبيرة واحدة Megaspore mother cell** ضمن المحفظة البوغية انقسامًا اختزاليًّا لتصبح صفًّا من أربعة أبواغ كبيرة. تحل ثلاثة من الأبواغ الكبيرة، ولكن الرابع المتبقي يتطور تدريجيًّا إلى نبات جاميتي مؤنث خلال الجزء الأكبر من العام. قد يتألف النبات الجاميتي المؤنث عند النضج من آلاف الخلايا وله 2-6 محافظ جاميتية أنثوية تتشكل عند الطرف المحتوي على النقير. تحتوي كل محفظة جاميتية مؤنثة بيضة، هي من الكِبَر، بحيث يمكن رؤيتها دون حاجة إلى مجهر.

الإخصاب وتكوين البذور

تستغرق المخاريط الأنثوية فصلين أو أكثر لكي تنضج. وفي البداية يكون لونها محمّرًا أو أرجوانيًّا، ولكنها سرعان ما تتحول إلى خضراء، تتفتح حراشفها في أول ربيع لها. عندما تتفتح الحراشف تندفع حبوب اللقاح المحمولة بالريح خلالها، ويلتصق بعضها بسائل لزج يخرج من النقير. إن حبوب اللقاح التي انغمست في السائل اللزج تنتقل ببطء عبر النقير نحو قمة النيوسيلة، وتغلق الحراشف بعد ذلك مدة قصيرة.

إن المحافظ الجاميتية الأنثوية وبقية النبات الجاميتي الأنثوي لا تصبح ناضجة إلاّ بعد عام على ذلك. وفي حين يتطور النبات الجاميتي الأنثوي، يبرز أنبوب لقاح من حبة لقاح عند أسفل النقير، ويهضم طريقه تدريجيًّا خلال النيوسيلة نحو المحافظ الجاميتية الأنثوية. وخلال نمو أنبوب اللقاح تنقسم واحدة من خلايا



الشكل 30-19

دورة حياة الصنوبر النموذجية. النبات الجاميتي الأنثوي والذكري مختزل بشكل كبير في الحجم. تبعثر الرياح بشكل عام الطور الجاميتي الذكري (حبوب اللقاح) الذي ينتج الحيوانات المنوية. ويسبب نمو أنبوب اللقاح إيصال الحيوان المنوي إلى البيضة على المخروط الأنثوي، وتقدم الغُلُف التي تتطور إلى غطاء البذرة مزيدًا من الحماية للجنين.

حبة اللقاح الأربع، وتدعى الخلية المولّدة *Generative cell*، انقسامًا متساويًا، وتنقسم كذلك إحدى الخلايا الناتجة مرّة أخرى. تعمل الخليتان الأخريان كحيوان منوي. إنّ حبة اللقاح النامية وحيوانيها المنويين هي النبات الجاميتي المذكر، وهو طور أحادي العدد الكروموسومي محدود بالمقارنة مع الطور الجاميتي للخنشار.

بعد نحو 15 شهرًا من التلقيح، يصل أنبوب اللقاح إلى المحفظة الجاميتية، ويقذف بمحتوياته فيها. يتحد أحد الحيوانين المنويين مع البيضة مشكّلًا الزيجوت. أما الآخر وخلايا حبة اللقاح فتتلاشى. يتطور الزيجوت إلى جنين ضمن البذرة، وبعد انتشار البذرة ونموها يتطور نبات بوغي صغير للجيل اللاحق، ويصبح شجرة.

السيكادا تشبه النخيل لكنها ليست نباتات زهرية

السيكادا Cycads معراة بذور بطيئة النمو، تعيش في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية. ويشابه النبات البوغي لمعظم مئة نوع المعروفة من السيكادا أشجار النخيل (الشكل 30-20 أ) حيث يصل ارتفاعها إلى 15 مترًا أو أكثر، لكنها بخلاف أشجار النخيل، ليست نباتات مزهرة، وتنتج مخاريط، وحياتها شبيهة بحياة الصنوبريات.

المخروط الأنثوي الذي يتطور عموديًّا بين قواعد الأوراق ضخم في بعض الأنواع، ويمكن أن يزن 45 كجم. وعلى الرّغم من أن الحيوانات المنوية للسيكادا تتشكل ضمن أنبوب لقاح، فإنها تتحرر ضمن البويضة لتسبح نحو المحفظة الجاميتية

أ.

ب.

جـ.

الشكل 30-20

ثلاث قبائل من معرّاة البذور.

أ. السيكادا *Cycus circinalis*

ب. *Welwitschia mirabilis* يمثل واحدًا من الأجناس الثلاثة للنباتات النيتوية.

جـ. شعر البتول *Ginkgo biloba* الممثل الوحيد الحي لقبيلة النباتات الجِنكية.

الأنثوية. تعد هذه الحيوانات المنوية الأضخم بين المخلوقات الحية جميعها. تواجه أنواع عدة من السيكادا الانقراض في البيئة البرية، وسنجد قريبًا أنها لا توجد إلاّ في الحدائق النباتية.

النباتات النيتوية لها أوعية خشبية

هناك ثلاثة أجناس، و 65 نوعًا حيًّا تقريبًا من **النباتات النيتوية Gnetophytes**. إنها معراة البذور الوحيدة التي لها أوعية في خشبها. **الأوعية الخشبية Vessels** نوع من الخلايا، فعّال في النقل، وهي صفة شائعة في مغطاة البذور.

تختلف أفراد الأجناس الثلاثة كثيرًا عن بعضها في الشكل. أحد الأجناس الأكثر غرابة في النباتات كلّها هو *Welwitschia* يوجد في ناميبيا، والصحاري في جنوب غرب إفريقيا (الشكل 30-20 ب). تشبه الساق كأسًا ضحلة كبيرة، وتستدق لتصبح جذرًا وتديًّا تحت سطح التربة. ولها ورقتان جلديتان تشبهان الحزام. تنمو الورقتان بشكل مستمر من القاعدة، وتنشقان عندما تثنيهما الريح. التراكيب التكاثرية للنبات تشبه المخروط، وتظهر قرب قاعدة الأوراق حول حواف الساق، وهي تنتج على نباتات ذكرية وأنثوية مستقلة.

يقع أكثر من نصف أنواع النباتات النيتوية في الجنس *Ephedra* الشائع في المناطق المقفرة في غرب الولايات المتحدة والمكسيك. وتوجد الأنواع في كل قارة باستثناء أستراليا. تكون النباتات شجيرية، ولها سيقان تشبه ظاهريًّا سيقان ذيل الحصان، أي متمفصلة، ولها أوراق صغيرة تشبه الحراشف عند كل عقدة. التراكيب التكاثرية الأنثوية والذكرية قد تنتج على النبات نفسه أو على نباتين مختلفين.

كان عقار إفيدرين المستخدم بشكل واسع لمعالجة المشكلات التنفسية يستخرج في السابق من نوع *Ephedra* الصيني. أمّا الآن فيستخدم بدلًا منه مركب مُخلّق (الإفيدرين الكاذب). وحيث إن الإفيدرين الموجود في الوصفات العشبية لتخفيض الوزن كان مرتبطًا بالجلطات القلبية والدماغية، فقد تمّ سحبه من الأسواق في إبريل 2004.

إنّ النوع المعروف جيدًا من الجنس الثالث *Gnetum* هو شجرة استوائية معظم أنواعها تشبه الكرمة. الأنواع جميعها لها أوراق عريضة تشبه أوراق مغطاة البذور. أحد أنواع الجنس *Gnetum* يُزرع في جزيرة جاوا من أجل سيقانه الطرية التي تُطبخ بوصفها خضراوات.

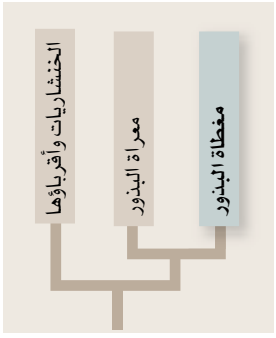
نوع واحد فقط من النباتات الجِنكيّة بقي حيًّا

يشير سجل الأحافير إلى أن أفراد **النباتات الجِنكيّة Ginkgophytes** كانت واسعة الانتشار ذات مرّة، وبشكل خاص في نصف الكرة الشمالي؛ أمّا اليوم فبقي نوع واحد حي هو *Ginkgo biloba* (الشكل 30-20 ج). وجد الأوروبيون هذه الشجرة التي تسقط أوراقها في الخريف أول مرَّة مزروعة في اليابان والصين، ويبدو أنها لم تعد موجودة في البرّية.

الحيوانات المنوية للجِنكو لها أسواط، كمثيلتها في السيكادا. نبات الجِنكو **ثنائي المسكن Dioecious** أي إن التراكيب التكاثرية الذكرية والأنثوية تنتج على أشجار منفصلة. تخرج الأغطية الخارجية اللحمية لبذور نبات الجِنكو الأنثوي رائحة كريهة تشبه الزبد المزنّخ التي يسببها وجود أحماض البيوتريك والأيزو بيوتريك الدهنية. نتيجة لذلك، تُزرع النباتات الذكرية بشكل خضري من سيقان صغيرة، وهي أفضل للزراعة من النباتات الأنثوية. وبسبب جمالها ومقاومتها لتلوّث الهواء، فإن الجِنكو تزرع بشكل شائع على طول شوارع المدن.

معراة البذور غالبًا نباتات بذرية تحمل مخاريط. في معراة البذور، لا تحاط البويضات تمامًا بنسيج النبات البوغي عند التلقيح، ومن هنا جاء اسمها الذي يعني البذور العارية. المجموعات الأربع من معرّاة البذور هي المخروطيات، والسيكادا، والنباتات النيتوية، والجنكيات.

30-11 مغطاة البذور: النباتات الزهرية



سميت النباتات مغطاة البذور، التي تضم 255,000 نوع معروف من النباتات المزهرة هكذا؛ لأن البويضات، وبخلاف تلك في معراة البذور، محاطة بأنسجة ثنائية العدد الكروموسومي وقت التلقيح. إنّ الخباء (الكربلة) *Carpel*، وهي ورقة متحورة تحيط بالبذور، وتتطور إلى ثمرة، سمة فريدة لمغطاة البذور. وعلى الرغم من أن بعض معراة البذور لها أنسجة طرية حول البذور بما في ذلك التّوب *Taxus* فإنها ذات أصل مختلف، وهي ليست ثمرة حقيقية.

يعدّ أصل مغطاة البذور لغزًا

لقد حيّر أصل مغطاة البذور العلماء بمن فيهم داروين (فقد أشار إلى أصلها على أنّه لغز بغيض) وقد أعطتنا متحجرات حبوب اللقاح والنباتات، مصحوبة ببيانات التعاقب الجزيئي، أدلةً مثيرة حول مغطاة البذور الأساسية، ما يشير إلى أصل يمتد بين 145-208 مليون سنة خلت.

وقد اكتشف في مقاطعة لايوننج البعيدة في الصين أحافير كاملة لمغطاة البذور يصل قدمها إلى 125 مليون سنة (الشكل 30-21). قد تمثل الأحافير عائلة من مغطاة البذور جديدة وأساسية ومنقرضة، أي عائلة *Archaefructaceae* والممثّلة بنوعين: *Archaefructus liaoningensis*، *A. sinensis*: الأول، الجنس *Archaefructus* كان عشبيًّا مائيًّا، ويُقترح أن هذه العائلة هي السلالة الشقيقة لكل مغطاة البذور الأخرى، وهناك جدل حيٌّ حول مدى صحة هذا الادعاء. والثاني، متحجرات *Archaefructus* لها تراكيب تكاثرية أنثوية وذكرية، ولكنها تفتقر إلى السبلات والبتلات التي تطورت لاحقًا في مغطاة البذور لجذب الملقحات. إنّ الأحافير كانت محفوظة بشكل جيد، بحيث أمكن فحص حبوب اللقاح المتحجرة باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح. وعلى الرغم من أن *Archaefructus* قديم، فمن غير المحتمل أن يكون أول مغطاة البذور. ومع ذلك، فإنّ الأحافير المحفوظة بشكل مدهش تزودنا بتفاصيل قيّمة عن مغطاة البذور في أوائل الحقبة الجوراسية، وأواخر الحقبة الطباشيرية، عندما سادت الديناصورات الأرض.

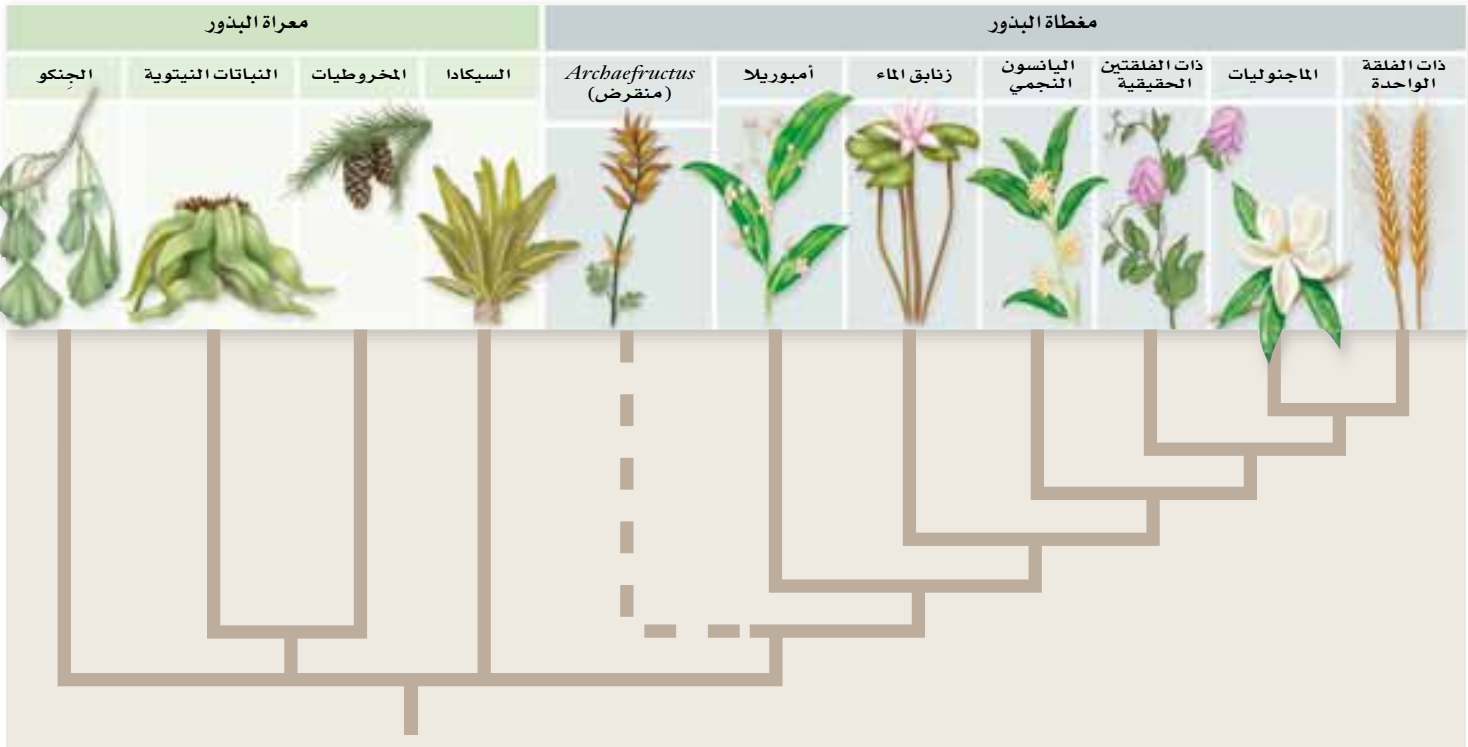
الشكل 30-21

أحافير مغطاة البذور القاعدية. أحفورة النبات *Archaefructus* ذات خباء (كرابل) متعددة البذور (الثمار) وأسدية. هذه هي أقدم مغطاة البذور المعروفة في سجل الأحافير، ويُقدر عمرها بين 122-145 مليون سنة.

الشكل 30-22

أحد مغطاة البذور القديمة الحية من النوع *Amborella trichopoda*. يعتقد أن هذا النبات هو أقرب الأقارب الحية لمغطاة البذور الأصلية.

وقد تنامى اعتقاد حول النوع *Amborella trichopoda* أنه يشكل مغطاة البذور الحية الأكثر قاعدية (الشكل 30-22). إن الجنس *Amborella* ذا الأزهار الحليبية اللون الصغيرة هو أكثر بدائية من زنابق الماء. هذه الشجيرة الصغيرة موجودة فقط على جزيرة كاليدونيا الجديدة في جنوب المحيط الهادي، وهي آخر الأنواع المتبقية من أقدم السلالات الحية لمغطاة البذور. إن الأصل النشوئي لمغطاة البذور يعكس فرضية تطورية تدفع ببحوث جديدة حول أصول مغطاة البذور (الشكل 30-23).



الشكل 30-23

إن *Archaefructus* قد تكون السلالة الشقيقة لجميع مغطاة البذور الأخرى. كل أفراد سلالة *Archaefructus* منقرضة، مخلفة الجنس *Amborella* على أنه مغطاة البذور الحية القاعدية. أنواع معراة البذور مظللة بالأخضر.

تأوي الأزهار الجيل الجاميتي لمغطاة البذور

الأزهار سيقان متحورة تحمل أوراقًا متحورة. وبغض النظر عن الشكل والحجم إلا أن جميعها يشترك في صفات محددة (الشكل 30-24). تنشأ كل نبتة على هيئة **نسيج أولي Primordium** يتطور إلى برعم عند نهاية حامل يدعى **العنق Pedicel**. يمتد العنق قليلًا عند القمة ليشكل **السرير Receptacle** أو المستقبلة التي تتعلق بها بقية أجزاء الزهرة.

شكل الزهرة

تتعلق أجزاء الزهرة الأخرى بشكل نموذجي على هيئة **دوائر Whorls**. تتكون الدائرة الخارجية من **السبلات Sepals**، وتمتلك معظم الأزهار 3-5 سبلات ذات لون أخضر ورقية الشكل إلى حد ما. في حين تتكون الدائرة الثانية من **البتلات Petals** التي تكون غالبًا ملونة، وتجتذب الملقحات كالحشرات والطيور. قد تكون البتلات، التي عددها 3-5 بصورة عامة، منفصلة أو متحدة معًا، أو مفقودة تمامًا في الأزهار التي تلقحها الرياح.

تتكون الدائرة الثالثة من **الأسدية Stamens** التي تدعى معًا **أعضاء التذكير Androecium**. هذه الدائرة هي المكان الذي ينتج فيه النبات الجاميتي المذكر، أي حبوب اللقاح. تتكون كل سداة من **متك Anther**، وحامل يدعى **الخيط Filament**، ويكون مفقودًا في بعض الأزهار.

أمّا الدائرة الرابعة فتوجد في محور الزهرة، وتدعى **أعضاء التأنيث Gymnoecium** وهي المكان الذي يأوي النبات الجاميتي المؤنث الصغير. تتألف أعضاء التأنيث من واحد أو أكثر من الخباء أو **الكرابل Carpels**. ويعتقد أن الكرابل الأولى تشكلت من تركيب يشبه الورقة، وله بويضات على طول حوافه. يمكن أن يكون للأزهار البدائية بعض الكرابل المنفصلة أو كثير منها، ولكن في معظم الأزهار تتحد كربلتان أو كرابل عدة معًا. يمكن ملاحظة هذا الاتحاد عندما تقسم ثمرة برتقال إلى نصفين؛ حيث تمثل كل قطعة واحدة من الكرابل.

تركيب الخباء أو الكرابل

للكربلة الواحدة ثلاث مناطق رئيسة (الشكل 30-24 أ). **المبيض Ovary** هو القاعدة المنتفخة التي تحتوي من بويضة إلى مئات البويضات، وهو يتطور لاحقًا إلى **ثمرة Fruit**. تشكل قمة الكربلة تركيبًا هو **الميسم Stigma**. وتكون معظم المياسم لزجة وريشية مسببة التصاق حبوب اللقاح الساقطة عليها. ويربط بشكل نموذجي عنقًا أو حاملًا، يدعى **القلم Style**، بين الميسم والمبيض. وقد يكون القلم في بعض الأزهار قصيرًا أو غائبًا تمامًا.

تمتلك الكثير من الأشجار غددًا مفرزة للرحيق تدعى مفرزات الرحيق *Nectaries* وغالبًا ما تقع عند قاعدة المبيض. والرحيق سائل يحتوي سكاكر وأحماضًا أمينية، وجزيئات أخرى تجذب الحشرات، والطيور، وحيوانات أخرى نحو الأزهار.

تستخدم معظم الأنواع الأزهار لجذب الملقحات وللتكاثر

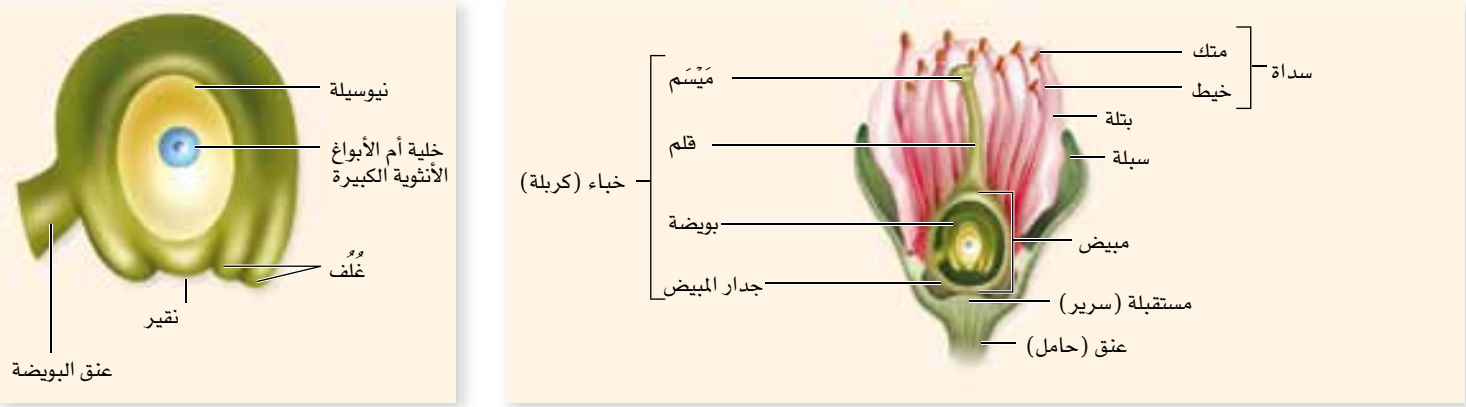
تضم ثنائية الفلقتين الحقيقية (نحو 175,000 نوع)، الغالبية العظمى من مغطاة البذور المألوفة غالبًا أنواع الأشجار والشجيرات جميعها، فم السمكة، والنعناع، والبازيلاء، دوار الشمس، ونباتات أخرى. وتضم أحادية الفلقة (نحو 65,000 نوع) الزنابق، والحشائش، وعشب البرك، والنخيل، والصبار الأمريكي، والياكا، والسحلبيات، والسوسن، وهي تشترك في سلف مشترك مع ثنائية الفلقة (انظر الشكل 30-23). تعتمد بعض أحادية الفلقة، كالذرة على الريح أكثر من الملقحات الأخرى من أجل التكاثر.

تشمل دورة حياة مغطاة البذور إخصابًا مزدوجًا

تعايش خلية واحدة من أمهات الأبواغ المؤنثة الكبيرة في البويضة انقسامًا، اختزاليًّا فتنتج أربعة أبواغ أنثوية كبيرة في أثناء تطور البرعم الزهري (الشكل 30-24 ب). تختفي ثلاثة من هذه الأبواغ الكبيرة في معظم النباتات المزهرة، وتنقسم نواة البوغ الكبير الرابع انقسامًا متساويًا، ثم تتوسع الخلية تدريجيًّا حتى يصبح حجمها ضعف حجمها الأصلي مرات عدة.

النبات الجاميتي المؤنث

في أثناء توسع البوغ المؤنث الكبير، تنقسم كلّ من النواتين الابنتين مرتين، ما يعطي ثماني أنوية مفردة العدد الكروموسومي مرتبة في مجموعتين، كل منها أربع أنوية. في الوقت نفسه، تتمايز طبقتان للبويضة هما الغلف التي تصبح قصرة أو غلاف بذرة *Seed coat*. وفي حين تتطور الغلف، فإنها تشكل النقير، وهو ثغرة صغيرة



أ. ب.

الشكل 30-24

رسم تخطيطي لزهرة مغطاة البذور. أ. الأجزاء الرئيسة للزهرة مؤشرة. ب. تفاصيل البويضة. يصبح المبيض بعد نضجه ثمرة؛ وعندما تنضج طبقات البويضة الخارجية (الغُلُف) فإنها تصبح قصرة.

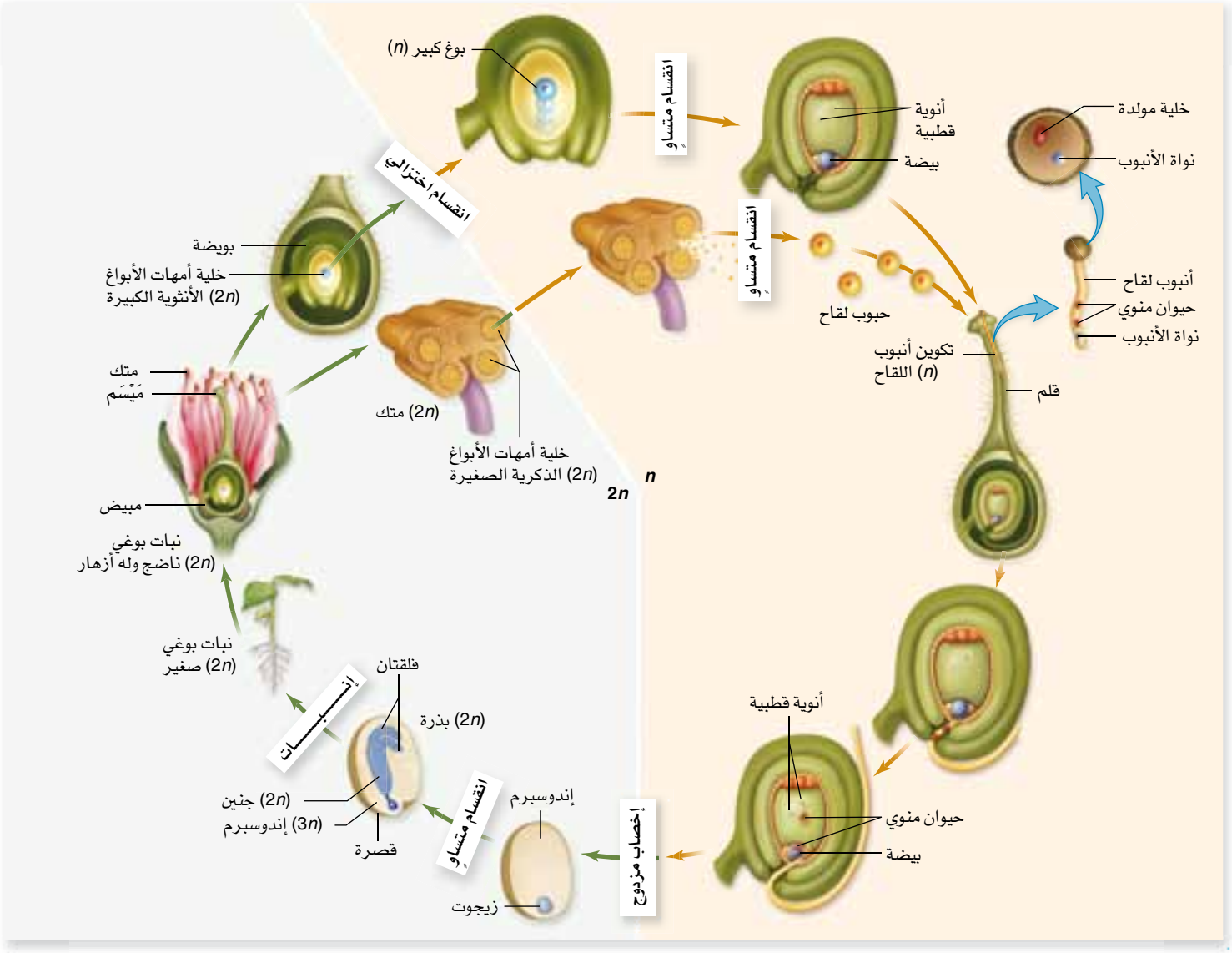
أو ثقب عند إحدى النهايتين، وقد وصفت سابقًا (انظر الشكل 30-24 ب). تهاجر نواة واحدة من كل مجموعة نحو المركز، حيث تعمل **بوصفها أنوية قطبية Polar nuclei** التي قد تلتحم معًا مشكلة نواة واحدة ثنائية العدد الكروموسومي، أو قد تكوّن خلية واحدة ذات نواتين مفردتي الكروموسومات. في حين تتشكل جدر الخلايا حول الأنوية المتبقية. في المجموعة الأقرب إلى النقير، تعمل خلية واحدة بوصفها بيضة **Egg** وتدعى النواتان الأخريان **النواتين المساعدتين Synergids**. وفي النهاية الأخرى، تدعى الخلايا الثلاث الآن **الأنوية النقيضة Antipodals** وليس لها وظيفة واضحة، وفي النهاية تتحلل وتختفي.

يدعى الكيس الكبير ذو الأنوية الثمانية والخلايا السبع **كيس الجنين Embryo sac**؛ وهو يشكل النبات الجاميتي المؤنث، وعلى الرغم من أنه معتمد بالكامل على النبات البوغي في التغذية، فإنه فرد متعدد الخلايا مفرد العدد الكروموسومي.

إنتاج حبوب اللقاح

في حين يتطور النبات الجاميتي الأنثوي تحدث عملية مماثلة، وإن كانت أقل تعقيدًا، في المتوك (الشكل 30-25). تحتوي معظم المتوك بقعًا من الأنسجة (عادة أربعة) تصبح في النهاية حجرات مبطنة بخلايا مغذية. إن هذا النسيج في كل بقعة مكون من كثير من خلايا أمهات الأبواغ الذكرية الصغيرة ثنائية الكروموسومات التي تمر بانقسام اختزالي في الوقت نفسه تقريبًا، فتنتج كل واحدة أربعة أبواغ ذكرية صغيرة.

تبقى الأبواغ الصغيرة في البداية معًا بوصفها مجموعة رباعية، ثم تنقسم نواة كل بوغ مرة واحدة. في معظم الأبواغ، تنفصل الأبواغ الصغيرة عن مجموعاتها الرباعية، وفي الوقت نفسه، يتطور جدار مزدوج الطبقة حول كل بوغ ذكري صغير، وفي حين تستمر المتوك المحتوية على الأبواغ الصغيرة في النضج ينكسر الجدار



الشكل 30-25

دور حياة مغطاة البذور النموذجية. كما هو الحال في الصنوبريات، لم يعد الماء ضروريًّا للإخصاب. ففي معظم أنواع مغطاة البذور، تحمل الحيوانات حبوب اللقاح إلى الخباء (الكرابل). يشكل الجدار الخارجي للخباء الثمرة التي غالبًا ما تُغري الحيوانات بأكلها ونثر بذورها.

بين أزواج الحجرات المتجاورة مكونًا كيسين كبيرين. وعند هذه النقطة، تصبح الأبواغ الصغيرة الذكرية ثنائية الأنوية حبوب لقاح.

تصبح الطبقة الخارجية لجدار حبة اللقاح مزركشة بشكل جميل، وهي تحتوي مواد كيميائية قد تتفاعل مع المواد الأخرى الموجودة على الميسم لتعطي إشارة فيما إذا كان ينبغي للتطور الجنيني للنبات الجاميتي الذكري أن يكتمل حتى النهاية. تحتوي حبوب اللقاح مناطق تدعى فتحات *Apertures* قد يخرج منها لاحقًا أنبوب اللقاح.

التلقيح والنبات الجاميتي المذكر

التلقيح Pollination ببساطة، هو نقل حبوب اللقاح من مصدرها (المتوك) إلى منطقة مستقبلة (الميسم) في النباتات المزهرة. يتم أغلب التلقيح بين أزهار من نباتات مختلفة، ويكون ذلك عن طريق: الحشرات، أو الريح، أو الماء، أو الجاذبية، أو الخفاش، أو حيوانات أخرى. وفي ربع مغطاة البذور جميعها تقريبًا قد تستقر حبوب اللقاح مباشرة على مياسم الزهرة نفسها، حيث يتم التلقيح الذاتي. قد يكون التلقيح متبوعًا بالإخصاب *Fertilization* أو قد لا يكون متبوعًا به، وذلك بناءً على التطابق الوراثي بين حبة اللقاح والزهرة التي استقرت على مياسمها.

فإذا كان الميسم مستقبلًا ودودًا، فإن السيتوبلازم الكثيف لحبة اللقاح يمتص المواد من الميسم، وينبعج خارجًا من الفتحة. يتطور هذا الانبعاج إلى أنبوب لقاح يستجيب للمنبهات الكيميائية، وينمو خلال القلم، وإلى فتحة النقير. ويستغرق أنبوب اللقاح عادة من ساعات عدة إلى يومين ليصل فتحة النقير، ولكنه في حالات قليلة قد يأخذ حولًا كاملًا.

إحدى خليتي حبة اللقاح، وهي الخلية المولّدة، تتلكأ في الخلف، وتنقسم نواتها في حبة اللقاح، أو في أنبوب اللقاح منتجة خليتي حيوانين منويين. وبخلاف الحيوان المنوي في الحزاز الطحلبي والخنشاريات وبعض معراة البذور، فإن الحيوان المنوي في النباتات المزهرة ليس له أسواط. وفي هذه النقطة، تكون حبة اللقاح وأنبوبها وحيواناتها المنوية قد أصبحت نباتًا جاميتيًّا ذكريًّا ناضجًا.

الإخصاب المزدوج وإنتاج البذور

ما إن يدخل أنبوب اللقاح كيس الجنين حتى يدمر الخلايا المساعدة في أثناء العملية، ويقذف بمحتوياته. كلا الحيوانين المنويين فعّالٌ وظيفيًّا، حيث يعقب ذلك حدث يدعى **الإخصاب المزدوج Double fertilization**. يتحد أحد الحيوانين المنويين مع البيضة، فيشكلان الزيجوت الذي يتطور إلى نبات بوغي جنين. الحيوان المنوي الآخر يتحد مع النواتين القطبيتين مشكلًا نواة الإندوسبرم الابتدائي ثلاثية الكروموسومات.

تبدأ نواة الإندوسبرم الابتدائي بالانقسام بسرعة، وبشكل متكرر، فتصبح نسيج الإندوسبرم الذي قد يشكل جزءًا واسعًا من البذرة في الحشائش كالحنطة، ويعطي المواد الغذائية للجنين في معظم النباتات المزهرة (انظر الشكل 37-12).

حتى وقت قريب، كان يُعتقد أن الإندوسبرم الثلاثي المغذّي حالةٌ سلفية في مغطاة البذور، لكن تحليلًا حديثًا لمغطاة البذور القاعدية الحية كشف أنّ الإندوسبرم الثنائي كان شائعًا كذلك. إن النبات الجاميتي المؤنث في هذه الأنواع له أربع أنوية وليس ثمانيًا. وفي الوقت الراهن، لا يزال غير واضح ما إذا كان الإندوسبرم الثنائي أو الثلاثي هو الأكثر بدائيةً.

استقصاء

إذا فشل نسيج الإندوسبرم في التطور في بذرة، فكيف تعتقد أن يتأثر تلاؤم جنين البذرة؟ اشرح إجابتك.

نمو البذرة ونمو النبات البوغي

كما أسلفنا، قد تبقى البذرة كامنةً سنوات عدة اعتمادًا على النوع. وعندما تصبح الظروف البيئية مناسبة، تنمو البذرة، ويخرج منها نبات بوغيٌّ صغير. ومرّة أخرى واعتمادًا على النوع، فإن النبات البوغي قد ينمو، ويتطور سنوات عدة قبل أن يصبح قادرًا على التكاثر، أو قد ينمو بسرعة، وينتج أزهارًا في فصل نمو واحد.

وسنقدم وصفًا تفصيليًّا أكثر لتكاثر النباتات في الفصل الـ 42.

تتميز مغطاة البذور بوجود بويضات محاطة في أثناء التلقيح بنسيج المبيض عند قاعدة الخباء الذي هو تركيب مميز لهذه القبيلة، ثم تتطور الثمرة من المبيض، وتسهم ابتكارات تطورية بما في ذلك أزهار تجلب الملقحات وثمار تحمي، وتساعد على انتشار الجنين، وإخصاب مزدوج يقدّم مواد غذائية إضافية للجنين على هيئة إندوسبرم- في النجاح الواسع لهذه المجموعة.

مراجعة المفاهيم

30-1 تعريف النبات

توضع النباتات جميعها، باستثناء الطحالب الحمراء والبنية في مملكة النباتات الخضراء.

- نشأت النباتات الخضراء جميعها من نوع طحلبي أخضر واحد يعيش في الماء العذب (الشكل 30-1).
- تنقسم الطحالب الخضراء إلى سلالتين: الطحالب الخضراء التي لم تجد طريقها نحو اليابسة، وطحالب الكارا التي فعلت ذلك.
- لنباتات اليابسة سمتان أساسيتان شائعتان: جنين محمي، وأطوار أحادية وثنائية متعددة الخلايا.
- تكيّفًا للعيش على اليابسة، تحتمي معظم النباتات من الجفاف بكيوتكل شمعي وثغور يمكن أن تفتح أو تغلق.
- يمكن تمييز نباتات اليابسة بناءً على وجود أو غياب القصيبات، التي هي خلايا متخصصة تيسّر نقل الماء والمعادن.
- سمح تكيّفان إضافيان بظهور وازدهار نباتات يابسة أكبر حجمًا؛ الأوراق والميل إلى وجود جيل ثنائي الكروموسومات عمودي سائد.

30-2 دورات حياة النباتات

للنباتات دورات حياة أحادية ثنائية الكروموسومات تكون فيها متعددة الخلايا في كلا الطورين (الشكل 30-2).

- يتشكل الطور البوغي الثنائي باتحاد الجاميتات. وفي محفظة الأبواغ تنتج خلايا أمهات الأبواغ الثنائية أربعة أبواغ أحادية بانقسام اختزالي.
- ينمو الطور الجاميتي المفرد، وينتج الجاميتات بانقسام متساوٍ.
- عندما تطورت بعض النباتات لتصل إلى تعقيد أكبر، أزيح الجزء السائد من دورة الحياة من المرحلة المفردة إلى المرحلة الثنائية الكروموسومات. وأصبح النبات الجاميتي أكثر تحديدًا في الحجم، وأُزيح الطور البوغي من تركيب معتمد غذائيًّا إلى تركيب مستقل.

30-3 الطحالب الخضراء: الطحالب الخضراء المائية (الشكل 30-5)

كانت أسلاف المملكة النباتية طحالب خضراء متعددة الخلايا.

- هناك سلالتان متميزتان من الطحالب الخضراء: الطحالب الخضراء التي أعطت الطحالب المائية، والنباتات السبحية التي تضم الآن نباتات اليابسة.

30-4 طحالب الكارا: طحالب خضراء ذات علاقة بنباتات اليابسة

طحالب الكارا أيضًا طحالب خضراء، وهي مرتبطة بشدّة بنباتات اليابسة.

- كلا السلالتين المرشحتين من النباتات السبحية، Charales Coleochaetales لهما بلازمودسماتا، وهي وصلات سيتوبلازمية بين الخلايا، وتعايش انقسامًا متساويًا وانقسامًا للسيتوبلازم، مثل نباتات اليابسة. طحالب Charales هي الأكثر قرابة مع نباتات اليابسة.

30-5 الحزازيات: نباتات خضراء لا وعائية

الحزازيات هي الأحفاد الحية الأقرب لنباتات اليابسة الأولى. وقد سميت لاقصيبية؛ لأنها تفتقر إلى القُصيبات.

- على الرغم من أن الحزازيات ليس لديها جذور أو قُصيبات، لكنّ لها خلايا ناقلة لتحريك الماء والمعادن، إضافةً إلى السكريات.
- النبات البوغي غير ضوئي التغذية، ويعتمد غذائيًّا على النبات الجاميتي.
- تضم الحزازيات ثلاث سلالات متميزة، هي: حشائش الكبد، والحشائش القرنية، والحزاز الطحلبي.

30-6 سمات النباتات الوعائية (الجدول 30-1)

توجد النباتات الوعائية الموجودة اليوم في ثلاث سلالات، هي: اللايكوفايتا أو الحزازيات الصولجانية، والنباتات المجنّحة، والنباتات البذرية.

- النباتات الوعائية لها طور جاميتي مختزل ومحافظ جاميتات متعددة الخلايا، وبذور.
- نشأت البذور فقط في النباتات مختلفة الأبواغ، وهي تراكيب شديدة المقاومة، وتحمي جنين النبات.
- تضيف الثمار في النباتات المزهرة طبقة من الحماية للبذور، وتجتذب الحيوانات التي تساعد على انتشارها.

30-7 الحزازيات الصولجانية

الحزازيات الصولجانية هي أقدم النباتات الوعائية.

- تفتقر الحزازيات الصولجانية للبذور.

30-8 النباتات المجنّحة: الخنشاريات وأقرباؤها (الشكل 30-17)

لا تزال العلاقات النشوئية بين الخنشاريات وأقربائها قيد التمحيص، لكنّ أسلافها أعطت سلالتين: سلالة من الخنشاريات وذيل الحصان وسلالة من الخنشاريات وخنشار المكنسة.

- تشكل النباتات المجنحة محافظ جاميتية ذكرية وأنثوية، وتتطلب الماء من أجل الإخصاب.

30-9 تطور النباتات البذرية

يبدو أن النباتات البذرية تطورت من نباتات حاملة للأبواغ تدعى سوابق معراة البذور.

- النباتات البذرية جميعها مختلفة الأبواغ.
- تشترك سوابق معراة البذور ومعرّاة البذور الحديثة في الأنسجة الوعائية الثانوية التي تمكّن من زيادة القطر.
- تحمل البذرة الجنين، وتشكل مرحلة كمون توقف دورة الحياة إلى أن تصبح الظروف البيئية ملائمة.
- تنتشر حبوب اللقاح، وهي النبات الجاميتي الذكري، عن طريق الريح أو بوسائل أخرى.
- يتطور النبات الجاميتي الأنثوي ضمن البويضة التي تحاط بأنسجة النبات البوغي.

30-10 معراة البذور: نباتات ذات بذور عارية (الشكل 30-23)

لمعراة البذور بويضات عارية عند وقت التلقيح.

- النباتات المخروطية، ونباتات السيكادا، والنباتات النيتويّة، والنباتات الجِنكيّة كلّها معراة بذور، وكلّها تفتقر إلى الأزهار والثمار الحقيقية.

30-11 مغطاة البذور: النباتات الزهرية (الشكل 30-23)

مغطاة البذور متميزة عن معرّاة البذور والنباتات الأخرى، حيث بويضاتها محاطة بنسيج ثنائي الكروموسومات يدعى المبيض عند وقت التلقيح، وإنها تشكّل ثمارًا.

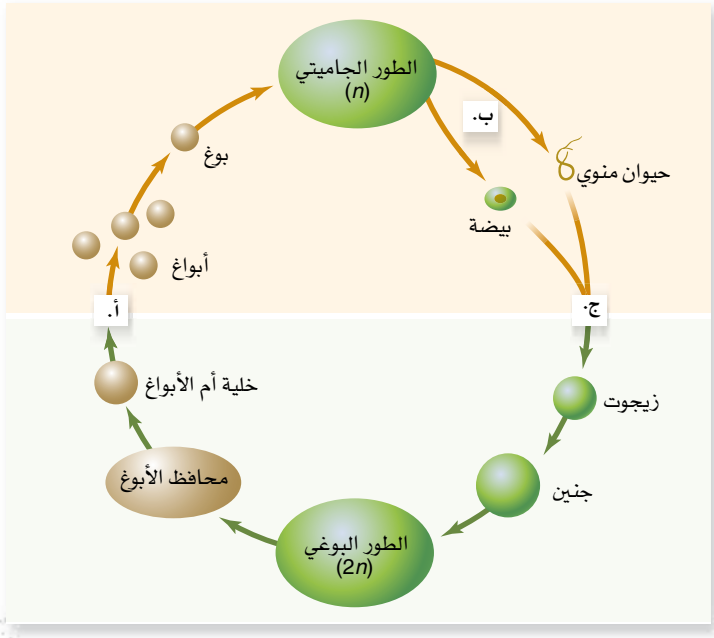
- تنتظم أجزاء الزهرة في أربع دوائر، هي: السبلات، والبتلات، وأعضاء التذكير، وأعضاء التأنيث (الشكل 30-24 أ).
- تتألف أعضاء التذكير من أسدية تنتج بها حبوب اللقاح مفردة الكروموسومات التي تشكّل النبات الجاميتي الذكريّ.
- تتألف أعضاء التأنيث من خِباء (كربلة) واحد أو أكثر تحتوي النبات الجاميتي الأنثويّ.

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أحد تراكيب النباتات الآتية لا يتلاءم مع وظيفته الصحيحة:
   أ. الثغور تسمح بحركة الماء والمعادن.
   ب. القصيبات تسمح بحركة الماء والمعادن.
   ج. الكيوتيكل يمنع الجفاف.
   د. كل ما ذكر متلائم بشكل صحيح.
2. في الرسم التخطيطي الآتي، الصندوق الذي يمثل انقسامًا اختزاليًّا من حالة ثنائية الكروموسومات إلى حالة أحادية الكروموسومات هو الصندوق:
   أ. أ. ب. ب.
   ج. ج. د. لا شيء مما ذكر.



3. واحد مما يأتي ربما يكون قد أعطى نباتات اليابسة مباشرة:
   أ. الفولفوكس *Volvox*.
   ب. الكلاميدوموناس *Chlamydomonas*.
   ج. أولفا *Ulva*.
   د. كارا *Chara*.
4. واحد مما يأتي لا يوجد بوصفه عضوًا في الحزازيات:
   أ. علاقة الفطريات الجذرية. ب. أشباه الجذور.
   ج. خلايا القصيبات. د. طور جاميتي ضوئي التغذية.
5. الجملة الصحيحة فيما يتعلق بالحزازيات هي:
   أ. تمثل الحزازيات سلالة موحدة الأصل.
   ب. الطور البوغي للحزازيات كلّها ضوئي التغذية.
   ج. تمثل المحافظ الجامية الأنثوية والذكرية تراكيب مفردة الكروموسومات تنتج خلايا تكاثرية.
   د. الثغور شائعة في الحزازيات كلّها.
6. الافتقار إلى البذور سمة لكل:
   أ. الحزازيات الصولجانية. ب. معرّاة البذور.
   ج. النباتات الوعائية. د. النباتات النيتوية.
7. أحد التكيفات الآتية مكّن النباتات من إيقاف دورة حياتها حتى تصبح الظروف البيئية مثالية:
   أ. الثغور. ب. الخشب واللحاء.
   ج. البذور. د. الأزهار.
8. واحدة من معرّاة البذور الآتية تمتلك شكلًا من النسيج الوعائي شبيهًا بذلك الموجود في مغطاة البذور:
   أ. السيكادا. ب. النباتات النيتوية.
   ج. النباتات الجِنكيّة. د. المخروطيّات.
9. في شجرة الصنوبر، تنتج الأبواغ الذكرية الصغيرة والأبواغ الأنثوية الكبيرة بعملية:
   أ. إخصاب. ب. انقسام متساوٍ.
   ج. اتحاد. د. انقسام اختزالي.
10. أحد المصطلحات الآتية لا يرتبط مع جزء ذكري في النباتات:
    أ. الأبواغ الأنثوية الكبيرة. ب. المحافظ الجامية الذكرية.
    ج. حبوب اللقاح. د. الأبواغ الذكرية الصغيرة.
11. دائرة من الدوائر الآتية تحتوي الخِباء (الكرابل):
    أ. السبلات. ب. أعضاء التذكير.
    ج. أعضاء التأنيث. د. البتلات.
12. في الإخصاب المزدوج، يُنتج حيوان منوي ثنائي الكروموسومات _____ وينتج الحيوان الآخر ثلاثي الكروموسومات _____.
    أ. زيجوت، إندوسبرم أوليّ.
    ب. إندوسبرم أوليّ، بوغ ذكري صغير.
    ج. الأنوية النقيضة، الزيجوت.
    د. الأنوية القطبية، الزيجوت.
13. أقدم الأنواع الحيّة المعروفة لمغطاة البذور هو:
    أ. *Cooksonia*. ب. *Chlamydomonas*.
    ج. *Archaefructus*. د. *Amborella*.

أسئلة تحدٍّ

1. إذا عُينت مساعدًا للبحث لاستقصاء أصل مغطاة البذور، وبشكل محدد الحدود بين معرّاة البذور ومغطاة البذور، فأي السمات ستستخدم لتعرّف أحفورة جديدة على أنها معرّاة بذور مرة، ومغطاة بذور مرة أخرى بصورة واضحة.
2. ما فوائد التلقيح الذاتي في النباتات المزهرة وعيوبه؟ اشرح إجابتك.
3. تستخدم العلاقة بين النباتات المزهرة والملقّحات غالبًا على أنها مثالٌ على التطوّر المترافق. كثير من أنواع النباتات المزهرة لها تراكيبُ زهرة متكيّفة لنوع واحد من الملقحات. ما فوائد استخدام هذه العلاقة المتخصصة وعيوبها؟

هل أنت في حاجة إلى مراجعة إضافية؟ زر الموقع www.ravenbiology.com. لتتدرب على الاختبارات القصيرة، والرسوم المتحركة، والتسجيلات التلفزيونية، وأنشطة مخصصة؛ لمساعدتك على فهم المادة الموجودة في هذا الفصل.

الفصل 31

الفطريّات

Fungi

موجز المفاهيم

31-1 تعريف الفطريّات

31-2 البيولوجيا العامة للفطريات

- *جسمُ الفطر كتلةٌ من الخيوط الفطريّة المتصلة.*
- *الخلايا الفطريّة قد تحتوي على أكثر من نواة.*
- *الانقسام المتساوي يقسم النواة ولا يقسم الخيط الفطري.*
- *تستطيع الفطريّات أنْ تتكاثر جنسيًّا ولا جنسيًّا.*
- *الفطريّات عضوية التغذية تمتص الغذاء.*

31-3 العلاقات النّشوئيّة

- *هناك تاريخ نشوئي جديد للفطريات قيد الظهور.*
- *ليست المجموعات جميعها أحادية السلالة.*

31-4 الفطريّات الكايتريدية: فطريات مائية لها أبواغ حيوانية سوطية

31-5 الفطريّات الزيجوتية: فطريات تنتج زيجوتات

- *في التكاثر الجنسي، تتكون الزيجوتات داخل المحفظة البوغية الزيجوتية.*
- *التكاثر اللاجنسي هو الأكثر شيوعًا.*

31-6 الفطريّات الغلوميرية: متعايشات نباتية لاجنسية

31-7 الفطريّات الزّقيّة: الفطريّات ذات الكيس

- *يحدث التكاثر الجنسي داخل الكيس.*
- *يحدث التكاثر اللاجنسي داخل حاملات الكونيديا.*
- *بعض الفطريّات الزّقيّة لها شكل الخميرة.*
- *وراثة الفطريّات الزّقيّة ومحتواها الوراثي لهما تطبيقات عملية.*

31-8 الفطريّات البازيديّة: الفطريّات الصّولجانيّة

- *تتكاثر الفطريّات البازيديّة جنسيًّا ضمن البازيديا.*
- *الغزل الفطري (الميسيليوم) الثانوي للفطريات البازيديّة متغاير النواة.*

مقدّمة

الفطريّات مجموعةٌ من المخلوقات الحية وحيدة الخلية، أو متعددة الخلايا، التي عادة لا نعيرها انتباهنا، مع أنّ لها تأثيرًا كبيرًا في البيئة وصحة الإنسان. وكما البكتيريا، فإنّ الفطريّات تعد عوامل محللة، ومخلوقات ممرضة للإنسان. توجد الفطريّات في كلّ مكان، ابتداء من المناطق الاستوائية إلى سهول القطب الشمالي، ومن البيئة اليابسة إلى البيئة المائية. وقد استطاعت الفطريّات أنْ تجعل النباتات قادرة على استيطان اليابسة، وذلك بمساعدة السيقان التي لا جذور لها على امتصاص الماء والغذاء من التربة. عشّ الغراب والفاريقون فطريات متعددة الخلايا تنتج الأبـواغ التي تنمو بشكل سريع تحت الظروف الملائمة. ويستطيع فطر آرميلاريا *Armillaria* أنْ يغطي مساحة تُقَدَّرُ بخمسة عشر هكتارًا تحت الأرض، وأنْ يصل وزنه إلى 100 طن. بعض الفطريّات النفاثة قد يصل قطرها إلى المتر، وتحتوي على 7 تريليونات من الأبواغ، وهو ما يكفي لأن يحيط بالكرة الأرضية على طول خط الاستواء. يمكن الاستفادة من بعض الفطريّات كالخميرة لصنع الخبز والمشروبات الكحولية، غير أن فطريّات أخرى تصيب النباتات والحيوانات بالأمراض. تعد الفطريّات القاتلة مصدرًا للمشكلات؛ لأنها من أقرباء الحيوانات، وعادة ما تكون العقاقير التي يمكن أن تقتل الفطريّات سامة للحيوانات، التي من ضمنها الإنسان.

في هذا الفصل، سنتناول المجموعات الرّئيسة التابعة لهذا النوع المخادع من أشكال الحياة.

31-9 الفطريّات الناقصة: مجموعة متعددة الأعراق تشمل معظم أنواع العفن

- *الفطريّات الناقصة لديها إعادة اتحاد (خلط) وراثي محدودة.*
- *تضم الفطريّات الناقصة أجناسًا مهمة اقتصاديًّا.*

31-10 بيئة الفطريّات

- *الفطريّات لديها مدى من التعايش.*
- *الفطريّات الداخلية تعيش داخل النباتات وقد تحميها من الطّفيليّات.*
- *الأشنات مثال على التعايش بين الممالك المختلفة.*
- *الفطريّات الجذرية فطريات مرتبطة مع جذور النباتات.*
- *تشكل الفطريّات أيضًا تعايشًا متبادلًا مع الحيوانات.*

31-11 الطّفيليّات والممرضات الفطريّة

- *العدوى الفطريّة قادرة على أنْ تؤذي النباتات، وكلَّ مَنْ يأكلُها.*
- *الأوبئة الفطريّة صعبة العلاج في الإنسان والحيوانات الأخرى.*

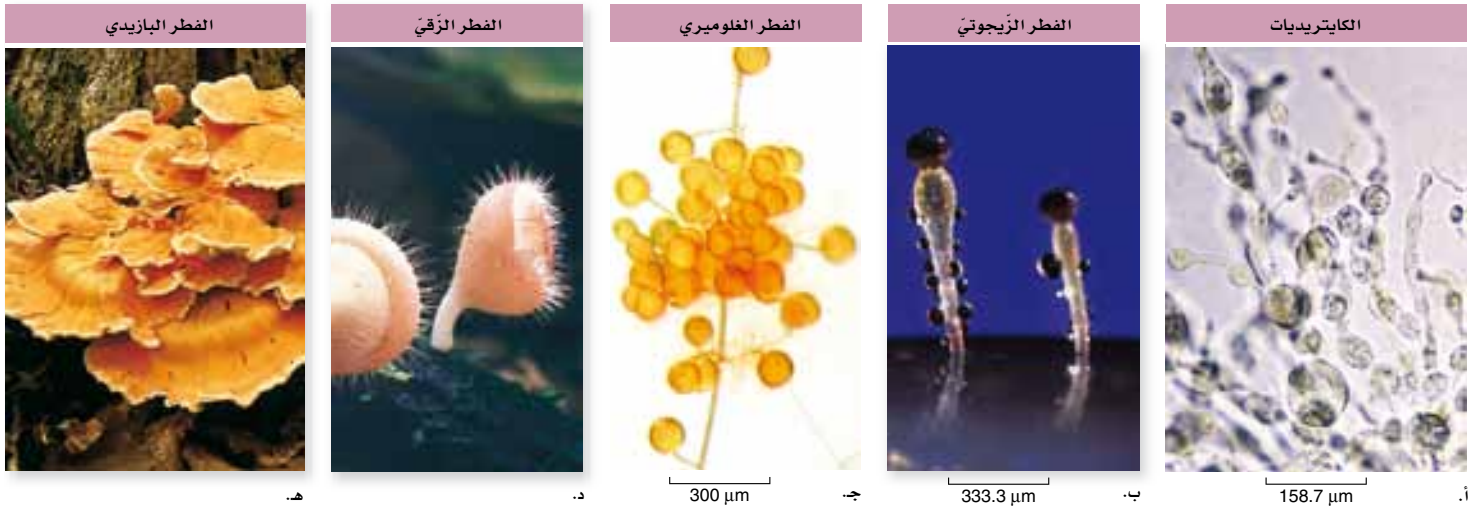
1-31 تعريف الْفطريّات

يعتقد علماء **الْفطريّات Mycologists** الذين يدرسون الْفطريّات والطّلائعيّات التي تشبه الْفطريّات أن هناك 1.5 مليون نوع من الْفطريّات. ويقسم علماء التصنيف حاليًا الْفطريّات إلى ست مجموعات رئيسة، هي: فطريات الكايتريديا والْفطريّات الزيجوتية، والفطريات الغلوميرية، والْفطريّات الزّقيّة، والْفطريّات الْبازيديّة، وأخيرًا الْفطريّات الناقصة (شكل 13 – 1). أما المجموعة الأخيرة التي كانت تسمى الْفطريّات الناقصة *Imperfect fungi* فهي تفتقر إلى موقع محدد في الشّجرة النّشوئيّة، وذلك لعدم اكتشاف طريقة تكاثرها الجنسيّ، ولعدم توافر بيانات كافية لتحديد الفطر الأقرب نوعًا لها.

وتشير التحليلات النّشوئيّة الحديثة إلى أنّ الْفطريّات أقرب إلى الحيوانات منها إلى النباتات؛ إذ إن السلف المشترك بين الْفطريّات والحيوانات هو الخلية الأحادية التي تطورت إلى الخلايا المتعددة الحيوانية والْفطريّة. وعلى الرغم من أنّ الْفطريّات متنوعة بشكل مذهل، فإنها تشترك في بعض الصفات، مثل:

1. **الْفطريّات عضوية التغذية تمتصّ المواد الغذائية.** تحصل الْفطريّات على غذائها بإفراز أنزيمات هاضمة على المادة الغذائية، مثل جذوع الأشجار الساقطة، وحتى جلد الضفادع. ثم تمتصّ بعد ذلك الجزيئات العضوية الناتجة عن عمل الأنزيمات. لذا، يمكننا القول: إنّ الْفطريّات تعيش في غذائها.
2. **الْفطريّات لديها أنواع عدة من الخلايا المختلفة.** فقد تنمو الْفطريّات متعددة الخلايا على شكل خيطي، وتتخذ أجسامها شكل خيوط فطرية Hyphae طويلة ونحيفة. ويمكن أنْ تتجمع تلك الخيوط الْفطريّة حتى تشكّل بنية معقدة كفطر عشّ الغراب. وإنّ لدى خلايا الخيوط الْفطريّة مدى واسعًا من الأشكال. بعض الْفطريّات وحيدة الخلية لديها أسواط.
3. **الْفطريّات لديها جدران خلوية تحتوي على الكايتين Chitin.** جدران خلايا الْفطريّات مبنية من متعددات التّسكّر والكايتين، وهو المادة الصلبة غير القابلة للذوبان نفسها التي تُصنع منها قشور السلطعونات.
4. **بعض الْفطريّات لديها أطوار ثنائية النواة.** فبعض أنواع الْفطريّات التي تتكاثر جنسيًّا تمر بأطوار تحتوي فيها الخلية الواحدة على نواتين أحاديتي العدد الكروموسومي مدة محدودة، قبل أنْ تندمجا لتكونا نواة زوجية العدد الكروموسومي.
5. **الْفطريّات تقوم بانقسام نووي متساوٍ.** يختلف الانقسام المتساوي في الْفطريّات عنه في النباتات والحيوانات في ناحية جوهرية واحدة، وهي أنّ الغشاء النووي لا يتكسّر، وإنما يحدث الانقسام المتساوي داخل النواة. تتشكل الخيوط المغزلية في الداخل، ثم تُسحب الكروموسومات إلى الأقطاب المتناظرة في النواة (ليس في الخلية كما يحدث في حقيقية النّوى). ويوجد هذا النوع من الانقسام المتساوي في بعض الطّلائعيّات (الفصل الـ 29).

تتصف الْفطريّات بطريقة تغذيتها، وأنواع خلاياها، وشكل أجسامها، وبالكايتين الموجود في جدران خلاياها، والانقسام المتساوي للنواة. الْفطريّات أقرب إلى الحيوانات منها إلى النباتات.



الشكل 31 – 1

أمثلة على القبائل الْفطريّة. أ. بعض الكايتريديات، بما في ذلك أعضاء من الجنس *Hypochytrium* هي طفيليات نباتية، في حين تعيش الأخرى حرة. ب. بايلوبولَس *Pilobolus* فطر زيجوتي ينمو على روث الحيوان في الوسط الاستنباتي. تحتوي الأعناق التي تبلغ أطوالها 10 مم على أكياس سوداء حاملة للأبواغ. جـ. أبواغ تابعة للنوع *Glomus intraaradices* وهو فطر غلوميري مرتبط بالجذور. د. فطر الكأس *Cookeina tricholoma* وهو فطر كيسي من الغابات المطرية في كوستاريكا. في فطريات الكأس، تترتب الأجزاء المنتجة للأبواغ على طول الكأس، في حين تترتب الأجزاء المنتجة للأبواغ في الْفطريّات الْبازيديّة، مثل فطر عشّ الغراب *Amanita* على طول الخياشيم أسفل القلنسوة. هـ. *Amanita muscaria* أغاريك الذباب، فطرٌ بازيديّ سام. تتكون أجزاء الفطر المرئية التي تظهر في الصورة هنا جميعها من شبكة كثيفة من الخيوط الْفطريّة التي تخترق السطح التي تنمو عليه، وتشكل نسيجًا داخله.

2-31 البيولوجيا العامة للفطريات

توجد الْفطريّات على شكل خمائر وحيدة الخلية أو على شكل متعددة الخلايا ذات أنواع عدة من الخلايا. وقد يحدث التكاثر فيها جنسيًّا أو لا جنسيًّا، ويحدث لها انقسام متساوٍ غير عادي. وهي متخصصة في استخلاص المواد الغذائية وامتصاصها من المنطقة المحيطة بها بعد أنْ تفرز عليها أنزيمات خارجية. وسوف نبدأ بالنظر إلى الشكل الفطري.

جسمُ الفطر كتلةٌ من الخيوط الْفطريّة المتصلة

بعض الخيوط الْفطريّة قد تكون أنابيب متصلة أو متفرعة، وتكون مملوءة بالستيوبلازم، ولها أنوية عدة. وبعض الْفطريّات الآخر لديه خيوط فطرية مكونة من سلسلة طويلة من الخلايا المتصلة طرفًا بطرف، وتكون مقسمة عن طريق جدران خلوية تسمى فواصل Septa. ونادرًا ما تشكل تلك الفواصل حاجزًا كاملًا إلا في حالة الخلايا التناسلية. حتى الخيوط الْفطريّة التي لديها فواصل يمكن أنْ تُعدّ خلية واحدة طويلة.

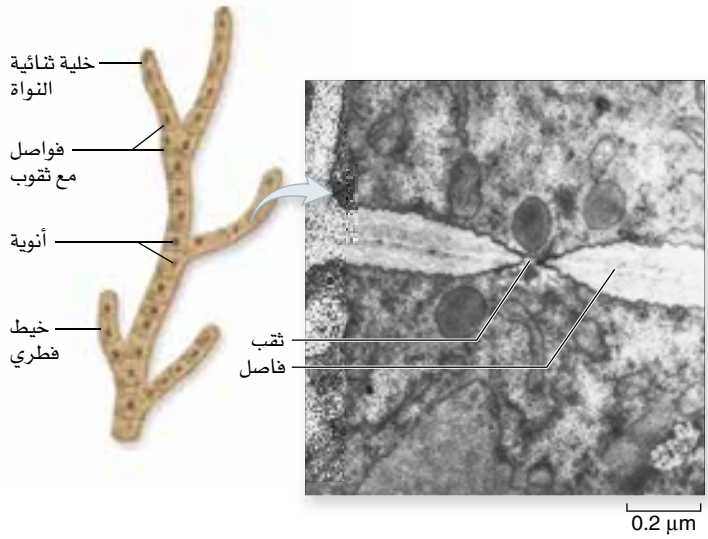
يتحرك السيتوبلازم بشكل حرّ خلال الخيوط الْفطريّة مارًّا خلال الثغور الموجودة في الفواصل (الشكل 31 – 2). وبسبب تلك الحركة، فإنّ البروتينات التي تُصنع في الخلية تستطيع أنْ تنتقل إلى الأطراف النامية للفطر. لذا، فإنّ الفطر ينمو بسرعة كبيرة عندما تتوافر المواد الغذائية، والمياه، ودرجة الحرارة المثلى. فعلى سبيل المثال، لعلك تكون قد لاحظت ظهور فطر عشّ الغراب بشكل مفاجئ صباح ليلة ماطرة في فصل الصّيف.

الغزل الفطري *Mycelium*

تسمى كتلةُ الخيوط الْفطريّة المتصلة **الغزلَ الفطريَّ Mycelia** (ولقد اشتق اسمها ومصطلح **علم الْفطريّات Mycology** الذي يطلق على دراسة الْفطريّات من الكلمة اليونانية مايكس *Mykes*).

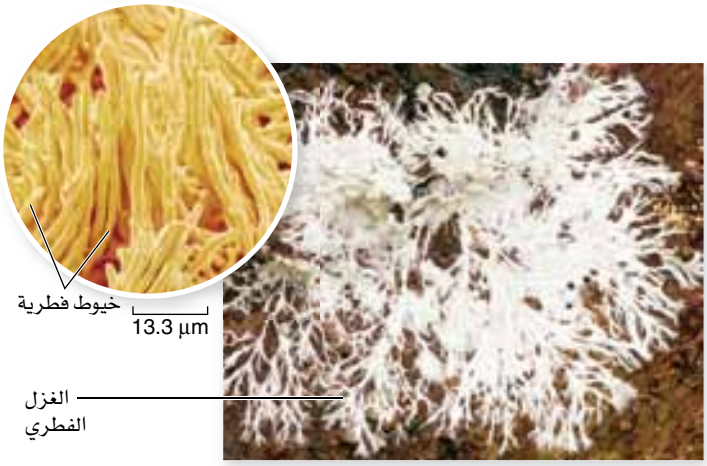
يكوِّن الغزل الفطري نظامًا معقدًا قد يمتد طوله إلى أمتار عدة (الشكل 31 – 3). وينمو هذا الغزل الفطري داخل التربة والخشب، أو أيّ مادة يستطيع أنْ يتغذى عليها الفطر، ويبدأ هضم المواد بشكل سريع. فأجزاء الفطر جميعها نشيطة أيضيًّا.

تنمو الأجزاء التناسلية في نوعين من الْفطريّات الرّئيسة الأربعة على شكل خيوط



الشكل 31 – 2

الفاصل. تظهر صورة المجهر الإلكتروني لمقطع من خيط فطري للفطر البازيدي *Inontus tomentosus* ثغرًا يمر من خلاله السيتوبلازم.



الشكل 31 – 3

الغزل الفطري. يتكون هذا الغزل الفطري من خيوط فطرية تنمو خلال أوراق شجر على أرضية غابة في ميريلاند.

فطرية متداخلة، وملتفة كتلك الموجودة في فطر عشّ الغراب Mushroom والْفطريّات النّفاثة Puffballs والغوشنة Morels، وتتشكل تلك الأجزاء في وقت محدد من دورة الحياة. تستطيع هذه التراكيب أنْ تمتد بشكل سريع بسبب الانتفاخ السريع الذي يحدث للخيوط الْفطريّة.

تحتوي جدران الخلية على الكايتين

تتكون جدران خلايا الْفطريّات من متعددات السّكّر ومن ضمنها الكايتين، وليس السيلولوز الذي يوجد في النباتات، وكثير من الطّلائعيّات.

وكما تعلمنا في الفصل الـ 3، فإنّ الكايتين عبارة عن سيليلوز معدل يتكون من وحدات جلوكوز مترابطة، التي ترتبط بها مجموعات نيتروجين إضافية. ويتم بعد ذلك ربط هذا المبلمَر مع البروتينات. والكايتين هو المادة نفسها التي تكوّن القشرة الصّلبة للهيكل الخارجي للمفصليات؛ كالحشرات والقشريّات (الفصل الـ 34). وإنّ وجود الكايتين هو إحدى الصفات المشتركة التي قادت العلماء إلى الاعتقاد بأنّ الْفطريّات والحيوانات هي أكثر قربًا لبعضهما من الْفطريّات والنباتات.

الخلايا الْفطريّة قد تحتوي على أكثر من نواة

تختلف الْفطريّات عن معظم الحيوانات والنباتات في أنّ كلّ خلية، أو خيط فطري، بوسعهما أن يحتويا على نواة واحدة، أو اثنتين، أو أكثر. فالخيط الفطري الذي يحتوي على نواة واحدة يُسمّى **وحيد النواة Monokaryotic**، أما الخيط الفطري الذي يحتوي على نواتين فيسمى **ثنائي النواة Dikaryotic**. وفي الخلايا ثنائية النواة، تكون النواتان فرديّتي العدد الكروموسومي، ويتم نسخ المحتوى الجيني لهما، وبذا تكون لهما الخصائص الوراثية نفسها التي لدى زوجيات العدد الكروموسومي.

تختلط أحيانًا الأنوية المتعددة الموجودة في سيتوبلازم الغزل الفطري نفسه الذي لا يتكون من خلايا منفصلة. إذا كانت الخيوط الْفطريّة ثنائية النواة، أو متعددة الأنوية، وكانت الأنوية من مصدرين وراثيين مستقلين، عندئذ، يُسمّى الخيطُ الفطري **متغايرَ النّوى Heterokaryotic** أما الخيوطُ الْفطريّة التي لها أنوية متشابهة وراثيًّا فتسمى **مثليّةَ النّوى Homokaryotic**.

الانقسام المتساوي يقسم النواة، ولا يقسم الخيط الفطري

الانقسام المتساوي في الْفطريّات متعددة الخلايا يختلف عنه في معظم المخلوقات الأخرى. وبسبب طبيعة الارتباط بين الخلايا، فإنّ الخلية لا تعد وحدة التكاثر، وإنما النواة. فغلاف النواة لا يتكسّر أو يتشكّل مجددًا، ولكن تتكون الخيوط

المغزلية داخل النواة. الحبيبات المركزية لا توجد في الْفطريّات جميعها، ولكن الْفطريّات تنظِّم تكوين الأنيبيبات خلال الانقسام المتساوي عن طريق جزء تركيبي عديم الشكل يُسمّى صفائح المغزل *Spindle plaques*. إنّ المزج المميز لهذه الخصائص يدل بقوة على أنّ الْفطريّات قد نشأت من مجموعة غير معروفة من وحيدات الخلية حقيقية النّوى.

تستطيع الْفطريّات أنْ تتكاثر جنسيًّا ولاجنسيًّا

كثيرٌ من الْفطريّات قادرة على إنتاج أبواغ جنسية ولاجنسية. فعندما يتكاثر الفطر جنسيًّا، يمكن أنْ تلتقي خيوط فطرية أحادية العدد الكروموسومي، من أنواع تزاوجية متوافقة مع بعضها، ثم تتّحد.

المرحلة ثنائية النواة

يتم الاندماج في الحيوانات، والنباتات، وبعض الْفطريّات بين خليتين أحاديتي العدد الكروموسومي، وينتج منهما خلية واحدة زوجية العدد الكروموسومي ($2n$)، ولكن في أنواع أخرى من الْفطريّات مثل الْفطريّات؛ الْبازيديّة والزّقيّة، تتكون مرحلة اعتراضية ثنائية الأنوية ($1n + 1n$)، وذلك قبل أنْ يحدث اندماج النواتين الأبويتين لتشكلا نواة زوجية العدد الكروموسومي.

تكون المرحلةُ ثنائية النواة في الْفطريّات الزّقيّة قصيرةً، وتحدث في عدد قليل من الخلايا، كالخلايا التناسلية. أمّا في الْفطريّات الْبازيديّة، فتبقى المرحلة ثنائية النواة مدة طويلة من حياة الفطر، سواءً في التراكيب الغذائية، أو في التراكيب الجنسية المنتجة للأبواغ.

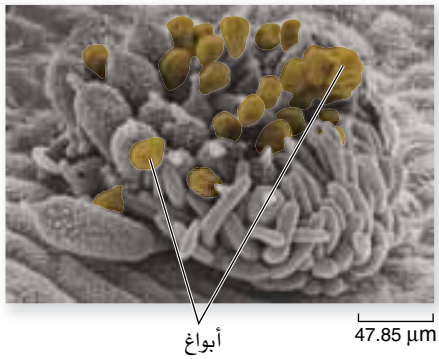
أجزاء التكاثر

تكوّن بعض أنواع الْفطريّات تراكيب غزلية متخصصة منتجه للأبواغ. مثال ذلك؛ فطر عشّ الغراب الذي نراه فوق سطح الأرض، وغزل «الرَّف» الذي ينمو على جذوع الأشجار الميتة، وكذلك الفطر النّفّاث الذي يأوي بلايين الأبواغ.

كما ذُكِرَ سابقًا، فإنّ السيتوبلازم يتدفق في الخيط الفطري من خلال الثقوب الموجودة في الفواصل، أو يتحرك بحرية في حال عدم وجود الفواصل. ولكن الأجزاء التكاثرية تُعَدّ استثناء لهذا النمط العام. فعندما يتشكل الجزء التكاثري، يتم تقسيمه عن طريق فواصل كاملة تفتقر إلى الثغور، أو يكون لفواصلها ثغور، ولكن سرعان ما يتم إغلاقها.

الأبواغ

الأبواغ، هي الوسيلة الشائعة للتكاثر في الْفطريّات. ويتم تشكلها جنسيًّا أو لا جنسيًّا، ثم تُنثر في الهواء. وعندما تسقط تلك الأبواغ في المكان الملائم، تنبت وينتج منها غزل فطري.



الشكل 31 – 4

الأبواغ الْفطريّة. صورة عن طريق المجهر الإلكتروني الماسح لأبواغ فطرية تصيب نبات الورد.

ولأن الأبواغ صغيرة؛ يتراوح حجمها بين 2 و 75 ميكرومترًا (الشكل 31 – 4)، فإنه بمقدورها أن تبقى معلقة في الهواء مدة طويلة. ويالأسف، كثير من الْفطريّات الممرضة، سواء للنبات أو للحيوانات، تنتشر بسرعة كبيرة بهذه الطريقة. أما بالنسبة إلى باقي الْفطريّات، فيتم انتشار أبواغها عن طريق الحشرات، أو أنواع أخرى من الحيوانات الصغيرة. هناك مجموعة واحدة من الْفطريّات، هي الكايتريديا، استطاعت أن تحافظ على أسواط أسلافها. لذا، فإنها تنتج أبواغًا حيوانية متحركة.

منذ مدة طويلة، اعتقد البيولوجيون أنّ الوجود الواسع للفطريات على مستوى العالم يمكن أنْ يُعزى على المستوى التطوري إلى الانتشار الكبير اللامحدود للأبواغ. غير أنّ الدراسات الجغرافية الحيوية الحديثة التي بحثت في العلاقات النّشوئيّة بين أنواع من الْفطريّات تعيش في أماكن بعيدة عن بعضها، نقضت هذه الفرضية التي صمدت طويلًا.

الْفطريّات عضوية التغذية تمتص الغذاء

تحصل الْفطريّات جميعها على غذائها بإفراز أنزيمات هاضمة على البيئة المحيطة بها، ثم تمتصّ بعد ذلك المواد العضوية التي نتجت عن **الهضم الخارجي External digestion**. ولعل خطة بناء جسم الفطر تعكس هذه الطريقة. فالفطريات وحيدة الخلية لديها أكبر نسبة مساحة سطح إلى الحجم، لذا، فإنها ترفع إلى الحد الأقصى مساحتها السطحية المخصصة للامتصاص. كذلك الأمر، تزود الشبكة المعقدة من الخيوط الْفطريّة الفطر بمساحة كبيرة لامتصاص الغذاء عن طريق الغزل الفطري.

بمقدور الكثير من الْفطريّات أنْ تحطم السيلولوز في الخشب، إذ تحطم الروابط بين جزيئات الجلوكوز، ثم تمتصه بوصفه غذاء. وتستطيع الْفطريّات أيضًا هضم اللجنين، وهو مادة عضوية غير قابلة للذوبان تعمل على تقوية جدران خلايا النبات. إن مسارات الأيض المتخصصة للفطريات تسمح لها بالحصول على

أ.

ب.

الشكل 31 – 5

الْفطريّات آكلة اللحوم

أ. فطر يحصل على غذائه من دودة أسطوانية. ب. فطر المحار *Pleurotus ostreatus* لا يحلل الخشب فقط، وإنما يستطيع إيقاف حركة الدودة الأسطوانية، ويستهلكها على أنها مصدر للنيتروجين.

الغذاء من الأشجار الميتة، ومن مركبات عضوية متنوعة وغير عادية، من ضمنها أحد أنوع الديدان الأسطوانية (الشكل 31 – 5أ).

يفرز الغزل الفطري التابع لفطر المحار الذي نأكله *Pleurotus ostreatus* مادة تشلّ حركة الدودة الأسطوانية التي تتغذى على الفطر، وعندما تصبح الدودة غير قادرة على الحركة، فإن الخيوط الفُطريّة تلتف حولها وتخترقها. بعد ذلك، يفرز الفطر الأنزيمات الهاضمة، ويمتصّ المادة الغذائية من الدودة تمامًا، كما تفعل مع النباتات.

عادة، ينمو هذا النوع من الفُطريّات داخل الأشجار الحية، أو على جذوعها المقطوعة. ويحصل على الغذاء من خلال هضم السيلولوز واللجنين الموجودين في جدران الخلايا. تشكّل الديدان الأسطوانية التي يتغذى عليها الفطر مصدرًا للنيتروجين – وهي مادة عادة ما تكون ناقصة في الأنظمة الحيوية بشكل عام. هناك أنواع أخرى من الفُطريّات أكثر افتراسًا من فطر المحار *Pleurotus*، فمنها من ينصب الفخاخ، ومنها مَنْ يحاصر فريسته، أو يرمي بمقذوفات على الديدان الأسطوانية، والعجليات، وحيوانات صغيرة أخرى، ثم يفترسها.

ونظرًا لمقدرتها على تكسير أيّ مركب يحتوي على الكربون– حتى وقود الطائرات– أصبحت الفُطريّات مهمة في عمليات المعالجة البيولوجية التي تُستخدم فيها المخلوقات الدقيقة بغية تنظيف التربة أو المياه التي تلوثت بيئيًّا. فعلى سبيل المثال، هناك نوع من الفُطريّات يزيل عنصر السيلينيوم السام من التربة بدمجه مع مركبات متطايرة أقل خطورة.

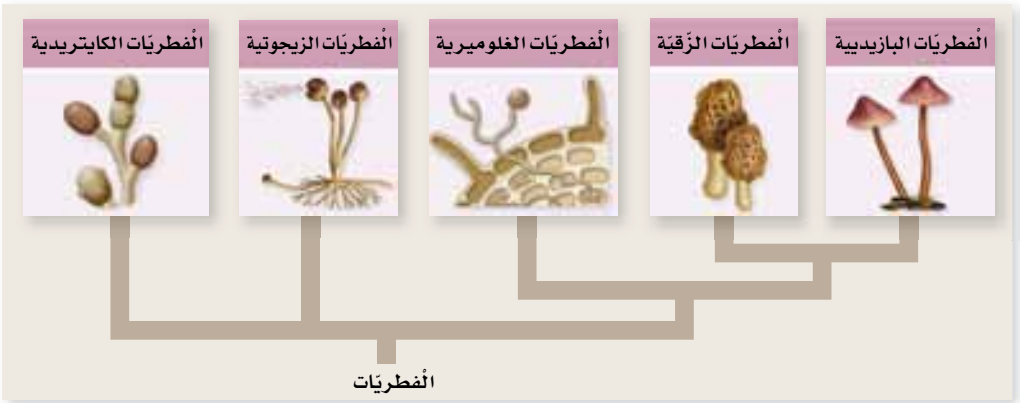
يتكون الفطر من كتلة من الخيوط الفُطريّة (خلايا) تسمى الغزل الفطري؛ تحتوي جدران الخلايا على الكايتين، وهو مادة موجودة أيضًا في الحيوانات المفصلية. الانقسام المتساوي يقسم النواة، ولا يقسم الخيط الفطري نفسه. يحدث التكاثر الجنسي عندما تندمج خيوط فطرية من أنواع تزاوجية مختلفة. قد تبقى الأنوية أحادية العدد الكروموسومي منفصلة عن بعضها في بعض المجموعات الفُطريّة، وتسمى تلك المرحلة ثنائية النواة. يتم إنتاج الأبواغ جنسيًّا ولا جنسيًّا، ويتم انتشارها عن طريق الهواء والحيوانات. تفرز الفُطريّات أنزيمات هاضمة على المادة العضوية، ثمّ تمتصّ نواتج هذا الهضم.

3-31 العلاقات النُّشُوئية

في هذا الفصل، تم تقسيم الفُطريّات بناءً على علاقاتها النّشوئيّة. غير أنه قد يصعب في بعض الحالات، تحديد أماكن بعض الفُطريّات في الشّجرة النّشوئيّة، خصوصًا إذا لم يكن لها تكاثر جنسيّ ملحوظ. إنّ طريقة التكاثر الجنسي تُعدّ من الصفات المحددة لانتماء الأعضاء إلى قبيلة معينة.

هناك تاريخ نشوئي جديد للفطريات قيد الظهور

إنّ فهمنا للعلاقات النّشوئيّة للفطريات يمرّ بتغيرات سريعة ومثيرة بسبب توافر النتائج الخاصة بتعاقب DNA (الشكل 31-6 والجدول 31-1). إذ يُعْتَقَدُ الآن أن الفُطريّات أقرب إلى الحيوانات منها للنباتات. إلا أنّ العلاقة بين مجاميع



الشكل 31-6

خمس قبائل للفطريات. الكايتريدية، والزيجوتية، وهي غير أحادية العرق، لكن الغلوميرية والزّقيّة والبازيدية هي أحادية العرق. أما الفُطريّات الناقصة فلا تظهر في الشكل؛ لأنها ليست أحادية النشأة.

الجدول 31-1 الفُطريّات

المجموعة	مثال نموذجي	السمات المميزة	العدد التقديري للأنواع الموجودة
الفُطريّات الكايتريدية	*Allomyces*	مائي، سوطي ينتج جاميتات أحادية العدد الكروموسومي في أثناء التكاثر الجنسي، أو أبواغًا حيوانية في التكاثر اللاجنسي.	1,000
الفُطريّات الزيجوتية	*Rhizopus* عفن الخبز. *Pilobolus*	خيوط فطرية متعددة النواة، وليس لها فواصل، ماعدا تراكيب التكاثر؛ اندماج الخيوط الفُطريّة يؤدي إلى تكوين الزيجوت في محفظة الأبواغ الزيجوتية، حيث يحدث الانقسام الاختزالي قبل أنْ تنبت. التكاثر اللاجنسي أكثر شيوعًا.	1,050
الفُطريّات الغلوميرية	*Glomus*	تشكل الفُطريّات الجذرية الشجيرية. متعددة النواة، ولا تحتوي على فواصل، تتكاثر جنسيًّا.	150
الفُطريّات الزّقيّة	الكمأة، الغوشنة	في التكاثر الجنسي، يتم إنتاج الأبواغ الكيسية داخل كيس، التكاثر اللاجنسي شائع أيضًا.	45,000
الفُطريّات البازيديّة	عشّ الغراب والغاريقون والصدأ	في التكاثر الجنسي، تتكون الأبواغ البازيديّة على أجزاء تشبه الصولجان تسمى البازيديا. التكاثر اللاجنسي يحدث أحيانًا.	22,000

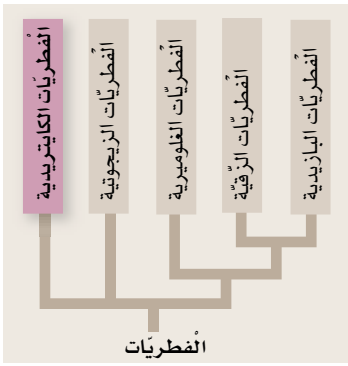
الْفطريّات ليست واضحة تمامًا. ولكي نوضح التنوع في هذه المملكة، سوف نتفحص القبائل الخمس التابعة للفطريات: الكايتريدية، والزيجوتية، والغلوميرية، والْبازيديّة، والزّقيّة.

ليست المجموعات جميعها أحادية السلالة

تُعَدُّ القبائلُ الغلوميرية والزّقيّة والْبازيديّة أحادية النشأة والأصل، لكن المجموعتين الأخريين غير ذلك. وإن الميكروسبوريديا، وهو حيوان طفيلي إجباري قد ينتمي إلى مملكة الْفطريّات يُعَدُّ أحادي النشأة أيضًا. أما الْفطريّات الناقصة فإنّ علاقتها ببعضها مازالت قيد التحديد. هناك مجموعات عدة كانت تاريخيًّا من الْفطريّات، مثل العفن المخاطي، والعفن المائي، أما الآن فتُصنّف ضمن الطّلائعيّات لا الْفطريّات (انظر الفصل الـ 29). وكلما تم إضافة معلومات جديدة، وتم تحليلها وإدماجها مع الصفات الأخرى، فستظهر علاقات نشوئية جديدة للفطريات.

العلاقات النّشوئيّة الْفطريّة تتغير بسرعة. توضع الْفطريّات مؤقتًا في خمس مجموعات، هي: القبائل الكايتريدية، والزيجوتية، والغلوميرية، والبازيدية والزّقيّة. وتُعَدُّ القبائل الزّقيّة، والغلوميرية، والْبازيديّة أحادية السلالة.

4-31 الْفطريّات الكايتريدية Chytridiomycetes: فطريات مائية لها أبواغ حيوانية سوطية



يُعَدُّ أفراد قبيلة الكايتريديا فطريات مائية من ذوات الأسواط، وهي أقرب المجموعات إلى سلف الْفطريّات. وتُعَدُّ الأبواغ الحيوانية من الصفات المميزة لهذه المجموعة الْفطريّة (الشكل 31-7).

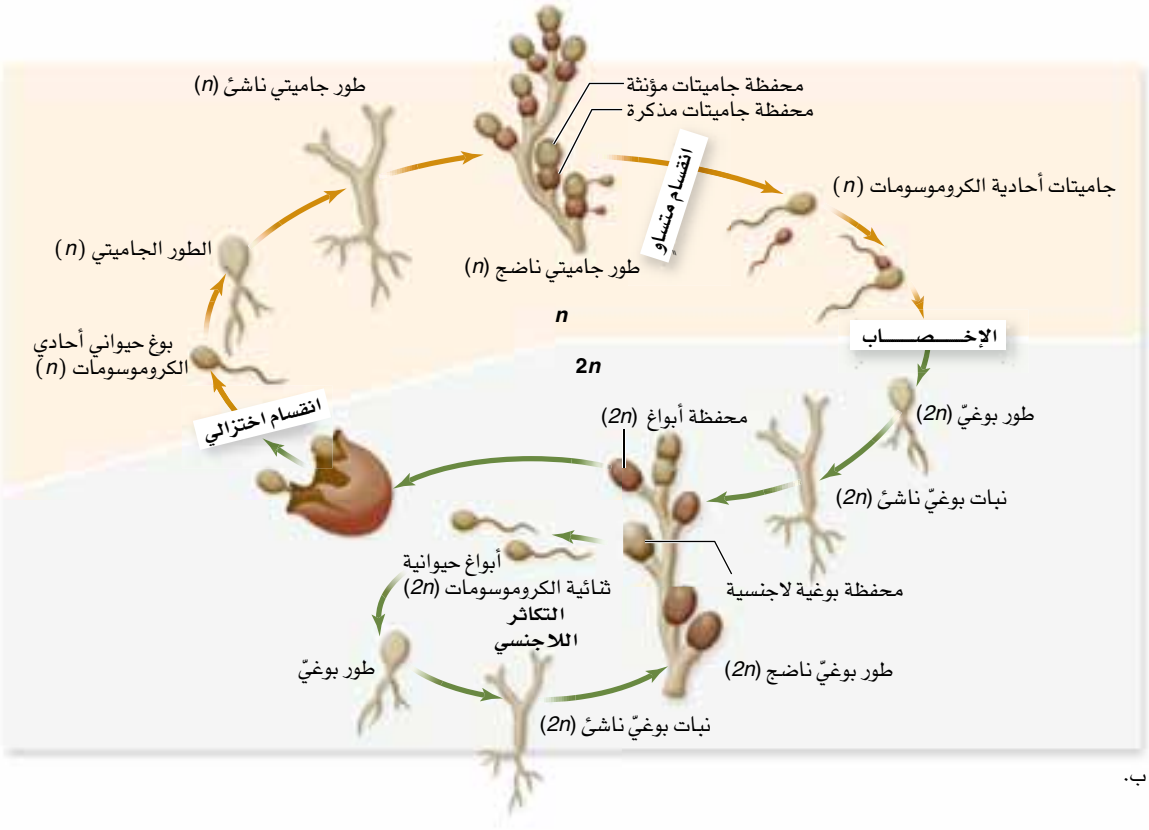
لأن الكايتريدات وحدها هي التي لديها أسواط، فلا بدّ أنْ تكون هذه الصفة قد فُقدت من سلف المجموعات الْفطريّة الحديثة. إضافة إلى ذلك، وحيث إنّ الكايتريدات فطريات مائية لا بدّ إذن أن تكون الْفطريّات قد ظهرت أولًا في الماء مثل أسلاف النباتات والحيوانات. ويعدّ وجود الكايتين في جدران خلايا الكايتريدية صفة موحّدة للفطريات جميعها.

تشير الأحافير والبيانات الجزيئية إلى أنّ الحيوانات والْفطريّات قد اشتركتا في سلف واحد قرابة 460 مليون سنة خلت، مع وجود بعض الاستثناءات. تشبه أقدم الأحافير الأفراد القائمة من الجنس *Glomus* التي نشأت ضمن القبيلة الغلوميرية. هناك تحليل DNA واحد أشار إلى أنّ افتراق الحيوانات عن الْفطريّات قد حدث قبل 1500 مليون سنة خلت. لكن هذا التقدير غير مقبول بشكل واسع، إذ إنّ عددًا من الباحثين يعتقدون أن آخر سلف مشترك وُجِدَ قبل نحو 670 مليون سنة، وذلك استنادًا إلى تحاليل الجينات المتضاعفة.

وبغض النظر عن الوقت والنشأة، فإنّ الكايتريدات تؤدي دورًا كبيرًا في النظام البيئي. وسوف يتم التعرض لتفاصيل علاقاتها التعايشية لاحقًا. ويُعزى موت كثير من الضفادع وبرمائيات أخرى في كثير من الدول إلى الكايتريديات.

الكايتريديات أقربُ الأقارب الحية لأول سلف للفطريات.

الشكل 31-7



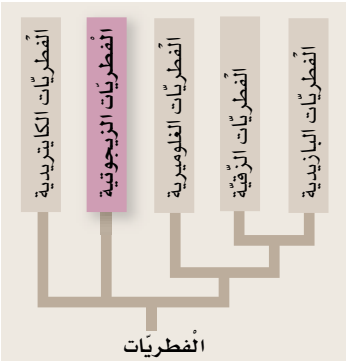
ب.

فطر كايتريدي *Allomyces* ينمو في التربة. أ. المحفظة البوغية الكروية بمقدورها أن تنتج أبواغًا حيوانية ثنائية الكروموسومات عن طريق الانقسام المتساوي، أو أبواغًا حيوانية أحادية الكروموسومات عن طريق الانقسام الاختزالي. ب. دورة حياة *Allomyces* التي تحتوي على أطوار متعددة الخلايا أحادية وثنائية الكروموسومات (تعاقب الأجيال).

أ.

5-31 الْفطريّات الزيجوتية Zygomycetes: فطريات تنتج زيجوتات

تضم الْفطريّات الزيجوتية 1050 نوعًا مسمى، ولكنها متنوعة بشكل مذهل. وهي تتضمن الفطرَ الشائع؛ عفنَ الخبز (الشكل 31-8) إضافة إلى الأنواع الأخرى التي تعيش على المواد العضوية المتحللة، كالفراولة والفواكه الأخرى. وإن بعض ممرضات الإنسان تنتمي لهذه المجموعة.



في التكاثر الجنسي، تتكون الزيجوتات داخل المحفظة البوغية الزيجوتية

تفتقر الْفطريّات الزيجوتية إلى الفواصل في خيوطها الْفطريّة، إلا عند تشكيلها للمحافظ البوغية، والمحافظ الجاميتية (تراكيب يتم في داخلها إنتاج الأبواغ والجاميتات). سمِّيت هذه المجموعة بهذا الاسم لأنها تكوِّن نواة زيجوتية ثنائية الكروموسومات في أثناء المرحلة الجنسية من دورة الحياة.

يبدأ التكاثر الجنسي باندماج المحافظ الجاميتية التي تحتوي على أنوية متعددة. وتكون المحافظ الجاميتية محجوزة بشكل تام عن باقي أجزاء الخيط الفطري عن طريق الفواصل. وتتكون المحافظ الجاميتية على خيوط فطرية لأنواع تزاوجية مختلفة أو على الخيط الفطري نفسه.

تندمج الأنوية أحادية العدد الكروموسومي مع بعضها لتكون زيجوتًا ثنائي الكروموسومات في أثناء عملية تسمى الاندماج النووي. وتصبح المنطقة التي حدث فيها الاندماج **محفظة الأبواغ الزيجوتية Zygosporangium** (الشكل 31-9ب)، التي يتكون بداخلها **البوغ الزيجوتي Zygospore**. وقد يحتوي البوغ الزيجوتي على واحدة أو أكثر من الأنوية ثنائية العدد الكروموسومي. بعد ذلك يكوِّن البوغ الزيجوتي غلافًا سميكًا؛ ليساعده على تحمل ظروف المعيشة غير الملائمة للنمو.

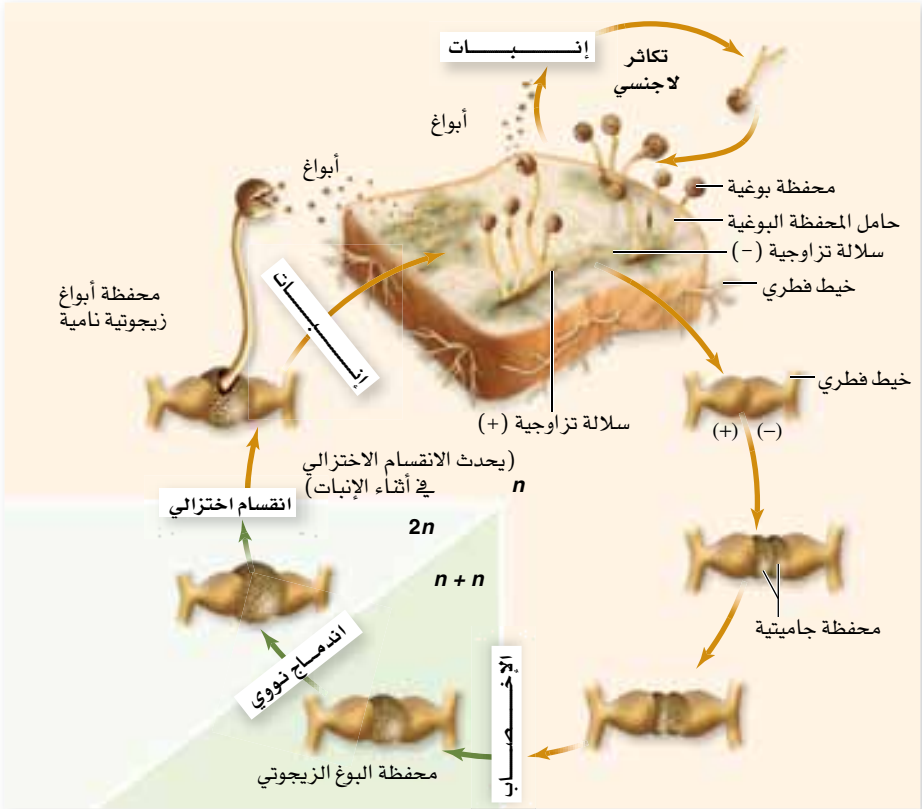
يحدث انقسام اختزالي متبوع بانقسام متساوٍ خلال عملية إنبات البوغ الزيجوتي الذي يطلق أبواغًا أحادية الكروموسومات. تنمو الخيوط الْفطريّة أحادية الكروموسومات عندما تنبت تلك الأبواغ. أبواغ الْفطريّات الزيجوتية جميعها أحادية العدد الكروموسومي، ما عدا البوغ الزيجوتي.

التكاثر اللاجنسي هو الأكثر شيوعًا

يحدث التكاثر اللاجنسي في الْفطريّات الزيجوتية بشكل أكثر تكرارًا من التكاثر الجنسي. خلال التكاثر اللاجنسي، تكوِّن الخيوط الفطرية غابة من السيقان المنتصبة تسمى **حاملات محافظ الأبواغ Sporangiophore**. تشكل أطراف حاملات الأبواغ محافظ بوغية مفصولة عن حواملها عن طريق فاصل. ويتم إنتاج أبواغ أحادية الكروموسومات داخل محفظة الأبواغ. ويتم طرح الأبواغ على سطح الغذاء، وبوضع يسمح بنقلها عن طريق الهواء إلى مصدر غذائي جديد.

تكوِّن كثير من الْفطريّات الزيجوتية تراكيب مميزة لها تسمى محافظ الأبواغ الزيجوتية، التي تحتوي على أبواغ زيجوتية تحتوي بدورها على واحدة أو أكثر من الأنوية ثنائية الكروموسومات. الخيوط الْفطريّة للفطريات الزيجوتية متعددة الأنوية، وتكوِّن فواصل في الأماكن التي تفصل المحافظ الجاميتية أو المحافظ البوغية فقط.

أ.

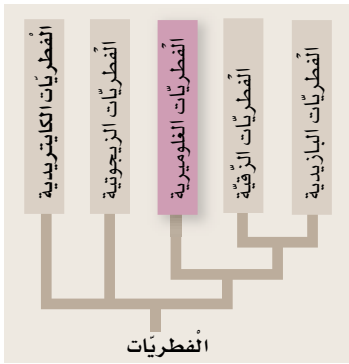


ب.

الشكل 31-8

فطر عفن الخبز *Rhizopus*، فطر زيجوتي ينمو على السّكريّات البسيطة. يوجد الفطر غالبًا على الخبز الرطب أو الفواكه. أ. المحافظ البوغية الكروية الدكناء تنتج أبواغًا، وهي موجودة على خيوط فطرية طولها 1سم. الخيوط الْفطريّة التي تشبه الجذر تثبت محافظ الأبواغ. ب. دورة حياة فطر عفن الخبز *Rhizopus*. تسمى مجموعة الْفطريّات الزيجوتية بهذا الاسم بسبب محافظ الأبواغ الزيجوتية المميزة للفطر.

6-31 الْفطريّات الغلوميرية Glomeromycetes: متعايشات نباتية لاجنسية



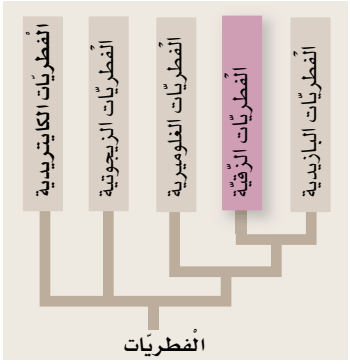
تُعَدُّ الْفطريّات الغلوميرية مجموعة صغيرة من الْفطريّات، إذ يبلغ عدد أنواعها الموصوفة 150 نوعًا تقريبًا، ومن المرجح أن تكون هي المسؤولة عن نجاح انتقال النباتات إلى اليابسة. تنمو أطراف الخيوط الْفطريّة في داخل خلايا جذور النباتات، وتشكل تركيبًا متفرعًا يساعد على تبادل المواد الغذائية. وتسمى التجمعات الْفطريّة في داخل خلايا جذور النباتات، **الْفطريّات الجذرية الشجيرية Arbuscular mycorrhiza**. وسوف يتم تفصيل الارتباط الشجيري في تفاعلات الْفطريّات الجذريّة في الجزء 31-10.

لا تستطيع الْفطريّات الغلوميرية أن تعيش دون وجود نباتات بوصفها عائلًا لها. فعلاقتها التعايشية مع النباتات تبادلية، حيث توفر الْفطريّات الغلوميرية للنباتات المعادن خصوصًا الفوسفور، وفي المقابل توفّر النباتات الكربوهيدرات للفطريات.

من الصعب تحديد صفات مميزة لقبيلة الْفطريّات الغلوميرية؛ لعدم وجود دليل على التكاثر الجنسي فيها. فهذه الْفطريّات تمثل الفهم المتزايد للوراثة النّشوئيّة للفطريات. تشبه الْفطريّات الغلوميرية الْفطريّات الزيجوتية؛ إذ إن كليهما يفتقر إلى الفواصل في الخيوط الْفطريّة، وقد كانتا ضمن مجموعة واحدة. إلا أن مقارنة تسلسل DNA للجين المشفّر لـ rRNA الموجود في تحت الوحدة الصغرى أظهر أنّ الْفطريّات الغلوميرية فرعٌ أحادي العرق، وهي مختلفة عن الْفطريّات الزيجوتية. وبخلاف الْفطريّات الزيجوتية، فإنّ الْفطريّات الغلوميرية لا تحتوي على أبواغ زيجوتية. وقد نشأت الْفطريّات الغلوميرية على الأقل قبل 600 -620 مليون سنة خلت، أي قبل تفرع الْفطريّات الزّقيّة، والْفطريّات الْبازيديّة بزمن ليس بقصير، وهو ما سندرسه لاحقًا.

الْفطريّات الغلوميرية أحادية العرق. علاقتها التعايشية الإجبارية مع جذور النباتات قديمة جدًا، وقد يكون لها الفضل في تطور نباتات اليابسة.

7-31 الْفطريّات الزّقيّة Ascomycetes: الْفطريّات ذات الكيس



الْفطريّات الزّقيّة (قبيلة الزقيات) تضم 75% من الْفطريّات المعروفة. من ضمن الْفطريّات الزّقيّة مجموعة مهمة اقتصاديًّا مثل خميرة الخبز، والعفن الشائع، والغوشنة (الشكل 31-9أ)، وفطريات الكأس (الشكل 31-9ب)، والكمأة. وتضم هذه القبيلة كثيرًا من ممرضات النباتات الخطيرة، كتلك التي تسبب لفحة الكستناء، وهي *Cryphonectria parasitica*، ومرض شجرة القيقب الألمانية *Ophiostoma ulmi*. والزقيات المنتجة للبنسلين في جنس *Penicillium*.

يحدث التكاثر الجنسي داخل الكيس

سميت الفطريات الزّقيّة بهذا الاسم نسبة إلى الجزء التناسلي المميز، وهو تركيب مجهري يشبه الكيس، يُسمّى **الزّق Ascus**. يحدث **اندماج الأنوية Karyogamy** في الكيس، حيث يتم إنتاج نواة ثنائية الكروموسومات في دورة الحياة (الشكل 31-9جـ).

تتمايز الزقيات داخل تراكيب مصنوعة من الخيوط الْفطريّة المحبوكة بعناية على شكل كؤوس ظاهرة للعيان تسمى **الثّمرة الزّقيّة Ascocarp**. يحدث الانقسام الاختزالي مباشرة بعد اندماج الأنوية ليشكل أربع أنوية جديدة أحادية الكروموسومات. تنقسم تلك الأنوية مرة أخرى انقسامًا متساويًا لينتج عنها ثماني أنوية أحادية الكروموسومات، ثم يتكون حولها جدران لتصبح **أبواغًا زقية Ascospores**.

في كثير من الْفطريّات الزّقيّة، يصبح الكيس منتفخًا عند النضج، ثم ينفجر في النهاية عند فتحة محددة، ويتم قذف الأبواغ مسافة قد تصل إلى 31 سم، وهي مسافة مذهلة إذا علمنا أن أطوال الأبواغ الزقية نحو 10 ميكرومترات فقط. وهذا يماثل رمي كرة القاعدة (التي يبلغ قطرها 7.5 سم) مسافة 1.25 كم، وهذه المسافة تعادل عشرة أضعاف المسافة التي يركضها لاعب كرة القاعدة حول الملعب.

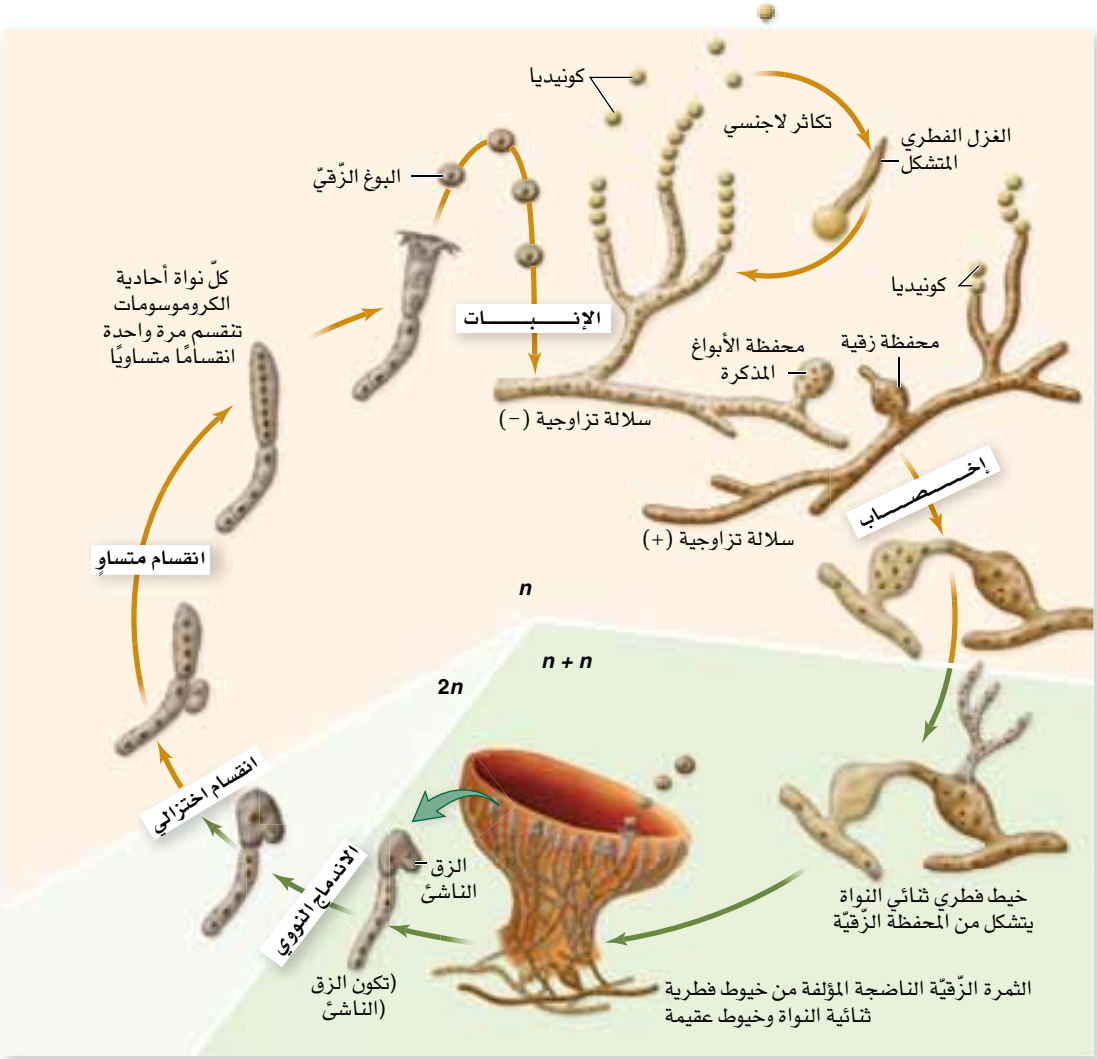
يحدث التكاثر اللاجنسي داخل حاملات الكونيديا

التكاثر اللاجنسي شائع جدًا في الْفطريّات الزقية. وهو يحدث عن طريق **الكونيديا Conidia**. يتم فصل الأبواغ الكونيدية عند أطراف الخيط الفطري عن طريق الفاصل، ويُسمّى الخيط الفطري المحور المنتج للكونيديا حامل **الكونيديا Conidiophore**. وتساعد الكونيديا في الانتشار السريع على مصادر الغذاء الجديدة. الكثير من الكونيديا متعددة الأنوية. تقسم الخيوط الْفطريّة عن طريق فواصل، وهي مثقبة، ويجري فيها السيتوبلازم على طول الخيط الفطري من خلال الثغور. تكون الفواصل التي تقطع الكونيديا مثقبة في البداية، ثم يتم إغلاقها.

بعض الْفطريّات الزقية لها شكل الخميرة

يوجد شكل الخميرة (نمط حياة أحادي الخلية) عند بعض الْفطريّات الزّقيّة. يكون معظم التكاثر في الخمائر لاجنسيًّا عن طريق الانقسام أو التبرعم، عندما تتشكل خلية صغيرة من خلية كبيرة (الشكل 31-10). أحيانًا، تندمج خليتان لتكوّنا خلية واحدة فيها نواتان. بعد ذلك، تعمل هذه الخلية ككيس، يحدث فيها اندماج نووي متبوع بعد ذلك مباشرة بانقسام اختزالي. وتعمل الأبواغ الزّقيّة الناتجة كخلايا خمائر جديدة.

إنّ قدرةَ الخمائر على تخمير الكربوهيدرات، ثم تكسير الجلوكوز، وإنتاج الإيثانول وثاني أكسيد الكربون متطلبات أساسية في صناعة الخبز، والمشروبات الكحولية. يمكن وضع نحو 4 بلايين خلية في ملعقة صغيرة. ولقد تم تدجين وانتخاب كثير من سلالات الخمائر لهذه الصناعات باستخدام السّكريّات الموجودة في الأرز، أو الشّعير، أو القمح، أو الذّرة. لقد كانت الخمائر الطبيعية التي توجد في مناطق تصنع فيها المشروبات الكحولية مهمة على امتداد التاريخ، غير أنّ الخمائر المدجنة والمزروعة أصبحت هي المستخدمة حاليًا.



أ.

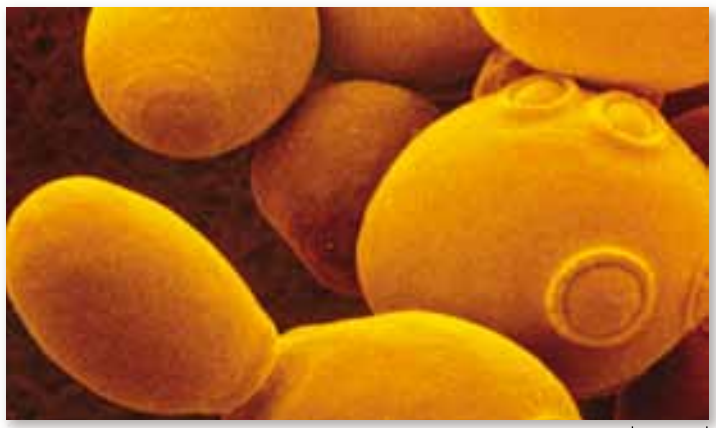
ب.

جـ.

الشكل 31–9

الْفطريّات الزّقيّة. أ. الغوشنة *Morchella esculem* فطر زقي يؤكل، وهو يظهر في بداية الربيع. ب. فطر الكأس. جـ. دورة حياة الْفطريّات الزّقيّة. تتكون الأبواغ الكيسية أحادية الكروموسومات داخل الكيس.

مازالت الخمائر البرية مثل *Candida miller* تُستخدم في صنع خبز العجين الحامض. وبخلاف معظم الخبز الذي يُصنع عن طريق خمائر مزروعة، فإنه يُستخدم في خبز العجين الحامض، مستنبت نشيط من الخميرة البرية إضافة إلى بكتيريا لإنتاج الحمض. يمكن المحافظة على المستنبت، وذلك بإبقاء جزء من مستنبت البداية من كلّ عجينة. إنّ الجمع بين الخميرة والبكتيريا المنتجة للحمض يعطي المذاق المميز لخبز الحامض.



الشكل 31–10

التّبرعم في Saccharomyces. كما يظهر في صورة المجهر الإلكتروني الماسح، الخلايا قابلة لأنْ ترتبط على شكل سلسلة، وهي صفة تذكرنا بأنّ الخمائر وحيدة الخلية قد انحدرت من أسلاف متعددة الخلايا.

إن أهم خميرة في صناعة الخبز والتخمير وعمل النبيذ هي *Saccharomyces cerevisiae*. وقد استخدمت هذه الخميرة من قبل الإنسان عبر التاريخ. تستخدم الخميرة بصفتها مكملًا غذائيًّا؛ لأنها تحتوي مستويات عالية من فيتامينات ب، ولأن 50% من مكوناتها من البروتين.

وراثة الْفطريّات الزّقيّة ومحتواها الوراثي لهما تطبيقات عملية

خلال العقود القليلة الماضية، أصبحت الخمائر جزءًا من أبحاث الوراثة بصورة متزايدة. لقد كانت أول حقيقيات النّوى التي تم هندستها جينيًّا من خلال تقنيات هندسة الوراثة، ومازالت تؤدي دورًا مهمًّا بوصفها نماذج لأبحاث الخلايا حقيقيات النّوى. عام 1996، تم الانتهاء من معرفة تعاقب كامل المحتوى الجيني لخميرة *S. cerevisiae* بوصفها أول مخلوق حقيقي النّوى. واستُخدم الكروموسوم الاصطناعي للخميرة (YAC) في معرفة تعاقب المحتوى الجيني، وإن النظام ثنائي التهجين في الخميرة كان ومازال مهمًّا جدًا في أبحاث تداخلات البروتينات (انظر الفصل الـ 7).

إنّ مبادرَة المحتوى الجيني الفطري التي ستزودنا بمعلومات عن باقي الْفطريّات هي قيدُ الإنجاز. فلقد تم انتقاء 15 فطرًا من أجل معرفة تعاقب محتواها الجيني كاملًا. وقد اختيرت بناء على أهميتها، وتأثيرها في صحة الإنسان، بما في ذلك ممرضات النباتات التي لها تأثير في مصادر غذائنا.

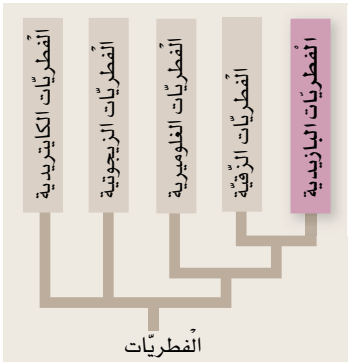
ضُمَّ الفطر الرّقيّ *Coccidiodis posadasii* للمجموعة؛ لأنه يُعَدُّ عاملًا ممرضًا مستوطنًا يعيش في التربة، في جنوب غرب الولايات المتحدة، ويُعَدّ تهديدًا إرهابيًا بيولوجيًّا. ويسبب سنويًّا 100,000 إصابة مرضية، غير أن عددًا قليلًا من الأشخاص المصابين يموتون.

هناك معيار آخر تم استخدامه لانتقاء الْفطريّات للتسلسل، وهو قدرتها على تزويدنا بمعلومات عن تطور الْفطريّات. هذه المعلومات الجديدة ستدعم فهمنا وتعوّض النقص المتعلق بفهمنا للتنوع في هذه المملكة الْفطريّة.

تقوم الْفطريّات الزّقيّة بالاندماج النووي داخل تركيب يشبه الكيس، وهو مميز لهذه المجموعة، ويُسمّى الزّقّ. يتبع ذلك الانقسام الاختزالي لينتج الأبواغ الزّقيّة. تتكاثر الخمائر التي تنتمي لهذه المجموعة لاجنسيًّا عن طريق التبرعم.

8-31 الْفطريّات الْبازيديّة Basidiomycetes: الفطريات الصولجانية

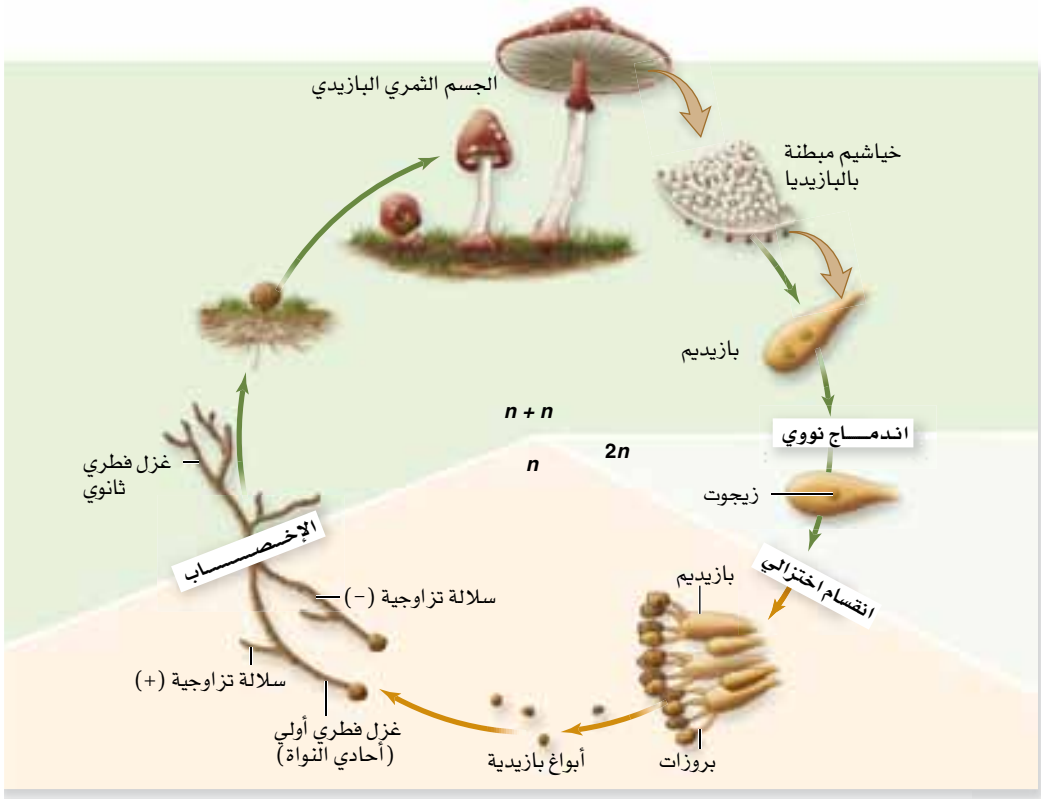
تضمّ **الْفطريّات الْبازيديّة** معظمَ الْفطريّات المعروفة. إضافة إلى: عشّ الغراب، والغاريقون، والنفاثات، والْفطريّات الهلامية، وفطريات الرّف، تضم المجموعة ممرضات النبات المهمة، كالصدأ والتفحم (الشكل 31-11أ). تشبه إصابات الصدأ صدأ الحديد، وتظهر إصابات التفحم سوداء ودقيقية بسبب الأبواغ. كثير من عشّ الغراب يُستهلك بوصفه غذاء، لكن بعضه الآخر سامّ وقاتل، ويؤدي إلى الهلوسة.



تتكاثر الْفطريّات الْبازيديّة جنسيًّا ضمن البازيديا

سُمِّيت الْفطريّات الْبازيديّة بهذا الاسم بسبب التركيب التكاثري الجنسي المميز لها، الذي يشبه الصولجان، ويسمّى **البازيديم Basidium**. يحدث الاندماج النووي داخل البازيديم، وينشأ عنه خلايا ثنائية الكروموسومات، وهي الوحيدة في دورة الحياة (الشكل 31-1ب). يحدث الانقسام الاختزالي مباشرة بعد الاندماج النووي. في الْفطريّات الْبازيديّة، تندمج نواتج الانقسام الاختزالي أحادية الكروموسومات لتكون **أبواغًا بازيدية Basidiospores**. في معظم أعضاء هذه القبيلة، تتولد الأبواغ الْبازيديّة على بروزات رفيعة على أطراف البازيديا. يختلف تركيب البازيديم عن الزق على الرّغم من تطابقهما وظيفيًّا. تذكر أنّ الأبواغ الزّقيّة تتولد في داخل الزق، وليس في الخارج مثل الأبواغ الْبازيديّة.

أ.



ب.

الشكل 31-11

الْفطريّات الْبازيديّة. أ. عشّ الغراب من نوع قلنسوة الموت *Amanita phalloides* وهي قاتلة عادة عند أكلها. ب. دورة حياة الْفطريّات الْبازيديّة. البازيديم هو التركيب التكاثري.

الغزل الفطري (الميسيليوم) الثانوي للفطريات الْبازيديّة متغاير النواة

تتواصل دورة حياة الْفطريّات الْبازيديّة بإنتاج خيوط فطرية أحادية النواة بعد إنبات البوغ. تفتقر هذه الخيوط الْفطريّة إلى الفواصل في بداية التشكل. وفي النهاية، تتكون الفواصل بين الأنوية في الخيوط الْفطريّة أحادية النواة. تسمى الخيوطُ الْفطريّة الْبازيديّة الأحادية الغزلَ الفطريَّ الأوليَّ *Primary mycelium*.

تندمج سلالات تزاوجية مختلفة من الخيوط الْفطريّة أحادية النواة مع بعضها لتشكل الغزل الفطري الثانوي *Secondary mycelium*. يكون الغزل الفطري هذا مختلف الأنوية، حيث تمثل كلّ نواة نوعًا تزاوجيًّا مختلفًا، بين كلّ زوج من الفواصل. تشكل هذه المرحلة التي تم ذكرها آنفًا سمة مميزة لهذا الفطر. فالمحافظة على المحتويين الجينيين في متغاير النواة يسمح بأنْ تكون هناك مرونة وراثية أكثر مما هو موجود في خلية ثنائية الكروموسومات في نواة واحدة، إذ إنّ أحد المحتويين الجينيين يمكن أنْ يعوض الآخر في حالة حدوث طفرات.

إن **الجسم الثمري البازيدي Basidiocarp**، أو عشّ الغراب، يتشكل كليًّا من غزل فطري ثانوي (ثنائي النواة). وتشكل الخياشيمُ، وهي صفائح من النسيج توجد على السطح السفلي لقلنسوة عشّ الغراب، أعدادًا كبيرة من الأبواغ الدقيقة. ولقد قدّر أن عشّ الغراب الذي لديه قلنسوة قطرها 7.5 سم ينتج 40 مليون بوغ في الساعة تقريبًا.

تقوم الْفطريّات الْبازيديّة بالاندماج النووي، ويحدث بعد ذلك، الانقسام الاختزالي داخل بازيديا تشبه الصولجان، وهي ذلك الجزء الذي نعرفه من الفطر. الغزل الثانوي للفطر البازيدي هو المرحلة ثنائية النواة، حيث توجد نواتان داخل قطعة واحدة من الخيط الفطري.

9-31 الْفطريّات الناقصة Deuteromycetes: مجموعة متعددة الأعراق تشمل معظم أنواع العفن

معظم الْفطريّات الناقصة لم يُلاحظ بها مراحلُ التكاثر الجنسي. كثير منها يُظهر تقاربًا مع الْفطريّات الزّقيّة على الرّغم من أنّ بعضها لديه صلة واضحة مع قبائل أخرى. إن مجموعة الْفطريّات التي انحدرت منها سلالات لاجنسية يتم تحديد هويتها بالنظر إلى صفات الخيوط الْفطريّة وتكاثرها اللاجنسي، ولكن معظم المعايير تستند إلى التكاثر الجنسي. فبعض أنواع بنيسيليوم *Penicillium* أو أسبرجيلاس *Aspergillus* تشكل جسمًا ثمريًّا زقيًّا، غير أن الأجناس تُصَنَّفُ ضمن الْفطريّات الناقصة؛ لأن الجسم الثمري الزّقيّ يوجد بشكل نادر في القليل من الأنواع فقط.

الْفطريّات الناقصة لديها إعادة اتحاد (خلط) وراثي محدودة

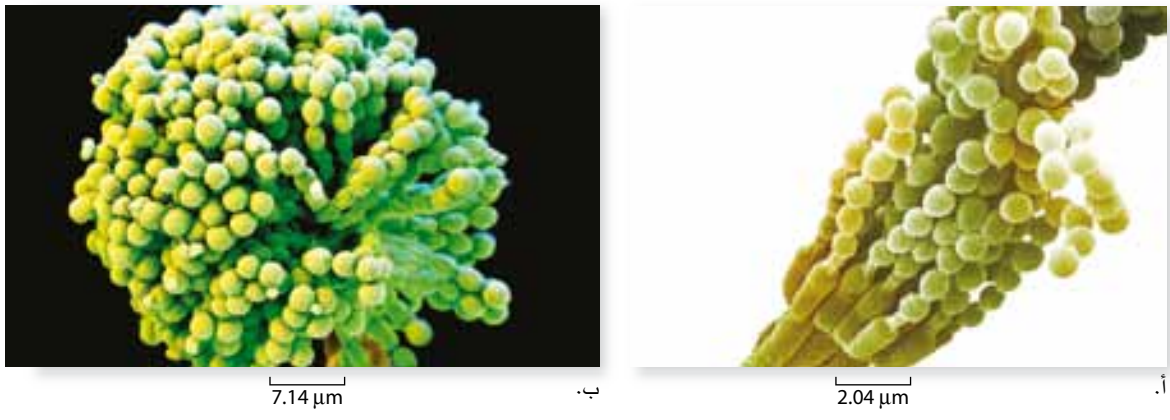
هناك قرابة 15,000 نوع موصوفٍ من الْفطريّات الناقصة (الشكل 31-12). وعلى الرّغم من أنّ التكاثر الجنسي غير معروف، فإنّ قدرًا قليلًا من إعادة الاتحاد يحدث فيها. يصبح هذا الحدث محتملًا إذا اندمج خيطان فطريان مختلفا الوراثة، وقد يحدث تلقائيًّا أحيانًا.

داخلَ الخيوط الْفطريّة متغايرة النواة التي تنشأ من الاندماج الآنف، يحدث نوعٌ خاصّ من إعادة الاتحاد يُسمّى نظير الجنس *Parasexuality*. في نظير الجنس تقوم الأنوية المتميزة وراثيًّا ضمن الخيط المشترك بتبادل أجزاء من الكروموسومات. يحدث هذا النوع من إعادة الاتحاد أيضًا في بعض المجموعات من الْفطريّات التي يبدو أنها وراء سبب ظهور سلالات ممرضة جديدة من الصدأ.

تضم الْفطريّات الناقصة أجناسًا مهمة اقتصاديًّا

من ضمن الأجناس المهمة اقتصاديًّا من الْفطريّات الناقصة فطريات *Penicillium* و*Aspergillus*. بعض أنواع *Penicillium* هي مصدر المضاد الحيوي المعروف البنسلين، وبعض أنواعها الأخرى يعطي مذاق الأجبان كالروكيفورت والكاميمبرت. تستخدم أنواع *Aspergillus* لتخمير صلصة الصّويا ومعجون الصّويا، وهي طريقة معالجة تؤدي فيها البكتيريا والخميرة دورًا مهمًّا أيضًا. ليس جميع الْفطريّات الناقصة التي تدخل في الغذاء مفيدة، بل على العكس، ينتج نوع الفيوزاريوم *Fusarium* الذي ينمو على الطعام الفاسد مواد عالية السمية كما سيتم وصفه لاحقًا.

الْفطريّات الناقصةُ لم يُلاحظ بها تكاثرٌ جنسيٌّ. وينتمي معظمها على الأرجح للفطريات الزّقيّة. وهي تضم أجناسًا مهمة اقتصاديًّا مثل *Penicillium* و *Aspergillus*.



الشكل 31-12

الْفطريّات الناقصة

أ. *Penicillium*

و ب. *Aspergillus* تنتج الأبواغ لاجنسيًّا.

10-31 بيئة الْفطريّات

الْفطريّات والبكتيريا من المحللات الأساسية في الغلاف الحيوي. فهما يكسّران المركبات العضوية، ويعيدان المواد الموجودة في تلك الجزيئات إلى دورة الطبيعة. والْفطريّات هي الوحيدة القادرة على تكسير السيلولوز واللجنين الموجودين في الخشب، وهما مركبان عضويان غير قابلين للذوبان. وبتكسير هذين المُرَكَّبَيْن تقوم الْفطريّات بإطلاق الكربون والنيتروجين والفوسفور من أجسام المخلوقات الحية أو الميتة، وتجعلها متوافرة للمخلوقات الأخرى.

إضافة إلى دور الفطريات بوصفها محللات، فقد دخلت في علاقات رائعة مع أنواع مختلفة المخلوقات. وسوف يتم تفصيل تلك العلاقات في الفصل الـ 56 الذي يتحدث عن بيئة المجتمعات. لكننا سنختصرها هنا نظرًا لصفاتها الفريدة.

الْفطريّات لديها مدى من التعايش

إن **التفاعلات أو التعايشات Symbiosis** بين الْفطريّات والمخلوقات الأخرى تقع ضمن مدى واسع من الفئات. ففي بعض الحالات، يكون **التعايش إجباريًا Obligate symbiosis** (وهو ضروري للحياة)، أما الحالات الأخرى، فيكون **التعايش اختياريًا Facultative symbiosis** (بمقدور الفطر أن يعيش دون عائل). ويمكن أن نجد أنواعًا عدة مختلفة من هذه التعايشات ضمن المجموعة الواحدة للفطريات.

أولًا، هذه نبذة عن طرق تتعامل من خلالها المخلوقات مع بعضها. تحصل **الممرضات Pathogens والطّفيليّات Parasites** على مقوماتها من العائل، ولكنها تؤثر في عائلها بشكل سلبي ما يؤدي إلى الموت. يكمن الفرق بين الممرضات والطّفيليّات في أن الممرضات تسبب أمراضًا، في حين لا تسبب الطّفيليّات ذلك إلا في حالات نادرة.

العلاقات التعايشية Commesal تفيد شريكًا، ولكن لا تضر الآخر. وهناك فطريات تدخل في **علاقات تكافئية Mutualistic** تنتفع منها، وتفيد الآخر (العائل) وكثير منها سوف يتم شرحها في المناقشة القادمة.

الفطريات الداخلية تعيش داخل النباتات، وقد تحميها من الطّفيليّات

تعيش **فطريات النابت الداخلي Endophyte** داخل النباتات، في الفراغات بين الخلوية. كثير من تلك العلاقات التي تنتشر خلال مملكة النباتات تُعَدُّ أمثلة على التطفل والتعايش.

هناك أدلة متزايدة تشير إلى أنّ الْفطريّات تحمي عوائلها من آكلات الأعشاب، وذلك بإنتاج سمّيّات أو طاردات. وغالبًا ما تنتج الْفطريّات قلويدات تحمي النباتات. وكما ستتعلم في الفصل الـ 40، فإنّ النباتات تنتج أنواعًا مختلفة من القلويدات التي تُوظَّف في حماية النباتات.

إحدى الطرق التي يمكن من خلالها تقييم ما إذا كان النابت الداخلي يحسّن من صحة النباتات، هو أنْ تُزْرَعَ مساحةٌ من الأرض بالنباتات بوجود النابت الداخلي أو غيابه. وقد أظهرت التجربة التي أجريت على الجاودار الإيطالي *Lolium multiflorum*، أن النبات أقدر على مقاومة حشرة المن في حالة وجود فطريات النابت الداخلي *Neotyphodium* (الشكل 31-13).

الأشنات Lichens مثال على التعايش بين الممالك المختلفة

تمثل **الأشنات Lichens** (الشكل 31-14) تعايشًا بين الْفطريّات من جهة وشريكًا ضوئي البناء من جهة أخرى. لقد تم صياغة مصطلح التعايش *Symbiosis* لوصف هذه العلاقة. وعلى الرغم من أن كثيرًا من الأشنات تُعَدُّ مثالًا ممتازًا على التعايش التبادلي، فإن بعض الْفطريّات تتطفل على العائل ضوئي البناء.

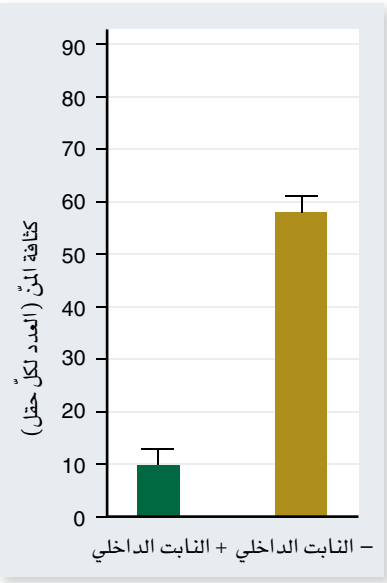
تركيب الأشنات

تشكل الْفطريّات الزّقيّة الشريك الفطري لأنواع الأشنات جميعها، التي يبلغ عدد أنواعها نحو 15,000 باستثناء 20 منها. إن معظم الجزء الملحوظ من الأشنات هو فطريات، ويوجد بين خيوط الفطر البكتيريا الخضراء المزرقة، أو الطحالب الخضراء، وأحيانًا كلاهما (الشكل 31-15).

الشكل 31-13
تأثير الفطر النابت داخليًا *Neotyphodium* في جماعة حشرة المَنّ الموجودة على عشب الجاودار *Lolium multiflorum* الإيطالي.

النبات دون النابت الداخلي

النبات بوجود النابت الداخلي



استقصاء

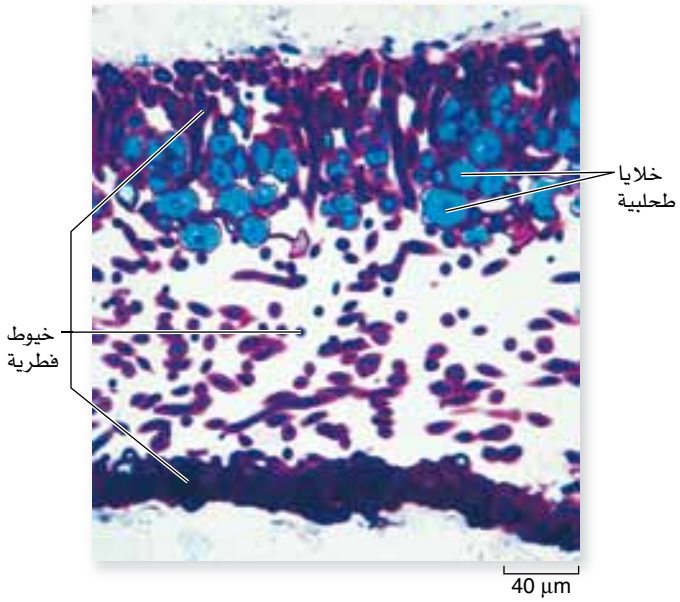
فسر لماذا أنت مقتنع أم غير مقتنع بأنّ النابت الداخلي يقلل من افتراس المَنّ لعشب الجاودار؟

الشكل 13-14

توجد الأشنات في مواطن مختلفة. أ. الأشن الثمري (الفروتيكوز) يعيش في التربة. ب. الأشن الورقي (الفوليوز) يعيش على جذوع الأشجار في أوريجون. جـ. الأشن القشري (كرستوكوز)، يعيش على الصخور، ويؤدي إلى تكسير الصخور وتحويلها إلى تربة.

هناك خيوط فطرية متخصصة تخترق جدران خلايا ضوئي البناء، ثم تنقل الغذاء مباشرة إلى الشريك الفطري. لاحظ أنه على الرّغم من اختراق الفطر لجدار الخلية، فإنه لا يخترق غشاءها. ويستطيع الفطر أن يرسل إشارات تجعل البكتيريا الخضراء المزرقة أو الطحالب الخضراء تنتج مواد لا تنتجها عندما تنمو مستقلة عن الفطر.

الْفطريّات الموجودة في الأشنات لا تقدر على العيش دون شريكها ضوئي البناء، وهي توفر لشريكها الحماية ضد الضوء القوي والجفاف. وعندما تم فصل الْفطريّات عن شريكها، فإنها تمكنت من العيش، ولكنها كانت تنمو ببطء شديد.



الشكل 15-31

مقطع مصبوغ للأشن. يظهر هذا المقطع خيطًا فطريًّا (بنفسجيًّا) متراصًّا بكثافة على شكل طبقة حامية على السطح العلوي، وعلى الطبقة السفلى خصوصًا من الأشن. الخلايا الزرقاء قرب الطبقة العلوية للأشن هي خلايا الطحالب الخضراء. تزود هذه الخلايا الفطر بالكربوهيدرات.

بيئة الأشنات

إن البناء المتين للفطر، إضافة إلى خصائص البناء الضوئي لشريكه، جعلت بمقدور الأشنات غزو أقسى المواطن البيئية – قمم الجبال، أقصى خطوط العرض في الشمال والجنوب، وسطوح الصخور الصحراوية الجافة. في المناطق القاسية المعراة، تكون الأشنات أول المستعمرين لها، تكسِّر الصخور، وتمهد الطريق أمام غزو المخلوقات الأخرى.

تكون الأشنات غالبًا ملونة، حيث إن وجود الصبغات تحمي الشريك ضوئي البناء من ضرر الأشعة القوية. ويمكن أنْ تُستخلصَ هذه الصبغات من الأشنات، وتستخدم بوصفها أصباغ طبيعية. إنّ الطريقة التقليدية المتبعة في صناعة صوف هاريس الأسكتلندي الخشن تَستخدم صبغاتٍ فطريةً.

تختلف حساسية الأشنات للملوثات الجوية. وإنّ بعض الأشنات تُستخدمُ بوصفها مؤشرات حيوية لمعرفة مقدار الملوثات الموجودة في الجو. وتأتي تلك الحساسية من قدرتها على امتصاص المواد الذائبة في المطر والندى. لا توجد الأشنات في المناطق المحيطة والقريبة من المدن بسبب حركة المَرْكَبات والنّشاط الصّناعيّ، ولكن بعضها استطاع أن يتكيف مع هذه الظروف. فعندما يقل التلوث، تزداد تجمعات الأشنات.

الفطرياتُ الجذريةُ فطرياتٌ مرتبطةٌ مع جذور النباتات

ترتبط جذور 90% تقريبًا من أنواع النباتات الوعائية المعروفة جميعها بعلاقة تعايشية تكافئية مع أحد أنواع الْفطريّات. ولقد قدر أن 15% من وزن جذور النباتات في العالم تُشكّلها الْفطريّات. هذا النوع من الارتباطات يسمى **الْفطريّات الجذرية Mycorrhizae** وهو اسم مشتق من الاسم اليوناني للفطر والجذر.

تعمل الْفطريّات الجذرية بوصفها امتدادات للنظام الجذري، إذ إنّ خيوط الفطر تزيد وبشكل كبير المساحة الكلية للجذر الملامسة للتربة والمخصصة للامتصاص. تساعد الْفطريّات الجذرية عند وجودها على انتقال الفوسفور والزنك والنحاس، ومعادن أخرى من التربة إلى الجذر. وتقوم النباتات بتزويد الفطر بمركبات الكربون. لذا، فإنّ النظامَ مثالٌ على التكافئية.

هناك نوعان أساسيان من الْفطريّات الجذرية (الشكل 31-16). في الْفطريّات **الجذرية الشجيرية Arbuscular mycorrhizae**، تخترق خيوط الفطر الخلايا الخارجية للجذر، لتشكل لفات، وانتفاخات، وتفرعات دقيقة، وإنها تمتد إلى التربة المحيطة. في الْفطريّات **الجذرية الخارجية Ectomycorrhiza**، تحيط الخيوط الْفطريّة بخلايا الجذر، ولكن لا تخترق جدران خلاياه. في كلا النوعين يمتد الغزل الفطري إلى الخارج حيث التربة. قد يرتبط الجذر الواحد مع كثير من الأنواع الْفطريّة التي تتشاطر الجذر ميليمترًا تلو الآخر.

الْفطريّات الجذرية الشجيرية *Arbuscular mycorrhizae*

الْفطريّات الجذرية الشجيرية هي الأكثر شيوعًا بين النوعين، وتشترك مع 70% من أنواع النباتات (الشكل 31-16). المكوّنُ الفطريُّ فيها فطرياتُ الغلوميرا، وهي مجموعة أحادية العرق نشأت ضمن إحدى سلالات الْفطريّات الزيجوتية. تشترك فطريات الغلوميرا مع أكثر من 200,000 نوع من النباتات.

وخلافًا لفطر عشّ الغراب، لا يوجد أيّ فطر غلوميرا ينتج أجزاء ثمرية فوق سطح التربة؛ لذا، من الصعب أن تصل إلى العدد الحقيقي للأنواع الموجودة. يتم دراسة الْفطريّات الجذرية الشجيرية حاليًا بشكل مكثف؛ لأنها قادرة على تحسين المحصول بوجود كمية قليلة من الفوسفور، وبجهد أقل.

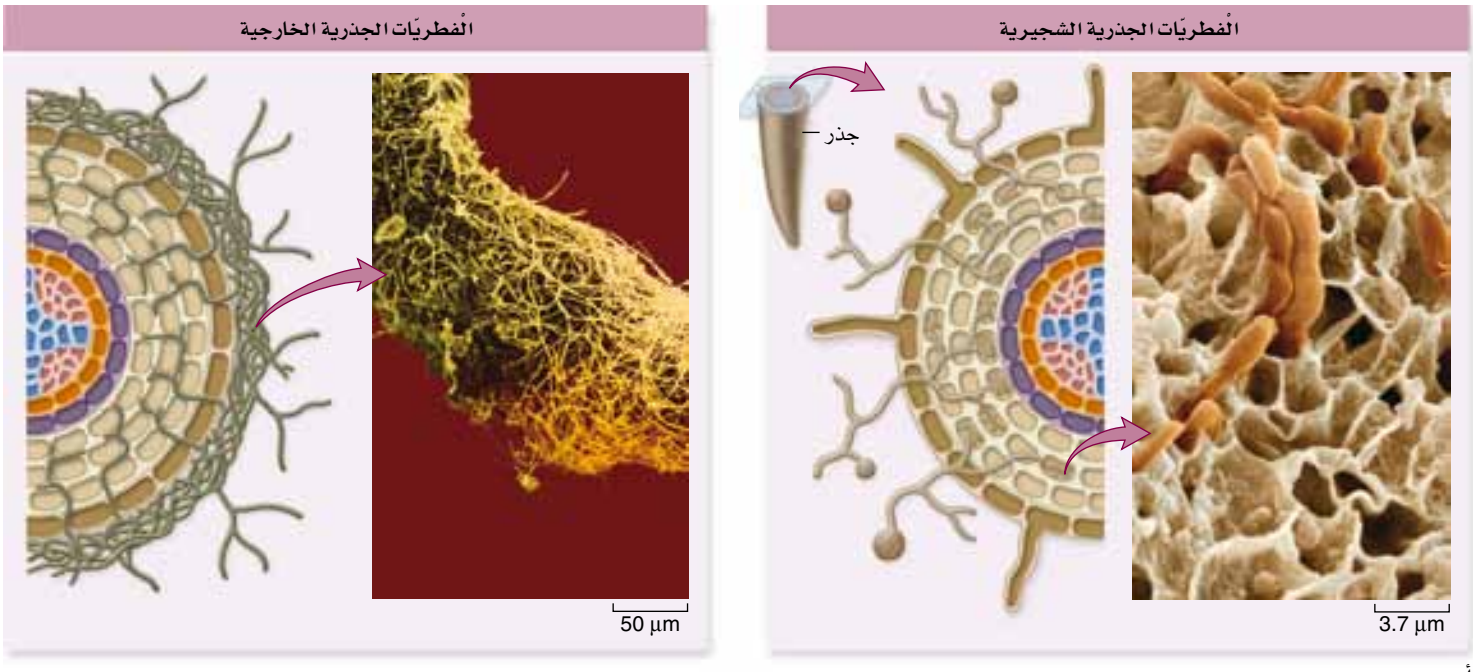
تُظهرُ أقدم أحفورة نباتية الْفطريّات الجذريةَ الشجيريةَ مرتبطةً مَعَ جذورها. هذا الارتباط قد يكون له الفضل في انتقال النباتات إلى اليابسة واستعمارها لها. في ذلك الوقت كانت التربةُ عقيمة، وتفتقر إلى المواد العضوية. وقد كانت النباتات المرتبطة بالْفطريّات الجذرية ناجحة في التربة العقيمة؛ فبالأخذ في الحسبان الأحافير دليلًا، فإنّ من الأرجح أن يكون الارتباط مع الْفطريّات الجذرية قد ساعد النباتات الأولى على النجاح في تلك الأتربة. إضافة إلى ذلك، فإنّ أقارب النباتات الوعائية المبكرة التي تعيش في وقتنا الحالي ما زالت تعتمد بشكل كبير في بقائها على الْفطريّات الجذرية.

ترتبط بعض النباتات غير ضوئية البناء أيضًا مع الْفطريّات الجذرية، غير أن التعايش هنا أحادي الاتجاه؛ لأنّ النباتات ليس لديها ما تعطيه للفطريات الجذرية. وبدلًا من أن يكون هناك تعايش ثنائي الطرف، فإنّ هناك تعايشًا ثلاثي الأطراف. يمتد الغزل الفطري بين النبات ضوئي البناء والنبات غير ضوئي البناء، وهو نبات متطفل. يُسمّى العضوُ الثالث غير ضوئي البناء في هذا التعايش الطفيلَ الفوقيَّ *Epiparasite*. يحصل الطفيل الفوقي على الفوسفور من الفطر، ويستخدم الفطر قناة لتوصيل الكربوهيدرات من النبات ضوئي البناء إليه. ويحدث التطفل الفوقي كذلك في التعايش مع الْفطريّات الجذرية الخارجية.

الْفطريّات الجذرية الخارجية *Ectomycorrhizae*

ترتبط الْفطريّات الجذرية الخارجية (انظر الشكل 31-16ب) مع عدد أقل بكثير من أنواع النباتات من الْفطريّات الجذرية الشجيرية، ربما آلافًا عدة. عوائل الْفطريّات الجذرية الخارجية هي الأشجار الحرجية، مثل: الصّنوبريّات، والبلّوط، والبتولا، والصّفصاف، واليوكاليبتوس، وأشجار أخرى. معظم الْفطريّات الموجودة في مجموعة الْفطريّات الجذرية الخارجية هي من الْفطريّات الْبازيديّة، وبعض الزقيات.

لا تقتصر معظم الْفطريّات الجذرية الخارجية على نوع نباتي واحد، وإنّ معظم نباتات الْفطريّات الجذرية تصنع ارتباطا مع كثير من الْفطريّات الجذرية الخارجية. الاتحادات المختلفة بينها لها تأثيرات مختلفة في الخصائص الفسيولوجية للنبات، وقدرته على البقاء، والعيش في ظل ظروف بيئية معينة. هناك 5000 نوع من الْفطريّات على الأقل تشترك في علاقات الْفطريّات الجذرية الخارجية.



أ. ب.

الشكل 31-16

الْفطريّات الجذرية الشجيرية والْفطريّات الجذرية الخارجية. أ. في الْفطريّات الجذرية الشجيرية، تخترق خيوط الفطر جدار الخلية الجذرية للنبات، وليس غشاء الخلية. ب. الْفطريّات الجذرية الخارجية على جذر شجرة يوكاليبتوس *Eucalyptus* لا تخترق خلايا الجذر، ولكن تنمو حول الخلايا وبينها.

تشكل الْفطريّات أيضًا تعايشًا متبادلًا مع الحيوانات

تم التعرف إلى مدى من العلاقات التبادلية بين الْفطريّات والحيوانات. فعلى سبيل المثال، تؤوي الحيوانات المجترة الْفطريّات في أحشائها. ففي الأعشاب التي تتغذى عليها هذه الحيوانات الكثير من السليولوز واللجنين الذي لا تستطيع هذه الحيوانات هضمه. تقوم الأنزيمات الْفطريّة بإطلاق الغذاء الذي سوف يكون غير متوافر للحيوان دونها. في المقابل، يحصل الفطر على بيئة غنية بالغذاء.

بعض التعايش الثلاثي يشترك فيه النّمل، والنّبات والْفطريّات. فالنّمل قاطع أوراق الشجر يُعَدُّ آكل أعشاب سائدًا في استوائيات العالم الجديد. هذا النّمل الذي ينتمي للقبيلة Attini، يتعايش إجباريًّا مع فطر معين قام بتدجينه والمحافظة عليه في حدائق تحت الأرض. يقوم النّمل بتزويد الْفطريّات بالأوراق لتتغذى، ويحميها من الممرضات والمفترسات (الشكل 31-17). أما الْفطريّات فهي الغذاء الرّئيس للنّمل.

يعتمد حجم بيوت النّمل على نوع النّمل. فقد يكون البيت بحجم كرة الجولف، أو أن يكون قطره 50 سم، وعمقه أقدام عدة تحت الأرض. بعض البيوت يسكنها ملايين من النّمل قاطع الأوراق الذي يحافظ على الحدائق الْفطريّة. هذا النوع من النّمل الاجتماعي، يعيش نظامًا طبقيًّا مكوّنًا من فِرَق، إذ إن كلّ فرقة من النّمل لديها وظيفة معينة تقوم بها. فهي تتبع أثرًا يصل طوله 200م لتبحث عن الأوراق؛ كي تحضرها لفطرياتها، وتستطيع مستعمرة من النّمل أن تقطع أوراق شجرة كاملة في يوم واحد. هذا التعايش بين الفطر والنّمل المزارع قد تطور مرّات عدة، ومن الممكن أن تكون بدايته منذ 50 مليون سنة خلت.

الشكل 31-17

التعايش بين النّمل والْفطريّات. النّمل يزرع حدائق فطرياته.

الْفطريّات هي المحللات الأولى في النظام البيئي. هناك مدى من العلاقات التعايشية قد تطورت بين الْفطريّات والنباتات. النباتات الداخلية تعيش داخل الأنسجة النباتية، ويمكن أنْ تحميها من الطّفيليّات. الأشناتُ تعايشاتٌ معقدةٌ بين الْفطريّات والبكتيريا الخضراء المزرقة أو الطحالب الخضراء. يمثل الاتحاد بين الْفطريّات الجذرية وجذور النباتات علاقة مفيدة لكلا الطرفين، وفي بعض الحالات قد تكون إجبارية. تطورت الْفطريّات أيضًا بشكل مترافق مع الحيوانات في علاقات تكافئية.

11-31 الطّفيليّات والممرضات الْفطريّة

تستطيع الْفطريّات أنْ تُدمِّرَ محاصيل النباتات، وتسبب مشكلات كبيرة لصحة الإنسان. المشكلة الرّئيسة في العلاج والوقاية هي أن الْفطريّات مخلوقات حقيقية النّوى كالنباتات والحيوانات. لذا، فإنّ الفروق بين الْفطريّات وحقيقيات النّوى الأخرى قد تؤدي إلى التوصل لطرق آمنة وناجعة لعلاج الأمراض التي تسببها الطّفيليّات، والممرضات الْفطريّة.

العدوى الْفطريّة قادرة على أن تؤذي النباتات، وكلّ من يأكلها

تسبب الأنواع الْفطريّة كثيرًا من الأمراض في النباتات (الشكل 31-18)، وهي مسؤولة عن خسائر زراعية تقدر ببلايين الدولارات كلّ سنة. ولا تعد الْفطريّات ضمن أكثر الآفات ضررًا للنبات فقط، بل إنها تسبب أيضًا فساد المواد الغذائية

أ.

ب.

جـ.

الشكل 31-18

أكبر مخلوق في العالم

أ. *Armillaria*. فطر ممرض يظهر هنا مصيبًا مناطق محددة من الغابات الصنوبرية في مونتانا، ينتشر من نقطة مركزية، على هيئة سلالة دائرية. الدائرة في الأسفل يبلغ حجمها 8 هيكتارات.

ب. نظرة قريبة على شجرة دمرها فطر *Armillaria*.

جـ. *Armillaria* ينمو على شجرة.

التي تم حصادها وتخزينها. إضافة إلى ذلك، فهي تفرز مواد على الغذاء الذي تصيبه، فتجعل طعمه غير مستساغ، أو مسرطنًا، أو سامًّا.

إن التعايشات النباتية - الْفطريّة الممرضة متعددة، ويستطيع مسبب المرض الفطري الموجود في النبات أن يؤذي الحيوانات التي تتغذى على تلك النباتات. تنمو أنواع فطر *Fusarium* على الغذاء الفاسد، وتنتج مواد عالية السميّة، مثل فوميتوكسين التي تؤدي إلى إتلاف الدماغ عند الإنسان والحيوانات في جنوب غرب الولايات المتحدة.

تنتج مادة أفلاتوكسين التي تُعَدُّ ضمن أقوى المواد المسرطنة من بعض سلالات أسبرجيلاس فليفس *Aspergillus flavus* الذي ينمو على بذور الذرة، وفستق العبيد، والقطن. يستطيع أفلاتوكسين أن يلحق ضررًا بالكليتين، والجهاز العصبي للحيوانات، بما في ذلك الإنسان. وقد وضعت بعض الدول المتقدمة حدودًا قانونية للتركيز المسموح به لأفلاتوكسين في الأغذية المختلفة. حديثًا، عُدَّ أفلاتوكسين سلاح إرهاب بيولوجيًّا.

يحفز الصيف الحار والرطب نمو هذا الفطر. وتساعد الزراعة الأحادية الدورة على انتشاره، أمّا تدوير الزراعة واستخدام محاصيل مقاومة، فيمكن أنْ يساعد في السّيطرة على انتشار أسبرجيلاس.

الأوبئة الْفطريّة صعبة العلاج في الإنسان والحيوانات الأخرى

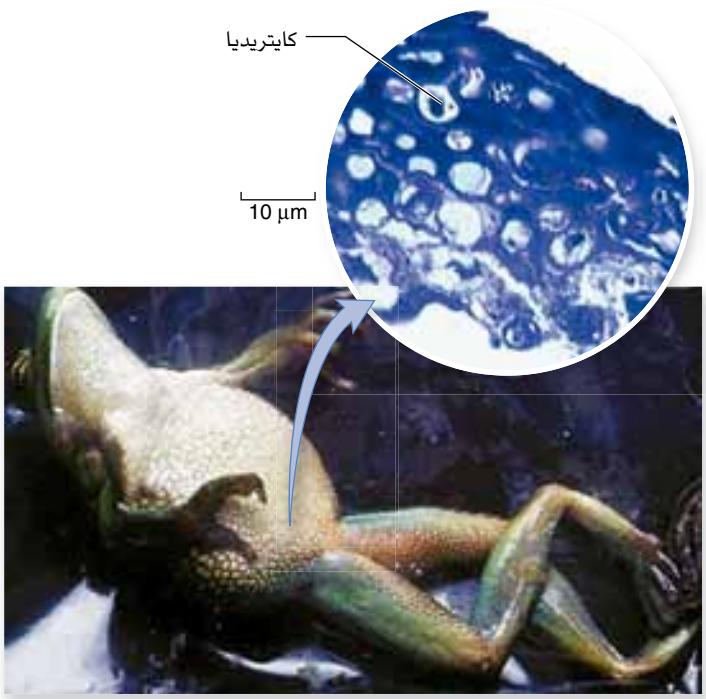
يمكن أن تكون الْفطريّات مصدر أمراض الإنسان والحيوانات. بعض الأمراض الشائعة مثل (القوباء) الحلقية (وهي ليست دودة، ولكنها فطر)، وقدم الرياضي، وفطر الأظافر، يمكن علاجها بمراهم خارجية مضادة للفطريات، وفي بعض الأحيان بأدوية يتناولها الإنسان بالفم.

يمكن للفطريات إحداث أمراض مرعبة في الإنسان، وقد تكون أحيانًا أمراضًا صعبة العلاج بسبب القرب العرقي بين الْفطريّات والحيوانات. فالخمائرُ الزّقيّة ممرضاتٌ مهمةٌ، وتسبب أمراضًا مثل الحمى القلاعية التي تصيب الفم. وخميرة الكانديدا *Candida* تسبب أمراض الفم الشائعة والعدوى المهبلية كذلك. وتغزو *Pneumocystis jeroveci* المعروفة سابقًا *P. carinii* الرئتين، فتقطع التنفس، ويمكن أن تنتقل إلى أعضاء أخرى. وقد تؤدي هذه الإصابة في الأشخاص ضعيفي المناعة مثل مرضى الإيدز، إلى الموت.

أ. ب.

الشكل 31-19

الفطر أسبيرجيلاس فليفس *Aspergillus flavus* يصيب الذرة وبمقدوره أن ينتج أفلاتوكسين، وهو ضار بالحيوان. أ. الذرة مصابة بالفطر. ب. صورة بالمجهر الإلكتروني لكونيديا أسبيرجيلاس فليفس.



الشكل 31-20

ضفدع قتلته فطريات الكايتريديا. يمكن رؤية التقرحات التي شكلها الكايتريديا على بطن الضفدع.

إن الحساسيات الْفطريّة شائعة، وتشكل المباني التي تغزوها الْفطريّات خطرًا على السكان. ويواجه الأشخاص ذوو المناعة الضعيفة، والأشخاص الذين يتناولون العقاقير الستيرويدية ضد الالتهابات بشكل خاص خطر الإصابة بالأمراض الْفطريّة.

من أمثلة التعايش الفطري الحيواني التطفلي الإصابة **بفطريات الكايتريديا Chytridiomycosis**، التي تم تشخيصها أول مرة عام 1998 بوصفها مرضًا وبائيًّا في البرمائيات. لقد تراجعت أعداد التجمعات البرمائية عالميًّا في العقود الثلاثة الماضية. ويرجع هذا الانحدار في أعداد البرمائيات إلى فطر الكايتريديا *Batrachochytrium dendrobatidis* (انظر الشكل 31-1أ) الذي اكتُشف بعد دراسات مكثفة للضفادع الميتة. فالضفادع المريضة أو الميتة كان لها أشكال دورقية مغلفة في جلودها أكثر مما لدى الضفادع المعافاة، وقد ثبت ارتباط تلك التراكيب بأبواغ الكايتريد (الشكل 31-20).

إن الصلة مع *B. dendrobitdis* تم تأكيدها عن طريق بيانات تعاقب DNA، وذلك بعد عزل الكايتريديا وزراعتها، وبعد إصابة الضفادع المعافاة تجريبيًّا، وتكرار حدوث أعراض المرض. إن الكيفية التي يقوم بها الفطر بقتل الضفادع ليست واضحة، فالأعراض الأولية تظهر على الجلد ما يدل على أن الفطر يؤثر في عملية تبادل الغازات خلال الجلد، أو أن الفطر يقوم بإنتاج السموم. وقد وُجِدَ أنّ غسل الضفادع بعقاقير مضادة للفطريات يوقف المرض، ويزيل الكايتريديا.

إن الكيفية التي نشأ من خلالها المرض في وقت متزامن في قارات مختلفة ما زال لغزًا محيرًا. ولكن يمكن الأخذ في الحسبان دور التغيرات البيئية والنواقل لحلّ هذا اللغز.

تستطيع الْفطريّات أن تؤذي النباتات والحيوانات وتقتلهما. إن قرب العلاقة بين الْفطريّات والحيوانات يجعل علاج الأمراض الْفطريّة الناتجة عن التطفل صعبًا.

31-1 تعريف الفطريّات

تصنف الفطريّات في ست مجموعات رئيسة.

- الفطريّات أقرب للحيوانات منها للنباتات.
- الفطريّات عضوية التغذية ولها خلايا خيطية؛ تحتوي جدران خلاياها على الكايتين، وقد تحتوي على طور ثنائي النواة، وتقوم بالانقسام النووي المتساوي.

31-2 البيولوجيا العامة للفطريات

توجد الفطريّات بوصفها خلايا مفردة، أو متعددة الخلايا، ولها أنواع مختلفة من الخلايا.

- الخيوط الفطريّة قد تكون متصلة ومتعددة الأنوية، أو قد تقسم إلى سلسلة طويلة من الخلايا التي تقطعها جدران عرضية تسمى فواصل.
- الغزلُ الفطريُّ كتلةٌ من الخيوط الفطريّة المتصلة، تخترق مصادر الغذاء، وتبدأ عملية الهضم بشكل سريع.
- الكايتين الموجود في الفطريّات هو نفسه الموجود في القشرة الخارجية للمفصليات. الكايتين ليس سليولوزًا، وإنما جزيئات جلوكوز مرتبطة مع بعضها، ومع مجموعات نيتروجين، ومرتبطة عرضيًّا بالبروتين.
- في الخيوط الفطريّة متعددة الأنوية، إذا كانت مصادر الأنوية من أفراد مختلفة وراثيًّا، فإنّ الخيط الفطري يُسمّى متغايرة الأنوية، وإذا كانت مصادر الأنوية متشابهة وراثيًّا، فيسمى الخيط الفطري مثلي الأنوية.
- تتكاثر الفطريّات جنسيًّا باندماج خيوط فطرية من أنواع تزاوجية متجانسة.
- تتكون الأبواغ بالتكاثر الجنسي واللاجنسي، وتنتشر عادة عن طريق الهواء.
- تحصل الفطريّات على غذائها من خلال الهضم الخارجي.

31-3 العلاقات النّشوئيّة

تقسم الفطريّات إلى خمس قبائل رئيسة استنادًا إلى العلاقات التطورية بينها، وهناك مجموعة سادسة صعبة التصنيف (الشكل 31-6).

- قبائل الغلوميرا والزّقيّة والبازيديّة أحادية العرق، في حين قبيلتا الكايتريديا والزيجوتية ليستا كذلك.
- لم يتم تحديد العلاقة بين الفطريّات الناقصة، التي هي غير موحدة الأصل، والفطريّات الأخرى.

31-4 الفطريات الكايتريدية: فطريات مائية لها أبواغ حيوانية سوطيّة

فطريات الكايرتيديا، أو الكايتريديات مائية سوطيّة، وهي قريبة جدًا من الفطريّات السلفية (الشكل 31-7).

- الكايتريدياتُ فطرياتٌ لها نطفٌ سوطيةٌ.
- تشكل الكايتيريديات علاقات تعايشية، ويرجع إليها السبب في نقصان أعداد أنواع البرمائيات.

31-5 الفطريّات الزيجوتية: فطريات تنتج زيجوتات

- الفطريّات الزيجوتية متنوعة بشكل مذهل، ولكن لها صفة مميزة هي محفظة الأبواغ الزيجوتية.
- تفتقر الفطريّات الزيجوتية إلى الفواصل في خيوطها الفطريّة إلا عند تكوينها لمحافظ الأبواغ، أو محافظ الجاميتات.
- قبل أن يندمج خيطان فطريان، يكوّن كلّ واحد منهما محفظة جاميتات تتكون بها الجاميتات.
- يبدأ التكاثر الجنسي مع اندماج محفظتي الجاميتات.
- يحدث اندماج الأنوية، وهي عملية يحدث فيها اندماج لنواتين أحاديتي الكروموسومات لتشكلا الزيجوت ثنائي الكروموسومات، بعد اندماج محفظتي الجاميتات.
- تتكون محفظة الأبواغ الزيجوتية بعد اندماج محافظ الجاميتات.
- يتشكل البوغ الزيجوتي ثنائي الكروموسومات داخل محفظة الأبواغ الزيجوتية.
- خلال التكاثر اللاجنسي، تُنتج الخيوط الفطريّة تجمعات من حوامل محافظ الأبواغ القائمة.
- تُشكّل أطرافُ حوامل محافظَ الأبواغ محافظ الأبواغ التي تنتج بداخلها أبواغًا أحادية الكروموسومات عن طريق الانقسام المتساوي.

31-6 الفطريّات الغلوميرية: متعايشات نباتية لاجنسية

الفطريّات الغلوميرية سلالةٌ أحاديةُ العرقِ، وتُشكّل علاقات إجبارية مع جذور النباتات.

- الخيوط الفطريّة الغلوميرية تشكل ارتباطًا داخل جذر النبات يُسمّى الفطريّات الجذرية الشجيرية.
- لا تُظْهِرُ الفطريّات الغلوميرية دليلًا على التكاثر الجنسي.

31-7 الفطريّات الزّقيّة: الفطريّات ذات الكيس

سميت الفطريّات الزّقيّة بهذا الاسم لوجود تركيب تكاثري فيها، وهو الزق الذي يشبه كيسًا يتكون بداخل جسم ثمري كيسي (الشكل 31-9).

- يحدث اندماج الأنوية داخل الزق، وتنتج عنه نواة تشكل الحالة الوحيدة ثنائية الكروموسومات في دورة حياة الفطريّات الزّقيّة.
- يحدث الانقسام الاختزالي والمتساوي بعد الاندماج النووي مباشرة، وينتج عنه ثماني أنوية أحادية الكر وموسومات، ثم يغلفها جدار لتصبح أبواغًا زقية.
- التكاثر اللاجنسي شائع، ويحدث عن طريق كونيديا تتشكل في نهاية خيوط فطرية محورة تسمى حاملات الكونيديا.
- الخمائرُ فطرياتٌ زقية تتكاثر غالبًا بالانشطار الخلوي أو التبرعم.

31-8 الفطريّات البازيديّة: الفطريّات الصّولجانيّة

تُعَرَّف الفطريّات البازيديّة بعضوها التكاثري الذي يشبه الصولجان (الشكل 31-11).

- يحدث اندماج الأنوية داخل البازيديا، وتنشأ منه الخلية الوحيدة ثنائية الكروموسومات في دورة حياة الفطر البازيدي.
- يحدث الانقسام الاختزالي بعد اندماج الأنوية مباشرة، وينتج عنه أربع خلايا أحادية العدد الكروموسومي تتشكل لتصبح أبواغًا بازيدية تشكل الغزل الفطري.

31-9 الفطريّات الناقصة: مجموعة متعددة الأعراق تشمل معظم أنواع العفن

لم تتمّ ملاحظة مرحلة التكاثر الجنسي في الفطريّات الناقصة، ولكن يحدث بها إعادة اتحاد وراثي محدودة.

- تبدي الخيوط الفطريّة متغايرة النّوى جنسية متوازية؛ لأن أنويتها المستقلة المميزة تتبادل جزءًا من الكروموسومات.

31-10 بيئة الفطريّات

تُعَدُّ الفطريّات، ومعها البكتيريا، المحللات الأساسية في الغلاف الحيوي التي تقوم بإعادة العناصر الأساسية مثل الكربون، والنيتروجين، والفوسفور إلى البيئة.

- الفطريّات قادرة على تكسير السليولوز واللجنين، وهي مواد عضوية غير قابلة للذوبان، وتوجد في الخشب.
- تشكل الفطريّات تعايشات إجبارية واختيارية مع المخلوقات الأخرى.
- تظهر الفطريّات مدى من التعايشات، فهي يمكن أن تكون ممرضة أو طفيلية، تكافلية، أو تبادلية.

31-11 الطّفيليّات والممرضات الفطريّة

يمكن للفطريات أنْ تحدث مشكلة زراعية وصحية للإنسان حادة.

- تستطيع الفطريّات إفراز مواد كيميائية تجعل الطعام غير مُستساغ، أو مسرطنًا، أو سامًّا.
- يصعب علاج الأمراض الفطريّة بسبب التشابه بينها وبين الحيوانات.

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. واحدة مما يأتي ليست صفة مميزة للفطريات:
   أ. جدران خلاياها مصنوعة من الكايتين.
   ب. شكل انقسامها المتساوي يختلف عنه في النباتات والحيوانات.
   جـ. قدرتها على البناء الضوئي.
   د. تركيبها خيطي.
2. الخلية الْفطريّة التي تحتوي نواتين مختلفتين وراثيًّا تصنف على أنها:
   أ. أحادية النواة. ب. ثنائية النواة.
   جـ. مثلية النواة. د. متغايرة النواة.
3. واحدة من المجموعات الْفطريّة الآتية ليست أحادية الأصل:
   أ. الزيجوتية. ب. الْبازيديّة.
   جـ. الغلوميرية. د. الزّقيّة.
4. بناء على الصفات الجسمية، تمثل الْفطريّات أقدم القبائل الْفطريّة:
   أ. الْبازيديّة. ب. الزيجوتية.
   جـ. الزّقيّة. د. الكايتريديا.
5. واحدة من المجموعات الْفطريّة الآتية لا تمثل علاقة نشوئية حقيقية، ولكن تصنف هكذا بسبب عدم وجود معلومات علمية:
   أ . الْبازيديّة. ب. الزّقيّة.
   جـ. الناقصة. د . الغلوميرية.
6. إن التطور المبكر لنباتات اليابسة حدث بمساعدة التعايشات الْفطريّات الجذرية مع الْفطريّات:
   أ. الزيجوتة. ب. الغلوميرية.
   جـ. الزّقيّة. د. الْبازيديّة.
7. في مستنبت لخيوط فطرية غير معروفة المنشأ، لُوحظ وجود خيوط فطرية لا تحتوي على فواصل، وتتكاثر لاجنسيًّا عن طريق تجمعات من السيقان المنتصبة. ومع ذلك، ففي أوقات أخرى يمكن ملاحظة التكاثر الجنسي. لأي مجموعة قد تنتمي هذه الْفطريّات؟
   أ. الناقصة. ب. الْبازيديّة.
   جـ. الزّقيّة. د. الزيجوتية.
8. في دورة حياة الْفطريّات الْبازيديّة، يمكن أن تجد خلية ثنائية النواة في:
   أ. الغزل الفطري الأولى. ب. الغزل الفطري الثانوي.
   جـ. الأبواغ الْبازيديّة. د. الزيجوتية.
9. واحدة من الجمل الآتية صحيحة بالنسبة إلى خميرة *Sacharomyces cerevisiae*:
   أ. تتكاثر لاجنسيًّا بعملية تسمى التبرعم.
   ب. تنتج الكيس الثمري الزّقيّ خلال التكاثر.
   جـ. تنتمي لمجموعة الْفطريّات الناقصة.
   د. جميع ما ذكر.
10. إذا ابتعد علماء الأحياء عن استخدام الْفطريّات الناقصة وسيلة للتصنيف، فإنهم سيضعون معظم أعضاء الْفطريّات الناقصة في القبيلة:
    أ. الزّقيّة. ب. الْبازيديّة.
    جـ. الزيجوتية. د. لا شيء مما ذكر.
11. *Penicillium* و *Aspergillus* يصنفان مع الْفطريّات:
    أ. الْبازيديّة. ب. الناقصة.
    جـ. الزّقيّة. د. الزيجوتية.
12. تحدث علاقات التعايش بين الْفطريّات و:
    أ. النباتات. ب. البكتيريا.
    جـ. الحيوانات. د. جميع ما ذكر.
13. تُعَدُّ العلاقة الْفطريّة بين الأشجار الحرجية والْفطريّات الْبازيديّة مثالًا على:
    أ. التطفل فقط. ب. الْفطريّات الجذرية الشجيرية.
    جـ. الْفطريّات الجذرية الخارجية. د. الأشنات.
14. تتركز العلاقات التعايشية بين الحيوانات والْفطريّات على:
    أ. الحماية من البكتيريا. ب. استعمال اليابسة.
    جـ. الحماية من الجفاف. د. تبادل الغذاء.
15. أحد الأنواع الْفطريّة الآتية لا يرتبط بأمراض في الإنسان:
    أ. *Pneumocystis jiroveci*.
    ب. *Aspergillus flavus*.
    جـ. *Candida albicans*.
    د. *Batrachochytrium dendrobatidis*.

أسئلة تحدٍّ

1. تاريخيًّا، كانت الْفطريّات تُصنّف على أنها شبيهة بالنباتات، على الرّغم من عدم قدرتها على البناء الضوئي. وعلى الرغم من أننا نعلم الآن أن الْفطريّات أقرب إلى الحيوانات منها للنباتات، فما الصفات التي جعلت العلماء يضعونها في البداية في مكان أقرب للنباتات؟
2. لم تُقدّر أهمية الْفطريّات في تطور الحياة على اليابسة التقدير الذي تستحقه. فَسِّر أهمية الْفطريّات في استعمار اليابسة.
3. بناء على فهمك للفطريات، لماذا لا تعمل المضادات الحيوية في علاج العدوى الْفطريّة؟

هل أنت في حاجة إلى مراجعة إضافية؟ زر الموقع www.ravenbiology.com. لتتدرب على الاختبارات القصيرة، والرسوم المتحركة، والتسجيلات التلفزيونية، وأنشطة مخصصة لمساعدتك على فهم المادة الموجودة في هذا الفصل.
ARIS™

الفصل 32

نظرة عامة على تنوع الحيوان

Overview of Animal Diversity

موجز المفاهيم

32-1 بعض الخصائص العامة للحيوانات

32-2 تطور خطة بناء جسم الحيوان

- *تطورت الأنسجة لتسمح بالقيام بوظائف متخصصة.*
- *تبدي معظم الحيوانات تماثلًا شعاعيًّا أو جانبيًّا ثنائيًّا.*
- *تجويف الجسم يجعل من الممكن تطور أجهزة عضوية متقدمة.*
- *الحيوانات ذات التماثل الجانبي الثنائي تظهر نوعين رئيسين من التكوين الجنيني.*
- *يسمح التقسيم بتكرار الأجهزة، وبانتقال أكثر فاعلية.*

32-3 التصنيف التقليدي للحيوانات

- *وجود الأنسجة والتماثل فصل الحيوانات النظيرة عن الحيوانات البعدية.*
- *التماثل والطبقات الجنينية ميزت الحيوانات ثنائية الطبقات عن الحيوانات ثلاثية الطبقات الجرثومية.*
- *التقسيمات الإضافية اعتمدت على سمات أساسية أخرى.*

32-4 نظرة جديدة على شجرة حياة الحيوانات البعدية

- *ذات الفم الماصّ تحدت التصنيف: دراسة حالة.*
- *علم التصنيف التطوري الجزيئي يغير فهمنا لتاريخ نشوء الأنواع الحيوانية.*

32-5 علم أحياء التكوين الجنيني التطوري وجذور شجرة حياة الحيوانات

- *الحيوانات البعدية يبدو أنها تطورت من طلائعيات مكونة للمستعمرات.*
- *التحليل الجزيئي قد يفسر الانفجار الكمبري.*

مقدّمة

نستقصي الآن التنوع العظيم للحيوانات الحديثة، الذي هو نتاج تاريخ تطوري طويل. تُعدّ الحيوانات من بين أكثر المخلوقات الحية عددًا. فهي توجد تقريبًا في كل بيئة محتملة، وتدهشنا بتنوعها الهائل. فقد وُصف أكثر من مليون نوع منها، وملايين عدة أخرى، يعتقد أنها لا تزال تنتظر الاكتشاف. فمثلًا، وعلى الرغم من تنوعها الهائل، فإن الحيوانات جميعها لها صفات مشتركة. فمثلًا، الانتقال هو صفة مميزة للحيوانات الأرقى على الرغم من أن الحيوانات ليست جميعها متنقلة. فالعلماء الطبيعيون الأوائل اعتقدوا أن الإسفنج والمرجان كانا نباتات؛ لأن أفرادهما البالغين يبدون ثابتين في مكان واحد دون انتقال.

وقد كان هناك جدل مطول بين علماء الحياة حول العلاقات التطورية بين مجموعات الحيوان، واستخدموا بشكل تقليدي المعلومات المشتقة من تشريحها، وخاصة من مراحل تكونها الجنيني. وفي العقدين الأخيرين من السنوات السابقة، زودتنا الأدوات الجزيئية بنظرة ثاقبة. هذه الأدوات، إضافة إلى إعادة البناء الحديثة لعلم الأحياء التطوري وعلم التكوين الجنيني (الفصل الـ 25) واكتشاف أشكال جديدة وغامضة من الحياة – أرشدت علماء الحياة لإعادة النظر في شجرة حياة الحيوانات.

1-32 بعض الخصائص العامة للحيوانات

الحيوانات هي الآكلات أو المستهلكات على الأرض. الحيوانات مجموعة شديدة التباين، حيث لا توجد صفة تنطبق عليها جميعًا، ولكن هناك صفات عدة ذات أهمية رئيسة، هي:

- الحيوانات مختلفة التغذية، ويجب أن تتناول مخلوقات أخرى من أجل تغذيتها.
- الحيوانات جميعها متعددة الخلايا. والخلايا الحيوانية، ليست كخلايا النبات والفطريات وبعض الطلائعيات؛ لأنّ الخلايا الحيوانية تفتقر إلى الجدار الخلوي؛ إضافة إلى ذلك، وبخلاف الطلائعيات، فالحيوانات لها خلايا متخصصة تشكل أنسجة وأعضاء.
- معظم الحيوانات قادرة على الانتقال من مكان إلى آخر، وهذا يتطلب تطور الأجهزة العضلية والعصبية.
- الحيوانات شديدة التباين في أشكالها وبيئاتها.
- معظم الحيوانات تتكاثر جنسيًّا، ولها جاميتات (أمشاج) **مفردة العدد الكروموسومي Haploid gametes** من نوع خاص.
- الحيوانات لها نمط مميز من التكوين الجنيني، وتمتلك أنسجة متميزة.

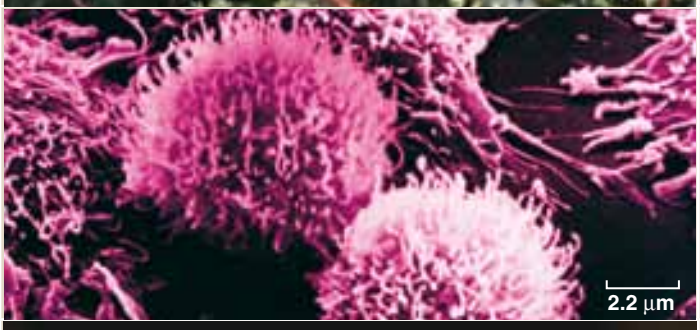
ويصف (الجدول 32-1) السمات العامة للحيوانات.

الحيوانات مخلوقات متعددة الخلايا معقدة، وتتسم، بشكل نموذجي بالقدرة العالية على الانتقال، وهي مختلفة التغذية. معظم الحيوانات تمتلك أنسجة داخلية وتتكاثر جنسيًّا.

الجدول 32-1 الخصائص العامة للحيوانات

مختلفة التغذية. بخلاف النباتات والطحالب ذاتية التغذية، فإن الحيوانات غير قادرة على بناء الجزيئات العضوية من مواد كيميائية غير عضوية. فالحيوانات جميعها مختلفة التغذية، بمعنى أنها تحصل على الطاقة، وعلى الجزيئات العضوية من ابتلاع مخلوقات أخرى. بعض الحيوانات (آكلة الأعشاب) تستهلك ذاتيات التغذية؛ حيوانات أخرى (آكلة اللحوم) تستهلك مختلفة التغذية؛ وحيوانات أخرى (ملتهمة الدبال) تستهلك مخلوقات محللة.

متعددة الخلايا. الحيوانات جميعها متعددة الخلايا، وغالبًا ذات أجسام معقدة، مثل ذلك الذي نراه في نجم البحر الهش (شعبة شوكيات الجلد). المخلوقات مختلفة التغذية ووحيدة الخلية التي تدعى الأوليات، والتي كانت في وقت ما تُعدّ حيوانات بسيطة، تُعدّ الآن أعضاء في مملكة كبيرة ومتباينة هي الطلائعيات، الموصوفة في (الفصل الـ 29).



ليس لها جدار خلوي. تتميز خلايا الحيوان عن خلايا المخلوقات متعددة الخلايا الأخرى، بأنه ليس لها جدار خلية صلب، وهي عادة شديدة المرونة كالخلايا السرطانية الموجودة في الصورة. تأتلف الخلايا المتعددة لأجسام الحيوانات عن طريق هياكل خارج خلوية، مكونة من بروتينات تركيبية مثل الكولاجين. تشكل بروتينات أخرى مجموعة من المفاصل بين الخلوية المتميزة التي تصل الخلايا الحيوانية مع بعضها.

الحركة النشطة. تُعدّ قدرة الحيوانات على الحركة بسرعة أكبر، وبطريقة أكثر تعقيدًا من أفراد الممالك الأخرى، ربما الصفة الأكثر إثارة، إذ إنها الصفة المرتبطة بشكل مباشر بمرونة الخلايا، وبتطور الأنسجة العصبية والعضلية. أحد أشكال الحركة المدهشة والمميزة للحيوانات هي الطيران، وهي قدرة متطورة جدًا بين الفقريات والحشرات كهذه الفراشة في الصورة (شعبة المفصليات). كثير من الحيوانات مستقرة على الرغم من أن لديها عضلات أو أليافًا عضلية، تسمح لها بالحركات المفاجئة. الإسفنجيات لها قدرة منخفضة على الحركة.

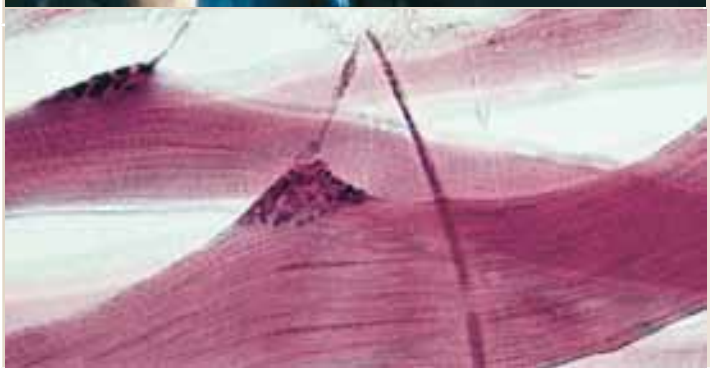
الجدول 32-1 الخصائص العامة للحيوانات (يتبع)

متباينة في الشكل. كل الحيوانات تقريبًا **لافقريات Invertebrates**، وهي بوصفها حيوانًا مئوية الأرجل (أم أربع وأربعين) المبين هنا (شعبة المفصليات)، ليس لديها عمود فقري. ومن بين نحو 10 ملايين نوع حي من الحيوانات يوجد 42,500 فقط لها عمود فقري، ولهذا يشار إليها **بالفقريات Vertebrates**. الحيوانات شديدة التباين في الشكل، وتتراوح في الحجم من مخلوقات صغيرة جدًا، لا ترى بالعين المجردة إلى الحيتان الضخمة والحبار العملاق.

متباينة في البيئة. تضم مملكة الحيوان 36 شعبة تقريبًا، معظمها كهلام البحر المبين هنا (شعبة اللاسعات)، توجد في البحار. يعيش عدد أقل من الشعب في الماء العذب، وعدد أقل من ذلك يعيش على اليابسة. تسيطر أعضاء ثلاث شعب بحرية ناجحة، هي: المفصليات، والرخويات، والحبليات، أيضًا على الحياة على اليابسة. هناك شعبة واحدة هي حاملة الأظافر (الديدان المخملية) تعيش تمامًا على اليابسة. فهناك بعض الأفراد من كل الشعب الأخرى تعيش في البيئة المائية، على الأقل.

التكاثر الجنسي. تتكاثر معظم الحيوانات جنسيًّا كهذه السلاحف (شعبة الحبليات). فالبيوض الحيوانية، وهي غير متحركة، هي أكبر بكثير من الحيوان المنوي ذي السوط عادة والأصغر حجمًا. في الحيوانات، تعمل الخلايا المتكونة عن طريق الانقسام الاختزالي بشكل مباشر بوصفها جاميتات. فالخلايا مفردة العدد الكروموسومي لا تنقسم انقسامًا متساويًا أولًا، كما تفعل في النباتات والفطريات، ولكنها تتحد مباشرة مع بعضها؛ لكي تشكل الزيجوت. نتيجة لذلك، ليس هناك نظير في الحيوانات لتبادل الأجيال بين الطور الجاميتي (ذي العدد المفرد) والطور البوغي أو الجرثومي (ذي العدد الثنائي)، وهو الأمر المميز للنباتات.

التكوين الجنيني. معظم الحيوانات لها نمط تكوين جنيني متشابه. فالزيجوت أولًا يمر بسلسلة من الانقسامات المتساوية تدعى تفلجًا، وتصبح كبيضة الضفدع المنقسمة المبينة هنا، كرة مصمتة من الخلايا تدعى **التويتة Morula** ثم كرة مجوفة من الخلايا تدعى **البلاستيولا (العُصيفة) Blastula**. تنثني البلاستيولا في معظم الحيوانات نحو الداخل في نقطة ما لتشكل كيسًا مجوفًا له فتحة في إحدى نهايتيه تدعى **ثقب البلاستيولا Blastopore** ويدعى الجنين في هذه المرحلة **المعدية (جاسترولا) Gastrula**. يختلف النمو اللاحق وحركة الخلايا المعدية بشكل كبير من شعبة حيوانات إلى أخرى.



الأنسجة المتميزة. خلايا الحيوانات جميعها باستثناء الإسفنجيات منظمة في وحدات تركيبية ووظيفية تدعى **الأنسجة Tissues**، وهي مجموعات من الخلايا التي اجتمعت معًا، وتخصصت لإنجاز وظيفة محددة. الحيوانات متميزة في أن لها نسيجين، لهما علاقة بالحركة، هما: (1) النسيج العضلي، وهو الذي يعطي الطاقة لحركة الحيوان، (2) النسيج العصبي، وهو الذي ينقل إشارات بين الخلايا. المفاصل العصبية العضلية، حيث ترتبط الأعصاب بالنسيج العضلي، مبينة في الصورة.

2-32 تطور خطة بناء جسم الحيوان

تطورت الصفات التي وصفت في الجزء السابق عبر ملايين السنين. ونستطيع أن نتتبع بعض هذه التطورات، ونصوغ فرضيات عن بعضها الآخر بفحص الأنواع المختلفة من أجسام الحيوانات وخطط بنائها الموجودة في الأحافير (الأحافير)، والموجودة بصورة حية اليوم. يمكن ملاحظة خمسة تحولات رئيسة في تطور الحيوانات، هي:

1. تطور **الأنسجة Tissues** ما يسمح بالتخصص.
2. تطور أشكال مختلفة من **التماثل Symmetry**.
3. تطور **تجويف الجسم Body cavity**.
4. تطور أنماط مختلفة من التكوين الجنيني **Development**.
5. **تطور التقسيم Segmentation** أو تكرار الوحدات في الجسم.

وكل من هذه التحولات تفسر في الأجزاء الآتية.

تطورت الأنسجة، لتسمح بالقيام بوظائف متخصصة

تدعى أبسط الحيوانات نظيرة الحيوانات (الفصل الـ 33)، وهي تفتقر إلى كل من الأنسجة المعرفة بوضوح والأعضاء، على الرغم من أن لديها درجة معقدة من تخصص الخلايا ليست موجودة في الطلائعيات، حيث يمثلها الإسفنج تمثيلًا جيدًا، فإن هذه الحيوانات تتكون من تجمعات من الخلايا التي تتمايز، ثم تتراجع عن هذا التمايز. فالإسفنجيات لديها القدرة على تفكيك خلاياها وتجميعها ما يعني أن الخلايا يمكن أن تنفصل إحداها عن الأخرى، ثم تعيد التجمع مع بعضها ثانية. الحيوانات الأخرى جميعها، الحيوانات البعدية الحقيقية، لها أنسجة متميزة ومعرفة جيدًا، وتمايز الخلايا غير عكسي لمعظم أنواع الخلايا.

تبدي معظم الحيوانات تماثلًا شعاعيًا أو جانبيًا ثنائيًا.

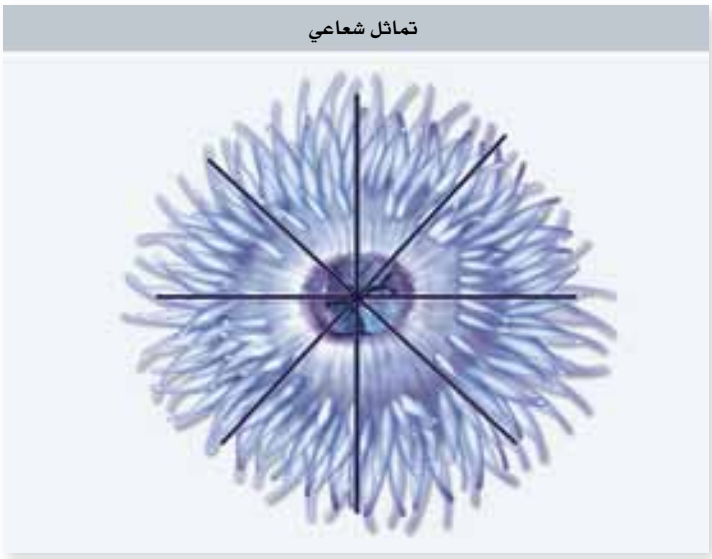
تفتقر الإسفنجيات إلى أي تماثل محدد، وفي معظم الحالات ينمو بشكل غير متماثل على هيئة كتل غير منتظمة. الحيوانات الأخرى جميعها لها فعليًا شكل محدد وتماثل، يمكن تصوره على طول محور وهمي يرسم خلال جسم الحيوان. النوعان الرئيسان من التماثل هما: الشعاعي والجانبي الثنائي.

التماثل الشعاعي *Radial symmetry*

تطورت الأجسام المتماثلة أول مرة مع ظهور الحيوانات البحرية التي تنتمي إلى شعبة اللاسعات (هلام البحر، وشقائق البحر، والمرجان) الفصل الـ 33. تظهر أجسام أفراد هذه الشعبة **تماثلًا شعاعيًا**، وهو تصميم للجسم، تكون فيه أجزاء الجسم مرتبة حول محور مركزي بطريقة يقسم فيها كل مستوى يمر خلال المحور المركزي المخلوقَ الحي إلى أجزاء تكون صورة مرآة للآخر تقريبًا (الشكل 32-1أ).

التماثل الجانبي الثنائي

تتميز أجسام معظم المخلوقات الأخرى التي تدعى الجانبية الثنائية، **بتماثل جانبي ثنائي Bilateral symmetry** أساسي، وهو تصميم للجسم، يكون فيه للجسم نصف أيمن وآخر أيسر، وكلاهما صورة مرآة للآخر، (الشكل 32-1ب). خطة بناء جسم الحيوانات ذات التماثل الجانبي الثنائي لها أعلى، ولها أسفل، أو ما يسمى، بصورة أفضل، أجزاء ظهرية وأجزاء بطنية على التوالي. وإن لها نهاية أمامية، وهي الجانب الأمامي، ونهاية خلفية أو الجانب الخلفي. وفي حيوانات أرقى كشوكيات الجلد (نجم البحر)، يكون الحيوان البالغ شعاعي التماثل، ولكن حتى في هذه المجموعة تكون اليرقات ذات تماثل جانبي ثنائي.



الشكل 32-1

مقارنة التماثل الشعاعي مع التماثل الجانبي الثنائي. أ. الحيوانات ذات التماثل الشعاعي، مثل شقائق البحر هذه (شعبة اللاسعات)، يمكن تقسيم إحداها إلى نصفين متساويين في أي مستوى ثنائي الأبعاد. ب. الحيوانات ذات التماثل الجانبي الثنائي مثل السلحفاة (شعبة الحبليات) يمكن قسمتها إلى نصفين متساويين فقط عن طريق مستوى واحد (المستوى السهمي).

يشكل التماثل الجانبي الثنائي تقدمًا تطوريًّا رئيسًا في خطة بناء جسم الحيوان. فهذا الشكل المميز من التنظيم يسمح لأعضاء مختلفة أن تتركز في أجزاء مختلفة من الجسم، حيث تتركز أعضاء الحس بصورة عامة في النهاية الأمامية. كذلك، فإن للحيوانات ذات التماثل الجانبي الثنائي قدرة أكبر على الحركة ضمن بيئاتها من الحيوانات ذات التماثل الشعاعي.

في الحيوانات ذات التماثل الجانبي الثنائي يكون معظم الجهاز العصبي على شكل حبل عصبي طولي رئيس. وفي تقدم تطوري مبكر جدًا، أصبحت الخلايا العصبية متجمعة في النهاية الأمامية للجسم. من المحتمل أن تكون تلك الخلايا العصبية قد قامت بوظيفة رئيسة، هي نقل السيالات العصبية من أعضاء الحس الأمامية إلى بقية الجهاز العصبي. قاد هذا الميل في النهاية إلى تطور منطقة دماغ محددة ورأس، وهي عملية تدعى **ظهور الرأس Cephalization** إضافة إلى تزايد سيادة وتخصص هذه الأعضاء. يمكن أن ينظر إلى ظهور الرأس وتطوره على أنه نتيجة لتطور التماثل الجانبي الثنائي.

تجويف الجسم يجعل من الممكن تطوّر أجهزة عضوية متقدمة

تنتج معظم الحيوانات ثلاث طبقات جرثومية: خارجية هي **الإكتودرم Ectoderm** وداخلية هي **الإندودرم Endoderm**، وطبقة ثالثة هي **الميزودرم Mesoderm** تقع بين الإكتودرم والإندودرم. بشكل عام، تتطور الأغطية الخارجية للجسم والجهاز العصبي من الإكتودرم؛ وتتطور الأعضاء الهاضمة والأمعاء من الإندودرم؛ ويتطور الهيكل العظمي والعضلات من الميزودرم. في حين أن اللاسعات لها طبقتان فقط: إندودرم وإكتودرم، أمّا الإسفنجيات فليس لها طبقات جرثومية.

التحول (الانتقال) الرئيس الثالث في خطة بناء جسم الحيوان، كان تطور تجويف الجسم، وهو حيز تحيط به الأنسجة الميزودرمية التي تتشكل في أثناء التكوين الجنيني. إن تطور أجهزة عضوية فعالة ضمن جسم الحيوان لم يكن ممكنًا قبل تطور تجويف الجسم لدعم هذه الأعضاء ولتوزيع المواد، واحتضان تفاعلات تطورية معقدة.

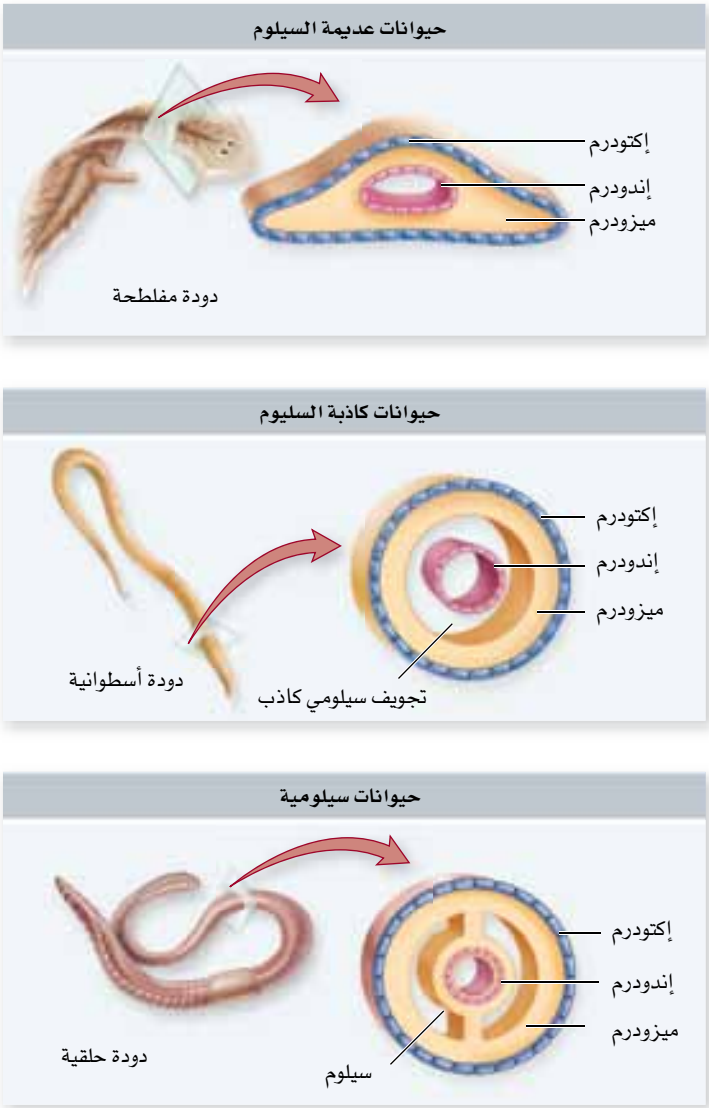
أنواع تجاويف الجسم

تطورت ثلاثة أنواع رئيسة من خطط بناء الجسم مرات عدة في الحيوانات ذات التماثل الجانبي الثنائي (الشكل 32-2). فالحيوانات عديمة تجويف الجسم، **عديمة السيلوم Acoelomates**، ليس لها تجويف جسم؛ لأن الحيز بين الميزودرم والإندودرم مملوء بالخلايا والمواد العضوية. أمّا الحيوانات كاذبة التجويف (**كاذبة السيلوم**) **Pseudocoelomates**، فلها تجويف جسم يدعى **السيلوم الكاذب Pseudocoelom** يقع بين الميزودرم والإندودرم. في حين أن الحيوانات التي لها النوع الثالث من خطة بناء الجسم، تدعى ذات تجويف الجسم (**ذات السيلوم**) **Coelomates**، وهو تجويف في الجسم مملوء بسائل لا يتطور بين الإندودرم والميزودرم، وإنما يتطور كلية ضمن الميزودرم. مثل هذا التجويف في الجسم يدعى **سيلوم Coelom**.

في الحيوانات السيلومية يتعلق القلب مع أجهزة عضوية أخرى داخل السيلوم، الذي يحاط بطبقة من الخلايا الطلائية مشتقة كلية من الميزودرم (انظر الشكل 32-2).

الجهاز الدوري (الدوراني)

يصنع تطور السيلوم مشكلة هي تدوير المواد الغذائية، وإزالة الفضلات أو المواد المسرفة. ففي كاذبة السيلوم حلّت المشكلة بخضّ السوائل داخل تجويف الجسم. أما الحيوانات السيلومية، في المقابل، فقد طورت **جهازًا دوريًا Circulatory**، وهو شبكة من الأوعية الدموية التي تحمل السوائل من أجزاء الجسم وإليها. السوائل الدائرة، أو الدم، تحمل المواد الغذائية والأكسجين إلى الأنسجة، وتزيل الفضلات وثاني أكسيد الكربون.



الشكل 32-2

ثلاث خطط لجسم الحيوانات ذات التماثل الجانبي الثنائي. الحيوانات عديمة السيلوم مثل الدودة المفلطحة، ليس لها تجويف جسم بين القناة الهضمية (الإندودرم) وطبقة العضلات (الميزودرم). أما الحيوانات كاذبة السيلوم فلها تجويف جسم، هو السيلوم الكاذب، بين الإندودرم والميزودرم. في حين أن الحيوانات السيلومية لها تجويف جسم، يدعى السيلوم، يتطور بكامله ضمن الميزودرم، ولهذا فهو مبطن من جانبيه بنسيج الميزودرم.

يدفع الدم عادة خلال الجهاز الدوري بانقباض واحد أو أكثر من القلوب العضلية. ففي الجهاز **الدوري المفتوح Open circulatory system**، يمر الدم من الأوعية إلى جيوب، ويختلط مع سوائل الجسم، ثم يعود للدخول في الأوعية لاحقًا، وفي مكان آخر. أما في **الجهاز الدوري المغلق Close circulatory system** فإن الدم يفصل فيزيائيًّا عن سوائل الجسم الأخرى، ويمكن السيطرة على حركته بشكل منفصل. كذلك، فإن الدم يتحرك خلال الجهاز الدوري المفتوح بسرعة

وبكفاءة أعلى مما هو في حالة الجهاز المفتوح.

منذ سنوات عدة افترض علماء الحيوان أن التطور الحيواني تم بدءًا من عديمة السيلوم البسيطة وفي اتجاه الحيوانات السيلومية ذات خطة الجسم الأكثر تعقيدًا، مرورًا بمرحلة كاذبة السيلوم المتوسطة. ولكن، كما رأيت في (الفصل الـ 21)، فإن التطور نادرًا ما يحدث بشكل خطي ومتجه هكذا، وإنما يبدو أن كلًّا من كاذبة السيلوم والسيلومية تطورت مرات عدة، وأن كثيرًا من الحيوانات المتقدمة الأخرى أصبحت عديمة السيلوم بصورة ثانوية.

الحيوانات ذات التماثل الجانبي الثنائي تظهر نوعين رئيسين من التكوين الجنيني

ستُناقش عملية التطور الجنيني في الحيوانات بشكل تفصيلي في (الفصل الـ 53). والآن وبإيجاز، تبدي الحيوانات ذات التماثل الجانبي الثنائي نمطًا من التكوين الجنيني، يبدأ بانقسامات خلوية متساوية للبيضة تقود إلى تكوين كرة مجوفة من الخلايا تدعى **بلاستيولا (العُصيفة) Blastula**. تتبع البلاستيولا لتشكل كرة سمكها طبقتان خلويتان، وذات فتحة نحو الخارج، تدعى **ثقب البلاستيولا Blastopore**، وإن لها قناة هضمية ابتدائية تدعى **المعي الابتدائي Archenteron**.

أولية الفم حلزونية التفلج

يمكن أن تُقسّم الحيوانات الجانبية الثنائية إلى مجموعتين اعتمادًا على الفروق في النمط الأساسي للتكوين الجنيني. تدعى المجموعة الأولى **أولية الفم Prostostomes**. في هذه المجموعة يتطور الفم قبل الشرج؛ تعني كلمة *Protostomes* «الفم أولًا». تشمل أولية الفم معظم الحيوانات الجانبية الثنائية كالديدان المفلطحة، والديدان الخيطية، والرخويات، والحلقيات، والمفصليات. في حين تضم المجموعة الثانية شعبتين ليستا متشابهتين شكلًا، هما شوكيات الجلد والحبليات، إضافة إلى شعب صغيرة ذات علاقة، وتدعى **ثانوية الفم Deuterostomes**. في هذه المجموعة يتطور الفم بعد الشرج؛ تعني كلمة *Deuterostomes* «الفم ثانيًا». تختلف أولية الفم وثانوية الفم في نواح عدة من تكوينها الجنيني بما في ذلك أنماط التفلج، وكون التكوين الجنيني محددًا أم غير محدد، وفي مصير ثقب البلاستيولا عندما يتقدم التطور الجنيني، وكيف يتشكل السيلوم.

أنماط التفلج

يدعى تقدم انقسام الخلايا في أثناء النمو الجنيني **تفلجًا Cleavage**. يُقرِّر نمط التفلج نسبة إلى المحور القطبي للجنين، كيف تترتب الخلايا وتنتظم. ففي بعض أولية الفم تتبرعم كل خلية جديدة بزاوية مائلة بالنسبة إلى محور الجنين القطبي. نتيجة لذلك، فإن الخلايا الجديدة تُعشش في الحيز الواقع بين الخلايا الأقدم في تنظيم متراص جيدًا. يدعى هذا النمط **التفلج الحلزوني Spiral cleavage**؛ لأن خطًّا وهميًّا مرسومًا خلال تتابع الخلايا المنقسمة، سيدور حلزونيًّا نحو الخارج من المحور القطبي (الشكل 32-3 العلوي). التفلج الحلزوني يميز الحلقيات والرخويات، والديدان النيمرتينية، وشعبًا أخرى ذات علاقة، وتعرف جميعها باسم الحلزونيات (أي ذات التفلج الحلزوني).

في ثانوية الفم، في المقابل، تنقسم الخلايا متوازية، وبزوايا قائمة لمحورها القطبي. نتيجة لذلك، فإن الزوج من الخلايا الناتجة عن كل انقسام تتموضع مباشرة فوق بعضها وتحت بعضها. هذه الطريقة تعطي تنظيمًا من الخلايا غير المتراصة. يدعى هذا النمط **التفلج الشعاعي Radial cleavage**؛ لأن خطًّا وهميًّا مرسومًا خلال تتابع الخلايا المنقسمة يصف نصف قطر خارجًا من المحور القطبي (الشكل 32-3 السفلي).

التكوينان الجنينيان: المحدد وغير المحدد

تُظهر كثير من أولية الفم تكوينًا جنينيًّا **محددًا Determinate**. في هذا النوع من التكوين، يكون نوع النسيج الذي ستكونه كل خلية جنينية في البالغ محددًا سلفًا. قبل أن يبدأ التفلج، تتموضع الجزيئات التي تعمل بوصفها إشارات للتطور الجنيني في مناطق مختلفة من البيضة. نتيجة لذلك، فإن انقسامات الخلية التي تحدث عقب الإخصاب تفصل جزيئات الإشارة المختلفة إلى خلايا ابنة مختلفة. تحدد هذه العملية مصير الخلايا الجنينية المبكرة جدًا كذلك.

من جانب آخر، فإن ثانوية الفم تظهر تكوينًا جنينيًّا **غير محدد Indeterminate development**. الانقسامات الأولى القليلة للبيضة تنتج خلايا بنوية متطابقة. وأي واحدة من هذه الخلايا، إذا ما فصلت عن الأخريات، فإنها قد تتطور إلى مخلوق كامل، أي إن مصير هذه الخلايا غير محدد. فالجزيئات التي تنقل الإشارة إلى الخلايا الجنينية لكي تتطور بشكل مختلف عن بعضها لا تتموضع إلا في مراحل التكوين الجنيني اللاحقة.

مصير ثقب البلاستيولا

في أولية الفم، يتطور فم الحيوان من ثقب البلاستيولا أو بالقرب منه. وإذا كان لمثل هذا الحيوان فتحة شرج أو ثقب شرجي محدد، فإنه يتطور من ثقب البلاستيولا، أو يتشكل لاحقًا من منطقة أخرى من الجنين. وهكذا، فإنه في كثير من أولية الفم كالحلقيات، والديدان الخيطية، وحاملات الأظافر (الديدان المخملية) يتشكل كل من الفم والشرج من ثقب البلاستيولا الجنيني، أما في ثانوية الفم، فإن ثقب البلاستيولا يتطور ليعطي فتحة الشرج للحيوان، والفم يتطور دائمًا من فتحة ثانية تنشأ في البلاستيولا لاحقًا في أثناء التطور الجنيني.

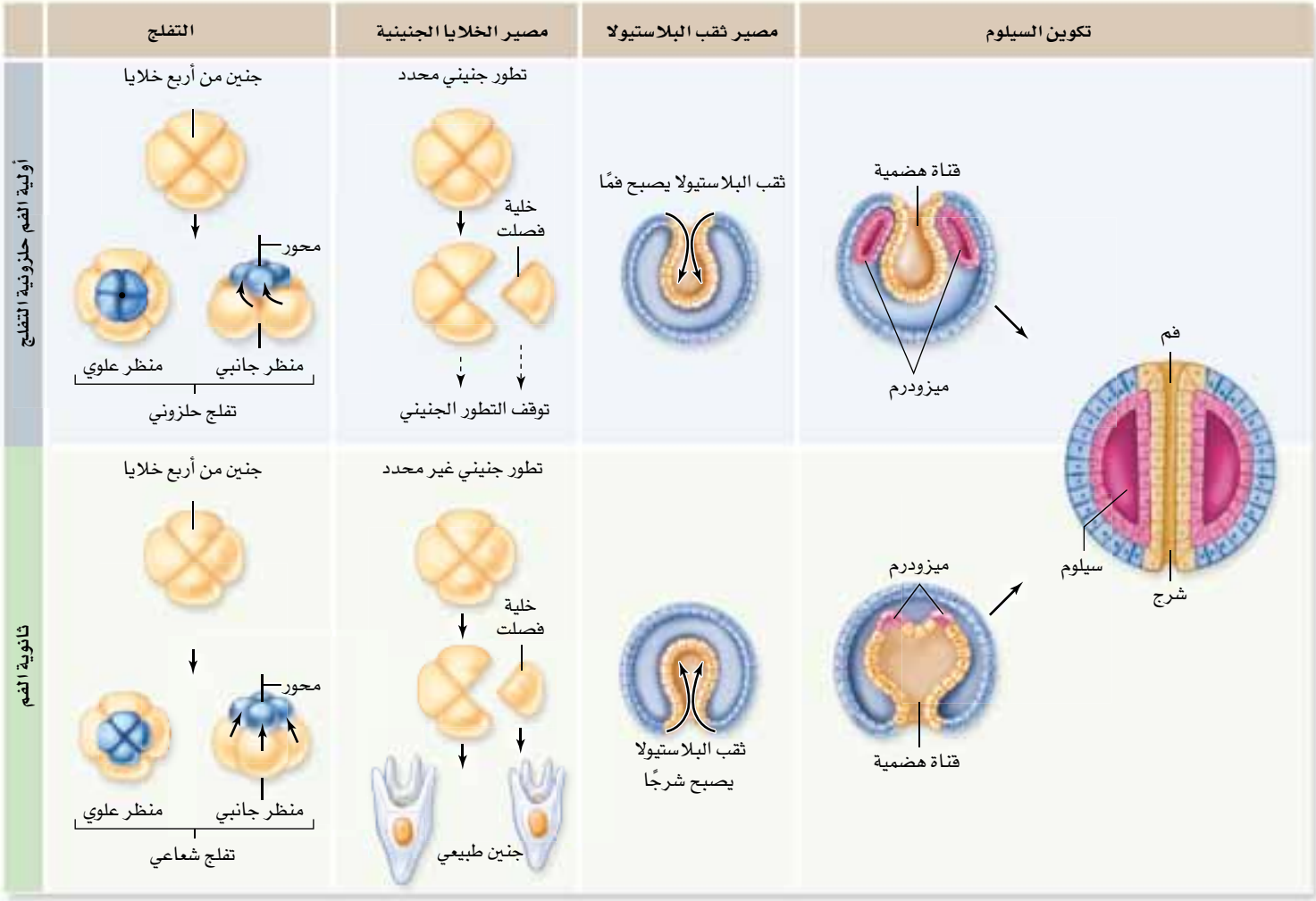
تكوين السيلوم

ينشأ السيلوم من الميزودرم في الحيوانات السيلومية جميعها. ففي أولية الفم، يحدث هذا التطور ببساطة، وبشكل مباشر: فالخلايا تبتعد بسهولة عن بعضها، في حين يتوسع تجويف السيلوم، ويمتد داخل الميزودرم. أما في ثانوية الفم فإن مجموعات كاملة من الخلايا تنتقل عادة لتشكل ارتباطات نسيجية جديدة. والسيلوم ينتج عادة عن انغماد المعي الابتدائي، وهو الأنبوب المركزي ضمن المعدية الذي يدعى أيضًا القناة الهضمية الابتدائية. هذا الأنبوب مبطن بالإندودرم، ويفتح إلى الخارج من خلال ثقب البلاستيولا، ويصبح في النهاية تجويف القناة الهضمية.

تطورت ثانوية الفم من أولية الفم منذ أكثر من 500 مليون سنة. ويشير ثبات التطور الجنيني لثانوية الفم، وتميزه عن ذلك الذي لأولية الفم إلى أنها تطورت مرة واحدة في سلف مشترك لشعب ثانوية الفم جميعها. أما طريقة تطور أولية الفم فهي أكثر تباينًا، ولكن التكوين الجنيني الحلزوني الذي وصفناه سابقًا تطور أيضًا مرة واحدة في سلف مشترك لكل الشعب الحلزونية التفلج.

يسمح التقسيم بتكرار الأجهزة، وبانتقال أكثر فاعلية

أحد التحولات الرئيسة في تطور بناء خطة جسم الحيوان، يتضمن تقسيم الجسم إلى قطع أو حلقات. فالحيوانات المقسمة « جمعت» من تعاقب قطع تبدو متشابهة، ولكن لديها إمكانية التخصص. ففي مراحل التطور الجنيني المبكرة للحيوان، تبدو هذه القطع أكثر وضوحًا في الميزودرم، لكنها تنعكس لاحقًا في الإكتودرم إضافة إلى الإندودرم. هناك فائدتان تنجمان عن التقسيم الجنيني المبكر، هما:



الشكل 32–3

التطور الجنيني في أولية الفم وثانوية الفم. في أولية الفم، حلزونية التفلج تنقسم الخلايا الجنينية في نمط حلزوني، وتبدي تطورًا جنينيًّا محددًا، وثقب البلاستيولا يصبح فم الحيوان، وينشأ السيلوم من انشقاق الميزودرم. أما في ثانوية الفم، فإن الخلايا الجنينية تنقسم شعاعيًّا، وتبدي تطورًا جنينيًّا غير محدد، ويصبح ثقب البلاستيولا شرج الحيوان، والسيلوم ينشأ من انبعاج المعي الابتدائي.

1. في الحلقيات، كما في دودة الأرض، وفي الحيوانات الأخرى المقسمة بشكل كبير، قد تطوّر كل قطعة مجموعة كاملة بدرجة أو بأخرى من الأجهزة العضوية للبالغ. تدعى هذه الأجهزة الأجهزة المكررة، أو الفائضة عن الحاجة. فالأذى الذي قد يحدث لقطعة واحدة لا يكون قاتلًا بالضرورة؛ لأن القطع الأخرى تكرر وظائف تلك القطعة.
2. الانتقال يكون أكثر نجاعة عندما تستطيع القطع المفردة أن تتحرك باستقلال؛ لأن حركة الحيوان تكون مرنة بصورة كبيرة. ولأن الفواصل تعزل كل قطعة لتصبح وحدة هيكلية مفردة. لذا، فإن كل واحدة منها قادرة على الانقباض أو الامتداد ذاتيًّا. ولهذا، فإن الجسم الطويل يستطيع الحركة بطرق تكون غالبًا بالغة التعقيد.

يشكل **التقسيم Segmentation** أساسًا لتنظيم خطط بناء أجسام الحيوانات المتقدمة جميعها. وتلتحم القطع في بعض المفصليات البالغة، ولكن التقسيم واضح عادة في مراحل التطور الجنيني لها. إن العمود الفقري والمناطق العضلية في الفقريات مقسمة على الرغم من وجود تمويه لهذا التقسيم في الشكل البالغ.

وعلى الرغم من أن علماء الحيوان في السابق رأوا أن التقسيم يوجد في ثلاث شعب، هي: الحلقيات، والمفصليات، والحبليات، فإن الجميع يعترف الآن بأن التقسيم أوسع انتشارًا مما كان يعتقد سابقًا. بعض الحيوانات الأخرى، مثل حاملات الأظافر (الديدان المخملية) وبطيئة الخطو (دببة الماء) ومتحركة الخطم (رعاش الوحل) هي أيضًا مقسمة.

تحولات أساسية في تصميم الجسم مسؤولة عن معظم الفروق التي نراها بين الشعب الحيوانية الرئيسة: تطور (1) الأنسجة، (2) التماثل الجانبي الثنائي، (3) تجويف الجسم، (4) التكوين الجنيني الحلزوني وتطور الفم لاحقًا و(5) التقسيم.

3-32 التصنيف التقليدي للحيوانات

تقسم الحيوانات متعددة الخلايا، أو الحيوانات البعدية –تقليديًّا– إلى 36 شعبة متميزة، أو ما يقاربها (لا يتفق علماء الحيوان على حالة بعض شعب الحيوان). يمكن ملاحظة تنوع الحيوانات بوضوح في (الجدول 32-2 على الصفحات 630-631) الذي يصف المميزات الأساسية لعشرين من هذه الشعب الحيوانية.

كيف يمكن فهم هذا التنوع الهائل؟ في محاولاتهم لفهم أي الشعب أكثر قرابة ببعضها، يقوم علماء الحيوان – تقليديًّا – ببناء شجرة النشوء، وذلك بمقارنة السمات التشريحية، وجوانب التكوين الجنيني. وقد تكوّن إجماع واسع في القرن الماضي حول ما يتعلق بالفروع الرئيسة لشجرة الحياة. وفي الثلاثين سنة المنصرمة تجمعت بيانات كثيرة، ما قاد إلى مخططات تصنيف جديدة (سنصفها عما قريب).

وجود الأنسجة والتماثل فصل الحيوانات النظيرة عن الحيوانات البعدية

قسم علماء التصنيف المملكة الحيوانية (تسمى أيضًا الحيوانات البعدية) إلى فرعين رئيسين: **نظيرة الحيوانات Parazoa** (قريبة الحيوانات) – هي حيوانات تفقد على الأعم تماثلًا محددًا، ولا تمتلك أنسجة ولا أعضاء، وتضم غالبًا الإسفنجيات من شعبة المثقبات؛ والحيوانات **البعدية الحقيقية Eumetazoa** (الحيوانات الحقيقية) – وهي حيوانات لها شكل وتماثل محددان، ولها أنسجة منظمة في أعضاء، وأجهزة عضوية.

التماثل والطبقات الجنينية ميّزت الحيوانات ثنائية الطبقات عن الحيوانات ثلاثية الطبقات الجرثومية

تتميز أفرع الحيوانات البعدية الحقيقية في شجرة نشوء الحيوان بنوع التماثل وبطبيعة الطبقات الجنينية التي تتشكل في أثناء التطور الجنيني، والتي تتمايز لاحقًا إلى أنسجة الحيوان البالغ. فالحيوانات ذات التماثل الشعاعي، مثل حاملات الأمشاط واللاسعات (انظر الجدول 32-2)، لها طبقتان من الأنسجة تتشكلان في أثناء التكوين الجنيني (غالبًا تسمى الطبقات الجرثومية). هذه الطبقات هي: إكتودرم خارجي، وإندودرم داخلي، ولهذا فإن هذه الحيوانات تسمى ثنائية الطبقات الجرثومية. تُنتج الحيوانات البعدية الحقيقية الأخرى ذات التماثل الجانبي الثنائي، في إحدى مراحل تكوينها الجنيني، طبقة ثالثة هي الميزودرم بين الإكتودرم والإندودرم؛ أي إنها ثلاثية الطبقات الجرثومية (الشكل 32-2). يعطي الميزودرم، من بين أنسجة أخرى، عضلات الحيوان البالغ. وقد بينت البحوث الحديثة أن حاملات الأمشاط لها أيضًا عضلات حقيقية. ولهذا، يجب أن تُعدّ من ضمن الحيوانات ثلاثية الطبقات.

التقسيمات الإضافية اعتمدت على سمات أساسية أخرى

عرّف علماء التصنيف فروعًا أخرى في شجرة نشوء الحيوان التقليدية، بمقارنة صفات تُعدّ بالغة الأهمية للتاريخ التطوري للشعبة، وهي سمات أساسية لخطة بناء الجسم، تشترك فيها معظم الحيوانات التي تنتمي لذلك الفرع. وهكذا، فقد جرى فصل الحيوانات الثنائية الجانبية إلى مجموعتين رئيستين اعتمادًا على ما إذا أصبح ثقب البلاستيولا فمًا أم شرجًا (أم كليهما معًا) في الحيوان البالغ (انظر الشكل 32-3). هذا الفصل الرئيس قسم الثنائية الجانبية إلى أولية وثانوية الفم على التوالي.

تصنف الحيوانات تقليديًّا إلى 36 شعبة تقريبًا. العلاقات التطورية بين الشعب الحيوانية يمكن اشتقاقها بافتراض قرابة الشعب التي تشترك في صفات شكلية وجزيئية أساسية معينة، والتي يفترض أنها ظهرت مرة واحدة فقط.

4-32 نظرة جديدة على شجرة حياة الحيوانات البعدية

على الرغم من أن شجرة نشوء الحيوان التقليدية مقبولة بإجماع واسع من قبل علماء الأحياء منذ قرن تقريبًا، فإنه يعاد تقييمها الآن. ويحدث تنظيمها البسيط المعتمد على معلومات من واحد أو قليل من الأجهزة العضوية دائمًا مشكلات معينة، فالمجموعات الصغيرة المثيرة للارتباك، مثلا، لا تنسجم بشكل جيد مع الخطة الأساسية المعتمدة.

ذوات الفم الماص تحدّت التصنيف: دراسة حالة

ذوات الفم الماص؛ مجموعة من الحيوانات البحرية، مبهمة وذات تركيب تشريحي غريب، وتتطفل على شوكيات الجلد (الشكل 32-4). وجدت متحجرات ذوات الفم الماص مرتبطة مع شوكيات الجلد منذ العصر الأردوفيسي. ولهذا، فإن العلاقة بين ذوات الفم الماص وشوكيات الجلد قديمة جدًا. إن التاريخ الطويل لارتباطها الإجباري قاد إلى فقد أو تبسيط لكثير من عناصر جسم ذوات الفم الماص، ما تركها دون تجويف جسم (فهي إذًا لاسيلومية) وذات تقسيم غير كامل.

وقد أدى فقد الصفات هذا إلى خلاف واسع بين علماء التصنيف. وعلى الرغم من أن هؤلاء العلماء اختلفوا حول التفاصيل، فإنهم جميعًا يرجعون ذوات الفم الماص بشكل ما إلى الديدان الحلقية، أحيانًا ضمن متعددة الأشواك، وأحيانًا إلى شعبة مستقلة قريبة التحالف مع الحلقيات.

البيانات الجزيئية

لقد تم تحدي وجهة النظر هذه حديثًا. فقد جاءت المقارنات الجديدة المعتمدة على البيانات الجزيئية باستنتاج مختلف تمامًا. لقد فحص الباحثون مكونين من آلية بناء البروتين – جين rRNA في تحت الوحدة الريبوسومية الصغرى وجين عامل الاستطالة، عامل استطالة – 1α. لا تضع شجرة النشوء التي حصلوا عليها اعتمادًا على بيانات التتابع، ذوات الفم الماص مع الحلقيات. وفي الواقع فقد وجد الباحثون أن ذوات الفم الماص، ليست على أي درجة قرابة مع الحلقيات إطلاقًا. بدلًا من ذلك، فإنها أكثر قربًا من الديدان المفلطحة – مخلوقات مثل البلاناريا، والديدان الشريطية.

مضامين إعادة التصنيف الجزيئي

توحي نتائج التحليل الجزيئي لذوات الفم الماص بقوة بأن الصفات الشكلية الأساسية التي يستخدمها علماء الحياة بصورة تقليدية لبناء شجرة نشوء الحيوان – التقسيم والسيلوم والزوائد المفصلية، وغيرها– ليست الصفات المحافظة التي

الشكل 32-4

معضلة تصنيفية. منظر بطني لذات الفم الماص *Myzostoma mortenensi*. ليس لذوات الفم الماص تجويف جسم، والتقسيم بها غير كامل. هذه الحيوانات تشكل تحديًا في علم التصنيف، ما دفع علماء التصنيف لإعادة النظر في شجرة نشوء الحيوان التقليدية.

نفترضها. ففي ذوات الفم الماص، يبدو أن هذه السمات اكتسبت، ثم فقدت ثانية في أثناء تطورها. فإذا ثبت أن هذا النمطَ التطوريَّ غير المحافظ عامٌّ، فإن وجهة نظرنا عن تطور خطة بناء جسم الحيوان، وكيفية ارتباط الشعب الحيوانية مع بعضها سوف تحتاج إلى مراجعة كبيرة وبسرعة.

علم التصنيف التطوري الجزيئي يغير فهمنا لتاريخ نشوء الأنواع الحيوانية

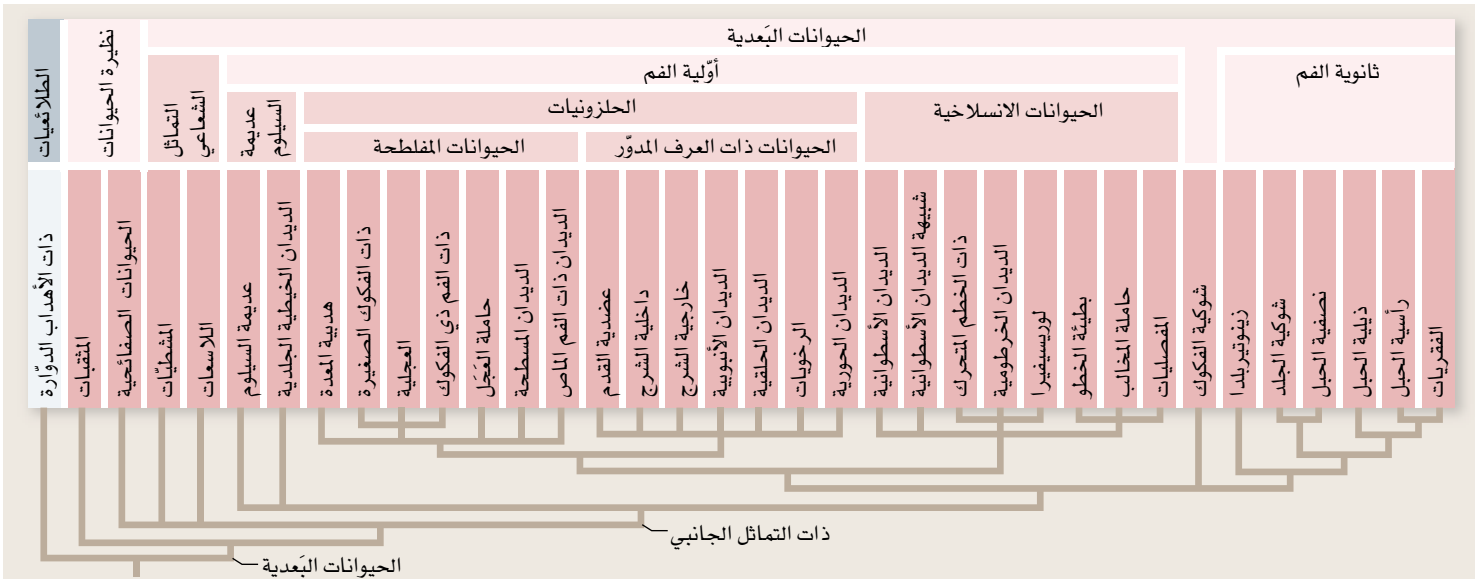
شهد العقد الأخير ثورة من بيانات تتابع جزيء **DNA** الخاصة بمجموعات حيوانية مختلفة. يستخدم حقل علم **التصنيف الجزيئي Molecular systematics** تتابعات مميزة ضمن جينات محددة لتحديد هوية تجمعات من المجموعات المتقاربة. تم التعبير عن هذا باستخدام مصطلح التفرع التطوري، حيث يحدِّد هنا تتابع الصفات المشتقة المشتركة المميزة للمجموعة وأسلافها تجمعات المصنفات ذات الأصل النشوئي الواحد، التي تشكل معًا فرعًا أو سلالة تطورية (انظر الفصل الـ 23). إن شجرة نشوء أنواع الحيوان إذا نظر إليها استنادًا إلى هذه الأسس، فإنها تنظيم تراتبي للفروع، بحيث تتداخل مع فروع أكبر أو تستقرّ عليها.

في العقود الأخيرة، أُنتجت تشكيلة من أشجار نشوء الحيوان. وعلى الرغم من اختلاف إحداها عن الأخرى في بعض النواحي، إلا أن أشجار النشوء الجديدة تشترك في تركيب الأغصان الأعمق مع شجرة حياة الحيوان التقليدية. تتفق معظم أشجار النشوء الجديدة في فرق واحد: فصل الحلقيات والمفصليات إلى أفرع مختلفة. كانت هاتان المجموعتان تعدان متقاربتين بسبب وجود التقسيم. بدلًا من ذلك، فإن المفصليات تُضم الآن مع سلسلة من أولية الفم معظمها كاذبة السيلوم، وتسلخ الجليد (الإهاب) الخاص بها مرة واحدة على الأقل في دورة حياتها. تسمى هذه الحيوانات حيوانات انسلاخية، وتعني الحيوانات التي تنزع جلدها (الفصل الـ 34).

في الوقت الحاضر، لا يزال تحليل النشوء الجزيئي لمملكة الحيوان غير جازم، لكن العمل الذي تم حتى الآن يقدم دعمًا قويًّا لبعض الفروع أو السلالات. بعض علماء الحيوان قلقون؛ لأن أشجار النشوء التي تبنى بشكل مستقل اعتمادًا على جزيئات مختلفة أعطت أحيانًا علاقات تطورية مختلفة تمامًا. لذا، يبدو واضحًا الآن أن الصورة الأفضل ستبرز عندما تجمع وتدمج المعلومات من الجزيئات المختلفة معًا. ويمكن أن نتوقع تراكم غزير من البيانات الجزيئية الإضافية خلال السنوات القليلة القادمة. وعندما نحصل على مزيد من المعلومات، سيحدّ من هذا الارتباك.

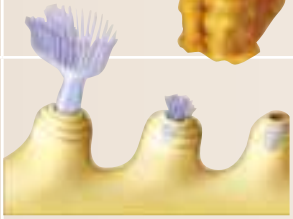
يبين الشكل 32-5 ملخصًا لشجرة حياة الحيوان، طورت من بيانات تتابع DNA، المتحصل عليها منذ عام 2005 بما في ذلك جينات RNA الرايبوسومي والجينات المشفرة للبروتين. في هذه الشجرة، نرى أن مجموعة أولية الفم التقليدية قسمت إلى حيوانات انسلاخية، وحلزونية التفلج. وقسّمت الأخيرة إلى الحيوانات ذات العرف المدور، والحيوانات المفلطحة. إن وجهة النظر الجديدة هذه لشجرة حياة الحيوانات البعدية هي مخطط تقريبي. ولكن من الواضح أن المجموعات الرئيسة مرتبطة بطرق مختلفة بحسب شجرة النشوء الجزيئية، عما هو بحسب شجرة النشوء التقليدية.

لقد غير استخدامنا للبيانات الجزيئية من أجل بناء شجرة نشوء للحيوان بشكل كبير فهمنا للعلاقات بين شعب الحيوانات.



الشكل 32-5

المراجعة المقترحة لشجرة حياة الحيوان. شجرة النشوء هذه تعكس الإجماع الراهن المبني على تفسير البيانات التشريحية والجنينية الجديدة، إضافة إلى النتائج المشتقة من دراسات النشوء الجزيئي. لا يزال غير واضح ما إذا كانت شوكية الفم هي أولية الفم أم ثانوية الفم.

الجدول 32-2	شعب الحيوانات الرئيسة متضمنًا الشعب الثلاث التي اكتشفت حديثًا			
الشعبة	أمثلة نموذجية		الخصائص الأساسية	عدد الأنواع المعروفة التقريبي
المفصليات	الخنافس، حشرات أخرى، السلطعون، العناكب، العقارب، ذات المئة قدم، وذات الألف قدم		الأكثر نجاحًا بين شعب الحيوان؛ هيكل خارجي كيتيني يغطي الجسم المقسم، ذات زوائد مفصلية مزدوجة، كثير من مجموعات الحشرات لها أجنحة.	1,000,000
الرخويات	الحلزون، المحار، الأخطبوط، البزاقة البحرية		حيوانات ذات جسم رخو مقسم إلى ثلاثة أجزاء: رأس وقدم، وكتلة حشوية، وجُبَّة. كثير منها لها أصداف، وكلها تقريبًا لها لسان كالمبرد يدعى الكاشط (راديولا) ؛ 35.000 نوع منها تعيش على اليابسة.	110,000
الحبليات	الثدييات، الأسماك، الزواحف، الطيور، البرمائيات		حيوانات سيلومية مقسمة وذات حبل ظهري؛ لها حبل عصبي ظهري وشقوق بلعومية، وذيل خلف الشرج في مرحلة ما من حياتها. في الفقريات استبدل العمود الشوكي بالحبل الظهري 20.000 نوع منها تعيش على اليابسة.	56,000
الديدان المفلطحة	البلاناريا، الديدان الشريطية، الديدان الكبدية		ديدان مكتنزة، غير مقسمة، ذات تماثل جانبي ثنائي، ليس لها تجويف جسم، الجهاز الهضمي له فتحة واحدة. كثير من أنواعها طفيلية ويمكن أن تفقد التجويف الهضمي.	20,000
الديدان الخيطية (الديدان الأسطوانية)	الإسكارس، الديدان الدبوسية، الديدان الخطافية، فيلاريا		كاذبة السيلوم أو لاسيلومية، غير مقسمة، ذات تماثل جانبي ثنائي؛ قناة هضمية كاملة لها فم وشرج، تعيش بأعداد كبيرة في التربة وفي الرسوبيات المائية، بعضها طفيليات حيوانية مهمة.	25,000
الحلقيات (الديدان المقسمة)	دودة الأرض، متعددة الأشواك، الديدان الأنبوبية، العلق الطبي		ديدان سيلومية مقسمة تسلسليًّا وذات تماثل جانبي ثنائي. قناة هضمية كاملة، معظمها لها أهداب تدعى الأشواك في كل قطعة تثبتها في أثناء الزحف.	16,000
اللاسعات	هلام البحر، الهيدرا، المرجان، شقائق البحر		أجسامها لينة جيلاتينية وذات تماثل شعاعي، لها تجويف هضمي ذو فتحة واحدة، تمتلك مجسات مزودة بخلايا لاسعة تدعى الخلايا اللاسعة تطلق حربونات حادة تدعى الكيس الخيطي. معظم الأنواع بحرية.	10,000
شوكيات الجلد	نجم البحر، قنفذ البحر، دولار الرمل، خيار البحر		حيوانات ثانوية الفم ذات تماثل شعاعي خماسي في البالغ، جسم مكون من خمسة أجزاء ونظام مائي وعائي متميز ولها أقدام أنبوبية. قادرة على تجديد أجزائها المفقودة وهي بحرية. هيكل داخلي من صفائح كلسية.	7,000
المثقبات (الإسفنجيات)	الإسفنج البرمائي، الإسفنج الثاقب، إسفنج السلة، إسفنج المزهرية		حيوانات أجسامها ليست ذات تماثل ودون أنسجة مميزة أو أعضاء. الجسم الذي يشبه الكيس يتألف من طبقتين تخترقه ثقوب عدة، التجويف الداخلي مبطن بخلايا ترشح الغذاء تدعى الخلايا المطوقة. معظمها بحري (150 نوعًا تعيش في الماء العذب).	5,150
الحيوانات الزهرية الحيوانات الطحلبية	*Bowerbankia, Plumatella* سجادة البحر، طحلب البحر		حيوانات مجهرية مائية، وذات سيلوم، وتشكل مستعمرات متفرعة، لها صف من مجسات مهدبة تشبه حرف U، تستخدم للتغذية وتدعى حامل العرف (لوفوفور)، وهي تبرز عادة خلال ثقوب في الهيكل الخارجي الصلب. تدعى أيضًا خارجية الشرج؛ لأن الشرج يقع خارج حامل العرف؛ بحرية أو تعيش في الماء العذب.	4,500

الجدول 32-2	شعب الحيوانات الرئيسة متضمنًا الشعب الثلاث التي اكتشفت حديثًا (يتبع)			
الشعبة	أمثلة نموذجية		الخصائص الأساسية	عدد الأنواع المعروفة التقريبي
العجليات (الحيوانات العجلية)	العجليات		حيوانات صغيرة بحرية، كاذبة السيلوم، ولها تاج من الأهداب حول الفم يشبه العجل ومجموعة من الفكوك المعقدة. كثير منها يعيش في الماء العذب.	2,000
شوكية الفم (الديدان السهمية)	*Sagitta*		حيوانات سيلومية ذات ولاء غير معروف، ليس واضحًا ما إذا كانت أولية الفم أم ثانوية الفم. ذات تماثل جانبي ثنائي. ذات عيون واسعة (بعضها) وفكوك قوية. ديدان بحرية ذات حبل عصبي ظهري وآخر بطني.	100
نصفية الحبل (الديدان البلوطية)	*Ptychodera*		حيوانات ذات سيلوم، بحرية، ثانوية الفم وذات فتحات خيشومية، لكن ليس لها حبل ظهري. حرة المعيشة أو تشكل مستعمرات.	85
حاملات الأظافر (الديدان المخملية)	*Peripatus*		أولية فم مقسمة، ذات هيكل كايتيني لين وزوائد قابلة للبروز. كل الأنواع تعيش على اليابسة على الرغم من أن أسلافها الكمبرية كانت بحرية.	110
نيمرتيا (الديدان الشريطية)	*Lineus*		أولية الفم سيلومية، ديدان ذات تماثل جانبي ثنائي ذات خرطوم طويل قابل للامتداد. معظم الأنواع بحرية لكن القليل منها يعيش في المياه العذبة وعدد أقل يعيش على اليابسة.	900
عضدية الأقدام (الأصداف المصباحية)	*Lingula*		تشبه الحيوانات الزهرية، لها حامل العرف، ولكنها تكون داخل صدفة ذات مصراعين كما المحار؛ أكثر من 30,000 نوع معروفة بوصفها متحجرات.	300
حاملة الأمشاط (جوز البحر)	الهلام المشطي، جوز البحر		حيوانات بحرية جيلاتينية شفافة وغالبًا مضيئة، لها ثمانية أشرطة من الأهداب. أكبر الحيوانات التي تستخدم الأهداب للانتقال؛ لها قناة هضمية كاملة وفتحة شرج.	100
تاجية الأسواط (لوريسفيرا)	*Nanaloricus mysticus*		حيوانات بحرية صغيرة ذات تماثل جانبي ثنائي، كاذبة السيلوم، وتعيش في الفراغات بين حبيبات الرمل. الفم يقع عند مقدمة أنبوب مرن متميز، اكتشفت عام 1983.	10
سايكليفورا	*Symbion*		حيوانات بعدية مجهرية تعيش في أجزاء فم جراد البحر، اكتشفت عام 1995.	3
ذات الفكوك الصغيرة	*Limnognathia*		حيوانات مجهرية ذات فكوك معقدة، اكتشفت عام 2000 في جرينلند.	1

5-32 علم أحياء التكوين الجنيني التطوري وجذور شجرة حياة الحيوانات

بعض من أكثر مساهمات علم التصنيف التطوري الجزيئي المثيرة جعلنا نفهم أساس شجرة عائلة الحيوانات – أصل، وفروع، وسلالات الحيوانات الرئيسة.

الحيوانات البعدية يبدو أنها تطورت من طلائعيات مكونة للمستعمرات

يتفق معظم علماء التصنيف على أن المملكة الحيوانية وحيدة الأصل النشوئي، بمعنى أن نظيرة الحيوانات والحيوانات البعدية الحقيقية لها سلف مشترك. هذا السلف يفترض أنه طلائعي (انظر الفصل الـ 29)، ولكن لا يبدو واضحًا من أي خط من الطلائعيات تطورت الحيوانات. توجد حاليًا ثلاث فرضيات بارزة لتفسير أصل الحيوانات البعدية من الطلائعيات وحيدة الخلية، هي:

- **فرضية متعددة الأنوية Multinucleate hypothesis** تقترح أن الحيوانات البعدية نشأت من طلائعي متعدد الأنوية شبيه بالهدبيات الحديثة. وقد أصبحت الخلايا مقسمة إلى حجرات لتعطي حالة تعدد الخلايا.
- **فرضية السوطيات المكونة للمستعمرات Colonial flagellate hypothesis** اقترحها أولًا هَيكِل عام 1874 وتنص على أن الحيوانات البعدية تحدرت من طلائعيات مكونة للمستعمرات، وهي تتكون من مستعمرات من الخلايا ذات الأسواط التي تشكل كرة مجوفة. بعض خلايا الإسفنجيات تشبه بشكل مدهش تلك الطلائعيات ذات الأسواط.
- **فرضية المنشأ متعدد الأصول Polyphyletic origin hypothesis** تفترض أن الإسفنجيات تطورت بصورة مستقلة عن الحيوانات البعدية الحقيقية.

وقد حسم علم التصنيف التطوري الجزيئي المعتمد على تتابع RNA الرايبوسومي هذا الجدل لمصلحة فرضية السوطيات المكونة للمستعمرات. فالدليل الجزيئي استثنى فرضية الهدبيات متعددة الأنوية؛ لأن الحيوانات البعدية أقرب من ناحية جزيئية إلى الطحالب حقيقة النوى منها إلى الهدبيات. واستبعدت فرضية المنشأ متعدد الأصول؛ لأن الحيوانات البعدية وجد أنها تمثل مجموعة وحيدة الأصل النشوئي.

التحليل الجزيئي قد يفسر الانفجار الكمبري

تم التعامل مع موضوع كان مثيرًا للجدل حول النشوء الحيواني بنجاح عن طريق علم التصنيف الجزيئي. فدراسة سجل الأحافير (الأحافير) تكشف أن التنوع الحيواني الهائل تطور بسرعة كبيرة على المقاييس الجيولوجية حول بداية العصر الكمبري، وهو حدث يدعى **الانفجار الكمبري Cambrian explosion** فكل خطط بناء الحيوانات الرئيسة يمكن رؤيتها تقريبًا في صخور العصر الكمبري التي يرجع تاريخها إلى 543 – 525 مليون سنة.

ففي صخور من العصر الإدياكاري التي تعود إلى 565 مليون سنة، وجدت أحافير للاسعات، مع ما يبدو أنه أحافير للرخويات، وجحور للديدان. وهذا يوحي بأن الأنواع المبكرة لشجرة عائلة الحيوان ظهرت قبل العصر الكمبري.

وفي نصف بليون سنة منذ بداية العصر الكمبري المبكر لم تظهر ابتكارات جديدة مهمة في خطط أجسام الحيوانات، وقد حدث جدل كبير في أوساط علماء الأحياء حول سبب هذا الانفجار الكبير في التنوع الحيواني (الشكل 32-6). يجادل كثيرون بأن هذا الظهور لخطط أجسام الحيوانات كان نتيجة لبروز أنماط الحياة

الشكل 32-6

تنوع الحيوانات التي تطورت في أثناء العصر الكمبري. شهد العصر الكمبري تنوعًا مذهلًا لخطط الجسم، وكثير منها أعطى الحيوانات الحية التي نشهدها اليوم. بعض هذه المخلوقات الغريبة، هي: (1) *Odontogriphus* (2) *Amiskwia* (3) *Eldonia* (4) *Halichondrites* (5) *Anomalocaris* (6) *Pikaia* (7) *Wiwaxia* (8) *Marrella* (9) *Opabinia* (10) *Ottoia* (11) *Sidneyia* (12) *Yohoia* (13) *Xianguangia* (14) *Aysheaia* (15) *Hallucingenia* (16) *Dinomischus* (17). والتاريخ الطبيعي لهذه الأنواع مفتوح لكل التكهنات.

الطفيلية، ما شجع على حدوث سباق تسلح بين الدفاع، كالدروع، وابتكارات حسنت القدرة على الحركة والنجاح في الصيد. عزا آخرون التنوع السريع في خطط أجسام الحيوانات لعوامل جيولوجية، كتراكم الأكسجين المذاب والمعادن في المحيطات.

يظهر الاحتمال الثالث من الدراسات الجزيئية التي يجريها علماء الأحياء في حقل علم أحياء التكوين الجنيني التطوري. فكثير من الاختلاف في خطط أجسام الحيوانات مرتبط بالتغيرات في موقع التعبير عن جينات *Hox* وزمنه ضمن أجنة الحيوانات قيد التطور (انظر الفصول الـ 19 و25). باختصار، تحدد جينات *Hox* التي تدعى أيضًا جينات الصندوق الذاتي *Homeobox* هوية أجزاء الجسم المتطورة جنينيًّا، كالأرجل، والصدر، وقرون الاستشعار، وغير ذلك. ربما يعكس الانفجار الكمبري تطور معقد جينات *Hox* المسؤولة عن التكوين الجنيني، ما يزودنا بأداة يمكن أن تنتج تغيرات سريعة في خطط أجسام الحيوان.

المملكة الحيوانية وحيدة الأصل، ويحتمل أنها نشأت من طلائعيات سوطية مكونة للمستعمرات. التنوع الهائل لخطط أجسام الحيوانات ظهر سريعًا، وأصبح واضحًا في أثناء العصر الكمبري، ربما نتيجة لتطور مجموعة جينات *Hox*.

32-1 بعض الخصائص العامة للحيوانات

الحيوانات مجموعة شديدة التباين، وتتشاطر في صفات رئيسة مهمة.

- الحيوانات مختلفة التغذية تعتمد على مخلوقات أخرى من أجل الحصول على الجزيئات العضوية.
- الحيوانات جميعها متعددة الخلايا، وخلاياها ليس لها جدر خلوية.
- باستثناء الإسفنجيات، الحيوانات لها وحدات تركيبية ووظيفية تدعى الأنسجة.
- معظم الحيوانات قادرة على الحركة السريعة بسبب مرونتها، وبسبب تطور الأنسجة العصبية والعضلية.
- تتكاثر معظم الحيوانات جنسيًّا، والمخلوق الحي هنا هو طور ثنائي الكروموسومات متعدد الخلايا، والجاميتات هي الوحيدة التي فيها العدد المفرد من الكروموسومات.
- تقسم الحيوانات إلى لافقريات ليس لها عمود فقري، وفقريات لها عمود فقري.
- توجد الحيوانات في بيئات متباينة.

32-2 تطور خطة بناء جسم الحيوان

باستثناء نظيرة الحيوانات، فإن الحيوانات البعدية الحقيقية لديها أنسجة تنجز وظائف متخصصة. هناك خمسة تحولات في تطور خطط أجسام الحيوان.

- معظم الإسفنجيات ليس لها تماثل، ولكن الأفراد الأخرى للحيوانات البعدية الحقيقية متماثلة إما جانبيًّا أو شعاعيًّا في وقت ما من مراحل حياتها (الشكل 32-1).
  - أجزاء جسم الحيوانات ذات التماثل الشعاعي مرتبة حول محور مركزي، وأي مستوى يمر خلال المحور المركزي، سيقسم الحيوان إلى أنصاف كل منها هو صورة مرآة للآخر.
  - الحيوانات ذات التماثل الجانبي الثنائي لها تصميم جسم، فيه الجانبان الأيمن والأيسر صورتا مرآة لبعضهما. المستوى الوحيد للانقسام يمكن أن يمر فقط خلال المستوى السهمي.
  - تظهر المخلوقات ذات التماثل الجانبي الثنائي الرأس، وهي قادرة على الحركة بصورة أكبر.
- يجعل تجويف الجسم تطور أجهزة عضوية متقدمة أمرًا ممكنًا.
  - تطورت ثلاث خطط جسم أساسية مرات عدة في الحيوانات ذات التماثل الجانبي الثنائي. هذه تضم اللاسيلوميات، وكاذبة السيلوم، والسيلوميات (الشكل 32-2).
  - أحدث تطور السيلوم مشكلة في دوران المواد الغذائية، وفي التخلص من الفضلات. الحيوانات السيلومية طورت جهازًا دوريًّا ليساعد على حل هذه المشكلات.
- يمر الدم في الأجهزة الدورية المفتوحة من الأوعية إلى جيوب، حيث يختلط مع سوائل الجسم قبل عودته إلى الأوعية.
- يتحرك الدم لدى الحيوانات ذات الأجهزة الدورية المغلقة بشكل مستمر خلال أوعية مفصولة عن سوائل الجسم.
  - تُنتج معظم الحيوانات ثلاث طبقات جرثومية باستثناء الإسفنجيات.
- تتطور طبقة الإكتودرم الخارجية إلى أغطية الجسم والجهاز العصبي.
- تتطور طبقة الإندودرم الداخلية إلى الأعضاء الهضمية والأمعاء.
- تتطور طبقة الميزودرم الوسطى إلى هيكل عظمي وعضلات.
  - تنشأ تجاويف الجسم من الميزودرم، وتطورها الجنيني يختلف في ذات التماثل الجانبي الثنائي.
- يتكون السيلوم في أولية الفم من فراغات تنشأ من هجرة خلايا الميزودرم إلى أماكن متعاكسة.
- يتكون السيلوم في ثانوية الفم عادة من انبعاج للمعي الابتدائي أو القناة الهضمية الابتدائية للخارج.
- تُبدي ثنائية التماثل الجانبي نوعين من التكوين الجنيني اعتمادًا على ما إذا تكوّن الفم أو الشرج أولًا (الشكل 32-3).
  - تُطور أولية الفم الفم أولًا، وهي تتطور من ثقب البلاستيولا أو قربه.
  - تُطور ثانوية الفم الشرج أولًا من ثقب البلاستيولا.
- التفلج أو الانقسام المتعاقب للخلايا في أثناء النمو الجنيني يختلف ضمن ثنائية التماثل الجانبي.
  - تبدي أولية الفم تفلجًا حلزونيًّا وتطورًا جنينيًّا محددًا.
  - تبدي ثانوية الفم تفلجًا شعاعيًّا وتطورًا جنينيًّا غير محدد.
- التقسيم هو التقائي بشكل كبير، وقد ظهر على الأقل ثلاث مرات في تطور المملكة الحيوانية.
  - يسمح التقسيم بظهور أجهزة عضوية مكررة في الحيوان البالغ، كما يحدث في الحلقيات.
  - يسمح التقسيم بتطور حركة مرنة وأكثر فاعلية؛ لأن كل قطعة يمكن أن تتحرك بصورة مستقلة.

32-3 التصنيف التقليدي للحيوانات

صنفت الحيوانات بشكل تقليدي إلى 36 شعبة.

- كان هذا التصنيف التقليدي مبنيًّا على الصفات الشكلية، وصفات التكوين الجنيني المشتركة.
- يفرق التماثل والأنسجة الجنينية بين ثنائية الطبقات وثلاثية الطبقات الجرثومية.

32-4 نظرة جديدة على شجرة حياة الحيوانات البعدية (الشكل 32-5)

على الرغم من قبول شجرة نشوء الحيوان التقليدية من قبل كثير من العلماء، فإنها يجري إعادة تقييمها باستخدام البيانات الجزيئية.

- نتج عن البيانات الجزيئية فصل الحلقيات والمفصليات في فروع وسلالات مختلفة. فالمفصليات يجري الآن تجميعها مع أوليات فم كاذبة السيلوم.
- قسمت أولية الفم التقليدية إلى الحيوانات الانسلاخية، والحيوانات ذات العرف المدور، وقسمت الأخيرة إلى حلزونية التفلج وحيوانات مفلطحة.

32-5 علم أحياء التكوين الجنيني التطوري وجذور شجرة حياة الحيوانات

ساعد علم الأحياء الجزيئي العلماء على فهم منشأ فروع الحيوان الرئيسة وسلالاته.

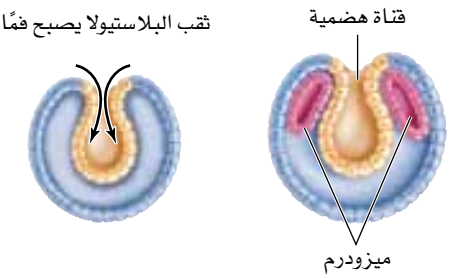
- يدعم علم التصنيف التطوري المعتمد على تحليل RNA الرايبوسومي فرضية أن الحيوانات البعدية الحقيقية هي وحيدة الأصل، وأنها نشأت من سوطيات مكونة للمستعمرات.
- يدعم التحليل الجزيئي التنوع السريع في أثناء العصر الكمبري، ربما بسبب تطور حصل في جينات *Hox*.

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. واحدة من الصفات الآتية يتميز بها أفراد المملكة الحيوانية جميعها:
   أ. التكاثر الجنسي. ب. تعدد الخلايا.
   جـ. فقدان الجدار الخلوي. د. مختلفة التغذية.
2. الحيوانات متميزة في حقيقة أنها تمتلك _____ للحركة و _____ لنقل الإشارات بين الخلايا
   أ. أدمغة، عضلات. ب. نسيجًا عضليًّا، نسيجًا عصبيًّا.
   جـ. أطرافًا، حبلًا شوكيًّا. د. أسواطًا، أعصابًا.
3. تتكون الجاميتات في التكاثر الجنسي في الحيوانات عن طريق:
   أ. الانقسام الاختزالي. ب. الانقسام المتساوي.
   جـ. الاتحاد. د. الانشطار الثنائي.
4. تطور التماثل الجانبي الثنائي كان مادة أولية ضرورية لتطور:
   أ. الأنسجة. ب. التقسيم.
   جـ. تجويف الجسم. د. ظهور الرأس.
5. وجود تجويف مملوء بالسائل يتطور تمامًا ضمن الميزودرم هو ميزة للحيوانات:
   أ. السيلومية. ب. كاذبة السيلوم.
   جـ. عديمة السيلوم. د. كل ما ذكر.
6. الشكل التخطيطي أدناه هو مرحلة ثقب البلاستيولا في التكوين الجنيني. اعتمادًا على المعلومات في هذا الشكل، فإن الجملة الصحيحة هي:
   أ. هو شكل تخطيطي لأولية الفم.
   ب. تشكل عن طريق التفلج الشعاعي.
   جـ. يبدي تطورًا محددًا.
   د. كل ما ذكر.
7. واحدة من الجمل الآتية غير صحيحة فيما يتعلق بالتقسيم هي:



   أ. التقسيم يسمح بتطور أجهزة مكررة.
   ب. التقسيم متطلب لظهور جهاز دوري مفتوح.
   جـ. التقسيم يحسن الانتقال.
   د. التقسيم يشكل مثالًا للتطور الالتقائي.
8. واحدة من الصفات الآتية تستخدم للتفريق بين نظيرة الحيوانات والحيوانات البعدية الحقيقية:
   أ. وجود سيلوم حقيقي. ب. التقسيم.
   جـ. ظهور الرأس. د. الأنسجة.
9. واحدٌ مما يأتي يغير تنظيم المملكة الحيوانية فيما يتعلق بالتصنيف:
   أ. علم التصنيف الجزيئي. ب. أصل الأنسجة.
   جـ. أنماط التقسيم. د. تطور الصفات الشكلية.
10. الميزة الآتية لا تنطبق على نوع ما في الحيوانات الانسلاخية:
   أ. تماثل ثنائي جانبي.
   ب. ثانوية الفم.
   جـ. ينسلخ جُليدها مرة واحدة على الأقل في دورة الحياة.
   د. حيوانات بعدية.
11. آخر شعبة أضيفت حديثًا للمملكة الحيوانية هي:
   أ. الحيوانات الزهرية. ب. الحلقيات.
   جـ. الحيوانات صغيرة الفكوك. د. لوريسيفرا.
12. واحدة مما يأتي تحتوي على أعظم عدد من الأنواع المعروفة:
   أ. الحبليات. ب. المفصليات.
   جـ. المثقبات. د. الرخويات.
13. الفرضية التي تقترح أن الحيوانات البعدية تطورت من مخلوقات شبيهة بالهدبيات الحديثة هي فرضية:
   أ. المنشأ متعدد الأصول.
   ب. متعددة الأنوية.
   جـ. السوطيات المشكلة للمستعمرات.
   د. لا شيء مما ذكر.
14. الذي تطور بعد الانفجار الكمبري هو:
   أ. ظهور الرأس. ب. السيلوم الحقيقي.
   جـ. التقسيم. د. لا شيء مما ذكر.
15. الصفة التي قد تكون موجودة لدى المخلوق السيلومي هي:
   أ. جهاز دوري.
   ب. هيكل داخلي.
   جـ. حجم أكبر من مخلوق كاذب السيلوم.
   د. كل ما ذكر.

أسئلة تحدٍّ

1. يمثل تطور الديدان وسيلة رائعة لفهم تطور تجويف الجسم. باستخدام شعب الديدان الآتية فقط: (الديدان الخيطية، والحلقيات، والديدان المسطحة، ونيميرتا، ونصفيات الحبل)، ابن شجرة نشوء تعتمد فقط على شكل تجويف الجسم (ارجع إلى الشكل 32-2 والجدول 32-2 للمساعدة). ما العلاقة بين هذا والمادة الموجودة في الشكل 32-5؟ هل يمكن استخدام تجويف الجسم صفةً وحيدة لتصنيف الديدان؟
2. يجد معظم الطلبة صعوبة في تصديق أن شوكيات الجلد والحبليات هما شعبتان ذواتا قرابة حميمة. وما لم يكن الأمر معتمدًا على طريقة تكوين تجويف الجسم، فأين يمكن أن تضع شوكيات الجلد في المملكة الحيوانية؟ دافع عن إجابتك.
3. في غابة مطرية، وجد نوع جديد يعيش على اليابسة، وله تكوين جنيني محدد، وينسلخ في أثناء دورة حياته، ولديه زوائد مفصلية. إلى أي شعبة حيوانية تضمه؟

هل أنت في حاجة إلى مراجعة إضافية؟ زر الموقع www.ravenbiology.com. لتتدرب على الاختبارات القصيرة، والرسوم المتحركة، والتسجيلات التلفزيونية، وأنشطة مخصصة؛ لمساعدتك على فهم المادة الموجودة في هذا الفصل.

الفصل 33

اللافقاريات اللاسيلومية

Noncoelomate Invertebrates

سوجز المفاهيم

33-1 ثورة في نشوء اللافقاريات

- *تتفق شجرة النشوء التقليدية والجديدة في المجموعات الرئيسة.*
- *تركز شجرة النشوء التقليدية على حالة السيلوم.*
- *تميز شجرة النشوء الجديدة لأوليات الفم بين حلزونية التفلج والحيوانات الانسلاخية.*

33-2 نظيرة الحيوانات: حيوانات تفتقر إلى أنسجة متخصصة

- *الإسفنجيات، شعبة المثقبات، لها تنظيم جسم فضفاض.*
- *جسم الإسفنج مكون من أنواع عدة من الخلايا.*
- *تدوّر الخلايا المطوقة الماء خلال جسم الإسفنج.*
- *يستطيع الإسفنج أن يتكاثر جنسيًّا ولاجنسيًّا.*

33-3 الحيوانات البعدية الحقيقية: حيوانات ذات أنسجة حقيقية

- *تبدي اللاسعات، قبيلة اللاسعات، هضمًا خارج الخلايا داخل الجسم.*
- *تصنّف اللاسعات في أربع طوائف.*

مقدّمة

نبدأ استكشافنا للتنوع الهائل في الحيوانات بالأفراد الأبسط في المملكة الحيوانية؛ الإسفنج، وهلام البحر، والديدان البسيطة. تفتقر هذه الحيوانات إلى تجويف الجسم (السيلوم)، ولهذا فهي تدعى لاسيلومية. تطور التنظيم الرئيس لجسم الحيوان أولًا في هذه الحيوانات، حيث خطة الجسم الأساسية التي اعتمد عليها تطور كل الحيوانات الأخرى. وعلى الرغم من أن علماء التصنيف اعتبروا تقليديًّا أن الحيوانات اللاسيلومية شديدة القرابة ببعضها، فإننا ندرك الآن أن الأمر ليس كذلك، كما ناقشنا في الفصل السابق. في (الفصل الـ 34) سنهتم بأمر الحيوانات اللافقارية التي لديها سيلوم، وبالحيوانات الفقرية في الفصل الـ 35. وسوف ترى أن الحيوانات جميعها، على الرغم من تنوعها الهائل، لديها الكثير من الصفات المشتركة.

- *يستخدم هلام البحر المشطي، قبيلة حاملات الأمشاط، الأهداب للحركة.*

33-4 اللاسيلوميات ثنائية التماثل الجانبي

- *الديدان المسطحة، قبيلة الديدان المسطحة، لها جهاز هضمي غير كامل، أو معدوم تمامًا.*
- *تصنف الديدان المسطحة تقليديًّا في أربع طوائف رئيسة.*
- *الديدان المسطحة عديمة السيلوم تبدو متميزة عن بقية الديدان المسطحة: دراسة حالة.*
- *الديدان الشريطية، قبيلة الديدان الحورية، ليست شديدة القرابة مع اللاسيلوميات الأخرى.*
- *قبيلة حاملة العرف هي قبيلة جديدة نسبيًّا.*

33-5 كاذبة السيلوم

- *الديدان الأسطوانية، قبيلة الديدان الخيطية حيوانات انسلاخية تضم كثيرًا من الأنواع.*
- *العجليات، قبيلة العجليات، تتحرك عن طريق أهداب سريعة الإيقاع.*

1-33 ثورة في نشوء اللافقاريات

يختلف علماء الأحياء قليلًا حول تصنيف الحيوانات. فالدودة الحلقية مثلًا ستصنف في شعبة الديدان الحلقية من قبل أي عالم تصنيف متمرس. ومع ذلك، فإن جدلًا كبيرًا يدور عندما يتعلق الأمر بعلاقة شعبة حيوانية بأخرى. واعتمادًا على الخصائص التي تستخدم لمقارنة الشعب، فإن علماء الأحياء المختلفين يرسمون أشجار نسب مختلفة تمامًا.

تتفق شجرة النشوء التقليدية والجديدة في المجموعات الرئيسة

منذ سنوات عدة، اعتمد علماء الأحياء في إعادة بنائهم لشجرة حياة الحيوان على جوانب أساسية من هندسة الجسم، فهم يجمعون معًا تلك الشعب التي تتشاطر صفات أساسية من خطة الجسم. وللجزء الأكبر من القرن المنصرم، اتفق العلماء على الجوانب الأساسية لتلك الشجرة، إذ بنوا شجرة النشوء بشكل أساسي على مقارنة التشريح والتكوين الجنيني.

وكما تعلمت في الفصل الـ 32، فإن بناءً جديدًا لنشوء أنواع الحيوان، اقترح في العقد الأخير من قبل العلماء الذين يستخدمون المقارنة الجزيئية إضافة إلى المقارنة التشريحية، مركزين بشكل خاص على تعاقب RNA الرايبوسومي، وعلى سلسلة من الجينات المشفرة للبروتينات.

وكما فعلت شجرة النشوء التقليدية المعتمدة على الصفات الشكلية والتشريحية فقط، فإن أشجار النشوء الحديثة المعتمدة على المعلومات الجزيئية وضعت **الإسفنجات Porifera**، وهي واحدة من الحيوانات القلائل التي ليس لها أنسجة، في مجموعة شقيقة لكل الحيوانات الأخرى ذات الأنسجة، أو التي تسمى الحيوانات البعدية الحقيقية. ومن بين البعدية الحقيقية، وجدت كلتا المقاربتين أن اللاسعات (الهيدرا، وهلام البحر، والمرجان)، وحاملات الأمشاط (الهلام المشطي) تتفرعان مبكرًا قبل نشوء الحيوانات ذات التماثل الجانبي الثنائي. صنفت ثنائية التماثل الجانبي من الحيوانات البعدية إلى واحدة من مجموعتين من الحيوانات التي تختلف في تكوينها الجنيني، هما: أولية الفم وثانوية الفم. اختلفت شجرة النشوء الجزيئية الجديدة فيما بعد بشكل جذري عن الشجرة التقليدية في كيفية بناء فرع أولية الفم من شجرة عائلة الحيوان.

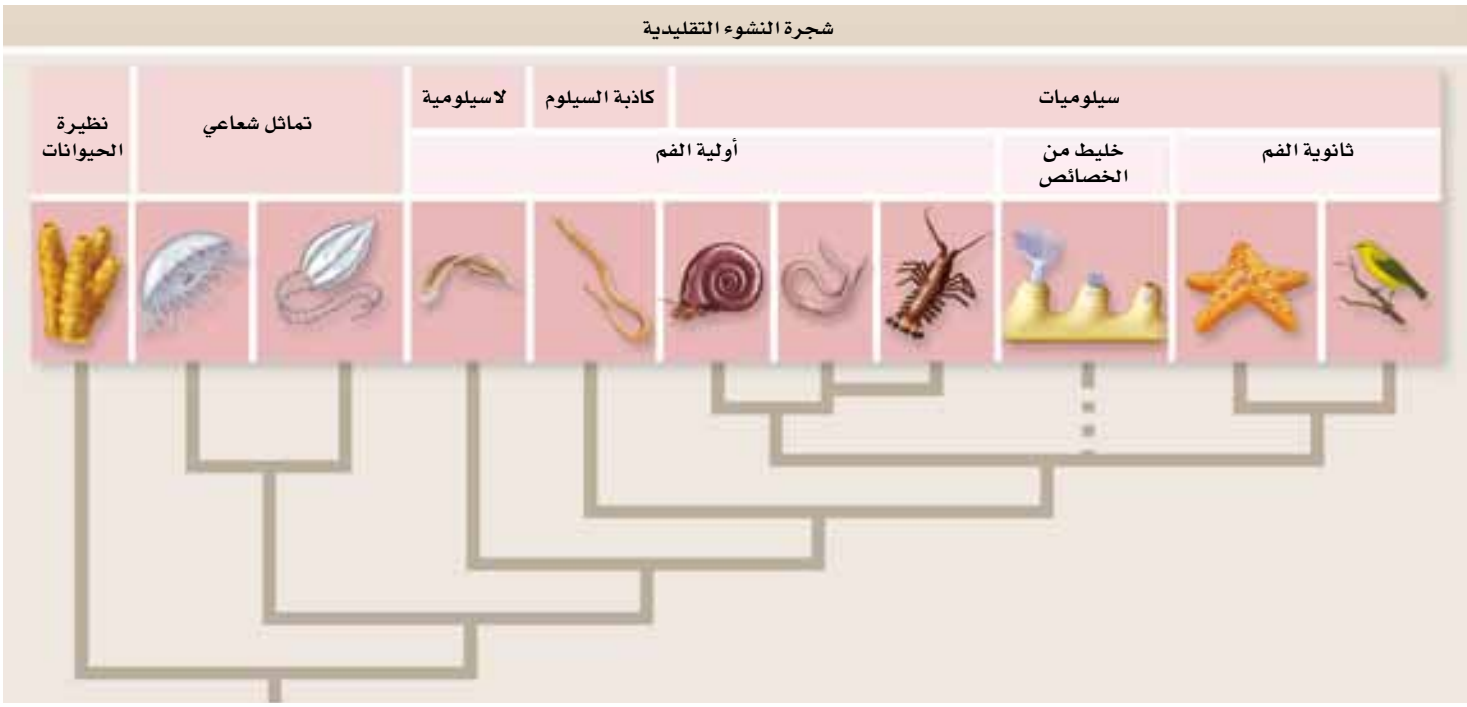
تركز شجرة النشوء التقليدية على حالة السيلوم

كما لاحظنا في الفصل الـ 32، تقسِّم شجرة عائلة الحيوان التقليدية الحيوانات ذات التماثل الجانبي الثنائي إلى ثلاثة أصناف كبيرة اعتمادًا على طبيعة تجويف الجسم، هي:

1. اللاسيلومية (مثل شعبة الديدان المفلطحة)، التي ليس لديها تجويف الجسم.
2. كاذبة السيلوم (مثل شعبة الديدان الخيطية)، لها سيلوم كاذب – تجويف جسم يفصل الميزودرم عن الإندودرم.
3. السيلوميات (مثل شعبة الحلقيات) لها تجويف جسم سيلومي موجود بكامله داخل الميزودرم (الشكل 33-1). السيلوميات يمكن أن تكون أولية الفم أو ثانوية الفم، أما عديمة السيلوم وكاذبة السيلوم فهما أولية الفم دائمًا.

تميز شجرة النشوء الجديدة لأوليات الفم بين حلزونية التفلج والحيوانات الانسلاخية

تقترح أشجار النشوء المعتمدة على التحليل المشترك للصفات الشكلية، ولتتابعات RNA الرايبوسومي، وجينات أخرى أصولًا مختلفة لشعب الحيوانات أولية الفم.



الشكل 33-1

شجرة النشوء التقليدية لأولية الفم. يقسِّم بعض علماء الأحياء الحيوانات ثنائية التماثل الجانبي بصورة تقليدية إلى ثلاث مجموعات تختلف بالنسبة إلى تجويف أجسامها، هي: لاسيلومية، وكاذبة السيلوم، وسيلوميات.

فقد أمكن تمييز فرعين أو سلالتين نشأتا بصورة مستقلة منذ الأزمنة القديمة، هما: حلزونية التفلج، والحيوانات الانسلاخية (الشكل 33-2).

حلزونية التفلج

الحيوانات الحلزونية Spiralians تنمو بالطريقة نفسها التي تنمو بها أنت، أي بإضافة كتلة إضافية إلى جسم موجود. معظمها تعيش في الماء، وتدفع نفسها خلاله باستخدام أهداب أو باستخدام انقباض عضلات الجسم. كثير من الحلزونيات تظهر تفلجًا حلزونيًّا (انظر الشكل 32-3).

تنقسم الحلزونيات إلى مجموعتين رئيستين، هما: الحيوانات ذات العُرْف المدور، والحيوانات المسطحة؛ الحيوانات ذات العرف المدور تضم معظم قبائل أولية الفم السيلومية؛ تتحرك عن طريق الانقباضات العضلية، ولها نوع خاص من اليرقات حرة الحركة تدعى تروكوفور *Trochophore*. أما الحيوانات المسطحة فهي لاسيلومية غالبًا، وهي منبسطة، وتتحرك بفعل الأهداب. بعض الحيوانات المسطحة لها مجموعة من الفكوك المعقدة كتلك الموجودة في العجليات وذات الفم ذي الفكوك *Gnathostomulids* وشعبة الحيوانات ذات الفكوك الصغيرة التي اكتشفت حديثًا، وهي الأكثر بروزًا.

تضم الحلزونيات أربعة أنواع رئيسة من أوليات الفم: الثلاثة الأولى حيوانات ذات عُرف مدور، والرابعة هي حيوانات مسطحة.

قبائل حاملة العرف Lophophorate phyla التي تضم **الحيوانات الزهرية Bryozoa وذراعية القدم Brachiopoda**، كلها حيوانات سيلومية لها تاج يشبه حذوة الحصان من المجسات المهدبة التي تحيط بالفم، ويدعى **حامل العرف Lophophore**. تكون الحيوانات حاملة العرف **مستقرة Sessile** (مثبتة في مكان واحد). ولهذا، فإن حامل العرف يستخدم لترشيح المواد الغذائية واقتناصها.

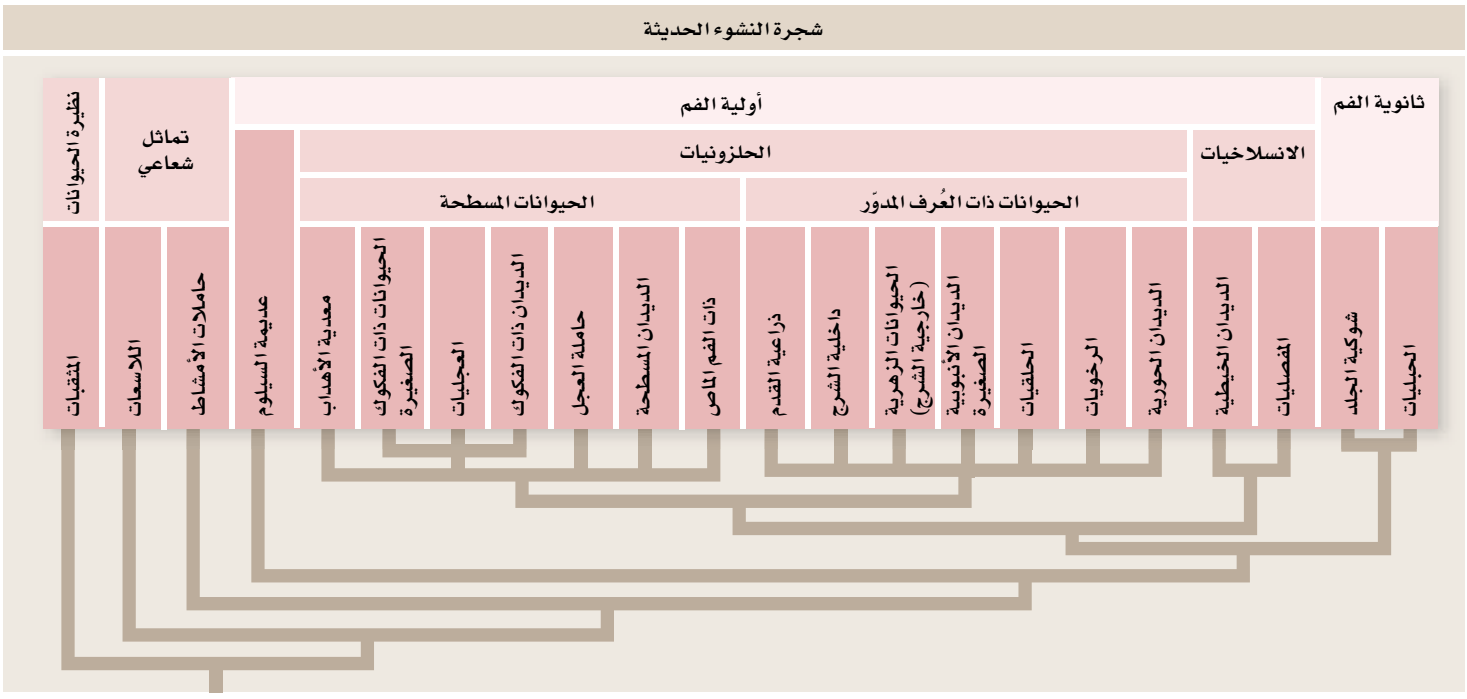
قبيلة الرخويات Phylum mollusca. الرخويات حيوانات حاملة عرف غير مقسمة، وتعدّ غالبًا سيلومية على الرغم من أن السيلوم بها اختزل إلى سيلوم دموي (جهاز دوري مفتوح) وبعض فراغات الجسم الأخرى الصغيرة. تُبدي الرخويات تشكيلة واسعة من أشكال الجسم؛ تضم هذه المجموعة الأخطبوط، والحلزون، والمحار، ومجموعة متباينة من أشكال الجسم الأخرى التي تشكل الطوائف الثمانية للرخويات (الرخويات موصوفة في الفصل المقبل مع مجموعة أخرى من الحيوانات السيلومية).

قبيلة الحلقيات Phylum annelida. الحلقيات ديدان سيلومية مقسمة. تشمل هذه المجموعة متعددة الأشواك البحرية، ودودة الأرض التي تعيش على اليابسة والعلق الطبي.

قبيلة الديدان المسطحة Phylum platyhelminthes. الديدان المسطحة حلزونيات لاسيلومية تنتمي إلى الحيوانات المسطحة. لها خطة جسم بسيطة لا تحتوي على تجويف جسم ولا أعضاء للدورة الدموية. تشمل هذه المجموعة بلاناريا بحرية، وأخرى تعيش في الماء العذب، إضافة إلى عدد كبير من الأشكال الطفيلية، مثل الديدان المفلطحة، والديدان الشريطية.

الحيونات الانسلاخية

الانسلاخيات Ecdysozoans حيوانات منسلخة الجُليد. فهي تزداد في الحجم عندما تسلخ هيكلها الخارجي، وهي قدرة يبدو أنها تطورت مرة واحدة فقط في المملكة الحيوانية. إن الحيوانات الانسلاخية ناجحة تقريبًا في كل البيئات، وكلها تتنقل بوسائل غير نشاط الأهداب. وعلى الرغم من أن نمط التكوين الجنيني لبعض الحيوانات الانسلاخية معروف تمامًا، كما في حيوان ذبابة الفاكهة النموذجي *Drosophila melanogaster* (شعبة المفصليات) وفي *Caenorhabditis elegans* (شعبة الديدان الخيطية)، فإن نمط التفلج الجنيني ليس حلزونيًّا، كما هو موصوف في الفصل الـ 32.



الشكل 33-2

شجرة نشوء أولية الفم الحديثة. تقترح شجرة النشوء الحديثة المعتمدة على دليل تشريحي وجنيني وجزيئي أن أولية الفم المقسمة (الحلقيات والمفصليات) ليست شديدة القرابة، وأن المفصليات يمكن تصنيفها بصورة أفضل مع حيوانات أخرى تنمو بالانسلاخ (الحيوانات الانسلاخية).

من الشعب المتعددة لأولية الفم التي ضمت إلى الانسلاخيات كانت اثنتان منها ناجحتين:

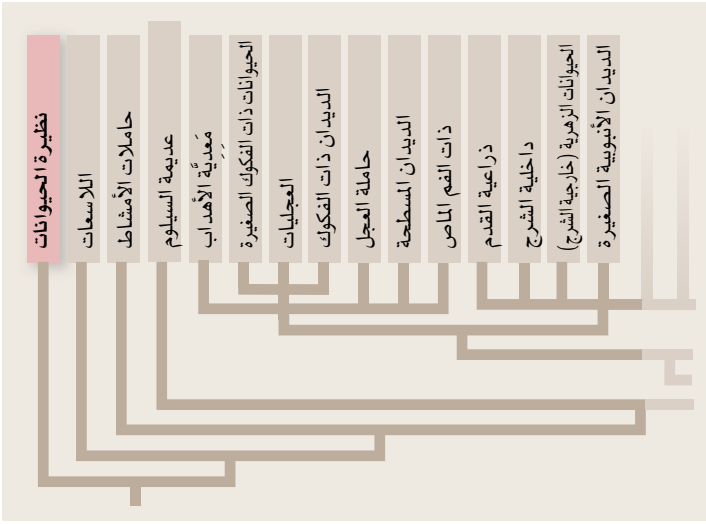
شعبة الديدان الخيطية Phylum nematoda. الديدان الأسطوانية ديدان كاذبة السيلوم، وتفتقر إلى تراكيب خاصة دورية أو تراكيب لتبادل الغازات، وجدار جسمها لديه عضلات طولية فقط. تنمو هذه الحيوانات بالتخلص من جُليدها الصلب في أثناء نموّها إلى حجم الحيوان البالغ. تقطن الديدان الخيطية البيئات البحرية، والماء العذب، واليابسة. أنواع عدة منها تكون طفيلية في النباتات أو الحيوان. إنها واحدة من الأغزر وفرة وموزعة بشكل أوسع من الشعب الحيوانية كلها.

شعبة المفصليات Phylum arthropoda المفصليات حيوانات سيلومية ذات زوائد متمفصلة وهيكل خارجي مقسّم مكون من الكايتين. إنها الأنجح من بين شعب المملكة الحيوانية، وهي تضم الحشرات، والعناكب، والقشريات، وذات المئة قدم، وغيرها كثير. استعمرت المفصليات البيئات كلها تقريبًا؛ إذ توجد في قعر المحيط، وفي الهواء، والبيئات اليابسة جميعها.

وعندما تكتمل المعلومات التشريحية والجنينية، إضافة إلى مقارنات المحتوى الجيني، فإن صورة الأفرع التطورية لأوليات الفم ستصبح أكثر وضوحًا دون شك. في هذا الكتاب، سوف نتبنى بناءً حديثًا يعتمد على المعلومات الجزيئية، والتشريحية، والجنينية، مع الأخذ في الحسبان (وكما هو حال كل شجرة نشوء) أن ما لدينا هو فرضية حول العلاقات النشوئية، التي من ثم يمكن أن تتغير كلما اكتسبنا معرفة جديدة (انظر الشكل 32-5).

صنفت أولية الفم تقليديًّا طبقًا لطبيعة تجويف جسمها، وإلى وجود التقسيم، ولكن الدليل الجزيئي والتشريحي الحديث يقترح أن هذه الصفات ربما تطورت بشكل التقائي في مجموعات عدة، وأنه بدلًا من ذلك، فإن أولية الفم يجب أن تصنف بناء على ما إذا كانت منسلخة أم لا.

2-33 نظيرة الحيوانات: حيوانات تفتقر إلى أنسجة متخصصة



الإسفنجيات هي نظائر الحيوانات. إنها حيوانات تفتقر إلى أنسجة وأعضاء وتماثل محدد. ولكنها ككل الحيوانات، لديها تعدد خلايا حقيقي ومعقد. يحتوي جسم الإسفنج أنواعًا عدة مختلفة ومتميزة من الخلايا، لكن نشاط هذه الخلايا بين بعضها غير منسق بصورة محكمة.

الإسفنجات، شعبة المثقبات، لديها تنظيم جسم فضفاض

هناك قرابة 5000 نوع من الإسفنج البحري، ونحو 150 نوعًا تعيش في المياه العذبة، وفي البحر. يوجد الإسفنج في الأعماق جميعها. وعلى الرغم من أن بعض الإسفنج صغير (لا يتعدى عرضه أكثر من بضعة مليمترات)، فإن آخر كالإسفنج ذي الرأس الضخم، قد يصل قطره إلى مترين أو أكثر.

القليل من الإسفنج الصغير متماثل شعاعيًّا، ولكن معظم أعضاء هذه الشعبة تفتقر تمامًا إلى التماثل. يشكل كثير من الإسفنج مستعمرات. بعض الإسفنج له شكل منخفض وقشري، إذ يستطيع النمو وتغطية أنواع السطوح جميعها، بعض آخر من الإسفنج قد يكون قائمًا ومفصصًا مشكلًا أحيانًا أنماطًا معقدة (الشكل 33-3أ).

وعلى الرغم من أن يرقات الإسفنج حرة السباحة، فإن الأشكال البالغة تكون راسية على الصخور، والأجسام الأخرى المغمورة بالماء.

الإسفنج مثله مثل الحيوانات جميعها، مكون من أنواع متعددة من الخلايا (الشكل 33-3ب). للوهلة الأولى، يبدو الإسفنج أكثر من مجرد كتلة من الخلايا المغموسة في مادة بنية جيلاتينية، ولكن هذه الخلايا متخصصة للقيام بوظائف مختلفة وتميز بعضها بدرجة عالية من الدقة. في بعض الحالات، تستطيع الخلايا أن تنسق أعمالها لكي تقبض بسرعة فويهاتها (الفتحات التي يخرج منها الماء)، وتنسق تكاثرها، أو تبني شبكات معقدة بالغة التنظيم من الأشواك وألياف إسفنجين. تتميز خلايا الإسفنج من بين الخلايا الحيوانية؛ لأنها تستطيع أن تتمايز بسهولة إلى الأنواع الأخرى من الخلايا، أو أن تتمايز عائدة إلى حالتها الأصلية.

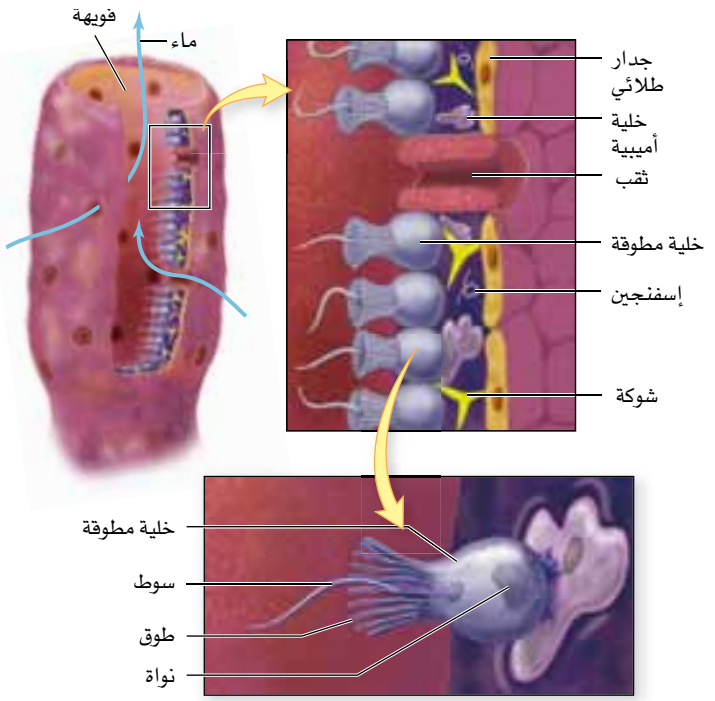
جسم الإسفنج مكون من أنواع عدة من الخلايا

يمكن فهم التركيب الأساسي للإسفنج بأفضل صورة بالتمعن في شكل فرد صغير من الإسفنج. يعلق الإسفنج الصغير- البسيط تشريحيًّا- نفسه أولًا بالأرضية التي يستقر عليها، ثم ينمو إلى شكل يشبه المزهرية. جدار « المزهرية» له ثلاث طبقات وظيفية: الأولى التي تواجه التجويف الداخلي، وهي خلايا متخصصة ذات أسواط تدعى **الخلايا المطوقة Choanocytes**. تبطن هذه الخلايا إما كامل تجويف الجسم الداخلي، أو حجرات خاصة في حالة الإسفنج الأضخم والأكثر تعقيدًا.

والطبقة الثانية الطلائية التي تحيط بأجسام الإسفنج من الخارج مكونة من خلايا منبسطة شبيهة إلى حد ما بالخلايا التي تشكل الطبقة الطلائية أو الطبقات الخارجية للحيوانات في شعب أخرى. بعض أجزاء هذه الطبقة ينقبض عند لمسه، أو عند تعرضه لمنبهات كيميائية ملائمة، وهذا الانقباض قد يسبب إغلاق بعض الفتحات في الجسم.

أما الطبقة الثالثة فهي بين الطبقتين السابقتين، إذ يتكون الإسفنج بشكل أساسي من مادة بينية جيلاتينية وغنية بالبروتين تدعى **الظهارة المتوسطة Mesohyl**، التي توجد ضمنها أنواع مختلفة من الخلايا الأميبية. إضافة إلى ذلك، فإن أنواعًا عدة من الإسفنج لها أشواك دقيقة مكونة من كربونات الكالسيوم

أ.



ب.

الشكل 33-3

قبيلة المثقبات: الإسفنج. أ. *Aplysina longissima* يوجد هذا الإسفنج الطويل الجميل ذو اللون البرتقالي/الأرجواني عميقًا على الشعاب المرجانية. ب. يتركب الإسفنج من أنواع عدة متميزة من الخلايا التي تُنسِّق أنشطتها معًا. جسم الإسفنج ليس متناظرًا، وليس له أنسجة منظمة.

أو السيليكا تدعى **الأشواك Spicules**، ولها ألياف من مادة بروتينية قاسية تدعى **إسفنجين Spongin**، أو كلتيهما معًا ضمن المادة البينية. تقوي الأشواك والألياف جسم الإسفنج. إن هيكل إسفنجين للإسفنج الحقيقي يشكل إسفنج الحمام الأصلي الذي كان يستعمل، أما الإسفنج الذي يباع الآن لأغراض التنظيف فهو مكون من السليلوز أو البلاستيك.

يتغذى الإسفنج بطريقة فريدة. يؤدي ضرب أسواط الخلايا المطوقة التي تبطن داخل الإسفنج إلى سحب الماء للداخل من خلال ثقوب صغيرة عدة، ويشير اسم الشعبة، المثقبات إلى هذا النظام من الثقوب. يتم ترشيح العوالق والمخلوقات الصغيرة من الماء الذي يتدفق الآن من خلال ممرات، ثم يُجبر في النهاية على الخروج من خلال **الفويهة Osculum** وهي فتحة متخصصة أكبر حجمًا.

وحيث يلتصق الإسفنج البالغ بقوة إلى القعر، فإنه يستخدم أدلة كيميائية تساعده على الاستقرار، وعلى تجنب اكتشافه من قبل المخلوقات القعرية الأخرى. يتم استقصاء الإسفنج غالبًا من قبل شركات صناعة الأدوية التي تهتم بكثير من النواتج الأيضية التي تنتجها هذه الحيوانات البدائية.

تدوّر الخلايا المطوقة الماء من خلال جسم الإسفنج

تماثل كل خلية مطوقة إلى حد كبير مخلوقًا طلائعيًّا ذا سوط واحد (انظر الشكل 33-3ب)، وهي محاكاة تعكس الاشتقاق التطوري. فضرب أسواط كثير من الخلايا المطوقة التي تبطن داخل الجسم يشكل قوة كبيرة تسحب الماء إلى الداخل من خلال الثقوب، ومن خلال جسم الإسفنج، وبهذا تجلب الغذاء والأكسجين، وتتخلص من الفضلات. يضرب كل سوط لخلية مطوقة بشكل مستقل، والضغط الذي تنتجه الأسواط مجتمعة في التجويف يجبر الماء على الخروج من الفويهة. الجدار الداخلي لداخل الجسم، في بعض أنواع الإسفنج، شديد الالتواء ما يزيد المساحة السطحية، ومن ثم يزيد عدد الأسواط التي تسهم في دفع الماء. في مثل هذا الإسفنج يستطيع كل 1 سم مكعب منه أن يدفع أكثر من 20 لترًا من الماء في اليوم.

يستطيع الإسفنج أن يتكاثر جنسيًّا ولاجنسيًّا

يستطيع بعض الإسفنج أن يعيد تشكيل نفسه إذا ما مُرر خلال شبكة دقيقة من الحرير، ولهذا فإنه، وكما نستطيع التكهن، يتكاثر بشكل متكرر بتكسيره ببساطة إلى قطع. فإذا ما قُطِّع، فإن القطع الناتجة تكون عادة قادرة على إعادة تشكيل أفراد جديدة كاملة.

يُبدي الإسفنج كذلك تكاثرًا جنسيًّا، حيث تستطيع الأفراد الناضجة أن تنتج بيوضًا وحيوانات منوية. والأطوار اليرقية قد تبدأ مراحل تطورها الجنيني الأولي ضمن آبائها. وتكون عادة مهدبة خارجيًّا، وتستقر على أرضية مناسبة، ثم تبدأ في التحول إلى الشكل البالغ.

يُمثل الإسفنج الحيوانات الأكثر بدائية، إذ يمتلك تعدد خلايا، ولكن ليس لديه تطور لمستوى النسيج ولا تماثل الجسم. يوحي التنظيم الخلوي بوجود روابط تطورية بين الطلائعيات وحيدة الخلية والحيوانات متعددة الخلايا. يمتلك الإسفنج خلايا مطوقة هي خلايا سوطية خاصة، تؤدي حركة أسواطها إلى دفع الماء خلال تجاويف الجسم.

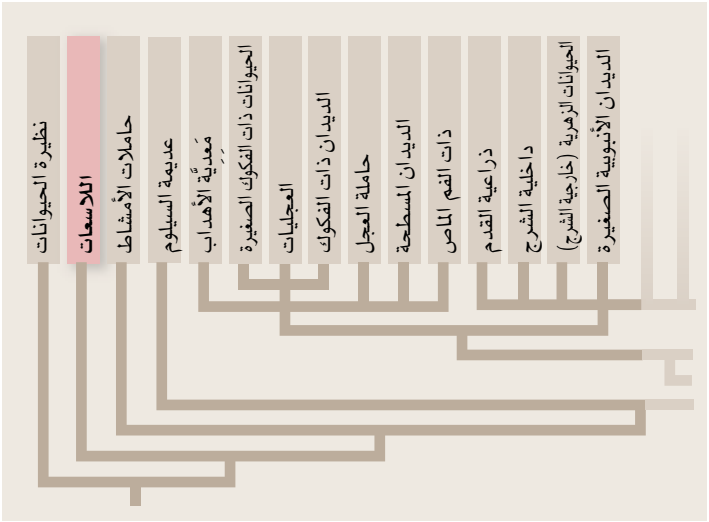
3-33 الحيوانات البعدية الحقيقية: حيوانات ذات أنسجة حقيقية

تضم مجموعة الحيوانات البعدية الحقيقية الحيوانات التي طوّرت التحول الأساسي الأول في خطط جسم الحيوان، ألا وهو: الأنسجة المتميزة. تتشكل طبقتان متميزتان من الخلايا في أجنة هذه الحيوانات: طبقة إكتودرم خارجية، وإندودرم داخلية. تعطي هذه الأنسجة الجنينية خطة الجسم الأساسية، حيث تتمايز إلى الأنسجة المتعددة لجسم الحيوان البالغ.

تتطور أغطية الجسم الخارجية (تدعى البشرة)، والجهاز العصبي بشكل نموذجي من الإكتودرم، وتتطور طبقة الأنسجة الهضمية (تدعى **الأدمة المعدية Gastrodermis**) من الإندودرم. وتقع طبقة من مادة جيلاتينية، تدعى **الطبقى الوسطى Mesoglea**، بين البشرة والأدمة المعدية في اللاسعات وحاملات الأمشاط. في الحيوانات الجانبية التماثل الثنائية تتشكل طبقة ثالثة تدعى الميزودرم، بين الإندودرم والإكتودرم، وتشكل العضلات في معظم الحيوانات البعدية الحقيقية.

طورت الحيوانات البعدية الحقيقية كذلك تماثلًا حقيقيًّا للجسم، ففي البداية كانت الحيوانات البعدية التي تعيش مستقرة على قعر المحيط، أو تعيش حرة في الماء مخلوقات ذات تماثل شعاعي. تعيش في الوقت الحاضر مجموعتان متماثلتان شعاعيًّا، هما: قبيلة اللاسعات أو اللواسع، التي تضم أنواع الهيدرا، وهلام البحر، وشقائق البحر، والمرجان، وقبيلة حاملات الأمشاط التي تضم هلام البحر المشطي. أما بقية الحيوانات البعدية فكلها تقع ضمن ثنائية التماثل الجانبي، وتظهر تماثلًا ثنائيًّا جانبيًّا أساسيًّا.

تبدي اللاسعات، قبيلة اللاسعات، هضمًا خارج الخلايا داخل الجسم



اللاسعات كلها بحرية تقريبًا، على الرغم من أن القليل منها يعيش في الماء العذب. هذه الحيوانات المدهشة والبسيطة التركيب هي جيلاتينية في تركيبها بشكل أساسي. فهي تختلف بشكل واضح عن الإسفنج، وأجسامها مكونة من أنسجة متميزة على الرغم من أنها لم تطور أعضاء حقيقية. هذه الحيوانات آكلة للحوم، وتقبض على فرائسها التي تضم الأسماك، والقشريات، وأنواعًا أخرى مختلفة من الحيوانات عن طريق مجساتها التي تحيط بأفواهها.

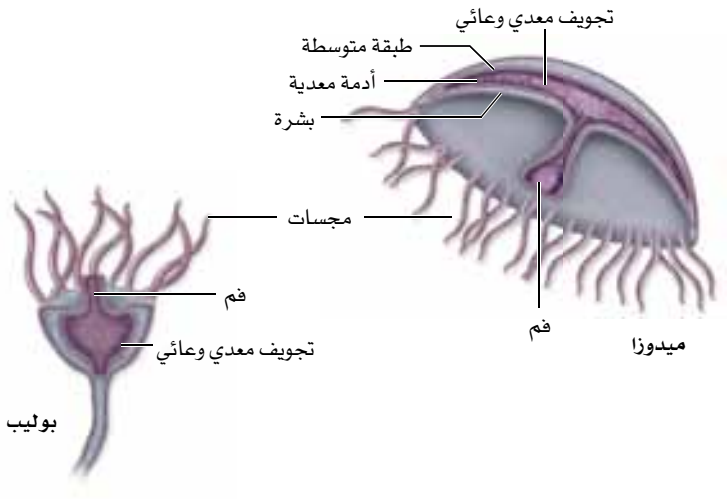
خطط الجسم الأساسية

اللاسعات قد يكون لها شكلان أساسيان للجسم: البوليب (أو السليلة) والميدوزا (الشكل 33-4)، يكون البوليب *Polyp* أسطوانيًّا، ويوجد عادة ملتصقًا بأرضية ثابتة، وقد يكون مفردًا أو على صورة مستعمرات. تتجه فتحة الجسم التي تعمل بوصفها فمًا وشرجًا في البوليب، في الاتجاه المعاكس للأرضية التي يستقر عليها الحيوان وينمو، ولهذا فهي غالبًا ما تتجه نحو الأعلى. كثير من البوليب يبني هيكلًا داخليًّا أو خارجيًّا أو كليهما من مواد كلسية أو كايتينية (من كربونات الكالسيوم)، والقليل من البوليب يكون حر المعيشة. في المقابل، معظم **الميدوزا medusae** تكون حرة المعيشة وكثير منها يشبه شكلها المظلة مع وجود لوامس أو مجسات تحيط بالفم. الميدوزا، وخاصة تلك التي تنتمي لطائفة الفنجانيات تعرف عادة باسم هلام البحر، ذلك لأن طبقتها المتوسطة سميكة، وتشبه الهلام.

دورة حياة اللاسعات

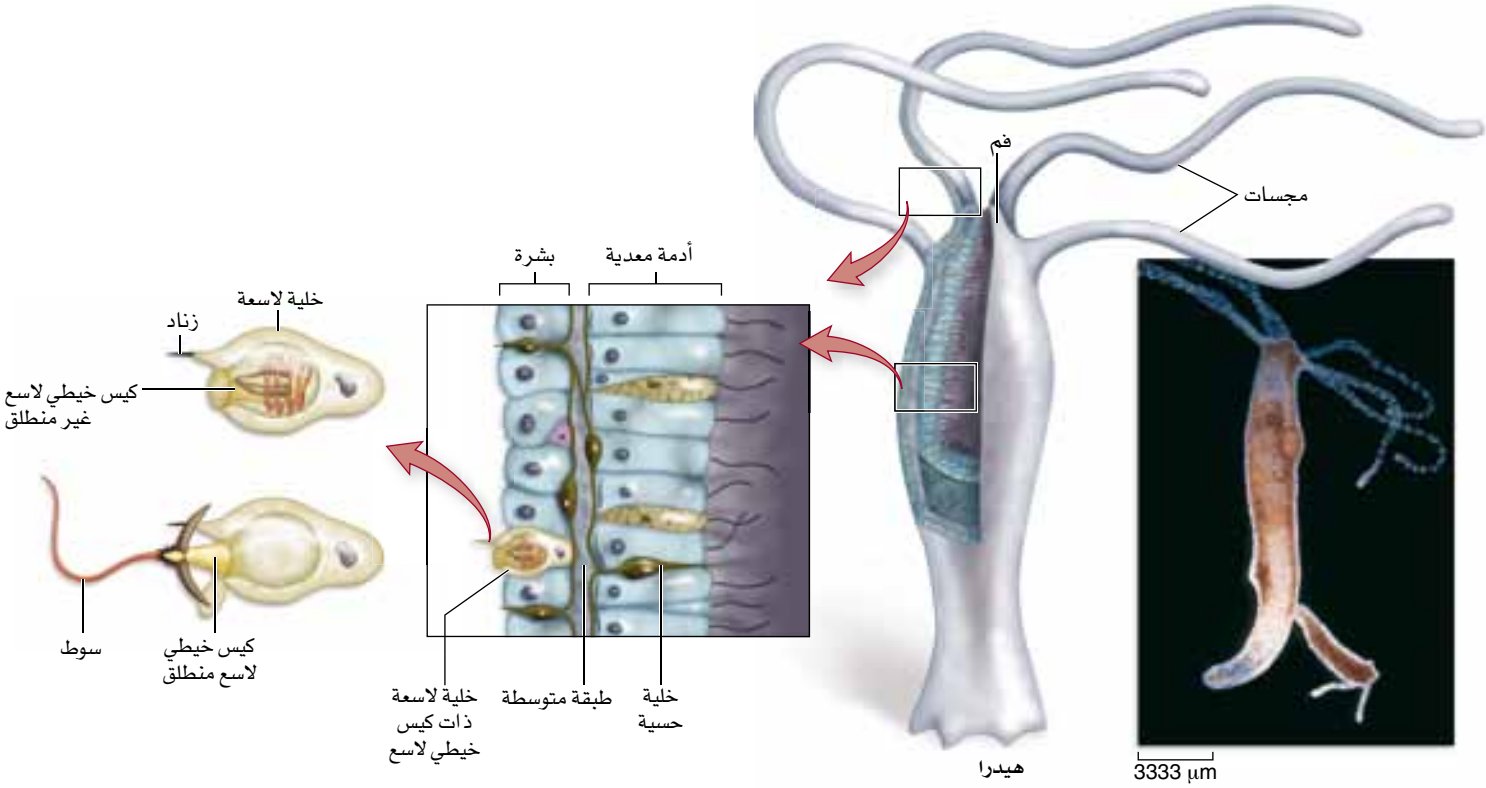
يوجد كثير من اللاسعات بصورة بوليب فقط، في حين يوجد بعضها الآخر على هيئة ميدوزا، وهناك أنواع أخرى تتبادل بين هذين الطورين خلال دورة حياتها، وكلا الطورين يتكون من أفراد ثنائية العدد الكروموسومي. قد يتكاثر البوليب جنسيًّا ولاجنسيًّا، والتكاثر اللاجنسي قد ينتج بوليبًا أو ميدوزا جديدين، أما الميدوزا فتتكاثر لاجنسيًّا.

في معظم اللاسعات، تعطي البيوض المخصبة يرقة مهدبة حرة السباحة تدعى **الرحالة Planula**. توجد الرحالة بين العوالق في بعض الأحيان، وقد تتبعثر بشكل واسع في التيارات المائية.



الشكل 33-4

هناك شكلان لجسم اللاسعات الميدوزا والبوليب.



الشكل 33-5

قبيلة اللاسعات. خلايا اللاسعات مثل الهيدرا منظّمة في أنسجة متخصصة. تجويف القناة الهضمية الداخلي متخصص للهضم خارج الخلايا -أي يبدأ الهضم ضمن تجويف القناة بدلًا من داخل الخلايا المفردة- تحتوي البشرة خلايا لاسعة للدفاع وللإمساك بالفريسة.

تركيب جسم اللاسعات

مقارنة بالإسفنجيات، أحد الإبداعات التطورية في اللاسعات هو هضم الغذاء خارج الخلايا، ولكن داخل الجسم (الشكل 3-5). فالهضم يتم داخل تجويف المعي بدلًا من أن يتم فقط داخل الخلايا المفردة. فالأنزيمات الهاضمة المتحررة من الخلايا المبطنة لجدار التجويف تحطم الغذاء جزئيًّا. تقوم الخلايا المبطنة للمعي لاحقًا بالإحاطة بدقائق الغذاء عن طريق الابتلاع، ثم تستكمل هضمه.

إن تجزئة الطعام خارج الخلايا التي تسبق الابتلاع، ثم الهضم بداخل الخلايا، يسمح للاسعات بهضم حيوانات أكبر من خلية مفردة، وهو تحسن طرأ على الهضم داخل الخلايا المحض الذي يحدث في الإسفنج. ليس للاسعات أوعية دموية، أو جهاز تنفسي، أو أعضاء إخراج.

الخلايا اللاسعة والكيس الخيطي اللاسع

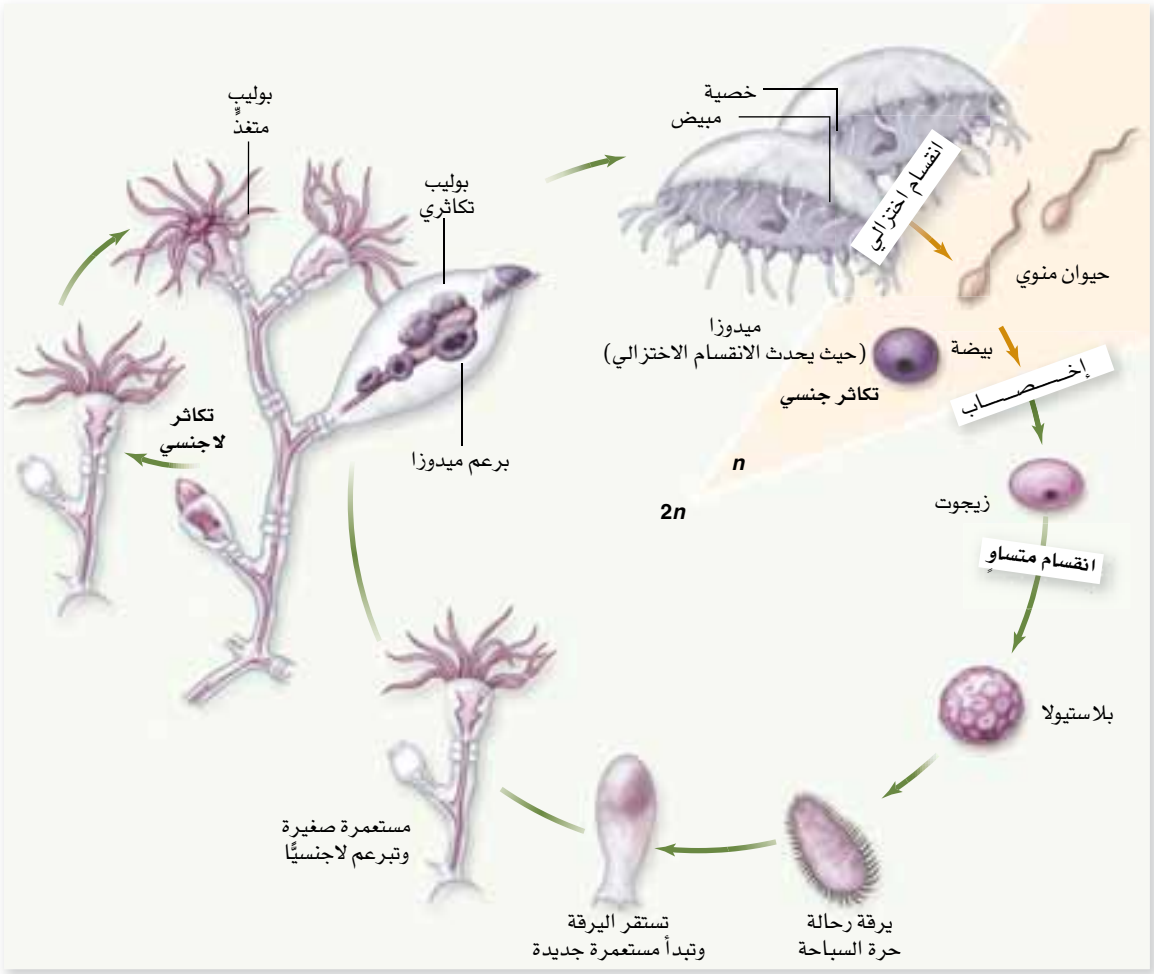
تحمل اللاسعات على مجساتها، وأحيانًا على سطح جسمها، خلايا متخصصة تدعى **الخلايا اللاسعة Cnidocytes**. ويعود اسم القبيلة، اللاسعات إلى هذه الخلايا التي هي متميزة جدًا، إذ لا توجد في أي مجموعة أخرى من المخلوقات. هناك نوع خاص من الخلايا اللاسعة يدعى الكيس الخيطي اللاسع Nematocyst يحتوي «حربونًا» صغيرًا، ولكنه قوي. كل كيس خيطي لاسع يتسم بوجود أنيبيب يشبه الخيط، يكون ملتفًّا، وقد يكون ذا أشواك. قد يلتف أنيبيب الكيس اللاسع على الفريسة، أو قد يخترق جسمها، وقد ينقل إليها سمًّا، حيث تسحب بعدها اللاسعات فريستها باستخدام المجسات نحو الفم.

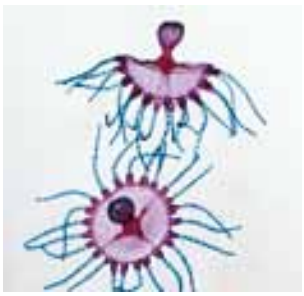
يستخدم الكيس اللاسع ضغط الماء لدفع الحربون. فقبل الإطلاق تبني خلية الكيس اللاسع ضغطًا أسموزيًّا مرتفعًا باستخدام النقل النشط لبناء تركيز عالٍ من الأيونات داخلها، مع الحفاظ على جدار خلية الكيس اللاسع غير منفذ للماء.

عند تحفيز خلية الكيس اللاسع للإطلاق، تفتح الخلية، وينقلب الأنيبيب (ينقلب داخله خارجًا). ويعد انطلاق الكيس الخيطي اللاسع واحدًا من أسرع العمليات الخلوية في الطبيعة. فانقلاب الأنيبيب يكون بصورة انفجارية لدرجة أن أشواك بعض الأنواع قد تخترق حتى أقسى الأصداف في السلطعون. قد يحقن الأنيبيب في بعض الأنواع سمًّا بروتينيًّا يحدث إحساسًا باللسع ما دعا لتسمية بعض اللاسعات بالأشواك اللاسعة؛ نظرًا لأن تأثيرها شبيه لذلك الذي للنباتات التي تحمل الاسم نفسه. وقد تكون النتيجة مميتة للإنسان في بعض الحالات.

تصنف اللاسعات في أربع طوائف

هناك أربع طوائف من اللاسعات، هي: الهدريات (كأنواع الهيدرا)، والفنجانيات (كهلام البحر)، والمكعبات (كدبور البحر، وهلام البحر الصندوقي)، والزهريات (كشقائق البحر والمرجان).





الشكل 33-6

دورة حياة نوع من الجنس أوبيليا *Obelia*، من الهدريات البحرية المكونة للمستعمرات. يتكاثر البوليب لاجنسيًّا بالتبرعم مشكلًا مستعمرات. ويمكن أن يعطي ميدوزا تتكاثر جنسيًّا عن طرق الجاميتات. تتحد الجاميتات لإنتاج زيجوت يتطور إلى يرقة رحالة تستقر بدورها لتنتج بوليبًا جديدًا.

طائفة الهدريات

لمعظم أنواع الهدريات، التي تقارب 2700 نوع (طائفة **الحيوانات الهدرية Hydrozoa**)، مرحلتا بوليب وميدوزا في دورة حياتها (الشكل 33-6). معظم هذه الحيوانات بحرية، وتكون مستعمرات مثل أفراد الجنس *Obelia* ورَجُل الحرب البرتغالي غير العادي. بعض الهدريات البحرية مضيئة حيويًّا. يعد الجنس *Hydra* أحد الهدريات المعروفة جيدًا، وهو متوافر بغزارة في المياه العذبة. تُعدّ الهيدرا استثنائية لعدم وجود مرحلة ميدوزا لها، إذ توجد كبوليب وحيد. يستقر كل بوليب على قرص قاعدي تستخدمه الهيدرا للانزلاق والانتقال مستفيدة من بعض الإفرازات المخاطية. يمكنه كذلك الحركة بالشقلبة -الانحناء، ثم تثبيت نفسه إلى الوسط باستخدام مجساته، ثم الانثناء إلى الأعلى نحو موقع جديد. وإذا فصل البوليب نفسه من الوسط، فإنه يستطيع الطفو إلى السطح.

طائفة الفنجانيات: هلام البحر

حيوانات هلام البحر التي تقارب 200 نوع (طائفة **الحيوانات الفنجانية Scyphozoa**) مخلوقات بحرية شفافة، وبعضها ذات لون برتقالي، أو أزرق، أو وردي جذاب (الشكل 33-7). مرحلة الميدوزا في هذه الأنواع جميعها هي السائدة – وهي أكبر بكثير وأكثر تعقيدًا من مرحلة البوليب. الميدوزا هنا ذات شكل يشبه الجرس، وله مجسات متدلية حول حوافه. أما مرحلة البوليب فهي صغيرة، وغير واضحة، وبسيطة في تركيبها.

الطبقة الخارجية، أو الطلائية، لهلام البحر تحوي عددًا من الخلايا المتخصصة، وكل منها قادر على الانقباض بصورة منفردة، لكنها معًا تشكل حلقة عضلية حول حافة الجرس تنبض بإيقاع، فتدفع الحيوان خلال الماء. لهلام البحر ذكور وإناث منفصلة. تتشكل عقب الإخصاب اليرقة الرّحالة التي تثبت نفسها، وتتطور إلى بوليب. يستطيع هذا البوليب التكاثر لاجنسيًّا إضافة إلى التبرعم لإعطاء الميدوزا. في بعض هلام البحر الذي يعيش في المحيطات المفتوحة، تغيب مرحلة البوليب، وتتطور اليرقة الرحالة مباشرة إلى ميدوزا.

الشكل 33-7

طائفة الفنجانيات *Aurelia aurita*، هلام البحر

الشكل 33-8

طائفة المكعبات.
Chironex fleckeri هلام بحر صندوقي.

طائفة المكعبات: هلام البحر الصندوقي

كما يشير اسمها، فإن اللاسعات في طائفة **الحيوانات المكعبة Cubozoa** ذات ميدوزا صندوقية الشكل، أما مرحلة البوليب فهي غير واضحة، وفي كثير من الحالات غير معروفة. معظمها طوله بضعة سنتمترات فقط، على الرغم من أن بعضها قد يصل إلى 25 سنتمترًا طولًا. يوجد مجس أو مجموعة مجسات عند كل زاوية من زوايا الصندوق (الشكل 33-8). هلام البحر الصندوقي سابح قوي ومفترس شرس للأسماك في المياه الاستوائية وشبه الاستوائية. لسعات بعض أنواعه قد تكون قاتلة للإنسان.

طائفة الزهريات: شقائق البحر والمرجان

أكبر طائفة من اللاسعات هي **الحيوانات الزهرية Anthozoa**. الحيوانات البحرية من هذه المجموعة التي يصل عدد أنواعها إلى قرابة 6200 نوع. هي وحيدة، أو تشكل مستعمرات. إنها تضم المرجان الذي يشبه الصخور، وشقائق البحر ذات الجسم اللين، ومجموعات أخرى عرفت بأسماء رنانة، مثل قلم البحر، وبنفسج البحر، ومروحة البحر، وأسواط البحر (الشكل 33-9). هذه الأسماء جميعها تعكس جسمًا يشبه النبات، وعلى قمة كل بوليب خصلة أو تاج من مجسات مجوفة. وكبقية اللاسعات، تستخدم الزهريات هذه المجسات في التغذية.

تتطور البيوض المخصبة لمعظم الزهريات إلى يرقة رحّالة تستقر على صورة بوليب، ولا تتكون ميدوزا. تجويف الجسم الداخلي لبوليب الزهريات مقسم إلى حجرات عن طريق طبقات من الأنسجة، وليس كذلك الذي لبوليب بقية اللاسعات. وعندما تُلمس، فإن بوليب كثير من الزهريات يسحب مجساته المجوفة إلى داخل جسمه.

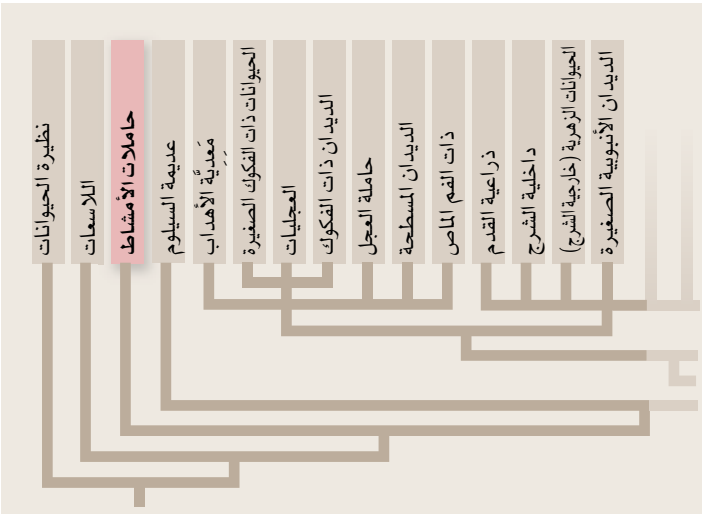
تعيش شقائق البحر، وهي مجموعة كبيرة من الزهريات العضلية جدًا وذات الأجسام اللينة المعقدة، في المياه على كل الأعماق في العالم. يتراوح قطرها بين مليمترات عدة إلى أكثر من متر، وكثير منها طويلة. ومعظم المرجان من الزهريات. "المرجان الحقيقي" يفرز هيكلًا خارجيًّا من كربونات الكالسيوم ما يعطيه قوامه الصخري. "المرجان الناعم" قد يكون له إبر صغيرة من كربونات الكالسيوم تنغرز في أنسجته، وله هيكل خارجي قرني تنمو حوله أفراد المستعمرة، ويزودها بالدعامة، في حين يسمح بالمرونة في الوقت نفسه (أحد أمثلة هذه المستعمرة هو مروحة البحر). بعض المرجان الصلب بَنَّاء مهم للشعاب المرجانية، التي هي تلال ورواب من الحجر الكلسي في المياه الضحلة للبحار الدافئة. معظم المياه التي تتكون منها الشعاب المرجانية فقيرة غذائيًّا، ولكن المرجان قادر على العيش جيدًا فيها؛ لأنه يحتوي ضمن خلاياه سوطيات دوارة

الشكل 33-9

طائفة الزهريات.
شقائق البحر القرمزية من النوع *Cribnnopsia fernaldi*.

(الحيوانات الذهبية) تكافلية، تنجز البناء الضوئي الذي يزود الحيوان بالطاقة (انظر الفصل الـ 29).

يستخدم هلام البحر المشطي، قبيلة حاملات الأمشاط، الأهداب للحركة



تتباين أعضاء قبيلة **حاملات الأمشاط Ctenophora** الصغيرة بين كروية وشريطية، وتعرف بهلام البحر المشطي، وجوز البحر، أو توت أوز البحر. تُعدّ أنواع حاملات الأمشاط التي تصل نحو 100 نوع، شديدة القرابة مع اللاسعات تقليديًّا. لكن حاملات الأمشاط أكثر تعقيدًا من ناحية تركيبية من اللاسعات. فلها فتحة شرج. ولهذا، فإن الماء والمواد الأخرى تمر بشكل كامل خلال الحيوان. أنواع هلام البحر المشطي التي تتوافر بكثرة في المحيطات المفتوحة شفافة وطولها عادة سنتمترات قليلة، ولكن بعض أنواعها قد يصل مترًا في الطول. معظمها لها مجسان طويلان قابلان للارتجاع، يستخدمان في القبض على الفريسة باستخدام نوع خاص من الخلايا، تدعى **مولدة المادة الغروية Colloblast**، التي تنفجر عندما تلامس عوالق حيوانية معطية مادة لاصقة قوية.

تدفع حاملات الأمشاط نفسها خلال الماء باستخدام ثمانية صفوف من الصفائح الشبيهة بالمشط ذات الأهداب الملتحمة التي تضرب في نمط منسق (الشكل 33-10). إنها أكبر الحيوانات التي تستخدم الأهداب في الانتقال. كثير من حاملات الأمشاط مضيئة ذاتيًّا، إذ تعطي ومضات براقة من الضوء تكون واضحة بشكل خاص في الليل في المحيط المفتوح.

أعضاء حاملات الأمشاط تقليديًّا ثنائية الطبقات، وذات تماثل شعاعي كما هي حال اللاسعات. لكن دراسات التطور الجنيني الحديثة بينت أن حاملات الأمشاط

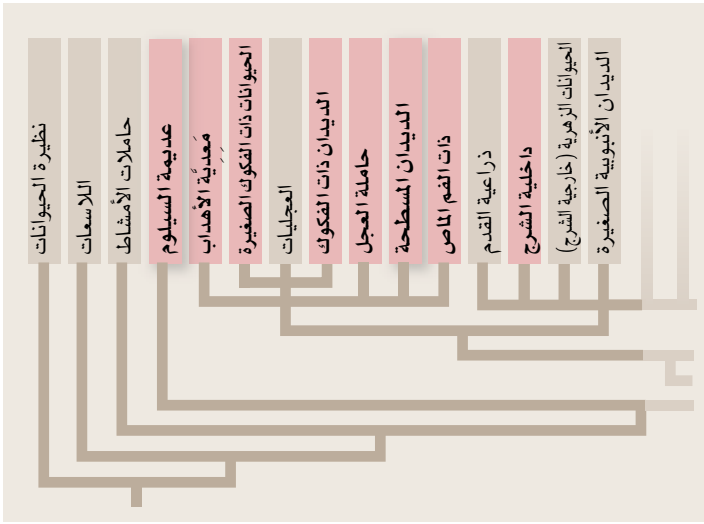
الشكل 33-10

هلام البحر المشطي (قبيلة المشطيات).
لاحظ الصفائح المشطية المضيئة.

لها خلايا عضلية حقيقية مشتقة من الميزودرم. ولذا، يجب أن تعدّ ثلاثية الطبقات مثلها مثل ثنائية التماثل الجانبي. كذلك، فقد تبين أن لحاملات الأمشاط ثلاثة محاور رئيسة للتناظر، ولا ينتج أي منها أنصافًا متطابقة. ولهذا، فإن نمط تماثلها ليس شعاعيًّا تمامًا كما اللاسعات.

اللاسعات لها نوع متخصص من الخلايا يدعى الخلايا اللاسعة، وهي توجد بكثرة في المحيطات، حيث تسهم في بناء الشعاب. تدفع حاملات الأمشاط نفسها خلال الماء عن طريق ثمانية صفوف من صفائح شبيهة بالأمشاط مكونة من اتحاد الأهداب، ولها خلايا خاصة تدعى مولدة المادة الغروية.

4-33 اللاسيلوميات ثنائية التماثل الجانبي



تتميز ثنائية التماثل الجانبي بوجود التحول الثاني في خطة جسم الحيوان، أي التماثل الجانبي الثنائي الذي يسمح للحيوان بتحقيق مستوى عالٍ من التخصص ضمن أجزاء جسمها–مثل تركيز التراكيب الحسية في الجزء الأمامي من الجسم. كما ناقشنا، تصنف ثنائية التماثل الجانبي تقليديًّا بحسب حالة السيلوم فيها إلى: عديمة السيلوم، وكاذبة السيلوم، وحقيقية السيلوم.

وعلى الرغم من أن دراسات حديثة أشارت إلى أن حالة اللاسيلومية وكاذبة السيلوم تطورت كل منهما مرات عدة، فإننا سنحتفظ بالتصنيف التقليدي لمناقشة بيولوجية هذه المخلوقات. في هذا الفصل سوف نغطي اللاسيلوميات وكاذبة السيلوم، وسوف نغطي السيلوميات في الفصل المقبل.

من ناحية تركيبية، تعد اللاسيلوميات أبسط ثنائيات التماثل الجانبي، إنها تفتقر إلى أي تجويف داخلي خلاف القناة الهضمية. وكما ناقشنا سابقًا، ثنائيات التماثل الجانبي جميعها لها ثلاث طبقات جرثومية جنينية تشكلت في أثناء التكوين الجنيني، هي: إكتودرم، وإندودرم، وميزودرم. سوف نركز مناقشتنا لهندسة جسم اللاسيلوميات على القبيلة الأكبر في المجموعة، ألا وهي الديدان المسطحة.

الديدان المسطحة، قبيلة الديدان المسطحة، لها جهاز هضمي غير كامل أو معدوم تمامًا

وتضم نحو 20,000 نوع. هذه الحيوانات المهدبة وذات الجسم اللين مسطحة ظهر- بطنيًّا، أي من الأعلى إلى الأسفل. تُعدّ الديدان المسطحة من بين أبسط الحيوانات ذات التماثل الثنائي الجانبي، ولكن لها رأسًا متميزًا في النهاية الأمامية، وتراكيب معقدة محددة كالجهاز التكاثري. أجسامها متراصة، والفراغ الوحيد بها يتكون من التجويف الهضمي غير الكامل (أعمى) (الشكل 33-11).

تتباين الديدان المسطحة في الطول من 1 ملم أو أقل إلى أمتار عدة كما في بعض الديدان الشريطية. كثير من أنواع الديدان المسطحة حرة المعيشة، إذ توجد في تشكيلة واسعة من البيئات البحرية، والمياه العذبة، أو على اليابسة في الأماكن الرطبة كذلك.

الديدان المسطحة حرة المعيشة آكلة للحيوانات والقمامة (تقتات على القمامة). فهي تأكل حيوانات صغيرة مختلفة وقطعًا من الطعام العضوي. إنها تتحرك من مكان إلى آخر عن طريق خلايا طلائية مهدبة تتركز بشكل خاص على سطحها السفلي، ولكن لها أيضًا طبقة عضلية متطورة بشكل جيد.

الهضم في الديدان المسطحة

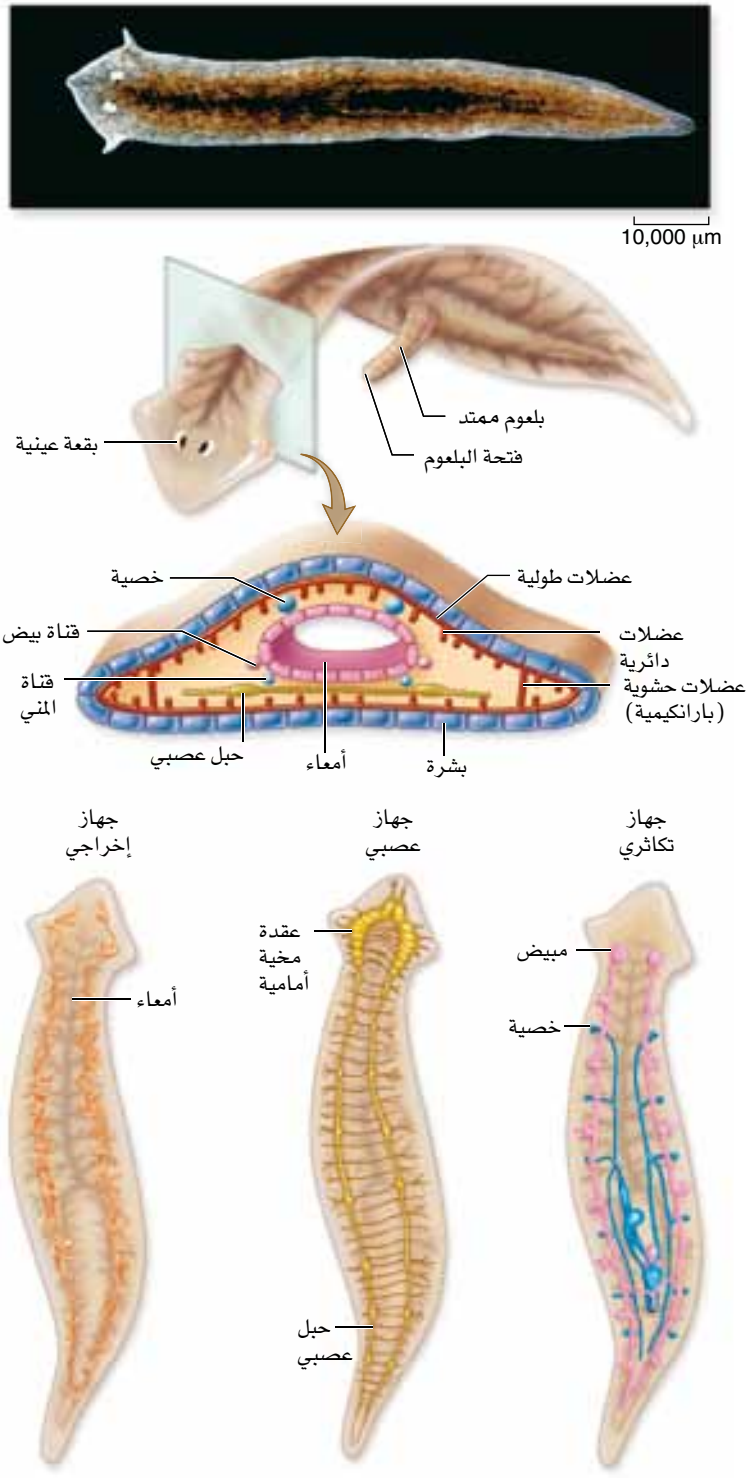
الديدان المسطحة لها تجويف هاضم بقناة هضمية غير مكتملة، وذات فتحة واحدة فقط. نتيجة لذلك، فإنها لا تستطيع التغذية والهضم وإخراج دقائق الغذاء غير المهضومة في الوقت نفسه. لذا، فإنها لا تستطيع التغذية بشكل متواصل. فتحة الفم هنا موجودة على الجانب البطني بالقرب من منتصف الحيوان، وليس في النهاية الأمامية كما هو حال معظم ثنائية التماثل. الحركة العضلية في النهاية العليا من القناة الهضمية أو البلعوم تسبب قوة شفط كبيرة، سامحة بذلك للديدان المسطحة ابتلاع الغذاء وتمزيقه إربًا صغيرة.

في كثير من الأنواع، تكون القناة الهضمية متفرعة، وتمتد خلال كامل الجسم، فتعمل على الهضم، ونقل جزيئات الغذاء لأجزاء الجسم. الخلايا التي تبطن القناة تحيط بمعظم دقائق الغذاء في عملية ابتلاع، ثم تهضمها. ولكن، وكما هي الحال في اللاسعات ومعظم ثنائية التماثل، فإن بعض دقائق الغذاء تهضم جزئيًّا خارج الخلايا. إن الديدان الشريطية، وهي ديدان مسطحة طفيلية تفتقر إلى جهاز هضمي، فهي تمتص الغذاء مباشرة من خلال جسمها.

الإخراج والتنظيم الأسموزي

الديدان المسطحة، ليست كاللاسعات؛ لها جهاز إخراجي ومنظم للأسموزية، يتألف من شبكة من أنابيب دقيقة تجري خلال الجسم كله. تبطن الأهداب المركز المجوف لخلايا تشبه مصباح الكهرباء تدعى **الخلايا اللهبية Flame cells** وتقع على الأفرع الجانبية للأنيبيبات. سميت الخلايا اللهبية هكذا، بسبب الحركة المتأرجحة لخصلة الأهداب الموجودة داخلها.

تحرك الأهداب في الخلايا اللهبية الماء والمواد الإخراجية في الأنيبيبات، ثم إلى ثقوب إخراجية واقعة بين خلايا البشرة. تنظم الخلايا اللهبية في الأساس توازن الماء في المخلوقات، ويبدو أن وظيفتها الإخراجية ثانوية. تنتشر النسبة الكبرى من المخلفات الأيضية التي تخرجها الديدان المسطحة مباشرة إلى القناة الهضمية، وتُطرح إلى الخارج عن طريق الفم.



الشكل 33-11

هندسة الديدان المسطحة. النوع المثالي من الجنس *Dugesia* وهو البلاناريا المألوفة التي تعيش في الماء العذب لكثير من البرك والأنهار. المخطط في الأعلى يبين حيوانًا ومقطعًا عرضيًّا خلال الجزء الأمامي من الجسم. في حين تبين المخططات السفلى الأجهزة الهضمية، والإخراجية، والعصبية، والتكاثرية.

الجهاز العصبي وأعضاء الإحساس

تفتقر الديدان المنبسطة إلى جهاز دوري لنقل الأكسجين ودقائق الغذاء، مثلها مثل الإسفنجيات، واللاسعات، وحاملات الأمشاط. نتيجة لذلك، فإن معظم الديدان المسطحة يجب أن تقع على مسافة مناسبة من انتشار الأكسجين والغذاء. الديدان المسطحة ذات أجسام رقيقة، وكثير منها لها تجاويف هضمية بالغة التفرع ما يجعل هذا النظام ممكنًا.

يتألف الجهاز العصبي في الديدان المسطحة من جهاز عصبي مركزي مكون من عقدة عصبية أمامية، وحبال عصبية تجري على طول الجسم، ولكن على هيئة تشبه السلم.

الأنواع حرة المعيشة من هذه القبيلة لها بقع عينية على رؤوسها. وهذه هي أكواب مقلوبة ذوات صبغة تحتوي خلايا حساسة للضوء مرتبطة بالجهاز العصبي. تمكِّن هذه البقع العينية الديدان من تمييز الضوء من الظلام؛ والديدان المسطحة تميل إلى الانتحاء بعيدًا عن الضوء القوي.

تكاثر الديدان المسطحة

جهاز التكاثر في الديدان المسطحة معقد. ومعظم الديدان المعقدة هي **خنات Hermaphrodites**، إذ يحتوي كل فرد على التراكيب الجنسية الذكرية والأنثوية. يكون الإخصاب في معظمها داخليًّا. وعندما تتزاوج، يضع كل شريك حيوانات منوية في كيس جماع الآخر، وتنتقل الحيوانات المنوية في أنابيب خاصة لتصل إلى البيوض.

توضع البيوض المخصبة، في معظم ديدان الماء العذب المسطحة، في شرنقة مشدودة بأشرطة، وتفقس عن حيوانات بالغة صغيرة الحجم. في المقابل، فإن الأنواع البحرية تتطور جنسيًّا بصورة غير مباشرة، فالبيوض تنقسم باتباع نمط تفلج حلزوني نموذجي، ويمكن أن تعطي أصلًا يرقة تسبح في الماء إلى أن تستقر على وسط مناسب.

الديدان المسطحة معروفة أيضًا بقدرتها غير العادية على التجديد. ففي بعض الأنواع، عندما يُقسم الحيوان الواحد إلى قسمين أو أكثر، يستطيع كل جزء التجدد إلى دودة مسطحة جديدة كاملة.

تُصنّف الديدان المسطحة تقليديًّا في أربع طوائف رئيسة

صنفت الديدان المسطحة حرة المعيشة جميعها في طائفة المهيّجة (المحدثة للاضطراب، تيربلاريا)، على الرغم من أن الدراسات الحديثة بينت أنها ليست مجموعة وحيدة الأصل. أما الديدان المسطحة الطفيلية، فإنها وضعت تقليديًّا في ثلاث طوائف: وحيدة السلالة والديدان المثقَّبة (الطوائف المنبسطة)، والديدان الشريطية. تشير الدراسات الحديثة إلى أن نمط الحياة الطفيلي تطور مرة واحدة فقط في الديدان المسطحة من خلال الديدان المهيجة. تجمع هذه الدراسات الحديثة الطوائف الطفيلية جميعها في مجموعة واحدة هي جديدة الجلد، وهذا الاسم يشير إلى «الجلد الجديد» الذي حل محل البشرة المهدبة البدائية في الأشكال حرة المعيشة.

طائفة الديدان المهيجة: ديدان مسطحة حرة المعيشة

أحد الأعضاء المألوفة جيدًا من طائفة **الديدان المهيجة Turbellaria** هو ديدان المياه العذبة من الجنس *Dugesia*، وهو البلاناريا الشائعة في تجارب مختبرات علم الأحياء. هناك ديدان مهيجة أخرى واسعة الانتشار، ومتوافرة غالبًا في البرك والبحيرات والبحر. بعض الأقارب الحميمة لبلاناريا الماء العذب توجد أيضًا على اليابسة في الأماكن الرطبة. وفي حالة إدخالها عرضيًّا، فإن بلاناريا اليابسة تشكل تهديدًا بيئيًّا مهمًّا لمخلوقات التربة، كما حدث عند انخفاض أعداد دودة الأرض في بريطانيا بسبب إدخال بلاناريا اليابسة من نيوزيلندا.

طائفتا وحيدة السلالة والديدان المثقَّبة: الديدان المنبسطة

تعيش ثلاث مجموعات من الديدان المسطحة الطفيلية إما كطفيليات خارجية، أو داخلية في أجسام حيوانات أخرى: الديدان المنبسطة (**وحيدة السلالة**

Monogenea، **والديدان المثقبة Trematoda**، **والديدان الشريطية Cestoda**). تمتلك المجموعات الطفيلية الداخلية من هذه الديدان طبقات طلائية مقاومة للأنزيمات الهاضمة وللدفاعات المناعية التي ينتجها العائل، وهي صفة مهمة في طريقة الحياة الطفيلية لها. إنها تفتقر إلى صفات محددة للديدان المسطحة حرة المعيشة مثل الأهداب في المرحلة البالغة والبقع العينية وأعضاء الإحساس الأخرى. فهذه السمات ليس لها أهمية تكيفية لمخلوق يعيش داخل جسم حيوان آخر.

تتناول الديدان المنبسطة الطعام من خلال أفواهها، كما هو حال أقاربها حرة المعيشة. وهناك أكثر من 10,000 نوع معروف من الديدان المنبسطة تتراوح أطوالها من أقل من 1ملم إلى أكثر من 8 سنتمترات. تتعلق الديدان المنبسطة ضمن أجسام عوائلها عن طريق ممصات، ومراس، وخطافات. بعضها ذات دورة حياة تشمل عائلًا واحدًا كالسمك، ولكن معظمها لديها دورة حياة تضم عائلين أو أكثر. يرقاتها توجد دائمًا في الحلزون على الأغلب، وقد يكون هناك عوائل أخرى وسيطة. والعائل النهائي لهذه الديدان هو حيوان فقري غالبًا.

ديدان منبسطة مهمة لصحة الإنسان

أحد أهم الديدان المسطحة للإنسان دودة الكبد الشرقية *Clonorchis sinensis*، التي تعيش في الممرات الصفراوية في كبد كل من الإنسان، والقطط، والكلاب، والخنازير، وهي شائعة بشكل خاص في آسيا.

طول هذه الديدان قرابة 1-2 سم، ولها دورة حياة معقدة. وعلى الرغم من أنها خناث، فإن التلقيح الخلطي يحدث عادة بين الأفراد المختلفة. تمر البيوض التي يحتوي كل منها على يرقة المرحلة الأولى المهدبة التي تدعى **ميراسيديوم Miracidium** مع البراز للخارج (شكل33-12). فإذا وصلت إلى الماء، فإنها قد تبتلع من قبل القواقع. تتحول البيضة داخل القوقع إلى **سبوروسيست Sporocyst**، وهو تركيب يشبه الكيس ذو خلايا جرثومية جنينية.

تَنتج يرقة متطاولة غير مهدبة داخل السبوسيست تدعى **ريديا Redia** تستمر في النمو داخل القوقع معطية أفرادًا عدة من مرحلة يرقية لاحقة شبيهة بأبي ذنيبة تدعى **سركاريا Cercaria**.

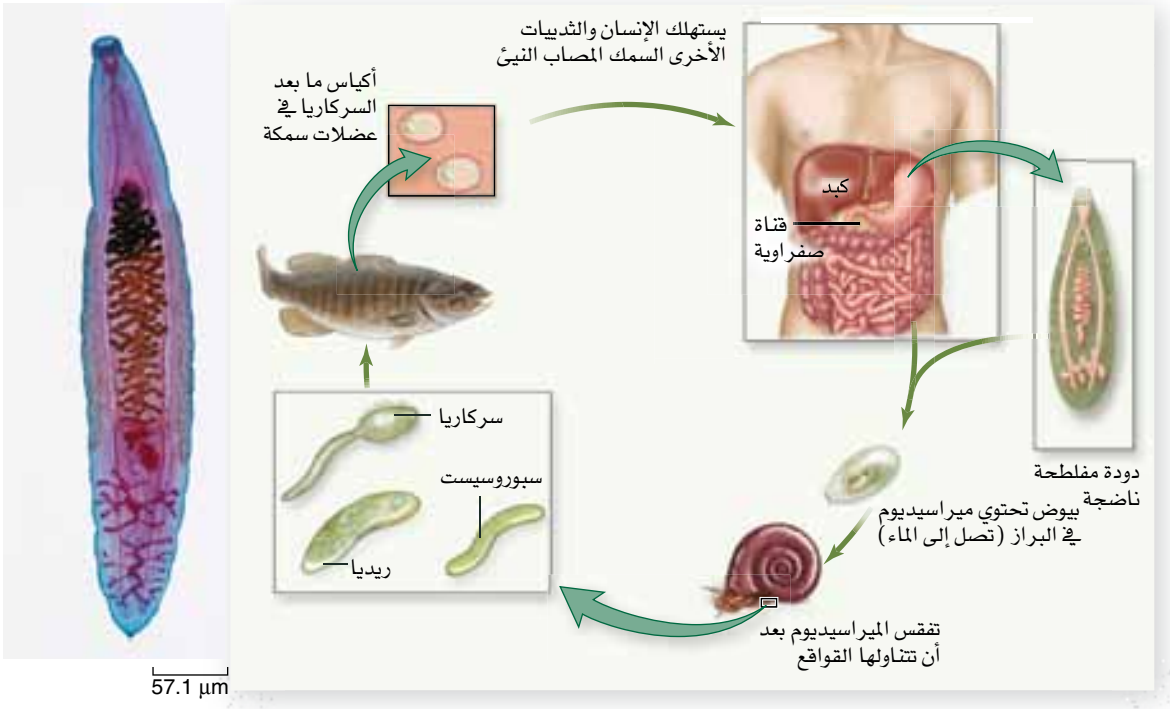
تهرب السركاريا إلى الماء، حيث تسبح بِحرية، وعندما تصادف سمكة من عائلة Cyprinidae، وهي العائلة التي تضم الشبوط والأسماك الذهبية، فإنها تحفر في عضلاتها أو تحت قشورها، ثم تفقد ذيلها، وتتحول إلى **ما بعد السركاريا Metacercaria** داخل حويصلات في الأنسجة العضلية. فإذا تناول الإنسان أو ثدييات أخرى سمكًا ملوثًا غير مطبوخ، تتحلل الحويصلات في الأمعاء، وتهاجر الديدان الصغيرة إلى قنوات الصفراء، حيث تنضج هناك. وقد تعيش الدودة المنبسطة الواحدة بين 15-30 سنة في الكبد. وفي الإنسان قد تؤدي العدوى الكثيفة للكبد إلى تشمّعه ومن ثَمَّ الوفاة.

الديدان المنبسطة المهمة الأخرى هي ديدان الدم المنبسطة من الجنس *Schistosoma*، تصيب هذه نحو 1 من كل 20 من سكان العالم، أي أكثر من 200 مليون شخص في المناطق الاستوائية في آسيا، وإفريقيا، وأمريكا اللاتينية، والشرق الأوسط. تسبب ثلاثة أنواع من *Schistosoma* مرضًا يدعى **البلهارسيا Bilharzia or Schistosomiasis**، حيث يموت 800,000 شخص تقريبًا كل عام من هذا المرض.

تتكاثف الجهود حديثًا من أجل السيطرة على داء الشستوسوما. تحمي الديدان نفسها من جهاز مناعة الجسم بتغطية نفسها بتشكيلة من مولدات ضد العائل نفسه التي تجعل الدودة غير مرئية من ناحية مناعية بشكل فعال (انظر الفصل الـ51). وعلى الرغم من هذه الصعوبة، فإن البحث يسعى للوصول إلى لقاح يدفع العائل لتطوير أجسام مضادة لواحد من مولدات الضد في الديدان الصغيرة قبل أن تحمي نفسها بمولدات ضد العائل. هذا اللقاح يتوقع أن يحمي الإنسان من العدوى.

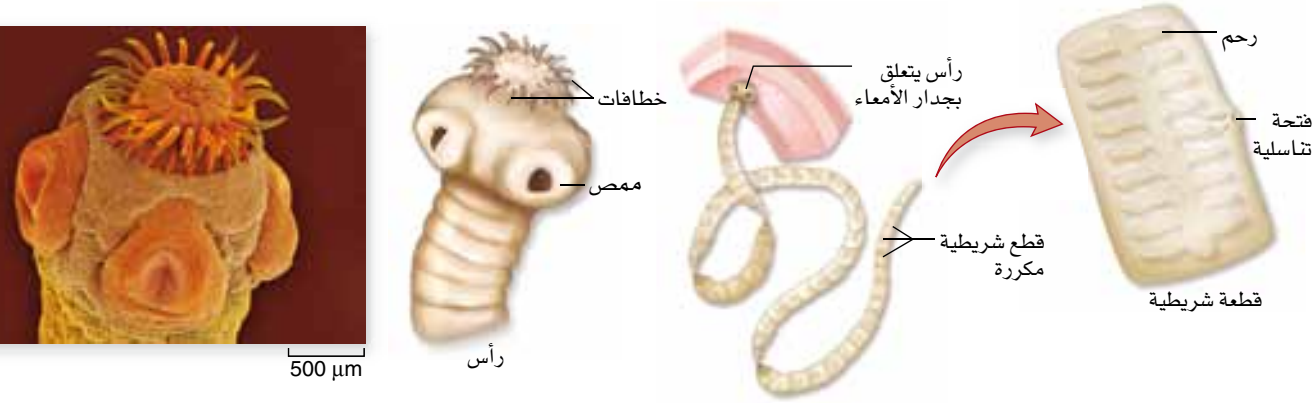
طائفة الديدان الشريطية

أفراد هذه الطائفة، ككثير من الديدان المنبسطة، تعيش متطفلة ضمن أجسام الحيوانات الأخرى. وبالمقارنة مع الديدان المنبسطة، فإن الديدان الشريطية البالغة تعلق نفسها ببساطة على الجدار الداخلي لعوائلها عن طريق أعضاء تعلق طرفية خاصة، وتمتص الغذاء عن طريق طلائيتها. تفتقر الديدان الشريطية إلى التجاويف الهضمية والأنزيمات الهاضمة. إنها متخصصة جدًا بالنسبة إلى طريقتها الطفيلية في العيش. يوجد معظم أنواع الديدان الشريطية في أمعاء الفقريات، ونحو اثنتي عشرة منها بشكل منتظم في الإنسان.



الشكل 33-12

دورة حياة دودة الكبد الشرقية *Clonorchis sinensis*



الشكل 33-13

الديدان المنبسطة. الديدان المنبسطة اللاسيلومية مثل الدودة الشريطية البقرية المبينة هنا *Taenia saginata* تعيش متطفلة في أمعاء الثدييات.

يقسم الجسم الطويل المنبسط للديدان الشريطية إلى ثلاث مناطق: **الرأس Scolex** أو عضو التعلق، والعنق غير المقسم، وسلسلة من قطع متكررة، تدعى **القطع الشريطية Proglottids** (الشكل 33-13). يحمل الرأس عادة أربع ممصات، وقد يكون له خطافات. كل قطعة شريطية هي وحدة خنثى كاملة تحتوي أعضاء التكاثر الذكرية والأنثوية. تتكون القطع الشريطية بشكل مستمر في منطقة نمو نشطة عند قاعدة العنق، حيث تندفع القطع التي تنضج نحو الخلف، كلما تكونت قطع جديدة أمامها. في النهاية، تكوِّن القطع الشريطية قرب نهاية الجسم البيوض الناضجة.

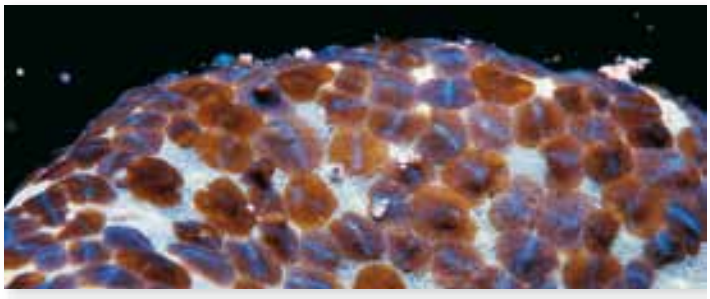
عندما تخصب هذه البيوض يبدأ الزيجوت في القطع الأخيرة بالتمايز، وتمتلئ هذه القطع بالأجنة، ثم تنفصل عن بقية جسم الدودة، وتُطرح مع براز العائل. الأجنة التي يحاط كل منها بقشرة تخرج من القطعة الناضجة خلال ثقب أو خلال جدار الجسم المتحلل، تقع بعد ذلك على الأوراق، أو في الماء، أو في أماكن أخرى، حيث تلتقطها حيوانات أخرى.

توجد الدودة الشريطية البقرية *Taenia saginata* كيافع في الأنسجة بين العضلية للأبقار، وكبالغ في أمعاء الإنسان. الدودة البقرية البالغة الناضجة قد يصل طولها 10 أمتار أو أكثر. تعلق هذه الديدان نفسها بجدار أمعاء عائلها عن طريق الرأس باستخدام أربعة ممصات. تمرّ القطع المتحررة من نهاية الدودة مع براز الإنسان، وقد تزحف فوق الأعشاب. هذه القطع تنفجر في النهاية، وتنتشر أجنتها. وقد تبقى الأجنة حية مدة خمسة أشهر، فإذا ابتلعت من قبل الأبقار، فإنها تحفر خلال جدار الأمعاء، وتصل في النهاية إلى أنسجة العضلات خلال الأوعية الدموية أو الليمفية. يصاب نحو 1% من الأبقار في الولايات المتحدة، وقرابة 20% من لحوم الأبقار المستهلكة التي لا يتم فحصها بيطريًّا فيدراليًّا. وعليه، إذا تناول الإنسان لحمًا بقريًّا غير مطبوخ تصبح العدوى بالديدان الشريطية ممكنة. نتيجة لذلك، فإن الدودةَ البقرية طفيلٌ متكرر في الإنسان.

الديدان المسطحة عديمة السيلوم تبدو متميزة عن بقية الديدان المسطحة: دراسة حالة

اعتبرت الديدان المسطحة عديمة السيلوم (الشكل 33-14) ذات مرة أعضاء أساسية في قبيلة الديدان المسطحة. فلها جهاز عصبي بسيط يتكون من شبكة بسيطة من الأعصاب بتركيز قليل من العصبونات في النهاية الأمامية. تفتقر عديمة السيلوم إلى تجويف هضمي، وبدلًا من ذلك، فإن البلعوم يؤدي إلى كتلة مصمتة من الخلايا الهاضمة.

استخدمت هذه السمات البدائية لوضع الديدان المسطحة بكاملها عند قاعدة ثنائية التماثل (انظر الشكل 33-1). مع ذلك، فإن الدراسات الجزيئية الحديثة تبين أن عديمة السيلوم تطورت مبكرًا، مثل انشقاق أولية الفم وثانوية الفم، وأنها غير مرتبطة بأعضاء قبيلة الديدان المسطحة التي تشكل الأفراد الشرعيين في سلالة أولية الفم الحلزونية.



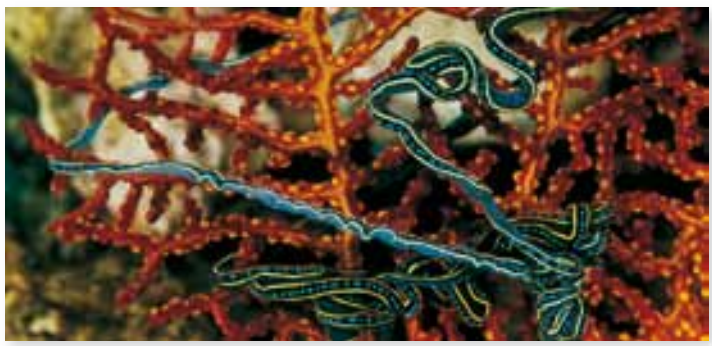
الشكل 33-14

قبيلة عديمة السيلوم Acoela. الديدان المسطحة من الجنس *Waminoa*. هذه الديدان المسطحة، كان يعتقد مدة طويلة أنها أقارب الديدان المسطحة، لها جهاز عصبي بدائي، وتفتقر إلى تجويف هضمي دائم.

تصنف الديدان المسطحة عديمة السيلوم الآن بوصفها قبيلة مستقلة تدعى لاسيلومية Acoela أو بوصفها أعضاء في قبيلة Acoelomorpha التي تضم الحوريات الجلدية، وهي مجموعة من ثنائية التماثل البدائية التي كانت تُعَدُّ يومًا جزءًا من الديدان المسطحة.

الديدان الشريطية، قبيلة الديدان الحورية، ليست شديدة القرابة مع اللاسيلوميات الأخرى

أعيد النظر أخيرًا في العلاقات النشوئية لقبيلة **ديدان حوريات البحر Nemertea** (الشكل 33-15). تدعى الحوريات غالبًا الديدان الشريطية، أو الديدان الخطمية. تشابه خطة جسم الديدان الشريطية تلك التي للديدان المسطحة دون تجويف جسم داخلي، ولكن بوجود شبكة من الأنيبيبات الدقيقة التي تكون الجهاز الإخراجي، وتملك أيضًا كيسًا مملوءًا بالسائل يدعى **السيلوم**



الشكل 33-15

قبيلة الديدان الحورية. دودة شريطية من الجنس *Lineus*. الديدان الحورية حيوانات طويلة يمكن أن تمتد إلى أمتار عدة طولًا.

الشكل 33–16

قبيلة حاملة العجل. تعيش هذه الحيوانات الصغيرة التي تشبه حجم النقطة بنهاية هذه الجملة، في أجزاء فم جراد البحر المخلبي. إحدى مراحل التغذية (وجزء من المرحلة الثانية) للنوع *Symbion pandora* تبدو هنا ملتصقة بأجزاء فم جراد البحر.

الخطمي Rhynchocoel، الذي يُشكل تجويفًا سيلوميًّا حقيقيًّا. يشكل هذا الكيس مصدر قوة هيدروستاتيكية للخطم الذي هو أنبوب عضلي طويل يمكن إطلاقه بسرعة من داخل غمد للقبض على الفريسة. تتألف قبيلة الحوريات من قرابة 900 نوع، شكلها يشبه الخيط أو الشريط، ومعظمها بحرية، والقليل من الأنواع تعيش في الماء العذب أو البيئات الرطبة من اليابسة. الديدان الشريطية طويلة غالبًا، إذ يصل طولها بين 10–20 سنتمترًا على الرغم من صعوبة قياسها؛ لأنها تستطيع أن تشد نفسها كثيرًا. أحد الأنواع *Lineus longissimus* قيس طوله بستين مترًا طولًا، وبذا قد يعدّ أطول حيوان!

ونظرًا لأن جسمها مكتظ، ويحاكي جسم اللاسيلوميات، فقد عُدّت الحوريات تقليديًّا أبسط الحيوانات التي تملك جهازًا هضميًّا كاملًا، حيث له فتحتان منفصلتان؛ فم، وشرج، وهذا هو اختلافها الرئيس مع الديدان المسطحة. الجهاز الدوري المغلق والسيلوم الخطمي يجعل من الواضح أن الحوريات ليست مرتبطة بالديدان المسطحة. بدلًا من ذلك، فإن الحوريات تصنف الآن بدرجة من القرابة مع السيلوميات أولية الفم الأخرى في مجموعة الحيوانات ذات العرف المدوّر.

قبيلة حاملة العجل هي قبيلة جديدة نسبيًّا

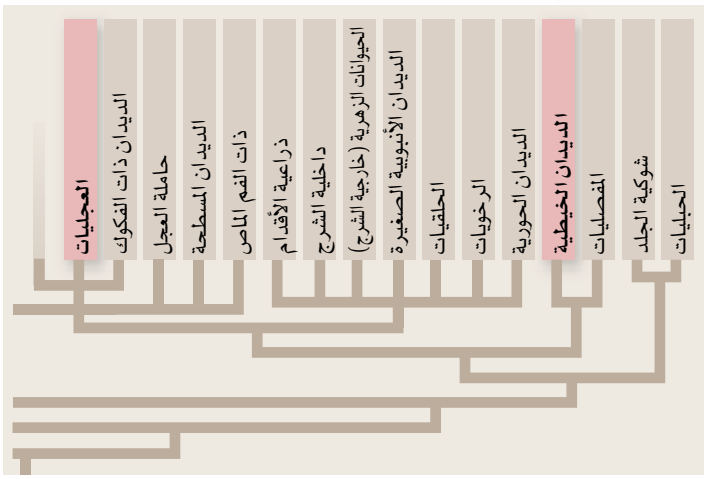
قدم عالما الأحياء الهولنديان بيتر فونش، وراينهارد كرستنسن في كانون الثاني عام 1995 تقريرًا حول اكتشاف نوع جديد غريب من المخلوقات عديمة السيلوم، حجمه كنقطة في صفحة مطبوعة. هذا المخلوق الصغير له فم دائري مدهش ومحاط بحلقة من الأهداب وتشريحه ودورة حياته غير عادية لدرجة أنهما خَصصا له قبيلة جديدة تمامًا سميت **حاملة العجل Cycliophora** (الشكل 33–16).

كانت تسمى القبيلة الجديدة قبل تسمية حاملة العجل، قبيلة حاملة المشدّ التي كانت قد اكتشفت من قبل راينهارد كرستنسن عام 1983، الذي اكتشف أيضًا هو وبيتر فونش قبيلة جديدة أخرى عام 2000 هي قبيلة الحيوانات ذات الفك الصغير جدًا.

تعيش حاملة العجل في أجزاء فم جراد البحر ذي المخلب على جانبي الأطلسي الشمالي، وعندما يبدأ جراد البحر الذي تتعلق به هذه الحيوانات بالانسلاخ، فإن هذا المخلوق التكافلي يبدأ نمطًا غريبًا من التكاثر الجنسي. تخرج ذكور قزمة تتألف من لاشيء باستثناء دماغ وأعضاء تكاثر. كل ذكر قزم يفتش عن أنثى تعيش بتكافل على جراد بحر قيد الانسلاخ، ويخصب بيوضها، منتجًا أفرادًا حرة السباحة تفتش عن جراد بحر آخر، وتعيد دورة حياتها.

اللاسيلوميات، ونموذجها الديدان المسطحة حيوانات مكتظة وثنائية التماثل الجانبي، ولكنها ليست بالضرورة بدائية، وقد وضعت في أفرع عدة في شجرة حياة الحيوان. يستمر ظهور قبائل جديدة أكثرها حداثة حاملة العجل. الأفراد الذين يمثلون هذه القبيلة يعيشون على أجزاء فم جراد البحر، ولهم شكل فريد من التكاثر الجنسي.

5-33 كاذبة السيلوم



تمتلك كل ثنائية التماثل الجانبية التي ليس لها خطة جسم لاسيلومية تجويف جسم داخليًّا. يتصف عدد من قبائل ثنائية التماثل بامتلاكها لسيلوم كاذب، وهو تجويف بين الميزودرم والإندودرم (الفصل الـ 32) (انظر الشكل 32–2).

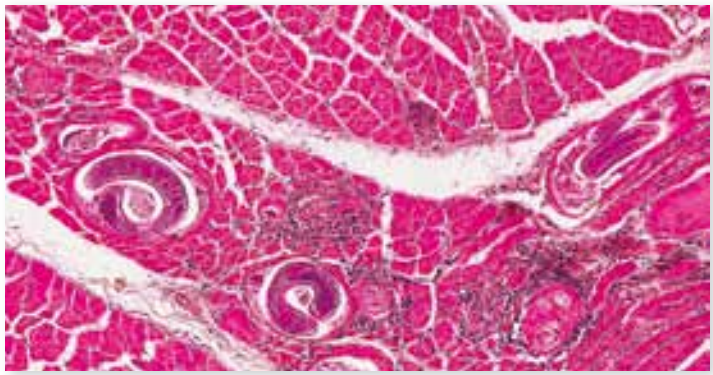
وعلى الرغم من أن علاقاتها التطورية كانت يومًا غير واضحة، فإن معظم كاذبة السيلوم تُعدّ الآن أعضاء في الحيوانات الانسلاخية (في حالة الديدان الخيطية والمصنفات المرتبطة بها) أو في الحيوانات المنبسطة (في حالة العجليات).

يخدم التجويف الكاذب وظيفة هيكل هيدروستاتيكي – الذي يكتسب صلابته من امتلائه بالسائل تحت الضغط. تعمل عضلات الجسم ضد هذا الهيكل، وبهذا تجعل حركة كاذبة السيلوم أكثر فعالية من حركة عديمة السيلوم. تفتقر كاذبة السيلوم إلى جهاز دوري محدد، فهذا الدور تنجزه السوائل التي تتحرك داخل السيلوم الكاذب.

تبدو حالة السيلوم الكاذب أنها حل تكيفي لحاجات حجم جسم أكبر، فأصغر أعضاء القبائل التي اعتبرت تقليديًّا كاذبة السيلوم هي غالبًا عديمة السيلوم، وهي حالة أصغر الديدان الخيطية. في هذا الجزء سوف نركز على قبيلتين كاذبتي السيلوم مهمتين.

الديدان الأسطوانية، قبيلة الديدان الخيطية حيوانات انسلاخية تضم كثيرًا من الأنواع

يشكل حنكليس الخل، والدودة الحنكليس، وديدان أسطوانية أخرى قبيلة كبيرة تدعى **الديدان الخيطية Nematoda** وتضم نحو 20.000 نوع معرّف. ويقدر العلماء أن العدد الفعلي قد يصل إلى 100 ضعف هذا العدد. أفراد هذه القبيلة توجد في كل مكان. فالديدان الخيطية موجودة ومتنوعة في البيئات البحرية والعذبة. إن كثيرًا من الديدان الخيطية مجهرية، وتعيش في التربة، وقد يحوي حجم معول من التربة الخصبة في المعدل على نحو مليون منها.



الشكل 33-17

الدودة الخيطية الشعرية تريكينيلا متحوصلة في عضلات الخنزير. ينتج داء الشعريات (الترخينيلا) الخطير من تناول لحم الخنزير غير المطبوخ جيدًا، أو النيئ الذي يحتوي هذه الحويصلات.

تركيب الديدان الخيطية

الديدانُ الخيطية ثنائيةُ التماثل وغير مقسمة. جسمها مغطى بجليد سميك ومرن ينسلخ أربع مرات في أثناء نموها. تشكل عضلاتها طبقة تحت البشرة، وتمتد على طول جسمها (عضلات طولية) بدلًا من أن تحيط بجسمها (تفتقر إلى العضلات الدائرية). تسحب العضلات الطولية مرتكزة على كل من الجليد والسيلوم الكاذب الذي يشكل الهيكل الهيدروستاتيكي. تفتقر الديدان الخيطية إلى أعضاء تنفسية متخصصة، وهي تتبادل الأكسجين خلال الجليد. وإنها تمتلك جهازًا هضميًّا متطورًا جدًا، وتتغذى على مصادر غذاء متنوعة.

يوجد قرب فم الديدان الخيطية، عند نهايتها الأمامية، 16 عضو إحساس يبرز كالشعرة. والفم غالبًا مزود بأعضاء ثاقبة تدعى **رميحات Stylets**. يمر الغذاء من الفم نتيجة لحركة الشفط التي تنتجها الانقباضات المنتظمة لتجويف عضلي يدعى **البلعوم Pharynx** في مقدمة الدودة. بعد مرور الغذاء في ممر قصير داخل البلعوم، يستمر في حركته نحو الأمعاء، وتطرح المادة غير المهضومة من خلال الشرج (الشكل 33-18).

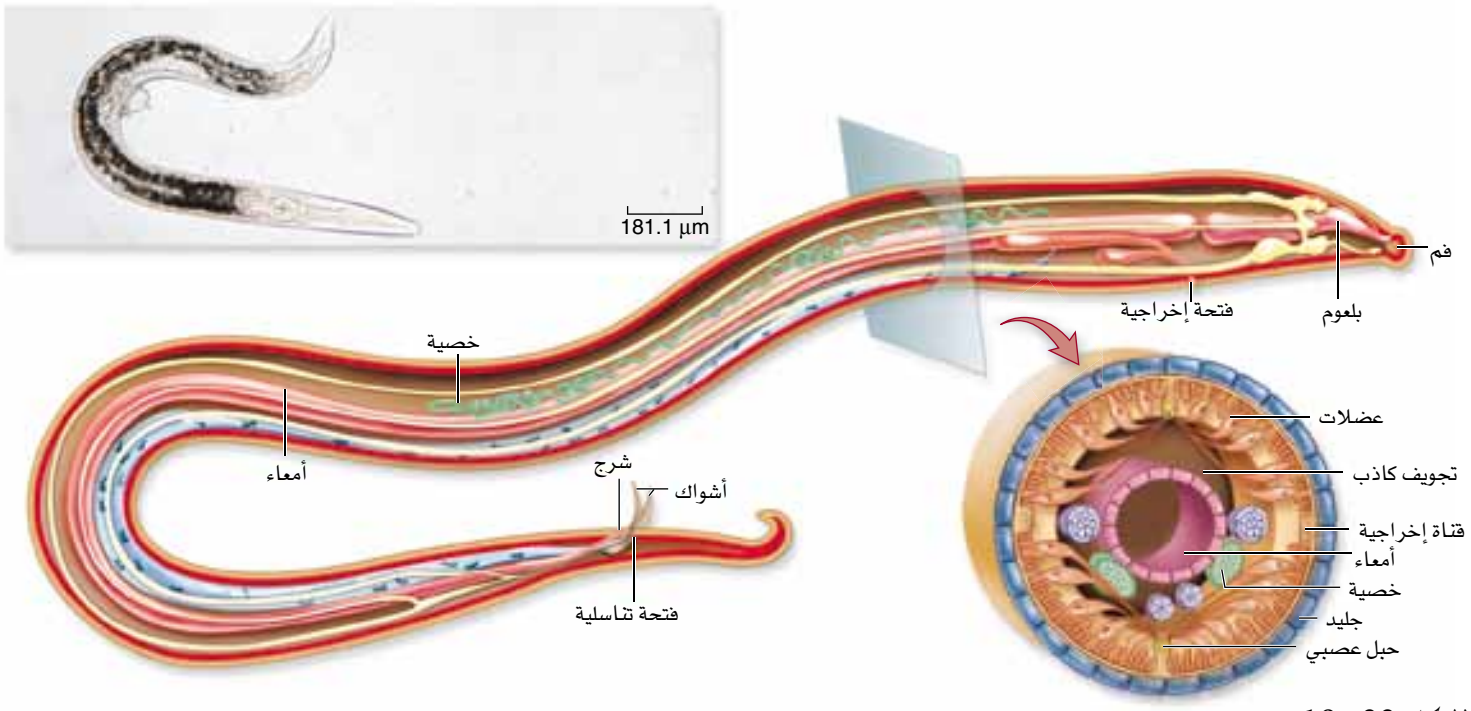
التكاثر والتطور الجنيني

التكاثرُ في الديدان الخيطية جنسيٌّ غالبًا، والأجناس منفصلة (بدلًا أن تكون خناثًا) وتبدي الكثير من الاختلافات. التطور الجنيني مباشر ما يعني أن حيوانًا يافعًا، لا يرقة، يخرج من البيضة، نمط تفلج البيضة فريد بين الحيوانات، ولكنه مدروس جيدًا.

يتألف الحيوان البالغ في بعض الأنواع من عدد ثابت من الخلايا، وهي ظاهرة تدعى ثبات عدد الخلايا *Eutely*. لهذا السبب، أصبحت الديدان الخيطية نماذج مهمة جدًا في الدراسات الوراثية والجنينية (انظر الفصل الـ 19). فالدودة *Caenorhabditis elegans* التي يبلغ طولها 1 ملم تنضج خلال ثلاثة أيام، وذات جسم شفاف، وبها 959 خلية فقط. إنها الحيوان الوحيد الذي عرف التشريح الخلوي الجنيني الكامل له.

نمط حياة الديدان الخيطية

كثير من الديدان الخيطية قانصاتٌ نشطة؛ إذ تفترس طلائعيات، وحيوانات أخرى صغيرة. كثير من أنواع الديدان الخيطية طفيلية على النباتات، أو تعيش داخل أجسام حيوانات أكبر. كل نوع تمت دراسته من النبات أو الحيوان وجد أن له نوعًا واحدًا طفيليًّا على الأقل من الديدان الخيطية يعيش بداخله. أكبر الديدان الخيطية المعروفة يصل طوله 9 أمتار هو طفيل يعيش في مشيمة حوت المني.



الشكل 33-18

قبيلة الديدان الخيطية. الديدان الأسطوانية: الديدان الأسطوانية مثل هذا الذكر الخيطي يمتلك تجويف جسم بين القناة الهضمية وجدار الجسم يدعى سيلومًا كاذبًا، إنه يسمح للمواد الغذائية بالدوران خلال الجسم، ويمنع الأعضاء من أن يعتل شكلها في أثناء حركة العضلات.

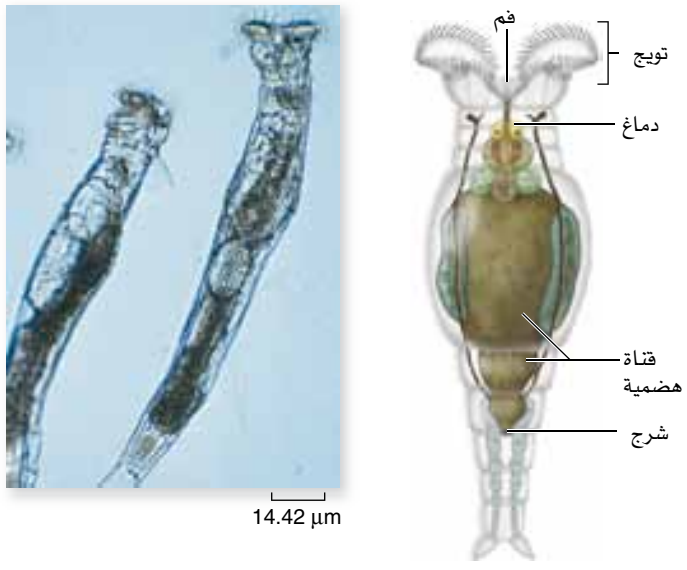
يتطفل على الإنسان بشكل منتظم نحو 50 نوعًا من الديدان الخيطية، بما في ذلك أنواع عدة شائعة في الولايات المتحدة، فالديدان الخطافية، غالبًا من الجنس *Necator*، مثلًا شائعة في الولايات الجنوبية وبامتصاصها الدم من جدار القناة الهضمية للعائل، فإنها يمكن أن تسبب فقر الدم إنْ لم تعالج.

أمراض إنسانية يمكن أن تسببها الديدان الخيطية

إن المرض الأخطر والأكثر شيوعًا الذي تسببه الديدان الخيطية في المناطق المعتدلة هو داء الشعريات (الترخنيلا) الذي تسببه الديدان من الجنس *Trichinella*. تعيش هذه الديدان في الأمعاء الدقيقة للخنزير، حيث تحفر الأنثى المخصبة في جدار الأمعاء. عندما تخترق الأنثى هذه الأنسجة، فإنها تنتج قرابة 1500 صغير حيّ. تدخل الصغار قنوات الليمف، وتهاجر إلى الأنسجة العضلية خلال الجسم، حيث تنضج، وتشكل حوصلة متكلسة عالية المقاومة.

تحدث العدوى في الإنسان والحيوانات الأخرى من تناول اللحم النيئ، أو غير المطبوخ جيدًا الذي يحوي حوصلات الدودة. فإذا كانت الحوصلات كثيرة، قد تنتج عدوى قاتلة، ولكن مثل هذه العدوى تكون نادرة. وفي خلال العقد الأخير، بلغ عدد الوفيات في الولايات المتحدة نتيجة داء الشعريات 20 حالة فقط. الديدان الدبوسية *Enterobius vermicularis* تنتشر أيضًا في الولايات المتحدة، حيث يقدر أنها أصابت 30% تقريبًا من كل الأطفال، ونحو 16% من البالغين. تعيش الديدان البالغة في مستقيم الإنسان. ولحسن الحظ، فإن الأعراض التي تسببها ليست حادة، ويمكن السيطرة على الديدان بسهولة عن طريق الأدوية.

الديدان الأسطوانية المعوية *Ascaris lumbricoides* تصيب سُدُس سكان العالم تقريبًا، ولكنها نادرة في المناطق، حيث الصرف الصحي الحديث. تعيش هذه كالديدان الدبوسية في الأمعاء، وتنتشر بيوضها المخصبة في البراز، وتستطيع البقاء حية سنوات في التربة. تحتوي الأنثى البالغة، التي قد يصل طولها 30 سنتمترًا، نحو 30 مليون بيضة، وتستطيع أن تحرر منها قُراب 20.000 بيضة يوميًّا.



الشكل 33-19

قبيلة العجليات. مع أن العجليات مجهرية الحجم، إذ تُعدّ أصغر من بعض الطلائعيات الهدبية، إلا أن لها أعضاء داخلية معقدة.

بعض الأمراض الأخرى التي تسببها الديدان الخيطية خطيرة جدًا في المناطق الاستوائية. فداء الفيلاريا تسببه أنواع عدة من الديدان الخيطية، ويصيب على الأقل 250 مليون شخص في العالم. تعيش الفيلاريا، التي يبلغ طولها لغاية 10سم في الجهاز الليمفي، حيث تسده بشكل خطر مسببة التهابًا شديدًا وانتفاخًا. تُنتج العدوى الخطرة التي تسببها الفيلاريا من نوع *Wuchereria bancrofti*، وهي الحالة المعروفة باسم مرض الفيل الذي تنتفخ فيه بعض الأطراف بشكل مشوه للمنظر. تتطلب هذه الديدان عائلًا وسيطًا، ويكون عادة حشرة ماصة للدم.

العجليات، قبيلة العجليات، تتحرك عن طريق أهداب سريعة الإيقاع

شعبةُ العجليات Rotifera ثنائيةُ التماثل، غير مقسمة، وكاذبة السيلوم. وعلى الرغم من أنها كاذبة السيلوم، فإنها لا تشبه الديدان الخيطية. ولهذا، فإنها تنتمي إلى فرع مختلف من شجرة حياة الحيوان. وإن أسلافها قد تكون شبيهة بالديدان المسطحة. ولهذا، فإنها تصنف مع الحيوانات المسطحة الحلزونية.

العجليات صغيرة جدًا؛ فطولها 50-500 ميكرومتر، وهي أصغر من بعض الطلائعيات المهدبة. لكن للعجليات أجسامًا معقدة ذات ثلاث طبقات خلوية، وذات أعضاء داخلية متطورة. القناة الهضمية كاملة، وتمتد من الفم إلى الشرج. والسيلوم الكاذب يعمل بوصفه هيكلًا هيدورستاتيكيًّا ليعطي الجسم صلابة.

انتقال العجليات وتوزيعها

العجليات حيوانات مائية تدفع نفسها خلال الماء عن طريق أهداب تضرب بسرعة كمجاذيف القارب. تسمى العجليات الحيوانات ذات العجل؛ لأن الأهداب عندما تضرب معًا تبدو، وكأنها حركة أشعة الدولاب التي تشع من مركزه. يوجد ما يقارب 1800 نوع معروف من هذه القبيلة. وعلى الرغم من أن قليلًا من العجليات يعيش في التربة أو في الماء الشعري بين الحزازيات والطحالب، فإن معظمها يعيش في الماء العذب، وهي شائعة في كل مكان. معظمها لا يعمر أكثر من أسبوع إلى أسبوعين، ولكن بعضها قد يبقى حيًّا في حالة غير نشطة وتحت الجفاف على أوراق النباتات، وعند سقوط المطر يستعيد الحيوان نشاطه، ويتغذى بنشاط في الطبقة الرقيقة من الماء التي تغمر الورقة. والقليل من أنواع العجليات بحري.

جمع الغذاء

للعجليات جهاز لجمع الغذاء متطور جدًا. فهناك عضو بارز عند مقدمة الرأس يدعى التويج يجمع الغذاء (الشكل 33-19). العضو مكون من دائرة من الأهداب التي تكنس الغذاء في اتجاه الفم ذي الفك المعقد. يستخدم التويج أيضًا في الانتقال، على الرغم من أن كثيرًا من الأنواع تتعلق بالوسط الذي تعيش فيه عن طريق أصابع وغدد لاصقة.

كاذبة السيلوم لها تجاويف جسم مملوءة بالسائل، ومبطنة بإندودرم ومزودرم. الديدان الخيطية ذات تماثل ثنائي جانبي وغير مقسمة. كاذبة السيلوم الأخرى لها خطط جسم مختلفة. والعجليات معقدة جدًا على الرغم من تناهيها في الصغر.

33-1 ثورة في نشوء اللافقريات

هناك القليل من الاختلاف بين العلماء حول تصنيف القبائل السّتّ والثلاثين من الحيوانات، ولكن هناك الكثير من الاختلاف حول كيفية ارتباط كل منها مع الأخرى.

- تنفصل المثقبات أولًا عن الحيوانات البدية الحقيقية، وتتفرع اللاسعات وحاملات الأمشاط مبكرًا قبل الحيوانات ذات التماثل الثنائي الجانبي.
- الحيوانات ذات التماثل الثنائي الجانبي صنفت في مجموعتين تختلفان في تكوينهما الجنيني: أولية الفم وثانوية الفم.
- أسلاف السلالات أولية الفم بنيت بشكل مختلف باستخدام البيانات الجزيئية بدلًا من البيانات الشكلية.
- اعتمدت فروع الحيوانات تقليديًّا على وجود السيلوم.
- السيلوميات يمكن أن تكون أولية الفم أو ثانوية الفم، في حين تكون اللاسيلوميات وكاذبة السيلوم أولية الفم دائمًا (شكل 32 – 2).
- تطورت سلالتان رئيستان من أولية الفم هما: الحلزونيات والانسلاخيات بصورة مستقلة.
- الحلزونيات لديها مرحلة يرقية حرة المعيشة تدعى حاملة العجل أو تروكوفور، تنمو بإضافة كتلة إلى الجسم الموجود. وهي مقسمة إلى الحيوانات حاملة العرف المدوّر والحيوانات المسطحة التي تضم قبائل عدة مثل السيلوميات حاملات العرف والرخويات، والحلقيات، والديدان المسطحة اللاسيلومية.
- الانسلاخيات تنمو بانسلاخ هيكلها الخارجي، وتضم قبائل متعددة تشمل كاذبة سيلوم ناجحة جدًا، وهي الديدان الخيطية، وحيوانات سيلومية مقسمة هي المفصليات.

33 - 2 نظيرة الحيوانات: حيوانات تفتقر إلى أنسجة متخصصة

الإسفنج متعدد الخلايا هو نظير الحيوانات، وهي حيوانات تفتقر إلى أنسجة وأعضاء وتماثل محدد.

- الإسفنجات اليرقية حرة السباحة، والبالغ منها يتعلق على سطوح الأجسام المغمورة.
- الإسفنج مكون من ثلاث طبقات، طبقة طلائية وقائية خارجية، ومادة بينية مركزية غنية بالبروتين تدعى الظهارة المتوسطة، وطبقة داخلية من خلايا مطوقة تستخدم في الاستحواذ على الغذاء وتدوير الماء (الشكل 33 – 3 ب).
- قد تحتوي الظهارة المتوسطة أشواكًا أو أليافًا أو كليهما، مكونة من بروتين صلب يدعى إسفنجين يقوي جسم الإسفنج.
- يمكن أن يتكاثر الإسفنج لاجنسيًّا بالتقطيع، أو جنسيًّا.

33-3 الحيوانات البدية الحقيقية: حيوانات ذات أنسجة حقيقية

تحتوي تحت مملكة الحيوانات البدية الحقيقية حيوانات لها أنسجة متميزة وتماثل جسمًا حقيقيًّا.

- تملك اللاسعات ذات التماثل الشعاعي وآكلة اللحوم أنسجة متميزة، ولكن ليس لها أعضاء حقيقية.
- يعطي الإكتودرم البشرة والجهاز العصبي، ويعطي الإندودرم الأنسجة الهضمية والأدمة المعدية. وتقع الطبقة المتوسطة بين هذين النسيجين الأساسيين، وتحتوي على عضلات (الشكل 33 - 5).
- لدى اللاسعات شكلان أساسيان للجسم: بوليب أسطواني مستقر وثابت، وميدوزا طافية حرة (الشكل 33 – 4).
- يمكن أن يتكاثر البوليب لاجنسيًّا أو جنسيًّا، لكن الميدوزا تتكاثر جنسيًّا مشكلة يرقة رحّالة بعد الإخصاب (الشكل 33 – 6).
- يبدأ الهضم بتقطيع الطعام خارج الخلايا، ويعقب ذلك ابتلاع وهضم داخل الخلايا.
- تُنظِّم شبكة عصبية انقباض الخلايا الطلائية العضلية في اللاسعات، ولكن ليس هناك سيطرة مركزية.
- ليس للاسعات أجهزة دورية، ولا إخراجية، ولا تنفسية.
- للاسعات خلايا متخصصة تدعى الخلايا اللاسعة، تحتوي على كيس خيطي لاسع يستخدم في الاستحواذ على الغذاء وفي الدفاع.
- توجد اللاسعات بوصفها بوليبًا أو ميدوزا، وتصنف في أربع طوائف، هي: الهدريات، والفنجانيات أو هلام البحر، والمكعبات أو هلام البحر الصندوقي، والزهريات مثل شقائق البحر والمرجان.
- حاملات الأمشاط قبيلة صغيرة تدعى هلام البحر المشطي، وهي ذات ثلاث طبقات جرثومية، ولها خلايا عضلية حقيقية مشتقة من الميزودرم. تقبض على الفريسة باستخدام خلايا مولدة المادة الغروية التي تحتوي مادة لاصقة، والمجموعة ليست شعاعية التماثل بشكل مطلق، وتستخدم أهدابًا متحدة للانتقال.

33-4 اللاسيلوميات ثنائية التماثل الجانبي

تتصف ثنائية التماثل الجانبي بالتماثل الثنائي الجانبي الذي يسمح بدرجة عالية من التخصص.

- الديدان المسطحة، قبيلة الديدان المسطحة، لها رأس متميز، وتتحرك عن طريق خلايا طلائية مهدبة (الشكل 33 – 11).
- القناة الهضمية غير الكاملة لها فتحة واحدة، والديدان المسطحة لا تستطيع التغذية بشكل مستمر، ولا تتغذى وتهضم الغذاء وتخرج الغذاء غير المهضوم في الوقت نفسه.
- الديدان المفلطحة لها جهاز إخراجي ومنظم للأسموزية، يحتوي على شبكة دقيقة من الأنيبيبات بها خلايا لهبية. المهمة الأساسية لهذا النظام هي توازن الماء، ومعظم الفضلات الأيضية تخرج عن طريق القناة الهضمية.
- شكل الجسم المنبسط والقناة الهضمية بالغة التفرع يستفيد من الانتشار، إذ لا يوجد جهاز دوري.
- تتكاثر الديدان المسطحة جنسيًّا وهي خناث. ولها القدرة كذلك على التجديد اللاجنسي.
- تقسم الديدان المسطحة إلى أربع طوائف، هي: الديدان المهيّجة حرة الحركة، والديدان المفلطحة الطفيلية التي تضم وحيدة السلالة، والديدان المثقّبة، والديدان الشريطية الطفيلية. الديدان المفلطحة والديدان الشريطية لها أثر مهم في صحة الإنسان.
- الديدان المسطحة عديمة السيلوم، Acoela كانت تُعدّ يومًا ما أساسية لقبيلة الديدان المسطحة، ولكن الدراسات الجزيئية أشارت إلى أنها تطورت قبل الانشقاق بين أولية الفم وثانوية الفم.
- الديدان الحورية أو الديدان الشريطية تماثل الديدان المفلطحة، فيما عدا أن لها سيلومًا حقيقيًّا يدعى سيلومًا خطميًّا، ولها قناة هضمية كاملة، وجهاز دوري مغلق.

33-5 كاذبة السيلوم

تملك كاذبة السيلوم سيلومًا كاذبًا، وهو تجويف بين الميزودرم والإندودرم.

- السيلوم الكاذب مملوء بالسائل، ويعمل بوصفه هيكلًا هيدروستاتيكيًّا تعمل العضلات بالاستفادة منه.
- تفتقر كاذبة السيلوم إلى جهاز دوري، وتقوم بهذه الوظيفة حركة السوائل في السيلوم الكاذب.
- يتم تبادل الأكسجين خلال الجليد.
- الديدانُ الخيطية حيواناتٌ انسلاخية تتكاثر جنسيًّا، وتبدي شكلين جنسيين: ذكرًا وأنثى.
- كاذبة السيلوم من العجليات، ليست على علاقة قرابة بالديدان الخيطية، وتصنف بوصفها حيوانات منبسطة حلزونية.
- تدفع العجليات نفسها، وتجمع الغذاء باستخدام الأهداب، وتقطع الطعام باستخدام فك معقد، ويعمل السيلوم الكاذب بوصفه هيكلًا هيدروستاتيكيًّا. إنها حيوانات إما حرة السباحة أو تعلق نفسها إلى الوسط الذي تعيش فيه باستخدام أصابعها وغدد لاصقة.
- قبيلةُ حاملات العجل واحدةٌ من ثلاث قبائل جديدة ذات شكل فريد من التكاثر الجنسي.

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. في التحليل النشوئي الحديث للحيوانات، تقسم أولية الفم إلى مجموعتين اعتمادًا على:
   أ. تماثلها. ب. تكوين الرأس.
   جـ. قدرتها على الانسلاخ. د. وجود الفقرات أو عدم وجودها.
2. التصنيف الذي يصف بصورة أفضل نوعًا لا ينسلخ، وله سيلوم، ومراحله اليرقية تستخدم حامل العرف هو:
   أ. حيوان انسلاخي. ب. نظير الحيوانات.
   جـ. حيوانات مسطحة. د. حاملة العرف المدوّر.
3. وجود هيكل كايتيني وزوائد متمفصلة هي صفات أساسية لقبيلة:
   أ. المفصليات. ب. الديدان الخيطية.
   جـ. الحيوانات المسطحة. د. الرخويات.
4. الصفة التي تتصف بها الحيوانات جميعها هي:
   أ. تماثل الجسم. ب. الأنسجة.
   جـ. تعدد الخلايا. د. تجويف الجسم.
5. واحدة من خلايا الإسفنج الآتية لديها أسواط:
   أ. الخلايا المطوقة. ب. الخلايا الأميبية.
   جـ. الخلايا الطلائية. د. الأشواك.
6. توجد الأشواك ومادة إسفنجين في _____ في الإسفنج.
   أ. ضمن الفويهة. ب. ضمن الظهارة المتوسطة.
   جـ. بين الخلايا المطوقة. د. خلية لاسعة.
7. تعرف المرحلة اليرقية في اللاسعات باسم:
   أ. إكتودرم. ب. رخّالة (بلانيولا).
   جـ. بوليب. د. خلية لاسعة.
8. طبقة من الخلايا الآتية ليست ضرورية لاعتبار الحيوان حيوانًا بَعديًّا حقيقيًّا:
   أ. إكتودرم. ب. إندودرم.
   جـ. ميزودرم. د. كل ما ذكر موجود في الحيوانات البعدية الحقيقية جميعها.
9. الطائفة التي لها علاقة تكافلية داخلية مع ذات الأسواط المطوقة هي:
   أ. الزهريات. ب. المكعبات.
   جـ. الهدريات. د. الفنجانيات.
10. القبيلة التي تمتلك تماثلًا ثنائيًّا جانبيًّا حقيقيًّا هي:
    أ. اللاسعات. ب. الإسفنجيات.
    جـ. الديدان المنبسطة. د. حاملات الأمشاط.
11. العملية الأيضية التي يتضمنها عمل الخلايا اللهبية في الديدان المسطحة هي:
    أ. التكاثر. ب. الهضم.
    جـ. الانتقال. د. التنظيم الأسموزي.
12. طائفة الديدان التي لا تُعدّ من «جديدة الجلد» هي:
    أ. الشريطية. ب. المهيجة.
    جـ. المثقبة. د. وحيدة السلالة.
13. "أبسط" حيوان له جهاز هضمي كامل ينتمي إلى:
    أ. طائفة الديدان المهيجة. ب. قبيلة الديدان الحورية.
    جـ. قبيلة عديمة السيلوم (Acoela). د. طائفة الديدان الشريطية.
14. اعتاد العلماء تصنيف الديدان الخيطية قريبة من العجليات بسبب وجود سيلوم كاذب، ولكن ليس بالقرب من المفصليات نتيجة لوجود:
    أ. الانسلاخ. ب. الزوائد المتمفصلة.
    جـ. الأجنحة. د. السيلوم الكامل.
15. المرض الذي تسببه الديدان الخيطية هو:
    أ. داء الفيلاريا. ب. الديدان الدبوسية.
    جـ. داء الشعريات (الترخنيلا). د. كل ما ذكر.

أسئلة تحدٍّ

1. ماذا ترشدك قبيلة عديم السيلوم (Acoela) وحاملة العجل عن فهمنا للافقاريات عديمة السيلوم؟ هل تعتقد أن شجرة النشوء المبينة في الشكل 33 – 2 كاملة؟ اشرح إجابتك.
2. لِمَ تُعدّ الخنثى ميزة للأنواع الطفيلية؟
3. هل افتقار الديدان الشريطية للجهاز الهضمي يشير إلى أنها شكل سلفي بدائي للديدان المسطحة ؟ اشرح إجابتك.

هل أنت في حاجة إلى مراجعة إضافية زر الموقع www.ravenbiology.com. لتتدرب على الاختبارات القصيرة، والرسوم المتحركة، والتسجيلات التلفزيونية، وأنشطة مخصصة؛ لمساعدتك على فهم المادة الموجودة في هذا الفصل.

الفصل 34

اللافقاريات السيليومية

Coelomate Invertebrates

مقدّمة

على الرغم من أن عديمة السيلوم وكاذبة السيلوم أثبتتا نجاحًا كبيرًا، فإن طريقة ثالثة لتنظيم جسم الحيوان موجودة في كثير من أولية الفم وثانوية الفم كلها قد تطورت.

سنبدأ مناقشتنا للافقريات السيلومية بالرخويات، التي تضم حيوانات كالمحار، والقواقع، والبزاق، والأخطبوط. إن الحلقيات التي تمثلها دودة الأرض والعلق الطبي، والدودة البحرية، لها أيضًا تجويف سيلومي إضافة إلى جسم مقسم. والمفصليات، كدبور الورق الذي تبدو صورته هنا، تطور به التقسيم والزوائد المتمفصلة، وأصبحت أكثر المجموعات الحيوانية نجاحًا. أما شوكية الجلد فهي حيوانات بحرية بشكل مطلق، وتظهر تكوينًا جنينيًّا ثانوي الفم وهيكلًا داخليًّا، وهما ابتداعان تطوريان تشترك فيهما مع الحبليات التي هي موضوع الفصل الـ 35.

موجز المفاهيم

34-1 قبيلة الرخويات: الرخويات

- *الرخويات شديدة التباين.*
- *خطة جسم الرخويات معقدة ومتباينة.*
- *أربع طوائف من الرخويات تبين تنوع هذه القبيلة.*

34-2 قبيلة الحلقيات: الديدان الحلقية

- *للحلقيات قطع جسمية متميزة تشبه الحلقة.*
- *تتحرك الحلقيات بانقباض قطع الجسم.*
- *صنفت الحلقيات تقليديًّا في ثلاث طوائف.*

34-3 حاملة العجل: الحيوانات الزهرية وذراعية القدم

- *الحيوانات الزهرية، قبيلة الزهريات، تكوِّن مستعمرات، وتنتج حجرة كيتينية.*
- *ذراعية القدم والفورونيد، قبيلة ذراعية القدم، هي حيوانات حاملة عَجَل منفردة.*

34-4 قبيلة المفصليات: مفصليات الأرجل

- *خطة جسم المفصليات تتسم بزوائد مفصلية وهيكل خارجي.*
- *للعنكبوتيات زوائد أمامية متخصصة، تدعى الخطافات.*
- *ذات المئة قدم، وذات الألف قدم مقسمة، ولها عدد كبير من الأرجل.*
- *أغلب القشريات مائية، ولها زوائد ثنائية التفرع.*
- *تبدي الحشرات تنوعًا هائلًا، وتوجد بأعداد كبيرة.*

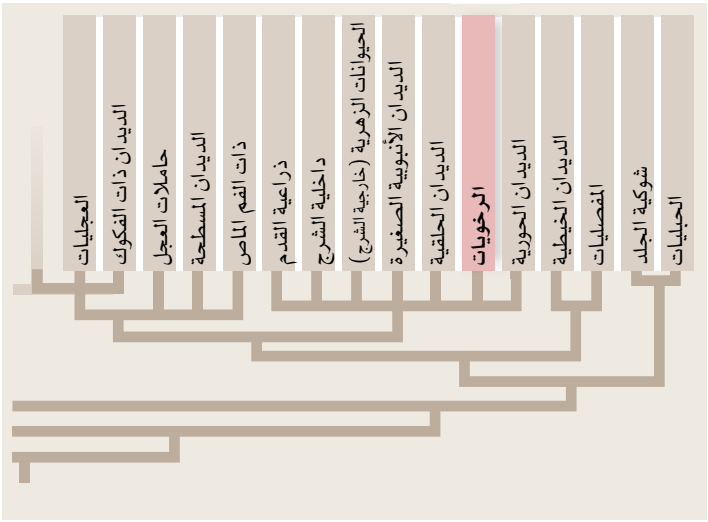
34-5 قبيلة شوكية الجلد: شوكية الجلد

- *تظهر شوكية الجلد تكوينًا جنينيًّا ثانوي الفم، ولها هيكل داخلي.*
- *خطة جسم شوكية الجلد ثنائية التماثل في اليرقات، لكنها خماسية شعاعية في البالغات.*
- *شوكيات الجلد لها خمس طوائف.*

1-34 قبيلة الرخويات: الرخويات

كما ذكرنا في الفصل السابق، فإن نشوء السيلوم شكّل تقدمًا مهمًّا في تركيب جسم الحيوان؛ لأنه سمح بزيادة حجم الجسم. فالسيلوميات لها تصميم جسم يعيد تموضع سوائل الجسم، ويسمح للأنسجة والأعضاء المعقدة بالتطور. أصبحت خطة الجسم الجديدة هذه في متناول مجموعة واسعة من تصاميم الجسم المختلفة لكي تتطور، وتنمو أجسامها إلى أحجام أكبر من معظم عديمة السيلوم وكاذبة السيلوم. وهناك قليل من الشك في الوقت الراهن حول تطور السيلوم مرات متعددة في أثناء التطور الحيواني.

الرخويات شديدة التباين



الرخويات (قبيلة الرخويات **Mollusca**) هي حيوانات شديدة التباين، وتأتي ثانية بعد المفصليات، حيث هناك أكثر من 110,000 نوع موصوف. تبدي الرخويات تشكيلة من تراكيب الجسم، وتعيش في بيئات مختلفة متعددة. وهي تضم القواقع، والبزاق، والمحار، والأسكالوب، والحبار، والأخطبوط، وحيوانات عدة أخرى مألوفة (الشكل 34-1 و 34-2).

الصدفة المقاومة لبعض الرخويات جميلة وفاخرة، وقد كانت الموضوع المفضل مدة طويلة للعلماء المحترفين والهواة على حد سواء، حيث تُجمع وتحفظ وتدرس. يشكل الكايتون، وعديمة الصفائح، وعارية الخياشيم، رخويات بحرية غير مألوفة؛ لأنها تفتقر إلى صدفة حقيقية. تتميز الرخويات بوجود سيلوم يحيط بالقلب، وعلى الرغم من أن هناك تنوعًا غير عادي في هذه القبيلة، فإن كثيرًا من المكونات الأساسية في خطة جسم الرخويات يمكن أن تشاهد في (الشكل 34-3).

الشكل 34-2

المحار العملاق. يأتي المحار العملاق ثانيًا بالنسبة إلى المفصليات، فيما يتعلق بأعداد الأنواع الموصوفة. تحتل أفراد قبيلة الرخويات غالبًا كل البيئات على الأرض. هذا المحار العملاق *Tridacna maxima* له لون أخضر بسبب وجود ذات الأسواط العملاقة، تكافلية المعيشة بداخله. تسهم ذات الأسواط العملاقة من خلال عملية البناء الضوئي في معظم غذاء المحار على الرغم من أنه يبقى متغذيًا بالترشيح، مثل معظم ثنائية المصراع. بعض أفراد المحار العملاق قد تصل إلى 1.5 متر طولًا، وتزن ما يقارب 270 كيلوجرامًا.

أ. ب. جـ. د.

الشكل 34-1

تنوع الرخويات. تبدي الرخويات تنوعًا واسع المدى. أ. الأسكالوب اللهبي *Lima scabra* متغذٍّ بالترشيح. ب. الأخطبوط ذو الحلقة الزرقاء *Hapalochlaena maculosa* واحد من الرخويات القليلة الخطيرة بالنسبة إلى الإنسان. فعلى الرغم من أنه فائق الجمال، فإنه مزود بمنقار حاد ذي عضة قوية سامة، ويتجنبه الغواصون دائمًا. جـ. الحبار أو النوتي *Nautilus pompilius*، هذا الحيوان ذو الحجرة، كان موجودًا قبل عصر الديناصورات. د. البزاقة الموزية *Ariolimax columbianus* تستوطن شمال غرب المحيط الهادي. وهي ثاني أكبر بزاقة في العالم، حيث يصل طولها نحو 25 سم.

تتفاوت الرخويات في الحجم من حيوانات مجهرية تقريبًا، إلى حيوانات ضخمة. فعلى الرغم من أن معظمها يتراوح بين مليمترات قليلة إلى سنتمترات في أكبر أبعادها، فإن الحبار العملاق قد ينمو إلى 10 أمتار طولًا، وقد يزن 250 كيلوجرامًا، ولهذا فهو يعد من أثقل اللافقريات (على الرغم من أن الديدان الحورية قد تكون أطول كما ناقشنا في الفصل الـ 33). ومن الرخويات الأخرى الكبيرة، ثنائية المصراع التي تنتمي إلى الجنس *Tridacna* أو المحار العملاق الذي قد يصل 1.5 متر طولًا، وقد يزن حتى 270 كجم (انظر الشكل 34-2).

تطورت الرخويات مثل معظم قبائل الحيوان في المحيط، وقد بقيت معظم المجموعات هناك، فالرخويات البحرية واسعة الانتشار، وتتوافر بكثرة غالبًا. بعض مجموعات الرخويات التي غزت الماء العذب والبيئات اليابسة تشمل القواقع، والبزاق، ومحار اللؤلؤ الذي يعيش في الماء العذب، وتوجد رخويات اليابسة بوفرة في الأماكن التي تكون رطبة فصليًّا على الأقل. وقد تبدو بعض هذه الأماكن كشقوق الصخور الصحراوية جافة جدًا، ولكن حتى هذه البيئات فيها مصدر مؤقت للماء في بعض الأوقات على الأقل.

تشكل مجموعة الرخويات مصدرًا مهمًّا لغذاء الإنسان؛ فالمحار بأنواعه، والأسكالوب، وبلح البحر، والأخطبوط، والحبار هي من بين أطايب الطعام. وإن الرخويات مهمة اقتصاديًّا بطرق أخرى. فمثلًا، ينتج اللؤلؤ في المحار، والمادة المسماة أم اللؤلؤ التي تستخدم في الجواهر ومواد الديكور غالبًا، تنتج في أصداف أعداد مختلفة من الرخويات أشهرها أذن البحر.

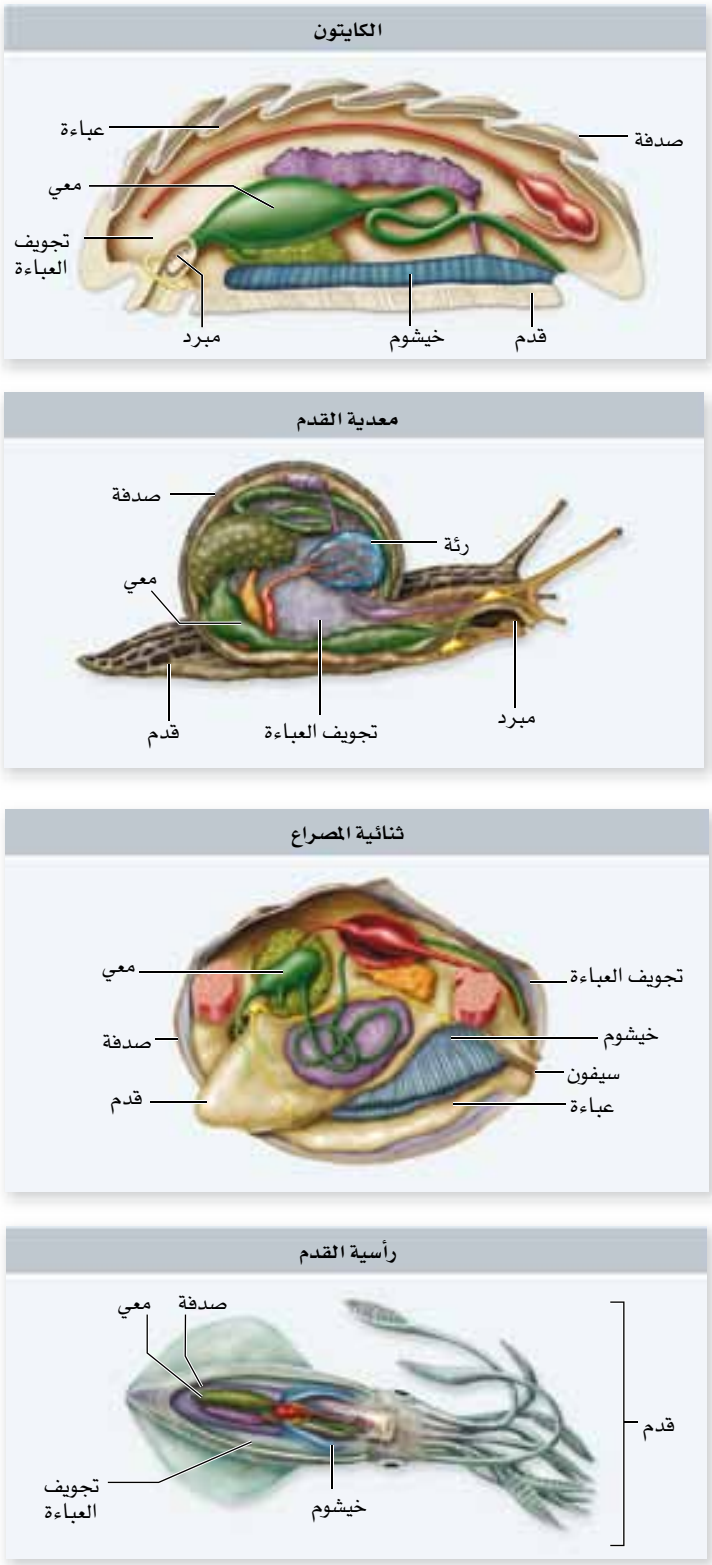
يمكن أن تكون الرخويات آفات، فالرخويات ثنائية المصراع التي تسمى ديدان السفن، تحفر خلال خشب السفن المغمور في البحر مدمرة القوارب والسطوح والدعائم. وبلح البحر المخطط *Dreissena plymorpha* غزا حديثًا الكثير من الأنظمة البيئية للماء العذب عن طريق ماء الصابورة لسفن الشحن، مسببًا ضررًا لكثير من الأنظمة المائية (انظر الشكل 59-16). وتسبب القواقع والبزاق ضررًا واسعًا للأزهار، ولخضراوات البساتين، وللمحاصيل. كذلك تعمل بعض الرخويات بوصفها عوائل للمراحل الوسيطة لكثير من الطفيليات الخطرة، مثل الديدان الخيطية، والديدان المسطحة التي ناقشناها في (الفصل الـ 33).

خطة جسم الرخويات معقدة ومتباينة

في خطة الجسم الأساسية (انظر الشكل 34-3) تكون الرخويات ثنائية التماثل الجانبي، على الرغم من أن هذا التماثل اختفى في أثناء تطور بطنية القدم (القواقع وأقاربها). وعلى الرغم من أنها تُعدّ تقليديًّا حيوانات سيلومية، فإن السيلوم في الرخويات مختزل جدًا، ومقتصر على فراغات صغيرة حول أعضاء الإخراج، والقلب، وجزء من الأمعاء.

الأعضاء الداخلية

تتركز أعضاء الهضم والإخراج والتكاثر في الرخويات في **الكتلة الحشوية** (السنام الحشوي) **Visceral mass**. وتُعدّ القدم العضلي آلية الانتقال الرئيسة، على الرغم من أن هذا الأمر تغير بشكل جذري في رأسية القدم (الأخطبوط، والحبار، وحيوان نوتيلس ذو الحجرات). وإنها قد تمتلك رأسًا متميزًا في النهاية الأمامية للجسم. **العباءة Mantle** وهي طبقة بَشْرية سميكة في الجلد، تغطي الجانب الظهري من الجسم، وتشكل تجويفًا يحتوي أعضاء التنفس (الخياشيم) وفتحات أعضاء الإخراج، والتكاثر، والهضم.



الشكل 34-3

خطط جسم الرخويات.

الخياشيم المشطية Ctenidia أجزاء متخصصة من العباءة، تتكون عادة من نظام من الزوائد الخيطية الغنية بالأوعية الدموية. هذه الزوائد تزيد بشكل كبير المساحة السطحية المتوافرة للتبادل الغازي، وبالنتيجة قدرة الحيوان التنفسية الإجمالية. خياشيم الرخويات المشطية فعالة جدًا، والكثير من الرخويات ذات الخياشيم تستخلص 50% أو أكثر من الأكسجين المذاب في الماء المار خلال تجويف العباءة.

يمر تيار مستمر من الماء، في الرخويات المائية، داخل تجويف العباءة ثم خارجه، إذ تسحبه أهداب الخياشيم. يجلب الماء معه الأكسجين، وفي حالة ثنائية المصراع، يجلب معه الغذاء. وإنه يحمل الفضلات خارجًا، وفي حالة إنتاج الجاميتات، فإنها غالبًا ما تحمل مع تيار الماء هذا.

القدم العضلي للرخويات، قد يكون متكيفًا للانتقال، والتعلق، والقبض على الغذاء (في الحبار والأخطبوط)، أو لأنواع مختلفة من هذه الوظائف. البزاق والقواقع تفرز مخاطًا مشكلة به مسارًا تنزلق عليه باستخدام أقدامها. القدم في رأسية القدم مقسم إلى مجسات، وفي بعض الرخويات التي تعيش في المحيط المفتوح يكون القدم متحورًا إلى بروزات تشبه الأجنحة لزيادة سطح الطفو.

الأصداف

إن السطح الخارجي للعباءة في معظم أفراد هذه القبيلة مسؤول عن إفراز الصدفة، وهذه إحدى الصفات المعروفة جيدًا لهذه القبيلة. ليس للرخويات جميعها أصداف، ولكن الرخويات المعروفة بالراقية لها صدفة ظهرية، تنمو معها بفضل النشاط الإفرازي للعباءة.

تعمل صدفة الرخويات بشكل أساسي على الحماية، فمعظم الأنواع تستطيع أن تنسحب إلى داخل الصدفة. لكن الأصداف تأتي بنماذج متعددة، وكثير من سلالات الرخويات لها أصداف داخلية أو مختزلة، كما في حالة معظم رأسية القدم (الحبار والأخطبوط) ومعدية القدم (البزاق).

تتكون صدفة الرخويات النموذجية من كربونات الكالسيوم التي تنتج خارج الخلايا، وتترتب على هيئة طبقات، وغالبًا ما تغطى بطبقة رقيقة عضوية غنية ببروتين يدعى كُونْكِن. هذه الطبقة الخارجية تحمي الطبقتين الواقعتين تحتها والغنيتين بالكالسيوم من التعرية. تتكون الطبقة الوسطى من بلورات كربونات الكالسيوم المتراصة بكثافة، أما الطبقة الداخلية فهي لؤلؤية في مظهرها، وتزداد سمكًا مع تقدم الحيوان في العمر. وعندما تصل سمكًا كافيًا، فإن هذه الطبقة يمكن أن تعمل كأم اللؤلؤ. يتكون اللؤلؤ عندما ينغرس جسم غريب كحبة رمل بين العباءة والطبقة الداخلية لصدفة الرخويات ذات المصراعين كأنواع المحار. تغطي العباءة الجسم الغريب بطبقة بعد أخرى من مادة الصدفة لتقلل التهيج الذي يسببه ذلك الجسم.

التغذية والإمساك بالفريسة: المِبْرَد (الراديولا)

المبرد Radula هو أحد أهم الصفات المميزة لمعظم الرخويات، وهو عضو يشبه اللسان، قادر على عملية البرد، ويستخدم في التغذية. يتكون المبرد أساسًا من عدد يتراوح بين اثنتي عشرة سنًا إلى مئات من أسنان كيتينية مجهرية مرتبة في صفوف (الشكل 34-4). تستخدم الرخويات التي تعيش على القعر مبردها لكشط الطحالب والمواد الغذائية الأخرى من على السطوح، ثم تنقل هذا الغذاء إلى القناة الهضمية.

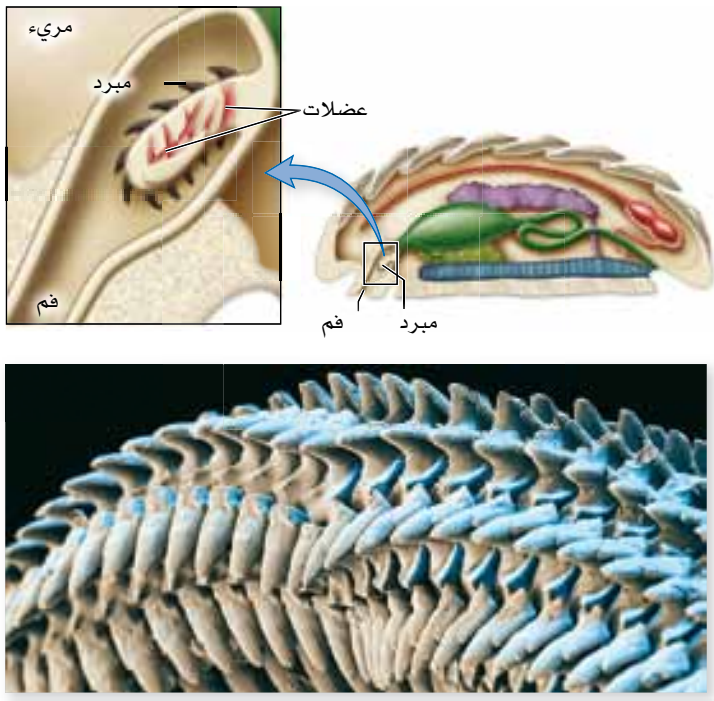
بعض معدية القدم مفترسات نشطة، فبعضها يستخدم مبردًا محورًا للحفر خلال أصداف الفرائس واستخراج الغذاء. والثقوب الصغيرة التي نراها غالبًا في أصداف المحار سببها معدية القدم من نوع حلزون القمر بشكل أساسي، التي كانت قد حفرت بمبردها لتقتل ذات المصراعين، وتستخرج جسمها الهش بوصفه غذاء. معدية القدم من الجنس *Conus* حولت المبرد لديها إلى تركيب يشبه الحربون المرتبط مع غدة سمية يمكن استخدامهما معًا للقبض على فريسة كبيرة كالسمك، وفي بعض الحالات قد يكون هذا السم مؤذيًا للإنسان.

يختفي المبرد في جميع ثنائية المصراع، التي تكيفت بدلًا من ذلك لاستخدام الخياشيم لترشيح ذرات الغذاء من تيارات الماء. ثنائية المصراع البدائية هي متغذيات على الرواسب، وليس لها مبرد أيضًا.

التخلص من الفضلات

تزال الفضلات النيتروجينية من جسم الرخويات عن طريق **النفريديا Nephridia**، وهي نوع خاص من التراكيب الإخراجية. فالنفريديا النموذجية لها قمع مفتوح يدعى **فم النفريديا Nephrostome**، تبطنه أهداب، ويجري أنيبيب ملتف من فم النفريديا إلى مثانة، ترتبط بدورها بفتحة إخراجية.

تجمع الفضلات عن طريق النفريديا من التجويف السيلومي، وتطرح إلى تجويف العباءة، ثم تطرد الفضلات خارجًا من تجويف العباءة عن طريق حركة الضخ المستمرة للخياشيم. يعاد امتصاص السكر، والملح، والماء، ومواد أخرى من قبل جدران النفريديا، ثم تعاد إلى جسم الحيوان بحسب الحاجة لتحقيق التوازن الأسموزي المناسب.



الشكل 34-4

تركيب جهاز المِبْرَد في الكايتون. يتكون المبرد من الكايتين، وهو مغطى بصفوف من أسنان تمتد في اتجاه الخلف. عندما يتغذى الحيوان، فإن فمه يفتح، ويقوم المبرد بجلب الغذاء، وذلك بكشطه نحو الخلف.

الجهاز الدوري المفتوح

على الرغم من أن الرخويات أوليات فم سيلومية، فإن السيلوم مختزل بشكل كبير. فالتجويف السيلومي الرئيس هو حيز دوري مفتوح، أو سيلوم دموي يكوِّن جيوبًا عدة وشبكة من الأوعية في الخياشيم، حيث يتم تبادل الغازات. وهذا هو **الجهاز الدوري المفتوح Open circulatory system** للرخويات جميعها باستثناء رأسية القدم الذي يتكون من قلب وجهاز مفتوح، يدور فيه الدم بحرية. قلب الرخويات مكوّن من ثلاث حجرات: اثنتان تجمعان الدم المحمل بالهواء من الخياشيم، وثالثة تضخه إلى أنسجة الجسم الأخرى، وتوجد نماذج أخرى. لرأسية القدم **جهاز دوري مغلق Closed circulatory system**، حيث لا يدخل الدم في اتصال مع الأنسجة.

تكاثر الرخويات

لمعظم الرخويات أفراد ذكور وأخرى إناث، على الرغم من أن القليل من ثنائية المصراع وكثير من معدية القدم التي تعيش في المياه العذبة وعلى اليابسة هي خناث. التلقيح الخلطي هو الأكثر شيوعًا حتى في الرخويات الخناث. وما يبعث على الدهشة أن بعض بزاق البحر والمحار قادر على تغيير جنسه إلى الجنس الآخر مرات عدة خلال فصل واحد.

تنخرط معظم الرخويات المائية في التلقيح الخارجي. فالذكور والإناث تطلق جاميتاتها إلى الماء، حيث تمتزج معًا، ويحدث الإخصاب. لمعدية القدم مع ذلك تلقيح داخلي على الأغلب، حيث يُدخل الذكر المني إلى جسد الأنثى. التلقيح الداخلي ووجود نظام إخراجي فعال يمنع الجفاف صفتان تكيفيتان أساسيتان سمحتا لمعدية القدم باستيطان اليابسة.

يرقة حاملة العَجَل (تروكوفور)

يتطور كثير من الرخويات البحرية عن طريق نمط التفلج الحلزوني، ما يجمعها ضمن الحلزونيات Spiralia. يعطي الجنين يرقة حرة السباحة تدعى **حاملة العجل** (تروكوفور) **Trochophore** (الشكل 34-5أ)، وهي تشبه المراحل اليرقية لكثير من الحلقيات البحرية والحيوانات حاملة العُرْف المدور كثيرًا. تنتقل حاملة العجل عن طريق صف من الأهداب يحيط بمنتصف جسمها.

توجد مرحلة ثانية لحرة السباحة تدعى **حاملة الغشاء Veliger**، تعقب مرحلة حاملة العجل في معظم القواقع البحرية وثنائية المصراع. لمرحلة حاملة الغشاء بداية قدم، وصدفة، وعباءة (الشكل 34-5ب). اليرقتان الأولى والثانية تنجرفان بشكل واسع مع التيارات البحرية سامحة بذلك للرخويات أن تنتشر إلى مناطق جديدة.

أربع طوائف من الرخويات تبين تنوع هذه القبيلة

الآن، سندرس أربعًا من بين الطوائف الثمانية المعروفة والممثلة للقبيلة.

(1) حاملة الصفائح المتعددة- الكايتون.

(2) معدية القدم (أو بطنية القدم) - البطلينوس، والقواقع، والبزاق، وأقاربهم.

(3) ثنائية المصراع- كأنواع المحار، والإسكالوب، وأقاربهم.

(4) رأسية القدم- الحبار، والأخطبوط، ونوتيلوس.

استنتج بعض العلماء، بدراستهم للرخويات الحية وسجل الأحافير، أن أسلاف الرخويات ربما كانت ثنائية التماثل، ومسطحة ظهرًا لبطن، وغير مقسمة، وأشبه بالديدان، وكانت تنزلق على سطحها البطني. وربما كان لهذا المخلوق السلف جليد كيتيني وأفرزَ أشواكًا كلسية. في حين يعتقد علماء آخرون أن الرخويات تطورت من أسلاف مقسمة، وأنها أصبحت غير مقسمة ثانويًّا.

يرقة حاملة العرف في الرخويات

أ.

مرحلة حاملة الغشاء في معدية القدم

ب.

الشكل 34-5

مراحل في دورة حياة الرخويات. أ. يرقة حاملة العرف في الرخويات. تتميز بعض الحلقيات وقبائل أخرى قليلة أيضًا بيرقات مشابهة. ب. مرحلة حاملة الغشاء في معدية القدم.

طائفة حاملة الصفائح المتعددة: الكايتون

الكايتون (طائفة حاملة الصفائح المتعددة **Polyplacophora**) وهي رخويات بحرية لها أجسام متطاولة ذات ثماني صفائح كلسية ظهرية متراكبة. يكون الجسم تحت الصفائح غير مقسم، لكن الكايتون له ثماني مجموعات من عضلات ساحبة قدمية، ظهر بطنية وخياشيم متكررة تسلسلية.

يزحف الكايتون باستخدام قدم عريض مسطح يحاط بأخدود أو تجويف عباءة تترتب فيه الخياشيم. معظم الكايتون آكلة أعشاب قارضة تعيش في البيئات البحرية الضحلة، ولكن بعضها يعيش في أعماق تزيد على 7000 م (الشكل 34-6).

الشكل 34-6

الكايتون النبيل *Eudoxochiton nobilis* من نيوزلاندا. يستطيع قدم الكايتون أن يمسك الوسط الذي يعيش عليه بقوة، ما يجعل من الصعب إزالة الكايتون من مكانه بفعل الأمواج أو المفترسات.

طائفة معدية القدم: الحلزون والبزاق

طائفة **معدية القدم Gastropoda** تحتوي نحو 40,000 نوع موصوف من البطلينوس، والقواقع، والبزاق، والحيوانات المشابهة. هذه الطائفة مكونة أساسًا من حيوانات بحرية، ولكنها تحتوي أيضًا أنواعًا تعيش في المياه العذبة وعلى اليابسة (الشكل 34-7). معظم معدية القدم لها صدفة، ولكن بعضها كالبزاقة وعارية الخياشيم (أو بزاقة البحر) فقدت أصدافها خلال مسار التطور. تزحف معدية القدم عادة باستخدام القدم الذي قد يتحور للسباحة.

يحتوي رأس معظم معدية القدم زوجًا من المجسات ذات أعين عند قاعدتها. في حلزون الحديقة النموذجي، قد يكون هناك زوج من المجسات: أحدهما يحمل عيونًا عند نهاياتها. معدية قدم أخرى، لها مجسات إضافية في أجزاء أخرى من الجسم بما في ذلك في العباءة وعلى طول القدم. وهذه المجسات هي تراكيب حسية تخدم بوصفها مجسات كيميائية أو آلية.

تمر معدية القدم في أثناء مرحلة التطور الجنيني بعملية التواء. **والالتواء Torsion**، وهو معروف فقط في معدية القدم، عملية أزيح بها تجويف العباءة والشرج من موقع خلفي إلى مقدمة الجسم، أي بالقرب من موقع الفم. يحدث الالتواء بنمو غير متناسب للعضلات الجانبية، أي إن جانبًا من اليرقة ينمو بسرعة أكبر بكثير من الآخر. وهي غالبًا ما تقود إلى اختزال أو اختفاء للأعضاء المتبقية بعد الالتواءات كالنفرديا، والغدد التناسلية، وأعضاء أخرى داخلية. ولهذا، فإن معدية القدم ليست ثنائية التماثل الجانبي.

هناك عملية أخرى تتراكب فوق الالتواء تدعى **الالتفاف Coiling** أو الالتواء الحلزوني للصدفة. حدثت هذه العملية في مجموعات أخرى من الرخويات كرأسية القدم، وتشير سجلات الأحافير إلى أن أوائل معدية القدم كانت ملتفة، ولكنها لم تكن ملتوية (التفاف الصدفة فقط).

بـزاق البحر أو عارية الخياشيم مفترسات نشطة. بعض الأنـواع من عارية الخياشيم، لها قدرة غير عادية على استخلاص الكيس الخيطي اللاسع من بوليب اللاسعات، التي تأكلها وتنقلها خلال قناتها الهضمية إلى سطح أجسامها سليمة، وتستخدمها لحماية نفسها. سميت عارية الخياشيم هكذا نسبة لخياشيمها، التي بدلًا من أن تكون محاطة بتجويف العباءة، تكون معرضة على السطح الظهري (الشكل 34-8).

في معدية القدم التي تعيش على اليابسة، يكون تجويف العباءة الفارغ، الذي كان مملوءًا بالخياشيم في أسلافها البحرية، غنيًّا بالأوعية الدموية، وهي تخدم في النهاية بوصفها رئة. هذا التركيب تطور في بيئات غنية بالأكسجين، فالرئة تمتص الأكسجين من الهواء بكفاءة أكبر مما تفعل الخياشيم، ولكنها لا تكون كذلك تحت الماء.

طائفة ثنائية المصراع: ثنائية الأصداف

أعضاء طائفة **ثنائية المصراع Bivalvia** تضم المحار، والأسكالوب، وبلح البحر، وأنواعًا أخرى. يوجد 10,000 نوع حي من ثنائية المصراع تقريبًا. تعيش معظم الأنواع في البحر على الرغم من وجود كثير منها في المياه العذبة. يوجد أكثر من 500 نوع من بلح البحر المنتج للؤلؤ، أو حوريات الماء، تعيش في ماء الأنهار والبحيرات العذبة في أمريكا الشمالية.

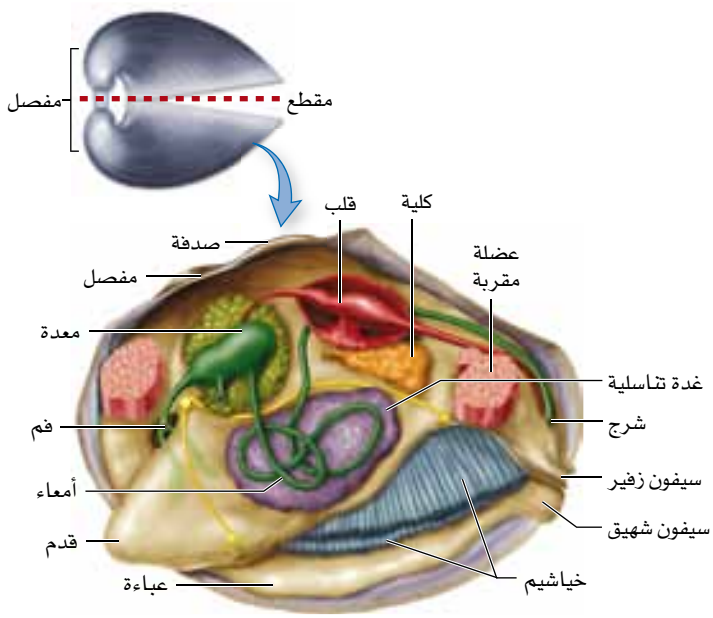
لثنائية المصراع صدفتان جانبيتان (يمنى ويسرى) ترتبطان معًا ظهريًّا (الشكل 34-9). فهناك رابط على شكل مفصل بينهما، ويجعلهما تفتحان، ويسحب هذا الرابط عضلة ضخمة واحدة أو اثنتين يمكنهما سَحْب الصدفتين نحو بعضهما.

الشكل 34-7

الرخويات معدية القدم. حلزون غابات أوريجون البري *Allagona townsendiana*

الشكل 34-8

عارية الخياشيم (أو بزاق البحر). الألوان الغامقة لكثير من عارية الخياشيم تحذر المفترسات من لسعاتها القوية.



الشكل 34-9

رسم تخطيطي للمحار. الأعضاء الداخلية والقدم مبينة هنا. الصدفة اليسرى والعباءة أزيلتا. ثنائية المصراع كالمحار تدوِّر الماء خلال خياشيمها، وترشح حبيبات الغذاء.

تفرز العباءة الصدفة والرباط، وتغلف الأعضاء الداخلية ضمن هذا الزوج من الأصداف.

الشكل 34-10

حل المشكلات من قبل الأخطبوط. هذا الأخطبوط ذو الشهرين من العمر (*Octopus vulgaris*) قُدِّم له سلطعون داخل مرطبان، وهو يحاول أن يفك غطاء المرطبان للوصول إلى السلطعون. وعلى الرغم من أنه فشل في هذه المحاولة إلاّ أنه نجح في بعض الحالات.

تنسحب العباءة غالبًا نحو الخارج لتشكل سيفونين: واحدًا لتيار الماء الداخل والآخر للتيار الخارج. وهما يدعيان **سيفون الشهيق Inhalant وسيفون الزفير Exhalant**. وظيفة السيفون، أنه يسمح لثنائية المصراع سَحْب الماء وترشحه، بينما هي مطمورة تمامًا في الرواسب. يوجد كذلك خيشوم مثني معقد على كل جانب من الكتلة الحشوية. تتألف هذه الخياشيم من أزواج من الخيوط التي تحتوي أوعية دموية عدة. تنشئ الحركة الإيقاعية المنتظمة للأهداب الموجودة على الخياشيم نمطًا محددًا لدوران الماء.

معظمُ ثنائية المصراع متغذياتٌ بالترشيح، تعيش ملتصقة بالأرضية أو مطمورة في الرواسب، وهي تستخلص الحيوانات الصغيرة من الماء المار خلال تجويف العباءة. ليس لثنائية المصراع رأس مميز أو مبرد، وهي بهذا تختلف عن بقية الرخويات (انظر الشكل 34-3). معظمها لها قدم يشبه الأسفين ربما تطور في الأنواع التي لا تلتصق بأرضية المحيط، للزحف، والحفر، وتنظيف الحيوان، أو بتعليقه داخل جحره. بعض أنواع المحار يستطيع الحفر في الرمل أو الطين بسرعة كبيرة باستخدام انقباضات قدمه العضلية.

تنتقل ثنائية المصراع بشكل واسع من مكان إلى آخر، عندما تكون على شكل يرقة. وعلى الرغم من أن معظم الحيوانات البالغة تتكيف مع طريقة العيش في الحفر، إلا أن أنواع الأسكالوب والمحار المبّرد يمكن أن تتحرك بخفة باستخدام عضلات مقربة ضخمة لتقريب صدفتيها من بعضهما. هذه العضلات هي التي تأكلها عادة في وجبة الأسكالوب. تكون حافة جسم الأسكالوب مبطنة بنتوءات تشبه المجسات وبوجود عيون معقدة بينها.

طائفة رأسية القدم: الأخطبوط والحبار ونوتيلوس

يعيش أكثر من 600 نوع من طائفة **رأسية القدم Cephalopoda**- الحبار، والأخطبوط، ونوتيلوس ذو الحجرات- بشكل مطلق في المحيط. هذه حيوانات بحرية ومفترسة نشطة تسبح عادة بخفة، وتتنافس بنجاح مع الأسماك. تطور القدم هنا إلى مجموعة من الأذرع المزودة بكؤوس شافطة، وتراكيب التصاقية أو خطافات تقبض على الفريسة بفعالية. فالحبار له 10 أذرع، والأخطبوط كما يشير اسمه له 8 (-Octo تعني 8) ونوتيلوس ذو الحجرات له بين 80 إلى 90 ذراعًا. بعد إيقاع الفريسة في شركها باستخدام الأذرع، تعض رأسية القدم الفريسة بزوج من الفكوك القوية التي تشبه المنقار، ثم تسحبها نحو فمها عن طريق المبرد الذي يعمل كاللسان. لرأسية القدم جهاز عصبي متقدم جدًا، ودماغها متميز بين اللافقريات. وعيونها بالغة التفصيل تشبه كثيرًا عيون الفقريات، على الرغم من أنها تطورت بشكل مستقل (انظر الفصل الـ 45). يُظهر كثير من رأسية القدم نمطًا معقدًا من السلوك ومستوى عاليًا من الذكاء، فالأخطبوط يمكن تدريبه للتمييز بين أصناف عدة من الأشياء، وهو قادر على الهرب من حوض يحتويه للإمساك بفريسة في حوض آخر، ثم يعود إلى حوضه الأصلي (انظر الشكل 34-10). إنَّ رأسية القدم هي الرخويات الوحيدة التي لها جهاز دوري مغلق.

وعلى الرغم من أنها تطورت من أسلاف ذات أصداف، كما هو حال نوتيلوس ذي الحجرات، وكثير من أحافير رأسية القدم مثل القرنيات والسهيمات، فإنّ معظم رأسية القدم الحية تفتقر إلى صدفة خارجية.

أصبحت رأسية القدم ناجحة بشكل غير اعتيادي، عندما أصبحت قادرة على قضاء معظم وقتها سابحة في المياه المفتوحة، بدلًا من البقاء في القعر، مثل معظم الرخويات. لقد أدى هذا الأمر إلى اختزال تطوري، ثم فقدان نهائي لأصدافها الثقيلة. فلسان البحر، وهو عظم السبيدج، والريشة الأخف للحبار، أصداف تكون في الداخل، تعطي هذه الحيوانات بعض الصلابة دون إضافة وزن كبير لها. وأخيرًا، فإن الصدفة الداخلية هذه تختفي تمامًا في السلالات التي أنتجت الأخطبوطات.

الشكل 34–11

الدفاع عن طريق الحبر في أخطبوط الهادي الكبير (*Octopus doflein*) عندما يزعجه أحد الغواصين. يُطلق الأخطبوط والحبار سائلًا ضبابيًّا أدكن اللون عندما تهددهما المفترسات.

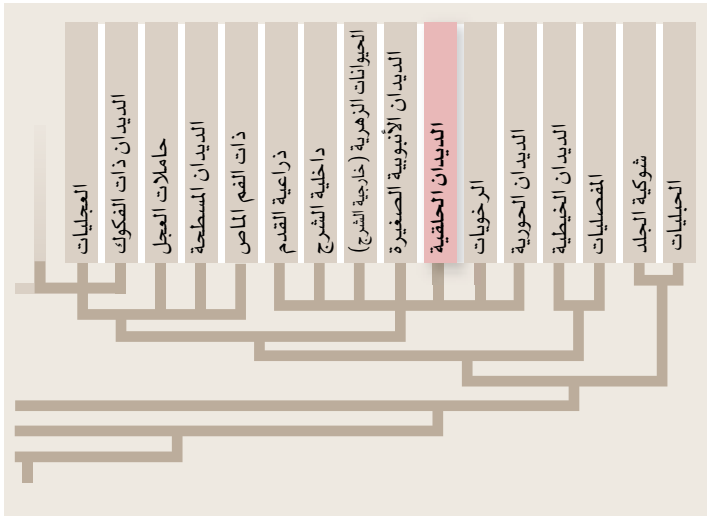
تأخذ رأسية القدم الماء كبقية الرخويات إلى داخل تجويف الجبة، ثم تطرده خارجًا في هذه الحالة خلال سيفون واحد. لقد حورت رأسية القدم هذا النظام إلى وسيلة دفع نفاثة. فعندما تشعر بالتهديد، تطلق الماء بعنف، وتنطلق بسرعة خلال الماء. كثير من رأسية القدم لها كيس حبر، يحتوي سائلًا بنيًّا أسود، تطرده خلال الشرح مشكلًا غيمة من الحبر لإرباك المفترس (الشكل 34-11).

معظم الأخطبوط والحبار قادر على تغيير لونه وقوامه ليلائم الخلفية التي يعيش فيها، أو ليرسل إشارات إحداها إلى الأخرى. وهي تنجز هذه المهمة باستخدام حاملات الصبغة، وهي أكياس مغروسة في الطلائية، وتحتوي أصباغًا، وبعض رأسية القدم يمكن أن تستضيف بكتيريا مضيئة، تستخدمها لإعطاء ضوء مضاد لتجنب الافتراس.

الرخويات لها جهاز إخراج فعّال، وتراكيب مشطية للتنفس، ونظام خاص للتغذية، يدعى المبرد. عباءة الرخويات لا تفرز فقط الصدفة الواقية، بل تشكل تجويفًا ضروريًّا للتنفس والإخراج، وتحرير الجاميتات. تتكاثر معظم الرخويات عن طريق التلقيح الخارجي مع بعض الاستثناءات. يرقة حاملة العجل تشبه يرقة الحيوانات ذات العرف المدور.

توجد أربع طوائف للرخويات تختلف في الشكل الخارجي. فالكايتون له صفائح ظهرية متراكبة، ويزحف على القعر. ويعيش كثير من معدية القدم كالقواقع والبُزاق في البيئات اليابسة. ثنائية المصراع هي رخويات ذات صدفيتن، وتضم أنواع المحار، وبلح البحر والأسكالوب، وغيرها. وبعض منها يعيش في المياه العذبة. أما رأسية القدم، فتضم الحَبار والأخطبوط، ونوتيلوس ذا الحجرات.

2-34 قبيلة الحلقيات: الديدان الحلقية



أحد الابتكارات المهمة في تركيب جسم الحيوان كان نشوء التقسيم، أي بناء الجسم من سلسلةٍ من الحلقات المتشابهة أو الوحدات المتكررة (انظر الفصل الـ 32). نشأ التقسيم مراتٍ متعددة في أثناء تطور الحيوان. ولهذا، فإن هناك أنماطًا مختلفة للتقسيم تظهر في القبائل المختلفة. والديدان الحلقية، **شعبة الحلقيات Annelida** (الشكل 34-12) هي واحدة من هذه الأمثلة.

إحدى فوائد كون الجسم مبنيًّا من قطع أو أقسام، إحكامُ السيطرة على التكوين الجنيني، وعلى وظيفة هذه الوحدات، أي على مستوى القطع المفردة أو مجموعات

الشكل 34–12

الحلقيات كثيرة الأشواك. *Nereis virens* هي ديدان متعددة الأشواك، بحرية، متطفلة، واسعة المدى، ومزودة بأشباه أقدام ريشية للحركة وللتنفس، إضافة إلى فكوك للصيد، وتستخدم طُعْمًا في أثناء صيد الأسماك.

القطع وهو أمرٌ نسميه التخصص. فمثلًا، قد تمتلك القطع المختلفة تشكيلات مختلفة من الأعضاء أو تنجزُ وظائفَ مختلفة تتعلقُ بالتكاثر، والتغذية، والانتقال، والتنفس، والإخراج.

يعيش ثلثا الحلقيات تقريبًا في البحر (نحو 8 آلاف نوع)، والبقية التي تشكل قرابة 3100 نوع هي ديدان الأرض. وعلى الرغم من أنها تعدّ تقليديًّا مجموعة طبيعية، فإن وجود أصلٍ واحد للحلقيات أمرٌ غير مثبت جيدًا. فمثلًا صُنفت ذات الفم الماص يومًا ما من الحلقيات، ولكن دليلًا جديدًا يشير إلى أنها قد تكون أقرب إلى عديمة السيلوم (انظر الفصل الـ 32).

للحلقيات قطعٌ جسمية متميزة تشبه الحلقة

بشكل عام يُقسم جسم الحلقيات إلى قطعٍ حلقية متميزةٍ.

القطع المتكررة

يتكون جسم الدودة الحلقية من سلسلةٍ من القطع تشبه الحلقة، تمتد على طول الجسم، مشابهة بذلك كعكات عدة من الدونات، أو مجموعة من النقود المعدنية بعضها فوق بعض (الشكل 34-13). تنفصل هذه القطع عن بعضها داخليًّا **بحواجز Septa**، وتفصل الحواجز الإنشائية أقسام سفينةٍ أو غواصة. وتتكرر في كل قطعةٍ دائرية أعضاء الإخراج والانتقال.

ينشئ السائل داخل سيلوم كل قطعة هيكلًا هيدروستاتيكيًّا (مدعومًا بسائل)، ما يُعطي القطع صلابةً، كما هو حال البالون المنفوخ (انظر الفصل الـ 47). تدفع العضلات الموجودة في كل قطعة السائل الموجود في السيلوم، ما يسمح للدودة الحلقية أن تتحرك بطريقةٍ معقدة. توجد أشكال عدة غير مقسمة مثل شوكيات الذيل (الديدان الملعقة) التي تعيش مطمورة في الطين، أو بعض الحلقيات المجهرية التي تعيش في الفراغات بين حبات الرمل.

القطع المتخصصة

أصبحت القطع الأمامية للحلقيات محورةً لتضم أعضاء الحس المتخصصة. بعضها حساسٌ للضوء وبعضها الآخر له عيونٌ معقدةٌ ذات عدسات وشبكيات. كذلك هناك عقدةٌ دماغيةٌ متطورة، أو دماغ موجود في الجزء الأمامي من الجسم.

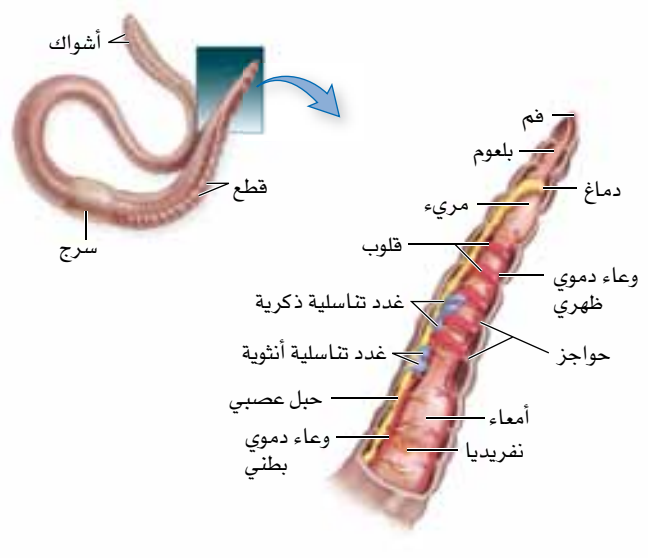
الوصلات بين الحلقيات

على الرغم من وجود حواجز تفصل القطع، فإن المواد والمعلومات تمر بينها. فالحلقيات لها جهازٌ دماغي ظهري مغلق، يحمل الدم من قطعةٍ إلى أخرى. وهناك حبلٌ عصبيٌّ بطني يربط المراكز العصبية أو العُقد في كل حلقة مع بعضها ومع الدماغ. هذه الوصلات العصبية سماتٌ حرجة تسمح للدودة أن تعملَ كحيوانٍ متناسقٍ موحد.

تتحرك الحلقيات بانقباض قطع الجسم

خطة جسم الحلقيات الأساسية هي أنبوب داخل أنبوب، حيث القناة الهضمية الداخلية، وهي أنبوب يجري من الفم إلى الشرج، معلقٌ داخل السيلوم الذي يبطنه نسيج الميزودرم. الأنبوب الذي يكون القناة الهضمية له أجزاء عدة: البلعوم، والمريء، والحوصلة، والقانصة، والأمعاء- متخصصةٌ لوظائفَ مختلفة.

تستخدم الحلقيات الهيكل الهيدروستاتيكي للانتقال (انظر الفصل الـ 47). لكي تتحرك، تقبض الحلقيات العضلات الدائرية التي تحيط بكل قطعة، يعصرُ هذا الفعل القطعة مسببًا حركة سائل السيلوم نحو خارج القطعة، كما يُعصر أنبوب معجون الأسنان، فتتطاول القطعة، وتصبح أرفع. يلي ذلك انقباض العضلات الطولية التي تمتد على طول الدودة، وتعيد كل قطعةٍ إلى شكلها الأصلي. في معظم



الشكل 34-13

قبيلة الحلقيات، قليلة الأشواك. تبدي دودة الأرض خطة جسم، تعتمد على قطع جسم متكررة. والقطع مفصولة عن بعضها داخليًّا عن طريق حواجز.

مجموعات الحلقيات، تمتلك كل قطعة بشكلٍ نموذجي **أشواكًا Chaetae** وهي أهلاب من الكايتين تساعد على تعلق الدودة وتثبيتها عند الانتقال. فبإظهار الأشواك في بعض القطع وتثبيت الدودة في الأرض التي تستقر عليها، وسحبها في قطعٍ أخرى، تستطيع الدودة أن تدفع جسمها جزءًا بعد جزء في أي اتجاه.

معظم الحلقيات لها جهازٌ دوريٌّ مغلق، وهي بهذا لا تشبه مفصلية الأرجل أو الرخويات من غير رأسية القدم. تتبادل الحلقيات الأكسجين وثاني أكسيد الكربون مع البيئة خلال سطح الجسم، فمعظمها يفتقر إلى الخياشيم أو الرئات. يصل معظم الأكسجين إلى الأجزاء المختلفة من أجسامها خلال الأوعية الدموية. بعض هذه الأوعية في النهاية الأمامية لجسم الدودة متوسعة، وذات جدر عضلية سميكة، فتعمل بوصفها قلوبًا تضخ الدم. دودة الأرض لديها خمسة أوعية نابضة على كل جانب تعمل بوصفها قلوبًا، تساعد على تحريك الدم من الوعاء الظهري الرئيس، وهو الوعاء الأساسي لضخ الدم إلى الوعاء البطني الرئيس.

يتألف الجهاز الإخراجي للحلقيات من نفريديا قمعية الشكل مهدبة بشكلٍ عام، وشبيهة بتلك التي في الرخويات. هذه النفريديا- كل قطعة تحتوي على زوج- تجمع الفضلات، وتنقلها خارج الجسم خلال السيلوم عن طريق أنابيب إخراجية متخصصة. بعض الحلقيات متعددة الأشواك لها نفريديا ابتدائية شبيهةٌ بتلك التي للبلاناريا، أو للأطوار اليرقية في الرخويات.

صُنفت الحلقيات تقليديًّا في ثلاث طوائف

يوجد نحو 12.000 نوع موصوف من الحلقيات، توجد في بيئات مختلفةٍ عدة. وهي تتباين في الطول من صغيرة (نصف مليمتر تقريبًا) إلى أكثر من 3 أمتار في بعض متعددة الأشواك ودودة الأرض الأسترالية العملاقة. وعلى الرغم من أن الحلقيات صُنفت تقليديًّا في ثلاث طوائف هي: متعددة الأشواك (غالبًا ديدان بحرية)، وقليلة الأشواك (معظمها تعيش على اليابسة، وتضم دودة الأرض)،

والعلق الطبي، فإن الحالة الراهنة للقبيلة هي حالة اضطراب؛ لأن وجود أصل واحد لمتعددة الأشواك والحلقيات ليس مثبتًا بشكل جيد. لهذا السبب، فإن من المحتمل أن يتغير تصنيف الحلقيات في المستقبل القريب، أما الآن، فإننا سنبقي على التقسيم التقليدي إلى ثلاث طوائف.

طائفة متعددة الأشواك التقليدية

تضم **متعددة الأشواك Polychaetae** ديدان المحار، والديدان الريشية، والديدان القشرية، والديدان الخرقاء، وديدان المروحة المزدوجة، وفأر البحر، وديدان الطاووس، والديدان الأنبوبية العميقة وغيرها. وغالبًا ما تكون هذه الديدان جميلة بشكلٍ مدهش، وذات أشكال غير عادية وألوانٍ مشعة (الأشكال 34-12، 34-14). متعددة الأشواك غالبًا ما تشكل جزءًا أساسيًّا في السلسلة الغذائية البحرية؛ لأنها متوافرةٌ بشكل هائل في بعض البيئات.

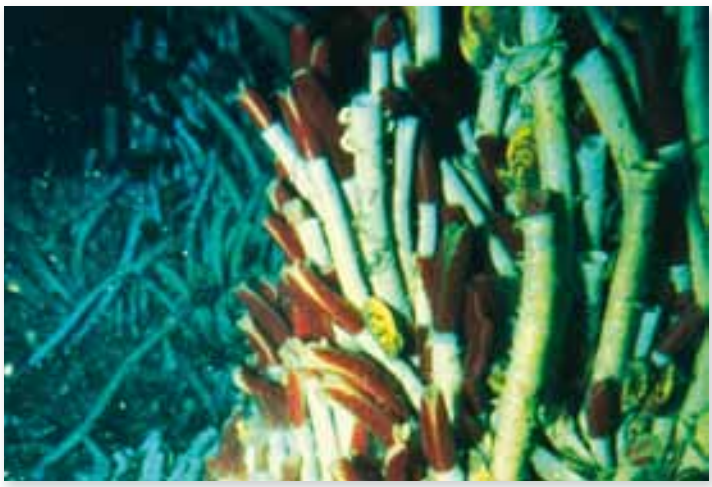
تعيش متعددة الأشواك في أنابيب أو جحورٍ دائمة من الطين المتصلب، والرمل، والإفرازات المخاطية، وكربونات الكالسيوم. تطلق متعددة الأشواك المستقرة هذه مجموعة من المجسمات الريشية تبحث في الماء عن الغذاء، ما يجعل هذه المخلوقات تتغذى بالترشيح بشكلٍ أساسي. بعض متعددة الأشواك سابحاتٌ نشطة، أو زاحفاتٌ، أو تعيش في الجحور. وكثير منها مفترساتٌ نشطة، ولها فكوكٌ قوية. لمتعددة الأشواك بروزات جانبية لحمية مزدوجة تشبه المجاذيف، تدعى **نظائر الأقدام Parapodia** في معظم قطع الجسم. تستخدم نظائر القدم هذه، التي تحمل أشواكًا كالأهلاب، في السباحة والحفر والزحف. وتستطيع أيضًا أن تؤدي دورًا مهمًّا في تبادل الغازات؛ لأنها تزيد بشكلٍ كبير المساحة السطحية للجسم. بعض متعددة الأشواك التي تعيش في جحورٍ أو أنابيب، قد يكون لها نظائر قدم تشبه الخطافات تساعد على رُسو الدودة، وبعض نظائر القدم قد تتحول إلى تراكيب تشبه الخياشيم.

لا توجد قناة هضمية لأنواع عدة من الديدان الأنبوبية التي تعيش في عمق البحر عندما تكون بالغةً، ولكنها قادرةٌ على أن تزرعَ بكتيريا مؤكسدة للكبريت، ما يسمح للدودة أن تنمو بشكلٍ كبير. تشكل هذه الأنواع حقول الديدان الأنبوبية في الثغرات الحرارية المائية، كما هو الحال في أنواع الجنس *Riftia* (الشكل 34-15).

الجنس في متعددة الأشواك منفصل عادةً، والإخصاب غالبًا خارجي، يحدث في الماء وبعيدًا عن كلا الأبوين. عادةً، تفتقر متعددة الأشواك إلى غدد تناسلية دائمة،

الشكل 34-14

متعددة الأشواك. الدودة الهلبية اللامعة *Oenone fulgida*.



الشكل 34-15

الديدان الأنبوبية العملاقة تعيش في ثغرات مائية حارة عميقة في البحر قرب جزر غلاباغوس. هذه الديدان الأنبوبية والحيوانات المرتبطة بها (لاحظ السلطعون الأبيض الصغير)، هي أمثلة لمجتمع يعتمد على غاز كبريتيد الهيدروجين أكثر من اعتماده على الشمس مصدرًا للطاقة.

وليس كبقية الحلقيات الأخرى. إنها تنتج جاميتاتها مباشرةً من خلايا جرثومية في بطانة السيليوم أو في الحواجز بين القطع. يؤدي الإخصاب إلى تفلُّج حلزوني، يتبعه إنتاج يرقة حاملة عجلٍ مهدبة متحركة شبيهة بتلك التي للرخويات. تتطور اليرقة حاملة العجل جنينيًّا خلال فترة طويلة بين العوالق قبل أن تبدأ بإضافة حلقاتٍ لجسمها من منطقة نموٍ خلفية.

طائفتا قليلة الأشواك والعلق التقليديتان

تشمل **قليلة الأشواك Oligochaeta** دودة الأرض، وأشكالًا أخرى من ديدانٍ مقسمة تطورت ضمن هذه المجموعة كالعلق الطبي. كان يُعَدُّ العلق الطبي سابقًا طائفةً منفصلة Hirudinea، ولكنه الآن يُعدُّ تحت مجموعة من قليلة الأشواك. سوف نناقش أولًا خطة جسم دودة الأرض، ثم نتبعها بتلك التي للعلق الطبي.

دودة الأرض. يتألف جسم دودة الأرض النموذجية من 100-175 حلقة متشابهة، وفم على القطعة الأولى؛ وشرج على القطعة الأخيرة. تبدو دودة الأرض كأنها تشق طريقها خلال التربة؛ لأنها تبتلع التراب من خلال بلعومها القوي. يمر كل شيءٍ تبتلعه خلال قناتها الهضمية الطويلة المستقيمة. تطحن إحدى مناطق هذه القناة، وهي القانصة المواد العضوية بمساعدة دقائق التربة. تُلقى المادة التي تمر خلال جسم الدودة خارج فتحة الجحر على شكل إخراجٍ يتكون من كثبانٍ غير منتظمة، وبهذه الطريقة تُسهم في تفكيك التربة وتهويتها وخصوبتها.

وبالنظر إلى نظام حياتها تحت الأرض، من غير المستغرب ألا تكون لدودة الأرض عيون. لكن دودة الأرض تمتلك خلايا حسية متعددة للمس، وللكيماويات، وللضوء، ومعظمها يتركز في القطع قرب كل نهايةٍ للجسم- تلك القطع التي تصادف على الأغلب الضوء والمنبهات الأخرى. لدودة الأرض عددٌ أقل من الأشواك من متعددة الأشواك، وتفتقر إلى نظائر القدم، وإلى منطقة رأسٍ متميزة.

ديدان الأرض خناث، وهذه طريقة أخرى تختلف بها معظم متعددة الأشواك. فعندما تتزاوج (الشكل 34-16) تتجه نهاياتها الأمامية في اتجاهاتٍ متعاكسة، وتتلامس سطوحها البطنية. السرجُ هو شريط منتفخ على جسم الدودة، والمخاط الذي يفرزه يمسك الدودتين معًا عند الجماع. تنتقل الخلايا المنوية المتحررة من ثقوبٍ في قطعٍ متخصصة لأحد شركاء الزواج إلى مستقبلات المني للآخر، وتتم العملية بكلا الاتجاهين في الوقت نفسه. بعد انفصال الدودتين بيومين إلى ثلاثة أيام، يُفرز السرجُ في كل دودة شرنقة مخاطية محاطة بطبقةٍ واقيةٍ من الكايتين. عندما يمر هذا الغمد فوق الثقوب الأنثوية في الجسم- وهي عملية تتم عندما تتحرك الدودة- فإنه يتسلّم البيوض ويدمجها مع المني الذي ألقيَ سابقًا. يحدث إخصاب البيوض ضمن الشرنقة، وعندما تمر الشرنقة في النهاية فوق نهاية الدودة يغلق طرفاها. تتطور البيوض ضمن الشرنقة، مباشرة إلى ديدان صغيرة شبيهة بآبائها.

العلق الطبي. يوجد العلق الطبي في المياه العذبة على الرغم من أن قليلًا منه بحري، وبعض العلق الطبي الاستوائي يقطنُ في بيئاتٍ يابسة. يتراوح طول معظم العلق الطبي بين 2-6 سنتمترات، ولكن أحد أنواعه الاستوائية يصل إلى 30سم. يكون العلق الطبي عادةً منبسطًا ظهرًا لبطن كالديدان المسطحة. العلق الطبي خناث، ويطور سرجًا في أثناء فصل التزاوج، والإخصاب الخلطي إجباري؛ لأنه غير قادر على إخصاب نفسه.

التجويف السيلومي للعلق الطبي مختزل ومتواصلٌ خلال الجسم، وغير مقسم إلى حلقاتٍ منفصلة، كما في متعددة الأشواك وقليلة الأشواك الأخرى. طور العلق الطبي ممصات عند إحدى نهايتي الجسم أو كلتيهما، وهو يستعمل للانتقال وللإمساك بالعائل. العلق الذي له ممصاتٍ عند كلتا النهايتين يتحرك بتعليق إحدى النهايتين أولًا ثم الأخرى إلى الوسط، ثم ينثني بينهما. كثير من الأنواع قادر على السباحة أيضًا، باستثناء نوعٍ واحد؛ لأن العلق الطبي ليس له أشواك.

طور العلق الطبي قدرةً على مص الدم أو السوائل الأخرى لعائلها، وهي قدرةٌ موجودةٌ في أكثر من نصف الأنواع المعروفة للعلق الطبي. تبقي كثير من أنواع العلق الطبي الطفيلي الذي يعيش في الماء العذب على عوائلها مددًا طويلة، ويمتص دم العائل بين الفينة والأخرى.

أحد أنواع العلق المعروفة جيدًا هو العلق الطبي *Hirudo medicinalis* (الشكل 34-17). أفراد هذا النوع يتراوح طولها من 10-12 سنتمترا، ولها فكٌّ كيتيني يشبه الشفرة يبرد خلال جلد الضحية. يُفرز العلق مادة مانعة للتجلط في الجرح؛ ليمنع الدم من التجلط، وتقوم عضلاته الماصة بضخ الدم بسرعة حالما تفتح

الشكل 34-16

التزاوج في دودة الأرض. النهايات الأمامية تتجه باتجاهات متعاكسة.

الشكل 34-17

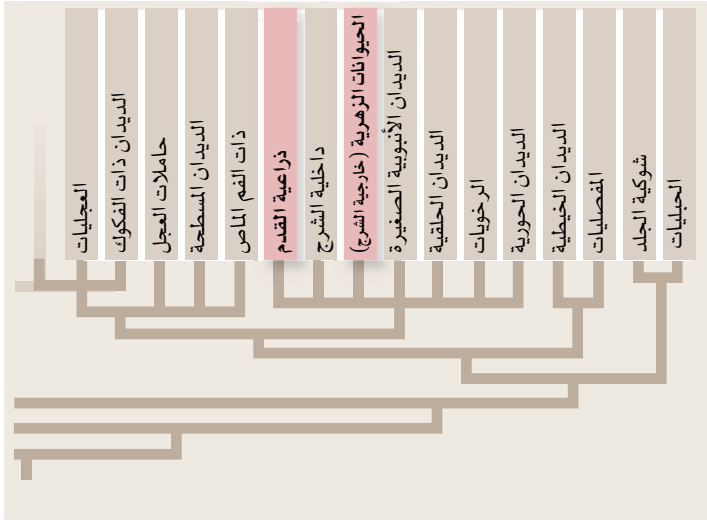
العلق. يشاهد العلق الطبي *Hirudo medicinalis* هنا يتغذى على ذراع إنسان. يستخدم العلق فكوكًا كيتينية تشبه الشفرة لإحداث جرح للحصول على الدم، ويفرز مادة تمنع الدم من أن يتجلط. قدّم كل من مانع التجلط والعلق نفسه مساهمات جليلة في الطب الحديث.

ثقبًا. استخدم العلق في الطب مئات من السنين لمص الدم من مرضى كان يُعتقد خطأً أن أمراضهم زيادة الدم. في الوقت الحاضر، لا تزال شركات الأدوية الأوروبية تربي العلق وتبيعه، ولكنها تستخدمه لإزالة الدم الزائد بعد جراحاتٍ معينة، أو لمنع الدم من التخثر في الأطراف المقطوعة التي أعيد وصلها. قد يتجمع الدم عقب الجراحة؛ لأن الأوردة قد لا تعمل بشكلٍ صحيح وتفشل في تدوير الدم. وقد يوقِفُ الدم المتجمع هذا التزويد الشرياني بدمٍ جديد، وتموت الأنسجة غالبًا. وعندما يزيل العلق الدم الزائد تتكون شعيراتٌ دمويةٌ جديدة في غضون أسبوع، ويبقى النسيج حيًّا.

يَستخدم العلق من أجل تغذيته مواد موسعة للأوعية ومواد مخدرة قوية؛ لكي يتجنب أن يُكشف خلال ثقبه للجلد. يجري الآن فحصُ المواد المانعة للتخثر والخصائص المخدرة لعضة العلق من قبل شركات الأدوية. وربما لاحظ الأشخاص الذين صادفوا علقًا في البرية، أنه لا يمكن الشعور به عندما يتناول وجبة الدم، بل غالبًا ما يُحَس به عندما يبدأ تدفق الدم من الجرح المتبقي الذي يشبه حرف Y. يكشف العلق عائله بتحري تركيز ثاني أكسيد الكربون في البيئة. في بعض الغابات الاستوائية وبعد ثوانٍ من الوقوف في مكانٍ ما، يمكن للمرء أن يرى أعدادًا كبيرة من العلق تأتي من جميع الاتجاهات في اتجاه مركز دائرة توجد فيه الفريسة.

الحلقيات مجموعة متباينة من حيواناتٍ سيلومية تتسم بتقسيم تسلسلي. كل قطعةٍ في جسم الدودة الحلقية لها عناصرُ انتقال وإخراج، وهي متصلةٌ بالقطع الأخرى عن طريق جهازٍ دوريٍّ وعصبيٍّ مشترك.

3-34 حاملة العَجَل: الحيوانات الزهرية وذراعية القدم



تتميز قبيلتان من الحيوانات البحرية هما **الحيوانات الزهرية**، **وذراعية القدم** بوجود **حامل العجل**، **اللوفوفور Lophophore** وهو تركيب دائري أو على شكل حرف U حول الفم، يحمل صفًّا أو اثنين من مجسات مهدبة. نظرًا إلى وجود هذه الميزة غير العادية فقط، اعتقد أنهما قريبتان لبعضهما، ولكن البيانات الحديثة تشير إلى أنهما تنتميان إلى فروع مختلفة من شجرة حياة الحيوان.

وعلى الرغم من أن التجويف السيلومي لكل من الحيوانات الزهرية وذراعية القدم يمتد داخل حامل العجل ومجساته، فإن هذه التراكيب ربما تطورت بصورةٍ التقائية. يعمل حامل العجل بوصفه سطحًا لتبادل الغاز وعضوًا لجمع الغذاء. وتعمل أهداب حامل العجل على الإمساك بالدبال العضوي والعوالق التي يتغذى عليها الحيوان.

تتشاطر ذراعية القدم بعض الصفات مع الرخويات والحلقيات (أولية الفم) وتتشاطرُ صفاتٌ أخرى مع ثانوية الفم. التفلج في الحيوانات الزهرية وذراعية القدم يكون غالبًا شعاعيًّا كما في ثانوية الفم. يختلف كذلك تكوين السيلوم، ففي الفورونيد (التي اعتبرت يومًا قبيلةً بذاتها، ولكنها تُعدّ الآن جزءًا من ذراعية القدم) يتشكل الفم من ثقب البلاستيولا، بينما في بقية ذراعية القدم وفي الحيوانات الزهرية، فإن الفم يتشكل من نهاية الجنين المقابلة لثقب البلاستيولا. يُبين الدليل الجزيئي أن مجموعة حاملة العجل قريبةٌ من أولية الفم، ما يعطي قوةً للحجة التي تضعها ضمن أولية الفم. ولكن نظرًا إلى الاختلافات بين أشجار النشوء المبنية على الصفات التشريحية والجنينية من جهة، والجزيئية من جهةٍ أخرى، فإن هذه العلاقات لا تزال تُشكل أُحجيةً مثيرة للاهتمام.

الحيوانات الزهرية، قبيلة الزهرية تكوّن مستعمرات وتنتج حجرةً كيتينية

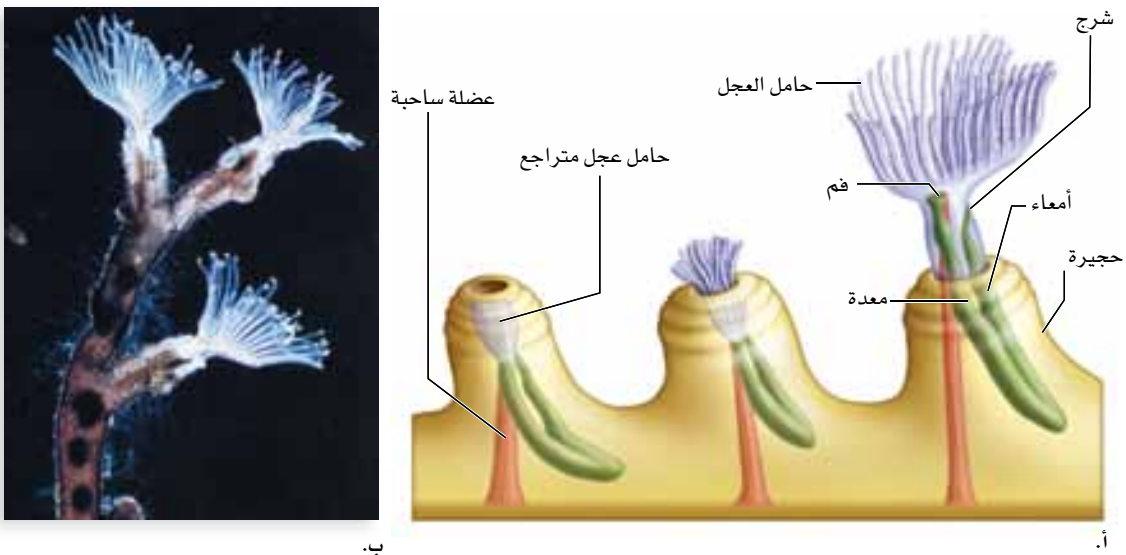
الزهريات (قبيلة الزهريات) **Bryozoa** (أو خارجية الشرح) **Ectoprocta** هي حيواناتٌ صغيرة تكون عادةً أصغر من 0.5 مليمتر طولًا، وتعيش في مستعمرات تشبه بقع الطحالب على سطح الصخور، أو على الأعشاب البحرية، أو على أي أجسام مغمورة. يعني الاسم الشائع للحيوانات الزهرية الحيوانات الطحلبية (الشكل 34-18). جهازها الهضمي يشبه حرف U، حيث يفتح الشرج قرب الفم كما هو حالُ كثير من الحيوانات الثابتة. ويشير الاسم البديل، خارجية الشرج، إلى هذا الموقع للشرج، وهو خارج حامل العجل.

تضم الحيوانات الزهرية أربعة آلاف نوع، وتشمل حيواناتٍ بحرية ومائيةً عذبة. الأفراد الزهرية تفرز حجرةً كيتينيةً صغيرة تسمى **الحجيرة Zoecium**، تتعلق بالصخور والأوساطِ الأخرى كأوراق النباتات، والطحالب البحرية، وأفراد أخرى من المستعمرة، إذ إن الزهريات تشكل مستعمرات. كثير منها يمكن أن يرسب كربونات الكالسيوم في الحجيرة.

للمستعمرات غالبًا بوليب متخصصٌ لوظائف مختلفة كالتغذية، والتكاثر، أو الدفاع. تتواصل الأفراد في السلالة كيميائيًّا خلال ثقوبٍ بين الحجرات. تتطور الزهريات جنينيًّا، حيث يتطور الفم ثانويًّا، وينشأ الشرج من ثقب البلاستيولا، والتفلج هنا شعاعي. ويحدث التكاثر اللاجنسي غالبًا عن طريق التبرعم.

الشكل 34-18

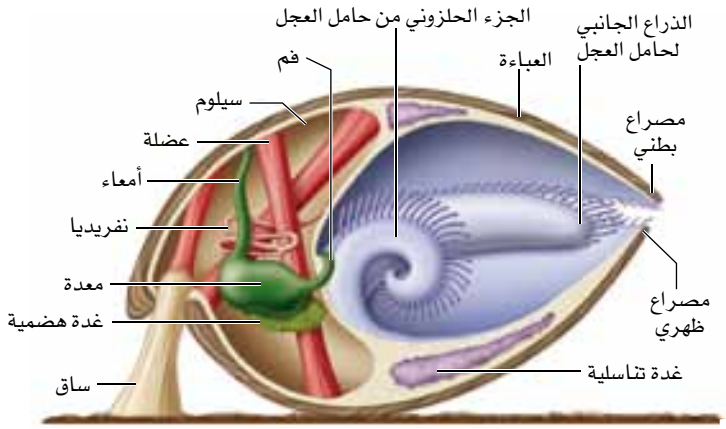
الحيوانات الزهرية. أ. يصف هذا الرسم جزءًا صغيرًا من مستعمرات، تعيش في المياه العذبة للحيوانات الزهرية من الجنس *Plumatella* الذي ينمو على السطوح السفلى للصخور. الفرد الذي على اليسار، له حامل عجل كامل الامتداد. تختفي الأفراد الصغيرة في أصدافها، عندما تشعر بالانزعاج. ب. *Plumatella repens* حيوان زهري يعيش في الماء العذب.



ذراعية القدم والفورونيد، قبيلة ذراعية القدم هي حيوانات حاملات عجل منفردة

ذراعية القدم Brachiopoda أو الأصداف المصباحية تحاكي ظاهريًّا المحار؛ لأن لها صدفتين متكلستين (34-19). وبدلًا من أن تكون الأصداف جانبية كما في ثنائية المصراع، فإن المصراعين هما ظهريٌّ وبطني. يتعلق كثير من الأنواع بالصخور أو الرمال عن طريق ساقٍ تمتدّ خلال فتحةٍ في إحدى الصدفتين. ويلتصق بعضها الآخر بالوسط الذي يعيش عليه، ويفتقر إلى الساق. الجهاز الهضمي عادةً على شكل حرف U كما في الزهريات وحامل العجل يقع ضمن الصدفة، ويعمل عندما تفتح الأصداف قليلًا.

على الرغم من وجود أكثر من 300 نوع من ذراعية القدم، موجودةٌ الآن، فإن أكثر من 30 ألف نوع من هذه القبيلة معروفة بوصفها أحافير. ولأن ذراعية القدم كانت شائعةً في محيطات الأرض ملايين السنين، ولأن أصدافها تتحجر بسهولة، فإنها غالبًا ما تستخدم بوصفها أحافير دالة لتحديد فترةٍ زمنية معينة، أو نوع رسوبي معين.



آ.

ب.

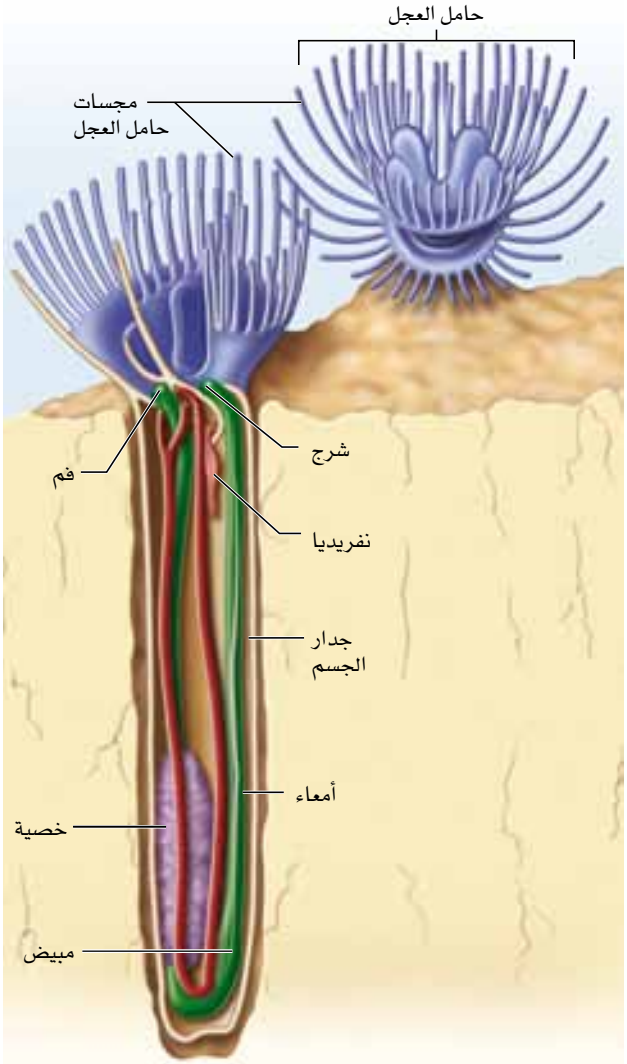
الشكل 34-19

ذراعية القدم. أ. كل تراكيب الجسم باستثناء الساق تقع ضمن صدفتين متكلستين أو مصراعين. ب. ذراعي القدم *Terebratulina septentrionalis* المبين هنا مفتوح جزيئًا، وحامل العجل واضح.

صُنفت **الفورونيد Phoronid** سابقًا بوصفها قبيلة منفصلة (الشكل 34-20)، وهي الآن تُعَدُّ نشوئيًّا ضمن ذراعية القدم. يفرز كل فورونيد أنبوبا كيتينيًّا، ويمضي حياته داخله، وهي تستطيع أن تمد مجسات حامل العجل للتغذية، والانسحاب بسرعة إلى داخل الأنبوب عندما يحدث ما يُعكرُ صفوها، تمامًا كما تفعل الديدان متعددة الأشواك.

تعرفُ عشرة أنواع فقط من الفورونيد، تتراوح في الطول من بضعة مليمترات إلى 30 سنتمترًا. تبقى بعض الأنواع مدفونةً في الرمل، وبعضها الآخر متعلّق بالصخور، إما فرادى أو في مجموعات مشكلةً مستعمراتٍ متباعدة. تتطور الفورونيد كأولية فم، وليس كذراعية قدم، حيث التفلج شعاعي، والشرج يتطور ثانويًّا.

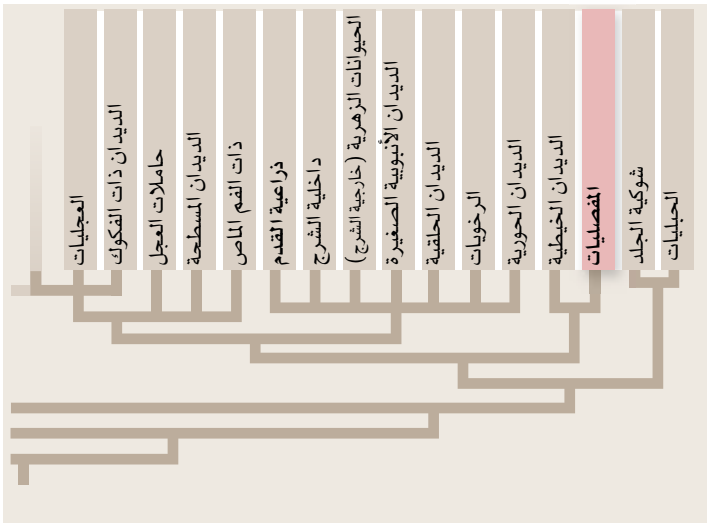
القبيلتان من حاملات العجل ربما تتشاطر سلفًا مشتركًا، وهما تُبديان خليطًا من صفات أولية وثانوية الفم.



الشكل 34-20

الفورونيد. تعيش الفورونيد في أنبوب كيتيني يفرزه الحيوان. يتألف حامل العجل من ثنيتين متوازيتين من اللوامس تشبه حذوة الفرس، ويمكن أن تنسحب إلى داخل الأنبوب، عندما يضطرب الحيوان.

4-34 قبيلة المفصليات: مفصليات الأرجل

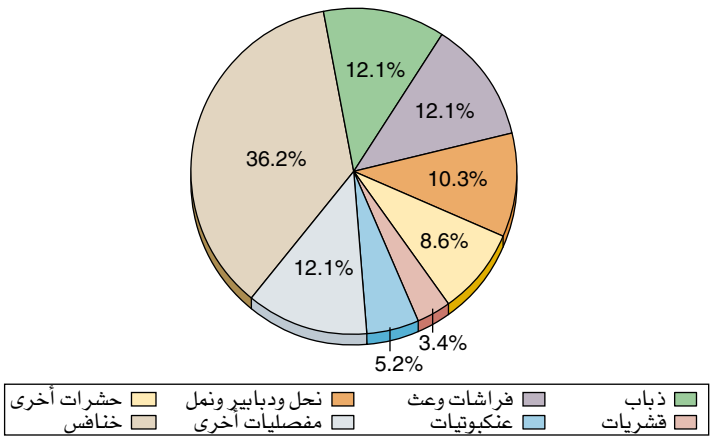


المفصليات– خاصةً الطائفة الأكبر، وهي الحشرات– هي الأكثر نجاحًا بين الحيوانات جميعها (الجدول 34-1). تضم قبيلة **المفصليات Arthropoda** أكثر من 1,000,000 نوع– نحو ثلثي الأنواع المسماة على الأرض (شكل 34-21). وقد قدر أحد العلماء حديثًا أن طائفة الحشرات وحدها قد تضم 30 مليون نوع تقريبًا. ويوجد قرابة 200 مليون فرد من الحشرات حيًّا في أي وقت مقابل كل إنسان! تعيش الحشرات والمفصليات الأخرى (الشكل 34-22) في كل بيئة على الكوكب، ولكنها غزت اليابسة بشكل خاص مع النباتات الزهرية والفقريات.

تتكون معظم أنواع المفصليات من حيوانات صغيرة، ذات أطوال تبلغ نحو مليمترات عدة. ويتراوح حجم البالغ من أفراد القبيلة ما يقارب 80 ميكرومترًا في الطول (بعض الحلم الطفيلي) إلى 3 أمتار عَرضًا (السلطعون والعنكبوت الياباني العملاق).

المفصليات خاصة الحشرات والحلم، ذات أهمية اقتصادية هائلة، وتؤثر في نواحي حياة الإنسان جميعها، وهي تتنافس مع الإنسان على الغذاء من كل نوع، وتؤدي دورًا في تلقيح بعض أنواع المحاصيل، وتسبب ضررًا يقدر ببلايين الدولارات للمحاصيل قبل الحصاد وبعده. إنها تعد بلا منازع أكثر آكلات الأعشاب أهمية في الأنظمة البيئية لليابسة، ومصدرًا مهمًّا للغذاء كذلك. كل نوع من النباتات يأكله نوع أو أكثر من الحشرات بصورة نهائية، والأمراض التي تنقلها الحشرات تسبب خسارة اقتصادية هائلة كل عام، وتضر بكل نوع من الحيوانات والنباتات الداجنة، إضافة إلى الإنسان.

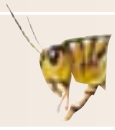
وعلى الرغم من أن مجموعات المفصليات وعلاقات قرابتها بالمجموعات الأخرى قد تتغير من خلال معلومات جزيئية، فإن علماء التصنيف يميزون أربع طوائف رئيسة منها. قد تصنف هذه الطوائف في بعض الأنظمة بشكل مختلف، وتعدّ قبائل منفصلة ضمن السلالات الانسلاخية. وتشمل العنكبوتيات، ومتعددة الأرجل، والقشريات، والحشرات.

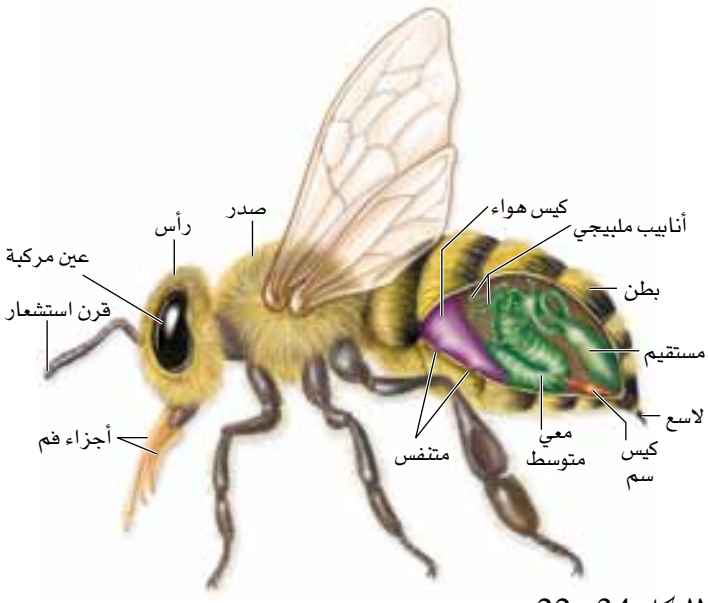


الشكل 34-21

المفصليات مجموعة ناجحة. نحو ثلثي الأنواع المسماة هي مفصليات، و80% من المفصليات حشرات، ونصف الحشرات تقريبًا خنافس.

الجدول 34-1 مجموعات قبيلة المفصليات الرئيسة ضمن التصنيف التقليدي

المجموعة	الخصائص	الأفراد الممثلة للمجموعة
العنكبوتيات	أجزاء الفم هي خطافات (كلابات أو أنياب سم).	العنكبوت، والحلم، والقراد، والعقرب وذات الأرجل الطويلة.
متعددة الأرجل	أجزاء الفم هي فكوك، الجسم يتكون من رأس وقطع جسم متعددة تحمل زوائد مزدوجة وحيدة الأفرع، ولها زوج واحد من قرون الاستشعار.	ذات المئة قدم، وذات الألف قدم.
القشريات	أجزاء الفم هي فكوك (فكوك للعض) والزوائد ثنائية التفرع: ولها زوجان من قرون الاستشعار.	جراد البحر، والسلطعون، والجمبري، والبرنقيل، ومتساوية الأرجل.
الحشرات 	أجزاء الفم هي فكوك، الجسم يتكون من ثلاث مناطق: رأس، وصدر، وبطن. الزوائد وحيدة الأفرع، زوج واحد من قرون الاستشعار.	الخنافس، والنحل، والذباب، والبرغوث، والبق الحقيقي، والنطاط، والفراش، والنمل الأبيض.



الشكل 34-22

قبيلة المفصليات. هذه النحلة مثل كل الحشرات والمفصليات الأخرى (قبيلة المفصليات)، لها جسم مقسم وزوائد متمفصلة. يتكون جسم الحشرة من ثلاث مناطق، هي: رأس، وصدر، وبطن. المفصليات كلها لها هيكل خارجي من الكايتين. طورت الحشرات أجنحة تسمح لها بالطيران.

وسوف ندرس كل مجموعة على حدة لاحقًا، ولكن دعنا أولًا نراجع الخصائص العامة للشكل الخارجي للمفصليات.

خطة جسم المفصليات تتسم بزوائد مفصلية وهيكل خارجي

يعود جزء من نجاح المفصليات إلى خطة جسمها المقسم إلى وحدات، وإلى وجود زوائد متمفصلة وهيكل خارجي. لقد سمح وجود الزوائد المتمفصلة للمفصليات بأن تطور أنماطًا عدة فعالة من طرق الانتقال في المحيط، حيث نشأت على اليابسة، وتفوقت مبكرًا في الحقبة الديفونية. يعطي الهيكل الخارجي حماية خاصة ضد أنواع المفترسات التي ظهرت في أثناء الانفجار الكمبري.

الزوائد المتمفصلة

تعني كلمة مفصليات القدم "القدم المتمفصل"، فكل المفصليات لها زوائد متمفصلة. وقد اقتصر عدد هذه الزوائد على مناطق محددة من الجسم في بعض أفراد القبيلة. الزوائد المفردة قد تتحور إلى قرون استشعار، وأجزاء فم من جميع الأنواع، أو إلى أرجل. وبعض الزوائد، كأجنحة بعض الحشرات، ليست مماثلة للزوائد الأخرى، فأجنحة الحشرات تطورت باستقلال.

للزوائد المتمفصلة فوائد: إحداها أنها قادرة على أن تمتد، وتُسترجع؛ لأنها قابلة للانثناء. ولك أن تتخيل كم ستكون الحياة صعبة لو لم تكن أطرافك قابلة للانثناء. إضافة إلى ذلك، فإن المفاصل تعمل كنقطة ارتكاز، أو نقطة ثابتة مستقرة لحركة الزوائد؛ لذا فعمل الرافعة ممكن هنا. فقوة عضلة صغيرة على الرافعة يمكن أن تنتج حركة كبيرة. مثلًا، مد الذراع الأمامي للإنسان يستفيد من نقطة الارتكاز في الكوع. وحدوث مسافة انقباض صغيرة في العضلة يحرك اليد عبر قوس واسع. والمبدأ نفسه يعمل في حالة الزوائد المتمفصلة في الحشرات.

هيكل خارجي

لتركيب جسم المفصليات إبداع رئيس ثانٍ: هيكل خارجي صلب أو **هيكل خارجي Exoskeleton** مكون من كايتين مفرز ومن بروتين. يشكل الهيكل في أي حيوان مكانًا لاتصال العضلات. في المفصليات، تتصل العضلات بالسطح الداخلي للهيكل الخارجي الصلب الذي يحمي الحيوان من المفترسات، ويعيق فقدان الماء.

وكما تعلمت في (الفصل الـ 3)، فالكايتين شبيه كيميائيًّا بالسليلوز الذي هو المكون التركيبي الرئيس في النباتات، ويشترك معه في صفات الصلابة والمرونة. عندما يجتمعان معًا، يشكل الكايتين والبروتين غطاء خارجيًّا قويًّا، ولكنه قادر على الانثناء استجابة لانقباض العضلات المرتبطة به. في معظم القشريات ومتعددة الأرجل، أصبح الهيكل الخارجي أكثر صلابة على الرغم من أنه أقل مرونة لترسب أملاح الكالسيوم به.

للهيكل الخارجي بعض نواحي القصور الفطرية أيضًا. فالهيكل الخارجي يجب أن يكون أسمك بكثير في الحشرات الكبيرة منه في الصغيرة؛ ليتحمل شد العضلات. ولهذا، فإننا لا نرى خنافس بحجم النسور أو سلطعونات بحجم الأبقار، فالهيكل الخارجي كان يجب أن يكون من السمك، بحيث لا يستطيع الحيوان تحريك وزنه الكبير. نتيجة لذلك، فإن القليل من المفصليات الأرضية تزن أكثر من بضعة جرامات.

أجسام المفصليات مقسمة مثلها مثل الحلقيات، على الرغم من أن هاتين القبيلتين ليستا ذواتي قرابة مباشرة. أعضاء بعض طوائف المفصليات لها كثير من قطع الجسم المتشابهة. في بعضها الآخر، تخصصت القطع في مجموعات وظيفية أو **القطع المرتبة** (كالوحدات العسكرية) **Tagmata** كالرأس، والصدر، والبطن في الحشرة.

تعرف هذه العملية باسم ترتيب القطع وظيفيًّا، وهي ذات أهمية مركزية في تطور المفصليات. قد تتحد بعض القطع في الحيوان البالغ في بعض المفصليات، على الرغم من أن القطع الأصلية يمكن دومًا تتبعها وتمييزها في أثناء التطور الجنيني لليرقة. المفصليات جميعها لها رأس متميز، ويتحد أحيانًا مع الصدر ليشكلا قطعة واحدة تدعى **الرأس صدر Cephalothorax أو القطعة الأمامية Prosoma** كما هي حالة كثير من القشريات (السلطعون وجراد البحر والقريدس) والخطافيات (مجموعة تضم العناكب).

الانسلاخ: نمو مع هيكل خارجي

تنسلخ المفصليات بصورة دورية، لأن جسمها محاط بهيكل صلب. **والانسلاخ Ecdysis** هو خلع الطبقة الخارجية من الجليد التي يسيطر عليها من قبل هرمون انسلاخ يشبه الستيرويدات (الفصل الـ 46).

تشكل المفصليات عندما تنمو هيكلًا خارجيًّا جديدًا تحت الهيكل القائم، وعندما يكتمل الهيكل الخارجي الجديد يصبح مفصولا عن القديم عن طريق سائل. يذيب هذا السائل الكايتين والبروتين (وكربونات الكالسيوم، إن وجدت) من الهيكل القديم. يزداد حجم السائل حتى ينشق الهيكل الخارجي الأصلي، وينفتح على طول خط الظهر ثم ينفصل. يخرج الحيوان المفصلي مغطى بلباس جديد شاحب، ولا يزال طريًّا بعض الشيء. بعد ذلك ينفخ الحيوان نفسه ليوسع الهيكل إلى حجمه الكامل. تساعد دورة الدم إلى كل أجزاء الجسم على هذا التوسع، وكثير من الحشرات والعناكب تأخذ هواء للمساعدة على ذلك أيضًا. يتصلب الهيكل المتسع لاحقًا. وعندما يكون الهيكل طريًّا يكون الحيوان هشًّا ومعرضًا للافتراس، وقد يختبئ من المفترسات حتى يتصلب هيكله الخارجي الجديد.

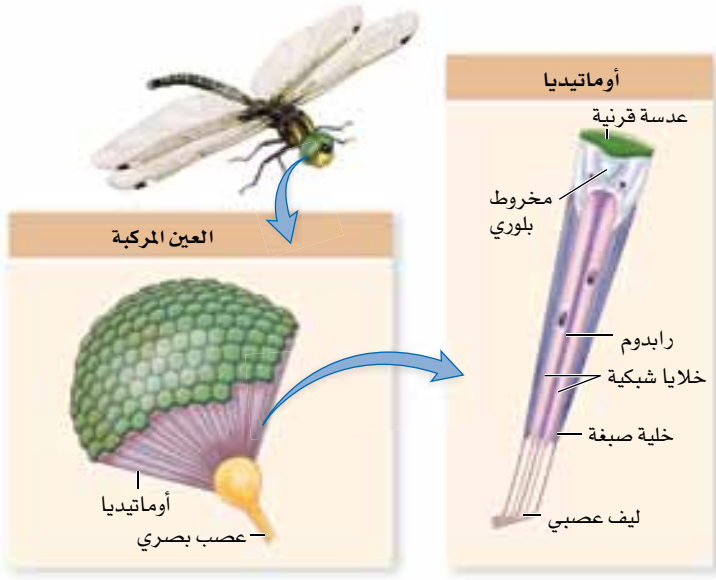
العين المركبة

هناك تركيب آخر مهم في كثير من المفصليات هو **العين المركبة Compound eye** (الشكل 34-23). توجد العيون المركبة في الحشرات، والقشريات، وذات المئة قدم، وفي ثلاثية الفصوص المنقرضة. فهي تتكون من وحدات بصرية مستقلة تصل غالبًا إلى الآلاف تدعى **أوماتيديا Ommatidia** أو العيون. كل أوماتيديوم مغطى بعدسة، ويضم معقدًا من ثماني خلايا شبكية ولبًّا مركزيًّا حساسًا للضوء يدعى **رابدوم Rhabdom**. العيون البسيطة *Ocelli* ذات عدسات مفردة، وتوجد في مجموعات مفصلية أخرى، وقد توجد أحيانًا مع العيون المركبة كما في الحشرات. تُميز العيون البسيطة في الحشرات الضوء من الظلام، وفي بعض الحشرات الطائرة كالجراد والرعاشات (اليعسوب)، تعمل بوصفها مجسًّا للأفق، وتساعد الحشرات على تثبيت مجال طيرانها بصريًّا.

الجهاز الدوري

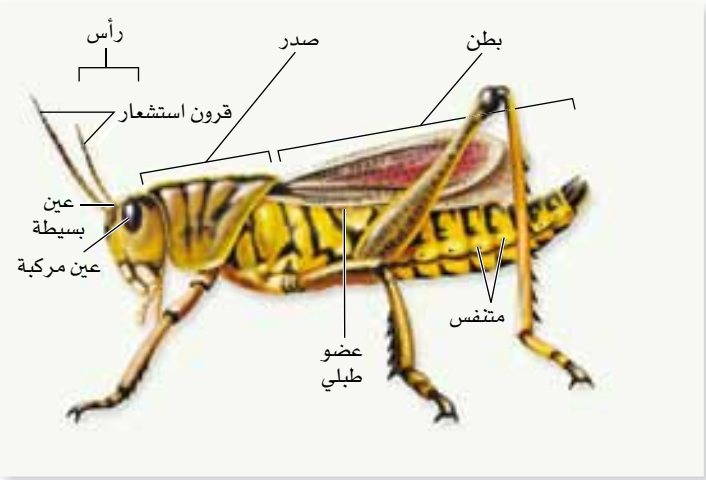
الجهاز الدوري للمفصليات مفتوح، فدمها يتدفق خلال تجاويف بين الأعضاء الداخلية، وليس خلال أوعية دموية مغلقة. المكون الرئيس للجهاز الدوري للحشرات هو وعاء عضلي طولي يدعى القلب. هذا الوعاء يوجد بالقرب من السطح الظهري للصدر والبطن (الشكل 34-24).

عندما ينقبض القلب، يتدفق الدم إلى منطقة الرأس في الحشرة. وعندما ينبسط قلبها يعود الدم خلال سلسلة من الصمامات الواقعة في المنطقة الخلفية للقلب. تسمح هذه الصمامات للدم بالتدفق إلى الداخل فقط. وعليه، يتدفق الدم تدريجيًّا من الرأس ومناطق الجسم الأمامية الأخرى للحشرة يتدفق تدريجيًّا خلال الفراغات بين الأنسجة نحو النهاية الخلفية، ثم ثانية خلال الصمامات ذات الاتجاه الواحد إلى القلب.

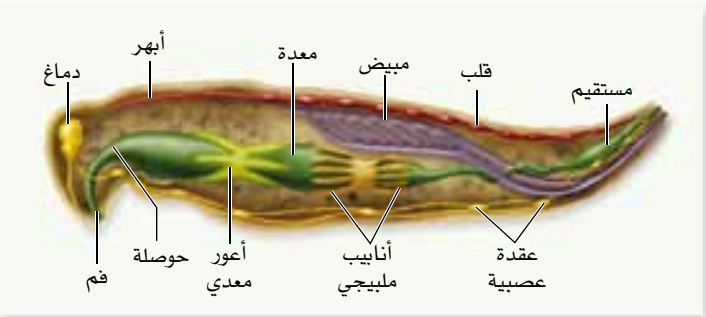


الشكل 34-23

العين المركبة. العيون المركبة في الحشرات هي تراكيب معقدة مكونة من كثير من الوحدات البصرية التي تدعى أوماتيديا.



أ.



ب.

الشكل 34-24

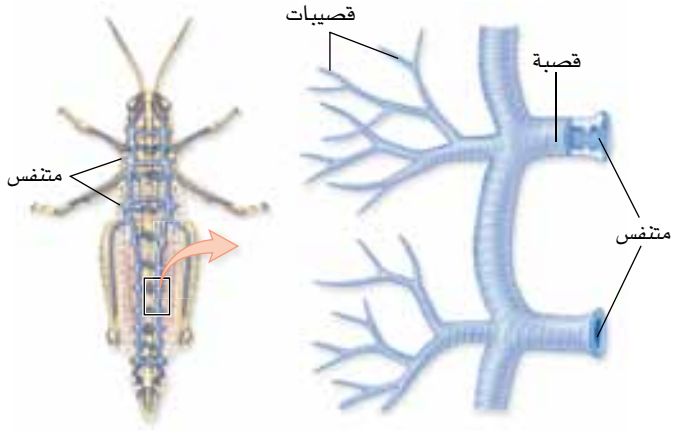
الجندب (رتبة مستقيمة الأجنحة). يوضح هذا النطاط الصفات التركيبية الرئيسة للحشرات، وهي المجموعة الأكثر عددًا من المفصليات. أ. التشريح الخارجي. ب. التشريح الداخلي.

الجهاز العصبي

السمة الرئيسة للجهاز العصبي للمفصليات هي سلسلة مزدوجة من العقد العصبية المقسمة التي تمتد على طول السطح السفلي للحيوان. يوجد عند النهاية الأمامية للحيوان ثلاثة أزواج متحدة من العقد الظهرية تشكل الدماغ. ومع ذلك، فإن الكثير من السيطرة على أنشطة المفصليات يُرد إلى العقد البطنية (عادة زوج من كل قطعة). ولهذا، فإن الحيوان يستطيع إنجاز كثير من الوظائف، بما في ذلك التغذية، والحركة، والتزاوج، حتى إن أزيل منه الدماغ. الدماغ في المفصليات يبدو أنه نقطة سيطرة أو مثبط لأعمال مختلفة بدلًا من أن يكون محفزًا، كما في الفقريات.

الجهاز التنفسي

تعتمد الحشرات على جهازها التنفسي أكثر من اعتمادها على جهازها الدوري في حمل الأكسجين إلى الأنسجة، على الرغم من أن ذلك ليس بالضرورة صحيحًا في المفصليات. لهذا، فإن أجزاء الجسم كلها تحتاج إلى أن تكون قريبة من الممرات التنفسية للحصول على الأكسجين. هذه الصفة (مقرونة بصفة سمك الهيكل الكايتيني الخارجي) تضع قيودًا شديدة على حجم المفصليات، مقارنة بما في الفقاريات.



الشكل 34-25

القصبات والقصيبات. تتصل القصبات والقصيبات عن طريق فتحات متخصصة تدعى المتنفسات التي تحمل الأكسجين إلى كل أجزاء جسم حشرات اليابسة.

تختلف المفصليات عن معظم الحيوانات في عدم امتلاكها عضو تنفس رئيسًا واحدًا. فالجهاز التنفسي لمعظم مفصليات اليابسة يتألف من قنواتٍ هوائية صغيرة ومتفرغة ومبطنة بالجليد، وهي تدعى **القصبات الهوائية Tracheae** (الشكل 34-25). القصبات التي تتفرع في النهاية إلى فروع صغيرةٍ جدًا هي **القصيبات Tracheoles** وهي سلسلةٌ من الأنابيب تنقل الأكسجين خلال الجسم. والقصبات في تماسٍ مباشر مع خلايا الجسم المفردة، والأكسجين ينتشر مباشرة عبر الأغشية البلازمية.

يمر الهواء إلى القصبات عن طريق فتحاتٍ متخصصة في الهيكل الخارجي تدعى **المتنفسات Spiracles**، التي يمكن أن تفتح أو تغلق في معظم الحشرات عن طريق صمامات. إن القدرة على منع فقدان الماء بإغلاق المتنفسات كانت تكيفًا أساسيًّا سهل للمفصليات غزو اليابسة. المفصليات البحرية كالقشريات لها خياشيم تنفسية وكثير من الخطافيات (السلطعون والعقارب والعناكب) لها ما يدعى رئات كتبية وتراكيب تشبه الرئة. مع ذلك، تفتقر بعض المفصليات الصغيرة إلى أي تراكيب لتبادل الأكسجين، وجلدها أو قناتها الهضمية لهما وظيفةٌ تنفسية.

الجهاز الإخراجي

على الرغم من وجود أنواع مختلفة من الأجهزة الإخراجية في مجموعات المفصليات المختلفة، فإننا سنركز هنا على الجهاز الإخراجي المكون من **أنابيب ملبيجي Malpighian tubules** التي تطورت في حشرات اليابسة، ومتعددة الأرجل، والعناكب. أنابيب ملبيجي هي بروزاتٌ رفيعة من القناة الهضمية مرتبطةٌ بنقطة اتصال المعي الأوسط بالمعي الخلفي (انظر الشكل 50-9). تمر السوائل خلال جدران أنابيب مليجي من الدم الذي تنغمر فيه هذه الأنابيب وإليه. عندما يمر السائل خلال الأنابيب نحو المعي الخلفي تترسب منه الفضلات النيتروجينية على هيئة حمض بوليك مركز أو جوانين. بعدئذٍ تفرغ المواد في المعي الخلفي، ثم تطردُ خارج الجسم.

يعاد امتصاص معظم الماء والأملاح في السائل عن طريق المعي الخلفي والمستقيم، وتعاد إلى جسم المفصلي. أنابيب ملبيجي آلية فعّالة للحفاظ على الماء، وتُشكل تكيفًا سهّل على المفصليات غزو اليابسة.

للعنكبوتيات زوائد أمامية متخصصة تُدعى الخطافات

تحتل طائفة **العنكوبتيات Arachnida**؛ طائفة من مفصليات اليابسة بشكلٍ رئيس، وتضم 57,000 نوع مسمى، خطًّا تطوريًّا متميزًا من المفصليات. في هذا الخط، تعمل الزوائد الأمامية جدًا، وتدعى **الخطافات Chelicerae** غالبًا بوصفها أنياب سم أو كلابات. تضم العنكبوتيات مفصليات مألوفة كالعناكب، والقراد، والحلم، والعقارب وذا الأرجل الطويلة. وجسمها مقسم إلى منطقتين رئيستين أو قطعتين: تدعى المنطقة الأمامية **القطعة الأمامية Prosoma** وتحمل كل الزوائد، إذ تحمل زوجًا من الخطافات، وزوجًا من اللوامس الفمية وأربعة أزواج من أرجل المشي. في حين تحتوي المنطقة الخلفية من الجسم، وتدعى **المنطقة الخلفية Opisthosoma**، أعضاء التكاثر.

اللوامس القدمية Pedipalps (غالبًا تسمى اللوامس) توجد في موقع خلفي بالنسبة إلى الخطافات، وهي تشبه الأرجل، لكنها أقل بقطعة واحدة، وهي لا تستخدم للانتقال. اللوامس في ذكور العناكب هي أعضاء تزاوج متخصصة، وهي تشكل في العقارب كلابات كبيرة. وفي معظم العنكبوتيات الأخرى تقدم اللوامس وظيفة حسية كقرون الاستشعار في المفصليات الأخرى.

معظم العنكبوتيات آكلة للحوم، والاستثناء الأساسي هو الحلم الذي هو آكل للنباتات غالبًا. تبتلع معظم العنكبوتيات الغذاء في صورة سائلة مسبقًا، إذ تقوم بهضمه خارجيًّا بإفراز أنزيمات على فريستها، ثم تقوم بعد ذلك بامتصاص المادة المهضومة عن طريق بلعومها العضلي. ويستطيع ذو الأرجل الطويلة ابتلاع الغذاء بوصفه رقائق صغيرة. العنكبوتيات حيوانات يابسة بشكل أساسي، وليس بشكل كلي إذ يوجد نحو 4000 نوع معروف من الحلم ونوع واحد من العنكبوت تعيش في المياه العذبة، وأنواع قليلة من الحلم تعيش في البحر.

كثير من العناكب لها جهاز تنفسي متميز من **الرئات الكتبية Book lungs**، وهي سلسلة من صفائح تشبه أوراق النبات تقع ضمن حجرة. يسحب الهواء إلى هذه الحجرة، ثم يطرد منها بالانقباضات العضلية. قد توجد الرئات الكتبية إضافة إلى القصبات الهوائية أو قد تعمل بدلًا منها.

إن سلطعون حذاء الفرس قريب حميم للعنكبوتيات، وكلتا المجموعتين صنفتا على أنهما خطافيات بسبب الوجود المشترك للخطافات. يمكن أن يتوافر سلطعون حذاء الفرس بغزارة في بعض المناطق، وهو يشكل أربعة أنواع تعيش قرب سواحل الأطلسي الشمالي الأمريكي وفي جنوب شرق آسيا.

رتبة العناكب الحقيقية: العناكب

يوجد نحو 35,000 نوع مسمى من العناكب (رتبة Araneae). تؤدي هذه الحيوانات دورًا أساسيًّا في كل الأنظمة البيئية اليابسة، فهي مهمة بشكل خاص بوصفها مفترسات للحشرات ولحيوانات صغيرة أخرى. تصطاد العناكب فريستها أو تمسك بها في شبكة حريرية مدهشة التنوع. يتكون الحرير من بروتين سائل يدفع بقوة خلال **مغازل Spinnerets** موجودة على الجزء الخلفي لبطن العنكبوت. وتكون الشبكة وعادات العنكبوت مميزة للنوع غالبًا.

كثير من أنواع العناكب بما في ذلك العنكبوت الذئب المألوف وترانتولا لا تحيك شباكًا، بل تصطاد فريستها بشكل نشط بدلًا من ذلك. أنواع أخرى مثل عناكب الباب-المصيدة تبني جحورًا مبطنة بالحرير، ولها أغطية، وهي تمسك بالفريسة عند مرورها.

العناكب جميعها لها غدد سمية تقود إلى الخطافات التي تكون مدببة، وتستخدم لعض الفريسة وشلّها. يمكن أن تكون عضة بعض الأفراد من هذه الرتبة كالأرملة

أ. ب.

الشكل 34-26

نوعان شائعان سامان من العناكب. أ. الأرملة السوداء الجنوبية *Latrodectus mactans* ب. العنكبوت البني الناسك *Loxosceles reclusa*. كلا النوعين شائع في المناطق المعتدلة وشبه الاستوائية في أمريكا الاستوائية، ولكن اللسعات نادرة في الإنسان.

السوداء الغربية *Latrodectus Hesperus* والمتوحد البني *Loxosceles reclusa* (الشكل 34-26) مميتة للإنسان ولثدييات كبيرة أخرى.

رتبة حلم الجبن: الحلم والقراد

تعد هذه الرتبة الأكبر من حيث عدد الأنواع، وهي الأعظم تنوعًا بين العنكبوتيات. وعلى الرغم من وجود قرابة 30.000 نوع من الحلم والقراد، فإن العلماء الذين يدرسون هذه المجموعة يقدرون أن هناك أكثر من مليون عضو في هذه الرتبة. يوجد الحلم والقراد في كل بيئة تقريبًا، وهما يتغذيان على مخلوقات متنوعة بوصفها مفترسات وطفيليات.

معظم الحلم صغير، أقل من 1 ملم طولًا، في حين يتراوح طول الحيوانات البالغة من أنواع مختلفة من 100 نانوميتر إلى 2 سنتمتر. يتحد الرأس صدر في معظم الحلم مع البطن ليعطيها جسمًا بيضويًّا غير مقسم. ويتم التنفس إما عن طريق القصبات، أو مباشرة عن طريق سطح الجسم. يمر كثير من الحلم بمراحل عدة متميزة في أثناء دورة الحياة. إذ تعطي معظم أنواعها يرقة قبلية نشطة ذات ثماني أرجل، تنتج يرقة نشطة ذات ست أرجل، التي تعطي بدورها تتابعًا من ثلاث مراحل، كل منها ثُمانِيَّة الأرجل وأخيرًا ذكورًا وإناثًا بالغة.

القراد طفيليات متغذية على الدم تتعلق على سطح العائل، وهي أكبر من معظم أفراد الرتبة، وتسبب إزعاجًا بمصها دم الإنسان وحيوانات أخرى. يمكن أن يحمل القراد أمراضًا عدة بما في ذلك بعض الأمراض التي تسببها الفيروسات والبكتيريا والأوليات. فالحمى المنقطة (مثلًا حمى جبال روكي المنقطة) تسببها بكتيريا يحملها القراد، ومرض (لايم) تسببه لولبيات ينقلها القراد، وحمى الماء الأحمر أو حمى تكساس، سببها أوليات يحملها القراد للأبقار، والخيول، والضأن، والكلاب.

ذات المئة قدم وذات الألف قدم مقسمة ولها عدد كبير من الأرجل

ذات المئة قدم (طائفة **شفوية القدم Chilopoda**) وذات الألف قدم (طائفة **مزدوجة الأقدام Diplopoda**) لها أجسام تتكون من منطقة رأس تتبعها حلقات عدة كلها متشابهة تقريبًا وجميعها تحمل مجموعة أو اثنتين من زوائد مزدوجة.

وعلى الرغم من أن الاسم ذات المئة قدم يوحي أن للحيوان 100 رجل، واسم ذات الألف قدم أن الحيوان له 1000 رجل، فإن ذات المئة قدم البالغة لها عادة أقل من مئة رجل (معظمها لها 15، 21، 23 زوجًا من الأرجل)، وذات الألف قدم البالغة ليس لها 1000 رجل، بل معظمها له 100 رجل أو أقل. لذات المئة رجل زوج واحد من الأرجل على كل قطعة جسم (الشكل 34-27أ) ولذات الألف قدم زوجان على بعض قطع الجسم أو على كلها (الشكل 34-27ب). كل حلقة في ذات الألف قدم قطعة نشأت في أثناء تطور المجموعة، عندما التحمت قطعتان سلفيتان، وهذا يفسر لماذا يوجد لذات الألف قدم ضعف عدد الأرجل في القطعة الواحدة مقارنة بذات المئة قدم.

يكون التلقيح في ذات المئة قدم وذات الألف قدم داخليًّا، ويتم بنقل المني مباشرة. الأجناس منفصلة، وكل الأنواع تضع بيضًا. تفقس صغار ذات الألف قدم عادة، ولها ثلاثة أزواج من الأرجل، وهي تعايش عددًا من مراحل النمو، إذ تضيف قطعًا وأرجلًا كلما نضجت، ولكنها لا تتغير في مظهرها العام.

ذات المئة قدم لها أنواع مختلفة من التكوين الجنيني، فبعض الأنواع تفقس، ولها العدد النهائي من الأرجل، في حين يضيف بعضها الآخر أرجلًا بعد الفقس. تميل ذات المئة القدم التي لا تضيف أرجلًا، وهي تنمو إلى رعاية صغارها، وهو سلوك غير شائع بين اللافقاريات.

أ. ب.

الشكل 34-27

متعددة الأرجل. أ. ذات المئة قدم من جنس *Scolopendra* هي مفترسات نشطة. ب. ذات الألف قدم من جنس *Sigmoria* هي آكلة أعشاب مهمة، ومتغذيات على الدبال. ذات المئة قدم لها زوج واحد من الأرجل في كل قطعة، وذات الألف قدم لها زوجان في كل قطعة.

ذات المئة قدم، يعرف منها 2500 نوع، كلها آكلة لحوم، وتتغذى بشكل رئيس على الحشرات. إذ تحورت الزوائد في حلقات الجذع الأول إلى أزواج من أنياب السم. والسم سام للإنسان، وعضة كثير من ذات المئة قدم مؤلمة جدًا على الرغم من أنها ليست قاتلة. في المقابل، فإن معظم ذوات الألف قدم هي آكلة أعشاب، إذ تتغذى بشكل رئيس على النباتات المتعفنة كالأوراق المتساقطة والخشب المتعفن أو في التربة، على الرغم من وجود أنواع قليلة آكلة لحوم. كثير من ذات الألف قدم يمكن أن تلف أجسامها على شكل لولب مسطح، أو كرة بوصفه وسيلة دفاع. أكثر من عشرة آلاف نوع من ذات الألف قدم معروفة ومسماة، ولكن يقدر أن هذا لا يشكل أكثر من سدس العدد الفعلي للأنواع الموجودة.

يوجد في كل قطعة من جسم الكثير من ذات الألف قدم زوج من الغدد المعقدة، تنتج سائلًا ذا رائحة كريهة. يخرج هذا السائل لأغراض دفاعية خلال فتحات على جوانب الجسم. لقد أصبحت كيمياء الإفرازات الخارجية لذات الألف قدم المختلفة موضوعًا يجلب الكثير من الاهتمام بسبب التنوع الكيميائي للمركبات ذات العلاقة وفعاليتها في حماية هذه الحيوانات من الهجوم. بعض الأنواع تنتج غاز السيانيد من قطع قريبة من الرأس. تعيش ذات الألف قدم بشكل أساسي في الأماكن المحمية الرطبة، كالأوراق المتساقطة، والأخشاب المتعفنة، وتحت القلف أو الحجارة، أو في التربة.

أغلب القشريات مائية ولها زوائد ثنائية التفرع

القشريات (طائفة القشريات **Crustacea** التي تُصنّف في بعض الأنظمة تحت قبيلة) مجموعة كبيرة من حيوانات بحرية بشكل أساسي، وتتكون من نحو 35,000 نوع من السلطعون، والقريدس، وجراد البحر، والجمبري، والبرنقيل، وبراغيث الماء، وقمل الخشب، وأنواع أخرى.

خطة جسم القشريات

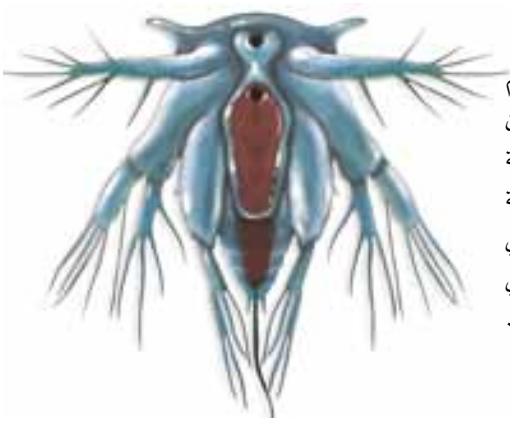
القشريات النموذجية لها ثلاث قطع وظيفية، والقطعتان الأماميتان يمكن أن تتحدا معًا لتشكلا الرأس صدر. معظم القشريات لها زوجان من قرون الاستشعار، وثلاثة أزواج من الزوائد للقضم، ومعالجة الطعام، وأزواج مختلفة من الأرجل. معظم زوائد القشريات باستثناء الزوج الأول من قرون الاستشعار ربما هي ثنائية الأفرع بشكل أساسي. تبدو الزوائد في بعض القشريات، وكأنها ذات فرع واحد، في هذه الحالات يكون أحد الأفرع قد تلاشى في أثناء التخصص التطوري.

تختلف القشريات عن الحشرات، ولكنها تشبه ذات المئة قدم وذات الألف قدم في أن لها زوائد على البطن، وعلى الصدر أيضًا. إنها المفصليات الوحيدة التي لها زوجان من قرون الاستشعار. **فكوكها السفلى Mandibles** (وهي فكوك للعض) يحتمل أنها نشأت من زوج من الأطراف أنيطت بهما مهمة القضم في أثناء مسار التطور. وهي عملية يبدو أنها حدثت مرة واحدة في الأسلاف المشتركة لمتعددة الأرجل، والقشريات، والحشرات.

للقشريات كبيرة الحجم خياشيم ريشية للتنفس بالقرب من قواعد أرجلها. وفي الأعضاء الأصغر من هذه الطائفة يتم تبادل الغاز مباشرة خلال مناطق رقيقة من الجليد أو من خلال الجلد كله. ويتوزع الأكسجين المستخلص من الخياشيم خلال الجهاز الدوري.

تكاثر القشريات

معظم القشريات لها أجناس منفصلة. تحدث أنواع عدة مختلفة من الجماع المتخصص بين القشريات، وأعضاء بعض الرتب تحمل بيوضها معها إما مفردة، أو في كيس للبيض، إلى أن تفقس. يتطور أغلب القشريات عن طريق مرحلة تدعى



الشكل 34–28

يرقة نوبليوس. على الرغم من تنوع القشريات، فإن لها مراحل تطورية متشابهة بشكل أساسي. يرقة نوبليوس في القشريات هي سمة موحدة مهمة توجد في معظم أفراد هذه المجموعة.

نوبليس Nauplius (الشكل 34–28)، مما يعطي دليلًا على أن كل أعضاء هذه المجموعة المختلفة تحدرت من سلف مشترك.

تفقس نوبليس، ولها أزواج من الزوائد، وتمر بعملية تحول خلال مراحل عدة قبل أن تصل إلى النضج. في كثير من المجموعات قد تمر مرحلة نوبليس، وهي لا تزال داخل البيضة، وبعد ذلك يكون التطور الجنيني للفاقس نحو الشكل البالغ مباشرًا.

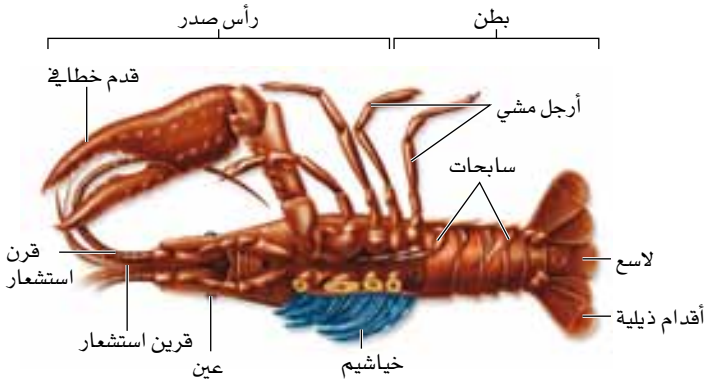
البيئات

على الرغم من أن معظم القشريات بحرية، فإن كثيرًا منها يوجد في الماء العذب، والقليل منها أصبحت حيوانات تعيش على اليابسة. تضم هذه الأخيرة قمل الخشب، وبق الثلج، وهي الأعضاء التي تعيش على اليابسة لرتبة كبيرة من القشريات تعرف بمتساوية الأرجل (رتبة متساوية الأرجل). نحو نصف الأنواع المقدرة بـ 4500 نوع من الرتبة هي أرضية، وتعيش بشكل أساسي في أماكن رطبة على الأقل فصليًّا. براغيث الرمل أو براغيث الشواطئ (رتبة مختلفة الأقدام) هي قشريات أخرى مألوفة، وكثير منها أنواع تعيش في بيئات شبه يابسة (منطقة المد).

توجد قشريات صغيرة الحجم مع يرقات الأنواع الأكبر بوفرة في العوالق وفي الفراغات بين حبات الرمل. من المجموعات المهمة مجذافية الأرجل الصغيرة (رتبة مجذافية الأرجل، الشكل 34–29) التي هي الأكثر توافرًا بين المخلوقات متعددة الخلايا على الأرض.

الشكل 34–29

قشريات الماء العذب. أحد مجذافية الأرجل وبيوضه ملتصق به. مجذافية الأرجل هي أعضاء في مجموعة تضم قشريات بحرية ومائية عذبة (رتبة مجذافية الأرجل)، وهي مكوّن مهم بين العوالق، ومعظمها لا يتجاوز بضعة ملمترات طولًا.



الشكل 34-30

القشريات عشرية الأقدام. منظر سفلي لجراد البحر *Homarus americanus* وصفاته الرئيسة مبينة.

القشريات عشرية الأقدام: القريدس، وجراد البحر، والسلطعون، والجمبري

تضم القشريات عشرية الأقدام قشريات ضخمة، وأغلبها حيوانات بحرية كالقرديس، وجراد البحر، والسلطعون، وأقاربها التي تعيش في الماء العذب كالجمبري (الشكل 34-30). إن الهيكل الخارجي في هذه الحيوانات عادة معزز بكربونات الكالسيوم. معظم حلقات الجسم متحدة في رأس صدر مغطى بدرع ظهرية أو درقة (الدَّبَل) الذي ينشأ من الرأس. الكلابات الساحقة شائعة في عديدٍ من القشريات عشرية الأرجل، وتستخدم في الحصول على الغذاء –مثلًا بسحق صدفة الرخويات.

في جراد البحر والجمبري زوائد تدعى **السابحات Swimmerets**، على هيئة أسطر على طول السطح البطني للبطن، وتستخدم للتكاثر والسباحة. إضافةً إلى ذلك هناك زوائد مسطحة تدعى **الأقدام الذيلية Uropoda** تشكل نوعًا من المجذاف المركب عند نهاية البطن. هذه الحيوانات قد تمتلك أيضًا **لاسعًا Telson** أو شوكةً ذيلية. وبتحريك بطنها، تستطيع الحيوانات دفع نفسها خلال الماء بسرعة وبقوة.

تختلف السلطعونات عن جراد البحر باختلافات متعددة، واحدة منها أن الدرقة أكبر وأعرض بكثير، وأن البطن محضونٌ تحتها.

القشريات المستقرة (الجالسة): البرنقيل

البرنقيل (رتبة ذات الشعر المموج والأقدام؛ شكل34-31) مجموعةٌ من القشريات التي تكون مستقرة بوصفها حيوانات بالغة. ولها يرقات حرة السباحة تعلق

الشكل 34-31

تغذية برنقيل عنق الإوزة، *Lepas anatifera*. هذا هو برنقيل ذو ساق. بعضها الآخر يفتقر إلى الساق.

رؤوسها بالصخور أو الأجسام المغمورة أو الطافية، وتحرك الغذاء نحو أفواهها باستخدام أرجلها الريشية. تحمي الصفائح الكلسية جسم البرنقيل، وتكون هذه الصفائح عادةً متعلقة مباشرة وبقوة إلى السطح الذي تستقر عليه. وعلى الرغم من أن معظم القشريات لها أجناسٌ منفصلة، فإن البرنقيل خُنثى، ولكن عادة يتم به إخصاب خلطي.

تبدي الحشرات تنوعًا هائلًا وتوجد بأعداد كبيرة

الحشراتُ أعضاءٌ في طائفة **سُداسية الأرجل**، وهي الأكثر بين الحيوانات على الأرض بكل مقياس، سواءٌ على اليابسة أو في المياه العذبة، وقليلٌ منها غزت البحر أيضًا. أكثر من نصف الأنواع الحيوانية المسماة هي حشرات، والنسبة الحقيقية دون شك أعلى من ذلك بكثير؛ لأن ملايين من أشكال إضافية لا تزال تنتظر الكشف عنها، وتسميتها، وتصنيفها.

في الولايات المتحدة وكندا نحو 90,000 نوع، والرقم الحقيقي للأنواع في هذه المنطقة ربما يقترب من 125,000. ويُقدر أن الهكتار الواحد من الأرض المنخفضة للغابة المطرية يقطنه 41,000 نوع من الحشرات تقريبًا، وكثير من الحدائق في الضواحي بها 1500 نوع أو أكثر. ولقد قُدر أن قرابة بليون بليون فرد من الحشرات يكون حيًّا في أي لحظةٍ زمنية. ويلقي الشكل 34-32 والجدول 34-2 ضوءًا على هذا التنوع الهائل للحشرات.

أ. ب. جـ.

الجدول 34-2 الرتب الرئيسة للحشرات			
الرتبة	**مثال نموذجي**	**الصفات الأساسية**	**العدد التقريبي للأنواع المسماة**
غمدية الأجنحة	الخنافس	الرتبة الحيوانية الأكثر تنوعًا، زوجان من الأجنحة، الزوج الأمامي من الأجنحة صلب ويحمي الزوج الخلفي من أجنحة الطيران، هيكل خارجي مدرع بقوة، أجزاء فم قارضة وعاضة، تحول كامل.	350,000
ثنائية الأجنحة	الذبابة	بعض ما يعض الإنسان والثدييات الأخرى تُعدّ آفات، أجنحة أمامية للطيران شفافة، الأجنحة الخلفية مختزلة على هيئة أعضاء توازن، أجزاء فم ماص وثاقب ولاعق، تحول كامل.	120,000
حرشفية الأجنحة	الفراشات، والعث.	زوجان من أجنحة طيران عريضة ذات حراشف، غالبًا فاقعة الألوان، جسم ذو شعر، أجزاء فم ماصة وتشبه الأنبوب، تحول كامل.	120,000
غشائية الأجنحة	النحل، والدبور والنمل.	غالبًا اجتماعية، زوجان من أجنحة طيران شفافة، رأس متحرك وعيون مركبة متطورة جيدًا، تمتلك لاسعات غالبًا، أجزاء فم قارض وماص، تحول كامل.	100,000
نصفية الأجنحة ومتماثلة الأجنحة	البق الحقيقي، وبق الفراش، ونطاط الأوراق، والمن والسيكادا.	تعيش على الدم غالبًا، بعضها آكلات نباتات، زوجان من الأجنحة أو دون أجنحة، أجزاء فم ثاقب ماص، تحول بسيط.	60,000
مستقيمة الأجنحة	النطاط، وصرصار الليل.	زوج ثالث من الأجنحة متحور للقفز، زوجان من الأجنحة أو دون أجنحة من بين أكبر الحشرات حجمًا، أجزاء فم للعض وللقضم في البالغ، تحول بسيط.	20,000
الرعاشات	اليعسوب	رتبة حشرات بدائية، زوجان من أجنحة طيران شفافة لا تنثني للخلف، جسم طويل كبير ورفيع، أجزاء فم قارض، تحول بسيط.	5,000
متساوية الأجنحة	النمل الأبيض	واحد من الأنواع الحيوانية القليلة القادرة على التغذي على الخشب، زوجان من الأجنحة، ولكن بعض المراحل دون أجنحة، حشرات اجتماعية، أنواع عدة من الجسم مع تقسيم للعمل، أجزاء فم قارض، تحول بسيط.	2,000
عديمة الأجنحة السيفونية	البرغوث	صغير، ومعروف بعضته المسببة للتهيج، دون أجنحة، جسم صغير مفلطح وله أرجل للقفز، أجزاء فم ثاقب ماص، تحول كامل.	1,200

الشكل 34-32

تنوع الحشرات .أ. العث لونا *Actias luna*. العث لونا وأقاربه من بين الحشرات المدهشة (رتبة حرشفية الأجنحة) **ب.** نطاط الأشجار شبيه الشوكة *Umbonia crassicornis* (رتبة متماثلة الأجنحة)، **جـ.** خنافس القطن *Anthonomus grandis* خنافس القطن واحدة من أكبر مجموعات الخنافس (رتبة غمدية الأجنحة). **د.** الذباب العسكري *Ptecticus trivittatus* (رتبة ثنائية الأجنحة). **هـ.** الجندب الضخم المغفل *Romalea guttata* (رتبة مستقيمة الأجنحة). **و.** النمل الأبيض كالنمل له طبقات اجتماعية عدة، حيث تختص الأفراد بوظائف مختلفة. فالفرد على اليسار هو جندي، وفكوكه الكبيرة تدافع عن المستعمرة. نمل بيرو الأبيض المبين هنا ينتمي إلى نوع في الجنس *Macrotermes*.

رتبة ثنائية الأجنحة

د.

رتبة مستقيمة الأجنحة

هـ.

رتبة متساوية الأجنحة

و.

الشكل 34-33

أ.

ب.

جـ.

أجـزاء الفم المتحورة في ثلاثة أنـواع من الحشرات. أجـزاء الفم متحورة أ. للثقب في البعوض من جنس *Culex*. ب. لمص الرحيق من الأزهـار في فراشة الفصة من الجنس *Colias*. جـ. للحس السوائل في ذبابة المنزل *Musca domestica*.

الصفات الخارجية

عادة، تعيش الحشرات على اليابسة بشكلٍ أساسي، ومعظم الحشرات المائية إن لم يكن كُلها ربما كان لها أسلافٌ على اليابسة. معظم الحشرات صغيرةٌ نسبيًّا، وتتراوح من 0.1 مليمتر إلى ما يقارب 30 سنتيمترًا في الطول أو عرض الجناح. للحشرات ثلاث مناطق جسمية: الرأس والصدر والبطن، وثلاثة أزواج من الأرجل كلها متصلة بالصدر، وزوج واحدٍ من قرون الاستشعار. إضافة إلى ذلك، قد يكون لها زوج واحد أو اثنان من الأجنحة. لأجزاء فم الحشرات التركيب نفسه، ولكنها محددة في المجموعات المختلفة تبعًا للعادات الغذائية (الشكل 34-33). لمعظم الحشرات عيون مركبة، وكثير منها لها عيون بسيطة إضافة إلى ذلك. الأرجل مفقودة تمامًا في يرقات مجموعات معينة. ففي معظم الذباب (رتبة ثنائية الأجنحة) والبعوض (شكل34-34) مثلًا، يتصل الزوجان من الأجنحة بالقطع الوسطى والخلفية للصدر. والصدر مملوء تمامًا تقريبًا بالعضلات التي تحرك الأرجل والأجنحة.

الشكل 34-34

يرقة البعوض *Culex pipiens*. اليـرقات المـائية للبعوض نشطة تمامًا. إنها تتنفس من خلال أنابيب تمتد إلى سطح الماء، كما هو مبين هنا. إن تغطية سطح المـاء بطبقة رقيقة من الزيت يدفعها إلى الغرق.

تظهر الأجنحة في الحشرات على هيئة نموات تشبه الكيس من جدار الجسم. تكون الأجنحة في الحشرات البالغة صلبة باستثناء العروق. إن أجنحة الحشرات ليست مماثلة تركيبيًّا للزوائد الأخرى. للحشرات زوجان من الأجنحة بشكل أساسي، ولكن في بعض المجموعات كالذباب، اختزل الزوج الثاني إلى زوج من كتل التوازن، يدعى الموازن في أثناء مسار التطور. تستطيع معظم الحشرات طي أجنحتها فوق البطن، عندما تكون في حالة راحة، ولكن القليل، كاليعسوب والذبابة الشابة، تبقى أجنحتها قائمة أو ممدودة في كل الأوقات.

قد تكون أجنحة الحشرات الأمامية قاسية وصلبة في الخنافس. فإذا كانت كذلك، فإنها تشكل غطاء للأجنحة الخلفية، وعادة ما تفتح في أثناء الطيران. تقدم الأجنحة الأمامية الصلبة وظيفة الحماية في رتبة مستقيمة الأجنحة التي تضم النطاط (الجندب) وصرصار الليل. تتكون أجنحة الحشرات من طبقات من البروتين والكايتين، والعروق المدعمة لها هي أنابيب من الكايتين والبروتين. أمّا العث والفراشات فلها أجنحة مغطاة بحراشف قابلة للانفصال تعطيها الألوان الفاقعة (الشكل 34-35). ولا تتطور الأجنحة أبدًا في بعض سداسية الأرجل عديمة الأجنحة، مثل الذيل الزنبركي والسمك الفضي. بعض المجموعات عديمة الأجنحة كالبراغيث والقمل، مشتقة من مجموعات سلفية من الحشرات، كان لها أجنحة ثم فُقِدَت.

التنظيم الداخلي

تماثل الصفات الداخلية للحشرات تلك التي للمفصليات الأخرى بطرق متعددة. فالقناة الهضمية هي أنبوب يكون ملتفًّا بعض الشيء عادة، وغالبًا ما يكون لها طول الجسم نفسه. في نطاط الأوراق، والسيكادا، ومجموعات ذات قرابة، وكثير من الذباب قد يكون الأنبوب الهضمي شديد الالتفاف، وهو أطول من الجسم بمرات عدة. توجد هذه القنوات الهضمية الطويلة عادة في الحشرات التي لها أجزاء فم ماصة، وتتغذى على العصائر أكثر من الأغذية الصلبة الغنية بالبروتين.

الشكل 34-35

الحراشف على جناح *Parnassias imperator* **وهي فراشة من الصين.** حراشف من هذا النوع مسؤولة عن الأنماط شديدة التلوين لأجنحة الفراشات والعث.

تبطَّن المنطقة الأمامية والخلفية من القناة الهضمية للحشرة بالجليد. ويتم الهضم بشكل أساسي في المعدة أو المعي المتوسط، وإخراج الفضلات التي تدور في الدم يتم خلال أنابيب ملبيجي. تفرز الأنزيمات الهاضمة بشكل رئيس من الخلايا المبطنة للمعي المتوسط، على الرغم من أن بعضها تسهم به الغدد اللعابية قرب الفم.

تمتد القصبات الهوائية للحشرات خلال الجسم، وتنفذ خلال الأنسجة المختلفة. في كثير من الحشرات المجنحة، تتوسع القصبات الهوائية في أجزاء مختلفة من الجسم مشكلة أكياسًا هوائية. تحاط هذه الأكياس الهوائية بعضلات تشكل نوعًا من المنفاخ، الذي يجبر الهواء على الدخول عميقًا في النظام القصبي. والمتنفس الذي يدخل من خلاله الهواء إلى الجهاز القصبي المكون من عشر فتحات كحد أقصى على كل جانب للحشرة، يكون مزدوجًا ويقع على أو بين القطع على جوانب الصدر والبطن. في معظم الحشرات، يمكن فتح المتنفس بفعل العضلات. يكون المتنفس في المجموعات الطفيلية والمائية من الحشرات مغلقًا بصورة دائمة، وفي هذه المجموعات تمتد القصبات تحت سطح الحشرة، ويتم التبادل الغازي بالانتشار.

المستقبلات الحسية

إضافة إلى العيون، فإن للحشرات أنواعًا عدة متميزة من المستقبلات الحسية. وهذه تشمل الأشواك الحسية، وهي تراكيب تشبه الشعر، تتوزع بتباعد عادة على الجسم. ترتبط الأشواك الحسية بخلايا عصبية، وهي حساسة للتنبيه الآلي والكيميائي، وتكون موجودة بكثرة بشكل خاص على قرون الاستشعار والأرجل- أجزاء الحشرة التي تلامس في معظم الأوقات الأجسام الأخرى. إنّ الصوت ذو أهمية حيوية للحشرات، ويمكن التحري عنه عن طريق أعضاء طبلية في مجموعات كالجنادب، وصرصار الليل، والسيكادا، وبعض العث. هذه الأعضاء هي تراكيب مزدوجة مكونة من غشاء رقيق هو **الطبلة Tympanum** مرتبط مع أكياس هوائية قصبية. في كثير من مجموعات الحشرات الأخرى، يمكن الإحساس بأمواج الصوت عن طريق شعر حسي. فذكر البعوض يستخدم الآلاف من شعرات حسية موجودة على قرون الاستشعار يتحرى به الصوت الناتج عن اهتزاز أجنحة أنثى البعوض.

إضافة إلى استخدام الصوت، تتواصل الحشرات جميعها تقريبًا عن طريق المواد الكيميائية أو مزيج من المواد الكيميائية يعرف **بالفرومونات Pheromones**. هذه المركبات شديدة التباين، وتطلق في البيئة، وتنقل أشكالًا مختلفة من الرسائل من بينها إشارات التزاوج، وتتبّعِ الأثر.

تاريخ حياة الحشرات

يمر كثير من الحشرات في أثناء تطورها الجنيني **بتحول Metamorphosis**. ففي التحول البسيط الذي نراه في الجنادب، تكون المراحل غير الناضجة شبيهة جدًا بالبالغ، ولكنها تصبح أكبر تدريجيًّا، وأكثر تطورًا من خلال سلسلة من الانسلاخات. أما في التحول الكامل الذي نشاهده في العث والفراشات، فتكون اليرقة غير الناضجة غالبًا شبيهة بالدودة ونشطة في التغذية. وهناك مرحلة راحة تدعى خلالها الحشرة **بالعذراء (الخادرة) Pupa** تسبق مباشرة الانسلاخ النهائي لتصبح بشكل البالغ.

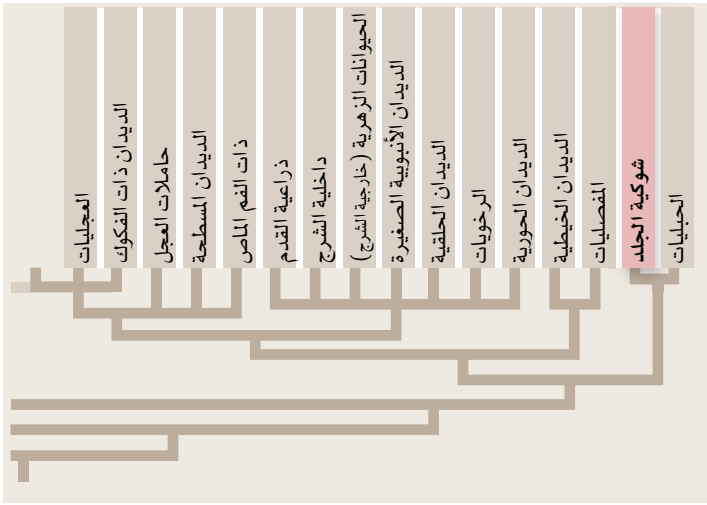
المفصليات حيوانات مقسمة ذات زوائد متمفصلة. كل المفصليات لها هيكل خارجي صلب من الكايتين والبروتين، وهو يتطلب انسلاخًا من أجل أن ينمو الفرد في الحجم. المفصليات لها أيضًا جهاز دوري مفتوح، والحشرات لها كثير من التكيفات للعيش على اليابسة.

العقارب، والعناكب، والحلم كلها عنكبوتيات، جسمها مقسم إلى قطعتين: أمامية وخلفية. تحمل القطعة الأمامية زوجًا من الخطافات، وزوجًا من اللوامس القدمية، وأربعة أزواج من أرجل المشي. ذات المئة قدم هي صائدات مقسمة لها زوج واحد من الأرجل على كل قطعة، في حين أنّ ذات الألف قدم آكلات أعشاب مقسمة، ولها زوجان من الأرجل على أغلب القطع.

القشريات تضم أشكالًا تعيش في البحر، والماء العذب، وعلى اليابسة، وتظهر أشكالًا بالغة التنوع. كثير منها له مرحلة يرقية هي نوبليس، ولها زوائد متفرعة. تشمل القشريات عشرية الأرجل الجمبري، وجراد البحر، والسلطعون، والقريدس. البرنقيل هو قشريات جالسة.

الحشرات جميعها تمتلك ثلاث قطع جسمية، هي: الرأس، والصدر، والبطن. يتصل بالصدر ثلاثة أزواج من الأرجل، وزوجان من الأجنحة، والبطن يفتقر إلى الزوائد. ومعظم الحشرات لها عيون مركبة، وعيون بسيطة، ووسائل معقدة أخرى للإحساس ببيئاتها. يظهر كثير من الحشرات تحولًا بسيطًا أو كاملًا.

5-34 قبيلة شوكية الجلد: شوكية الجلد



الرخويات والحلقيات والمفصليات التي نوقشت سابقًا هي أولية الفم. يتميز أفراد قبيلة شوكيات الجلد التي سنصفها هنا بوجود تكوين جنيني ثانوي الفم **وهيكل داخلي Endoskeleton**. إن مصطلح شوكية الجلد يعني وجود أشواك في الجلد، مشيرًا إلى وجود هيكل داخلي من صفائح صلبة غنية بالكالسيوم تحت الجلد الرقيق (الشكل 34-36 أ).

تظهر شوكية الجلد تكوينًا جنينيًّا ثانوي الفم ولها هيكل داخلي

شوكية الجلد مجموعة قديمة من حيوانات بحرية، ظهرت منذ 600 مليون سنة خلت تقريبًا، وتضم 6000 نوع حي تقريبًا. يتكون الفم، كما هو في ثانوية الفم الأخرى، ثانويًّا في أثناء التكوين الجنيني.

عندما تتكون صفائح الهيكل الداخلي لشوكية الجلد أول مرة تكون مطمورة داخل الأنسجة الحية، ولهذا، فهي تشكل هيكلًا داخليًّا حقيقيًّا – على الرغم من أنه في الحيوانات البالغة لشوكية الجلد المعروفة جيدًا تكون الصفائح ملتحمة مشكلة صدفة صلبة.

الابتكار الآخر في شوكية الجلد هو تكوين نظام هيدروليكي للمساعدة على الحركة والتغذية. هذا النظام المملوء بالماء الذي يدعى **النظام المائي الوعائي Water-vascular system** مكون من قناة دائرية مركزية، يمتد منها خمس قنوات شعاعية في الجسم والأذرع.

بعض الحيوانات المألوفة جدًا التي تشاهدها على شاطئ البحر مثل نجم البحر، ونجم البحر الهش، وقنفذ البحر، ودولار الرمل، وخيار البحر، كلها شوكية الجلد. وكلها ذات تماثل شعاعي عندما تكون بالغة، على الرغم من أن تماثلها الشعاعي غير عادي، ويعتمد على وجود خمسة محاور تماثل. ولهذا، فإنه يقال عنها: إنها **ذات تماثل خماسي شعاعي Pentaradial symmetry**. وعلى الرغم من أن أنواعًا أخرى من الحيوانات متماثلة شعاعيًّا، فإن أيًّا منها ليس له الأجهزة العضوية المعقدة التي لشوكية الجلد البالغة.

وعلى الرغم من توافر سجل أحافير مناسب، يمتد في الماضي في الحقبة الكمبرية، فإن نشأة شوكية الجلد تبقى غير واضحة. إذ يعتقد أنها تطورت من أسلاف ذات تماثل ثنائي؛ لأن يرقات شوكية الجلد ذات تماثل ثنائي. وإن التماثل الشعاعي الذي هو العلامة المميزة لشوكيات الجلد تطور لاحقًا في جسم البالغ.

خطة جسم شوكية الجلد ثنائية التماثل في اليرقات، لكنها خماسية شعاعية في البالغات

تعايش خطة جسم شوكية الجلد إزاحة رئيسة في أثناء التكوين الجنيني من تماثل ثنائي جانبي إلى تماثل شعاعي. وبسبب كون أجسام شوكية الجلد شعاعية التماثل، فإن المصطلحات التي تستخدم لوصف أجسام الحيوانات ثنائية التماثل لا يمكن تطبيقها هنا: فظهري وبطني وأمامي وخلفي ليس لها معنى دون وجود رأس أو ذيل. سنناقش تركيب جسم شوكية الجلد، بدلًا من ذلك، بدلالة أفواهها التي تُعرف **السطح الفمي Oral surface** لها.

تزحف معظم شوكية الجلد على سطوحها الفمية على الرغم من أنه في خيار البحر يقع محور الحيوان أفقيًّا، وهو يزحف وسطحه الفمي في الأمام. أما زنابق البحر، فإن سطحها الفمي يقع في الجهة المقابلة للأرضية التي يعيش عليها الحيوان، وهي صورة معاكسة لمعظم شوكيات الجلد الأخرى.

يتألف الجهاز العصبي من **حلقة عصبية مركزية Nerve ring** تنشأ منها أفرع، والحيوان قادر على إعطاء أنماط معقدة للاستجابة، ولكن ليس هناك مركزية في الوظيفة.

الهيكل الداخلي

لشوكية الجلد بشرة رقيقة تحتوي آلافًا من خلايا عصبية حسية، وتمتد فوق الهيكل الداخلي المكون، إما من صفائح متحركة، أو ثابتة غنية بالكالسيوم تدعى **عظيمات Ossicles**. تكون العظيمات في بعض شوكيات الجلد كنجوم البحر، وخيار البحر مبعثرة متباعدة، وجدار الجسم مرن. وتكون العظيمات في أنواع أخرى خاصة القنفذيات (قنافذ البحر ودولار البحر) متحدة وتشكل صدفة صلبة. وفي كثير من الحالات تحمل هذه الصفائح أشواكًا.

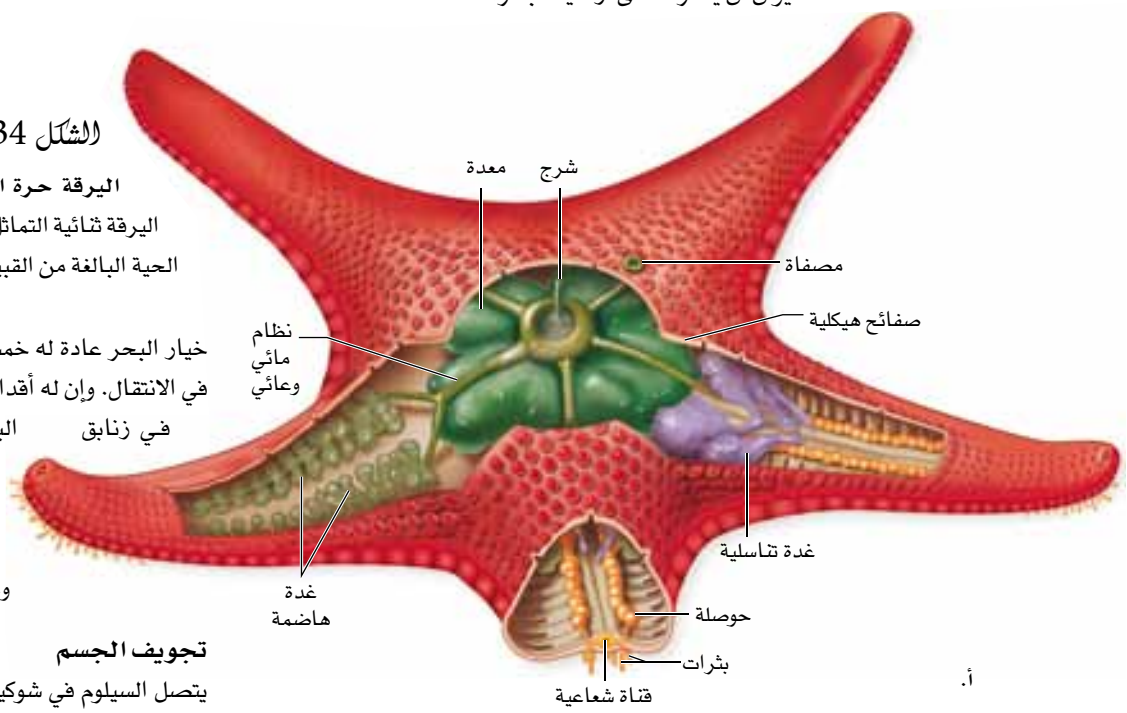
صفة مهمة أخرى لهذه القبيلة هي وجود نسيج كولاجيني قابل للتحول، وهو يمكن أن يتباين في قوامه من نسيج صلب مطاطي إلى ضعيف سائل. هذا النسيج المدهش مسؤول عن كثير من المزايا الخاصة لشوكية الجلد كالقدرة على فصل أجزاء الجسم بسرعة. فنجم البحر مثلًا يستطيع أن يفقد ذراعًا، إذا كان ذلك ضروريًّا من أجل البقاء، ثم ينمو ليكون ذراعًا جديدًا. وإن هذا النسيج مسؤول عن درجات القوام المختلفة الملاحظة في خيار البحر، حيث يمكن أن يتغير من صلب تقريبًا إلى مرن في غضون ثوانٍ.

الصفائح في أجزاء محددة من جسم بعض شوكية الجلد تكون مثقبة، تمتد خلال هذه الثقوب **أقدام أنبوبية Tube feet**، وهي جزء من النظام المائي الوعائي الذي هو صفة مميزة لهذه القبيلة.

النظام المائي الوعائي

ينبثق النظام المائي الوعائي لشوكيات الجلد بشكل شعاعي من قناة حلقية تحيط بمريء الحيوان. تمتد خمس **قنوات شعاعية Radial canals** تحدد مواقعها مبكرًا في أثناء التكوين الجنيني في كل من الأجزاء الخمسة للجسم، وبهذا تحدد التماثل الأساسي (الشكل 34-36). يدخل الماء النظام المائي الوعائي خلال **المصفاة Madriporite**، وهي صفيحة تشبه الغربال على سطح الحيوان، ويتدفق إلى القناة الدائرية خلال أنبوب، هو قناة الحَجَر التي سميت هكذا بسبب حلقات كربونات الكالسيوم المحيطة بها. تمتد القنوات الشعاعية الخمس بدورها خلال أفرع جانبية قصيرة إلى داخل الأقدام الأنبوبية المجوفة (الشكل 34-36ب).

في بعض شوكيات الجلد، كل قدم أنبوبي له ممص عند نهايته، وفي بعضها الآخر تكون الممصات غائبة. هناك كيس عضلي عند قاعدة كل قدم أنبوبي يدعى **الحوصلة Ampulla** يحتوي سائلًا. عندما تنقبض الحوصلة يُمنع السائل من دخول القناة الشعاعية عن طريق صمام في اتجاه واحد، ويُجبر على الدخول في القدم الأنبوبي فيسبب امتداده. عندما يمتد، يستطيع القدم أن يثبت نفسه إلى سطح ما، أو إلى أي جسم آخر. تنقبض العضلات الطولية في جوار القدم الأنبوبي عندها مسببة انثناء القدم. ويسمح ارتخاء عضلات الحوصلة للسائل أن يتدفق عائدًا إلى الحوصلة ما يسحب الجسم في اتجاه القدم. بهذا العمل المنسق لعدد هائل من الأقدام الأنبوبية الصغيرة الضعيفة كلٌّ على حدة يستطيع الحيوان أن يتحرك على أرضية البحر.

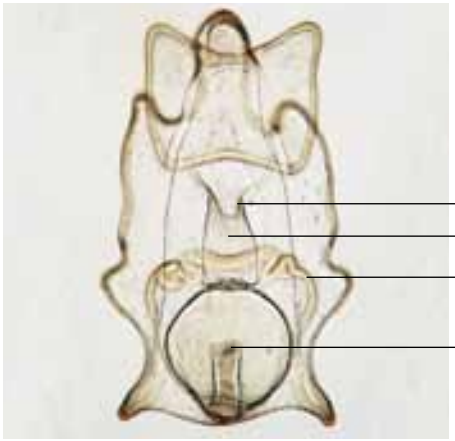


أ.

ب.

الشكل 34-36

قبيلة شوكية الجلد. أ. شوكية الجلد مثل نجم البحر (طائفة النجميات) هي سيلوميات ثانوية الفم من حيث نمط التكوين الجنيني، ولها هيكل داخلي مكون من صفائح غنية بالكالسيوم. النظام المائي الوعائي مبين هنا بالتفصيل. تسمح القنوات الشعاعية للماء بالتدفق إلى داخل الأنابيب القدمية. وعندما تنقبض الحوصلة في كل قدم أنبوبي، يمتد الأنبوب، ويتعلق بالسطح الذي يعيش عليه الحيوان. لاحقًا، تنقبض عضلات القدم الأنبوبي، فينثني هذا القدم، ويسحب الحيوان نحو الأمام. ب. الأقدام الأنبوبية التي ليس لها ممصات في نجم البحر *Ludia magnifica*، وهي ممدودة.



الشكل 34-37

اليرقة حرة السباحة لنجم البحر الشائع *Asterias rubens*. تقترح اليرقة ثنائية التماثل أن أسلاف شوكية الجلد لم تكن شعاعية التماثل كالأعضاء الحية البالغة من القبيلة.

خيار البحر عادة له خمسة صفوف من أقدام أنبوبية على سطح الجسم تستخدم في الانتقال. وإن له أقدامًا أنبوبية محورة حول تجويف الفم تستخدم في التغذية. في زنابق البحر، تنشأ الأقدام الأنبوبية من فروع في الأذرع، تمتد من حواف كأس متجهة إلى أعلى. يأخذ الحيوان الغذاء من الماء المحيط باستخدام هذه الأقدام الأنبوبية. وتكون الأقدام الأنبوبية في نجم البحر الهش مدببة ومتخصصة في التغذية.

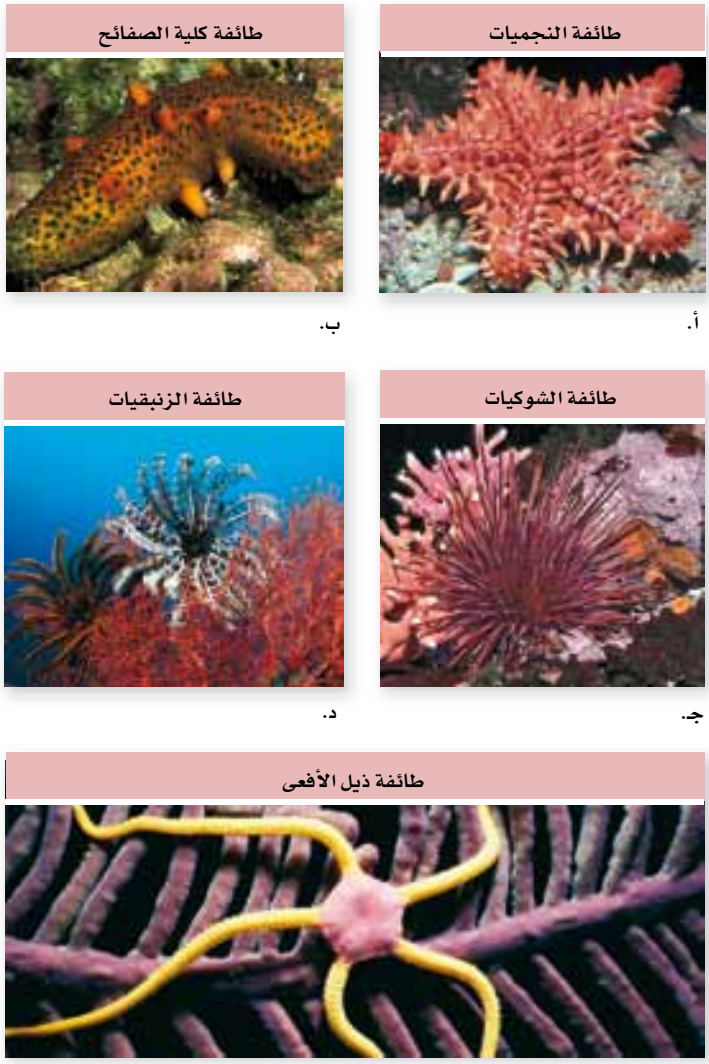
تجويف الجسم

يتصل السيلوم في شوكيات الجلد، وهو كبير نسبيًّا، مع نظام معقد من الأنابيب، ويساعد في الدوران والتنفس. وفي نجم البحر، يتم التنفس وإزالة الفضلات عبر الجلد من خلال امتدادات إصبعية صغيرة للسيلوم تدعى البثرات (الشكل 34-36) وهي مغطاة بطبقة رقيقة من الجلد، وتبرز خلال جدار الجسم لتعمل بوصفها خياشيم.

التجديد والتكاثر

كثير من شوكيات الجلد قادر على تجديد الأجزاء المفقودة، وبعضها خاصة نجوم البحر، ونجوم البحر الهشة تسقط أجزاء مختلفة من الجسم عندما تُهاجَم (التقطع الذاتي). في قليل من شوكية الجلد، يتم التكاثر اللاجنسي بالانشقاق، والأجزاء المتكسرة من نجم البحر يمكن أحيانًا أن تتجدد إلى حيوان كامل. بعض نجم البحر الهش الأصغر، خاصة الأنواع الاستوائية تتكاثر بشكل منتظم بالتكسر إلى جزأين متساويين، حيث يتجدد كل نصف إلى حيوان كامل.

وعلى الرغم من قدرة كثير من شوكية الجلد على التكسر إلى أجزاء والتجدد، فإن معظم التكاثر في القبيلة هو جنسي وخارجي. فالأجناس في معظم شوكية الجلد منفصلة، على الرغم من وجود فروق خارجية قليلة بين كلا الجنسين. تتحرر الجاميتات بشكل عام إلى عمود الماء، حيث يحدث الإخصاب. عادة، تتطوّر البيوض المخصبة إلى يرقات حرة السباحة ثنائية التماثل (انظر الشكل 34-37)، وهي تختلف بشكل كبير عن يرقة حاملة العُرف التي نشاهدها في الحيوانات الحلزونية، مثل الرخويات والحلقيات. تتطور هذه اليرقات مع العوالق حتى تتحول خلال سلسلة من المراحل إلى الشكل البالغ الأقل حركة.



أ. ب.

جـ. د.

هـ.

الشكل 34–38

التنوع في شوكية الجلد. أ. نجم البحر *Oreaster occidentalis* (طائفة النجميات) في خليج كاليفورنيا. ب. خيار البحر ذو الثآليل *Parastichopus parvimensis* (طائفة كلية الصفائح) من الفلبين. جـ. قنفذ البحر الاستوائي للجنس *Echinometra* (طائفة الشوكيات). د. النجم الريشي (طائفة الزنابق) *Comatheria* من إندونيسيا. هـ. نجم البحر الهش المبهرج *Ophioderma ensiferum* (طائفة ذيل الأفعى).

شوكيات الجلد لها خمس طوائف

هناك أكثر من عشرين طائفة منقرضة لشوكيات الجلد، وخمس إضافية أفرادها حية، (1) الزنبقيات، زنابق البحر وريش البحر، (2) النجميات، كنجوم البحر ولؤلؤية البحر، (3) طائفة ذيل الأفعى، نجوم البحر الهش، (4) الشوكيات، قنفذ البحر ودولار الرمل، (5) كلية الصفائح المدرعة، خيار البحر (الشكل 34–38). تظهر طوائف شوكية الجلد كلها خطة جسم أساسية خماسية الأجزاء، على الرغم من أن التماثل الأساسي للقبيلة غير واضح في بعضها. حتى خيار البحر الذي يشبه النبات المسمى باسمه له خمسة تجاويف شعاعية تمتد على طول جسمه. وسنصف هنا ثلاثًا من الطوائف الحية، أما الاثنتان الباقيتان، وهما **الزنبقيات Crinoidea** (زنابق البحر وريش البحر، **وكلية الصفائح Holothuroidea** (خيار البحر) فقد نوقشتا باختصار في الأجزاء السابقة.

طائفة النجميات: نجوم البحر

نجوم البحر من **طائفة النجميات Asteroidea** هي أكثر شوكيات الجلد المألوفة. وهي من بين أهم المفترسات في الأنظمة البحرية، وتتراوح في الحجم من سنتيمتر إلى متر عرضًا. تتوافر نجوم البحر بكثرة في منطقة المد، ولكنها توجد أيضًا على أعماق قد تصل إلى 10,000 متر، ويوجد 1500 نوع تقريبًا من نجوم البحر في العالم.

يتكون جسم نجم البحر من قرص مركزي يتداخل تدريجيًّا مع الأذرع. وعلى الرغم من أن معظم نجوم البحر لها خمسة أذرع، فإن أفراد بعض العائلات لها أكثر من ذلك بكثير، ونموذجيًّا بمضاعفات الرقم خمسة. الجسم مسطح بعض الشيء، ومرن، ويغطى ببشرة ذات صبغة. تشمل النجميات الآن لؤلؤية البحر التي اكتشفت عام 1986، والتي كانت تعدّ فيما مضى طائفة خاصة من شوكيات الجلد.

طائفة ذيل الأفعى: نجم البحر الهش

ينتمي نجم البحر الهش، من **طائفة ذيل الأفعى Ophiuroidea**، إلى الطائفة الأكبر من شوكيات الجلد من حيث عدد الأنواع (نحو 2000)، وهي ربما تكون الأكثر وفرة. تتجنب الضوء، وهي نشطة في الليل، لذا، فهي غامضة كتومة.

نجوم البحر لها أذرع رفيعة متفرعة، وهي الأكثر انتقالًا بين شوكيات الجلد، وتتحرك بسحب نفسها بالتجذيف فوق السطح الذي تعيش عليه بأن تحرك أذرعها غالبًا في أزواج أو مجموعات من جانب إلى آخر.

تستخدم بعض نجوم البحر الهشة أذرعها للسباحة، وهي عادة غير مألوفة بين شوكيات الجلد. لنجوم البحر الهشة خمسة أذرع كما هو حال نجوم البحر، وهي شديدة القرابة بنجوم البحر، ولكن لها اختلافات شكلية عدة، أحدها هو أن أقدامها الأنبوبية تفتقر إلى الحوصلات، وليس لها ممصات، وتستخدم في التغذية، لا في الانتقال.

طائفة الشوكيات: قنفذ البحر ودولار الرمل

تفتقر أعضاء **طائفة الشوكيات Echinoidea** إلى أذرع متميزة، لكن لها خطة الجسم ذات الخمسة أجزاء، كما لشوكيات الجلد جميعها. تبرز خمسة صفوف من الأقدام الأنبوبية خلال صفائح الهيكل الكلسي. قنافذ البحر لها أشواك أسطوانية تبرز من الهيكل وتساعدها على الحماية من المفترسات. تشكل الطائفة قرابة 950 نوعًا حيًّا، وبسبب وجود الصفائح الكلسية، فإن قنافذ البحر ودولار الرمل محفوظة جيدًا في سجل الأحافير، حيث هناك أكثر من 5000 نوع قديم إضافي موصوف.

شوكية الجلد هي أوليات فم، تتصف بتماثلٍ خماسي شعاعي في البالغ. لها صفائح غنيةٌ بالكالسيوم مميّزة لها تدعى عظيمات، وتشكل الهيكل الداخلي، ولها نظامٌ مائيٌ وعائي فريد يتضمن أقدامًا أنبوبية مجوفة. كثير من شوكيات الجلد تستطيع تجديد أجزائها المفقودة، وقد تتطور حيوانات كاملة أحيانًا من أجزاء مفقودة. التكاثر الجنسي خارجي، وينتجُ يرقاتٍ من العوالق ذات التماثل ثنائي جانبي.

الطوائف الخمس لشوكيات الجلد هي النجميات، وطائفة ذيل الأفعى، والشوكيات، والزنبقيات وكلية الصفائح المدرعة، وتظهر جميعها تماثلًا خماسيًّا شعاعيًّا.

34-1 قبيلة الرخويات: الرخويات

الرخويات متنوعةٌ بشكلٍ غير عادي وتتميز بوجود سيلوم مختزل حول القلب.

- خطة جسم الرخويات معقدة، فهي ذات تماثل جانبي ثنائي على الرغم من أن هذا التماثل اختفى في أثناء تطور معدية الفم (الشكل 34-3).
- تتركز الأعضاء الهضمية والإخراجية والتكاثرية في الكتلة الحشوية (الشكل 34-3).
- العباءة هي طبقة بَشرية سميكة ظهرية من الجلد، تُغطي الجسم، وتشكل تجويف العباءة الذي يضم أعضاء التنفس أو الخياشيم المشطية، وفتحات الأعضاء الهضمية والإخراجية والتكاثرية.
- يستخدم القدم في الانتقال، والتعلق، والإمساك بالغذاء، أو في خليط من هذه الوظائف.
- تُفرز الطبقة الخارجية من العباءة الصدفة الغنية بالكالسيوم، وهي للوقاية بشكلٍ أساسي. بعض الرخويات لها أصداف داخلية أو مختزلة.
- لمُعظم الرخويات باستثناء ثنائية المصراع مبرد، وهو عضوٌ ثاقب يشبه اللسان ويُستخدم في التغذية. ثنائية المصراع تستخدم الخياشيم لترشيح الغذاء من الماء (الشكل 34-4).
- معظم الرخويات لها جهازٌ دوريٌ مفتوح.
- معظم الرخويات لها ذكرٌ وأنثى متميزان، وباستثناء معدية القدم، يكون الإخصاب خارجيًّا، والبيوض المخصبة تمرُ بتفلُج حلزوني. يتطور الجنين إلى يرقة حاملة عُرف حُرة السباحة، وقد يتطور إلى يرقةٍ حاملة الغشاء، وهي حرة السباحة، وتستقر خارج الماء.
- لقبيلة الرخويات أربع طوائف، هي: حاملة متعددة الصفائح، ومعدية القدم، وثنائية المصراع، ورأسية القدم.

34-2 قبيلة الحلقيات: الديدان الحلقية

تتكون خطة جسم الحلقيات من قطعٍ تشبه الحلقات مكررة، ومع ذلك فأفراد هذه القبيلة ليست ذات أصلٍ واحد (شكل 34-13).

- الحلقات تمتد على طول الجسم، وهي مفصولةٌ بحواجز مملوءة بالسائل تشكل هيكلًا هيدروستاتيكيًّا، وكُلٌ منها تحتوي نفريديا مزدوجة.
- الحبل العصبي البطني يربط العقد العصبية في كل قطعة واحدة بالأخرى وبالدماغ. وتحتوي الحلقات الأمامية والخلفية مستقبلاتٍ متخصصة للضوء واللمس والمواد الكيميائية.
- الحلقيات لها جهازٌ دوري مغلقٌ ظهري متصلٌ بأوعية بطنية عن طريق خمسة قلوبٍ تضخ الدم.
- الحلقيات لها أعضاءٌ هضميةٌ متخصصة ونفريديا، ويتم تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون خلال الجلد.
- كل حلقة تمتلك بشكل نموذجي أشواكًا، وهي أهلاب كيتينية تساعد على تعلق الدودة.
- تقليديًّا الحلقيات مقسمة إلى ثلاث طوائف، ولكن من المحتمل أن هذا التصنيف سوف يتغير قريبًا. المجموعات التقليدية هي: متعددة الأشواك، وقليلة الأشواك، والعلق الطبي.

34-3 حاملة العَجَل: الحيوانات الزهرية وذراعية القدم

طَورت الزهريات وذراعية القدم بصورةٍ التقائية حامل العجل، وهو حافة دائرية أو على شكل حرف U حول الفم، وتحمل صفًّا أو اثنين من مجساتٍ مهدبة. وظيفة حامل العجل هي التبادل الغازي، وجمع الغذاء.

- تُبدي معظم أفراد القبيلتين تفلُّجًا شعاعيًّا، وتتطور كثانوية الفم.
- في الزهريات أو خارجية الشرج يفتح الشرج خارج حامل العجل (شكل34-18).
- تُشكل الزهريات مستعمرات، وتنتج حجرةً كيتينية تدعى حجيرة.
- ذراعية القدم والفورونيد هي ذات عجلٍ مفردة. الشرج يفتح داخل حامل العجل وجسمها محاطٌ بصدفتين متكلستين ظهرية وبطنية وليستا جانبيتين، كما في ثنائية المصراع (الأشكال 34-19، 34-20).

34-4 قبيلة المفصليات: مفصليات الأرجل

تتميز المفصليات بوجود زوائد متمفصلة، وهيكل خارجي، وعضلاتٍ تتعلق داخل الهيكل الخارجي (الأشكال 34-22، 34-24).

- الزوائد المتمفصلة قد تتحور إلى أجزاء فم، وقرون استشعار أو أرجل، والمفاصل تعمل بوصفها نقطة ارتكاز لتشكل روافع.
- الهيكل الخارجي مكون من كايتين وبروتين، ويجب أن ينسلخ من أجل نمو الحيوان المفصلي. قد يحتوي الهيكل الخارجي لبعض المفصليات على بلورات الكالسيوم.
- المفصليات مقسمة الجسم، وبعض القطع متخصصة على هيئة مجموعاتٍ وظيفية كالرأس، والصدر، والبطن.
- كثير من المفصليات لها عيون مركبة من أوماتيديا مستقلة، وبعضها لها عيون بسيطة (الشكل 34-23).
- المفصليات لها جهازٌ دوريٌ مفتوح وجهازٌ عصبيٌ يسيطر عليه دماغ مثبط.
- حشرات اليابسة ومتعددة الأرجل والعنكبوتيات لها نظامٌ إخراجيٌ يتألف من أنابيب ملبيجي التي تُخرج حمض البوليك أو الجوانين.
- للعنكبوتيات زوائد أمامية متخصصة هي الخطافات. وتعمل بوصفها أنياب سُم أو كلابات. يوجد خلف الخطافات لوامس قدمية، يمكن أن تتخصص بوصفها أعضاء جماع، ولاسعات وأعضاء حسية.
- القشريات لها ثلاث قطع وظيفية: الأماميتان تتحدان لتشكلا رأس صدر. ولها زوجان من قرون الاستشعار، وثلاثة أزواج من الزوائد للتغذية، وأزواج مختلفة من الأرجل، وزوائد على البطن. معظم القشريات تتطور خلال مرحلة نوبليس (الأشكال 34-28، 34-30).
- تضم القشريات أعضاء حرة السباحة أو تعيش على اليابسة، وتضم عشرية الأقدام والبرنقيل المستقل.
- الحشرات، أو سداسية الأقدام متنوعةٌ بشكل غير عادي، ولها ثلاثة أزواج من الأرجل، وقد يكون لها أجنحة. الصفات الداخلية شبيهةٌ بالتي في المفصليات الأخرى ما عدا أن المعي الأمامي والخلفي مبطنان بالجليد، والهضم الكيميائي يحدث في المعي المتوسط. إضافة إلى العيون المركبة للحشرات توجد أشواكٌ حسية، وغشاء طبلة للصوت، وتستخدم الفيرمونات للتواصل.

34-5 قبيلة شوكية الجلد: شوكية الجلد

تتميز شوكيات الجلد بتكوين جنيني ثانوي الفم وهيكل داخلي.

- يرقات شوكية الجلد ثنائية جانبية والبالغة شعاعية خماسية. تركيب جسم البالغ يُناقش عادة بالنسبة إلى الفم ذي الموقع البطني (شكل34-36).
- لشوكية الجلد نظام مائي وعائي يساعد على الحركة والتغذية.
- لشوكية الجلد بشرة رقيقة تحتوي خلايا حسية عصبية تمتد فوق الهيكل الداخلي الذي يتكون من عظيمات متحركة أو ثابتة غنية بالكالسيوم.
- يساعد السيلوم الكبير في الدورة الدموية والتنفس.
- التكاثر في شوكية الجلد جنسي وخارجي، على الرغم من أن كثيرًا منها قادر على تجديد الأجزاء أو القطع المفقودة التي يمكن أن تتطور إلى حيوانات كاملة بالغة.
- هناك خمس طوائف من شوكية الجلد، هي: الزنبقيات، والنجميات، وطائفة ذيل الأفعى، والشوكيات، وكلية الصفائح.

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. التركيب التنفسي الفعال في الرخويات هو:
   أ. النفريديا. ب. المبرد (الراديولا).
   جـ. الخياشيم المشطية. د. يرقة حاملة الغشاء.

2. الالتواء ميزة فريدة في:
   أ. ثنائية المصراع. ب. معدية القدم.
   جـ. الكايتون. د. رأسية القدم.

3. الذكاء العالي والسلوك المعقد خاصية في:
   أ. رأسية القدم. ب. متعددة الأشواك.
   جـ. خيشومية القدم. د. شوكية الجلد.

4. التقسيم المتتالي صفة أساسية لقبيلة:
   أ. الرخويات. ب. خيشومية القدم.
   جـ. الحيوانات الزهرية. د. الحلقيات.

5. واحدة من أشكال الحلقيات الآتية ليس خُنثى:
   أ. دودة الأرض. ب. العلق.
   جـ. متعددة الأشواك. د. الحلقيات جميعها خناث.

6. في الحلقيات، التركيب المعتمد على الكايتين ويساعد على عملية الانتقال هو:
   أ. السرج. ب. الأشواك.
   جـ. الحواجز. د. نظائر القدم.

7. الصفات المميزة للزهريات وخيشومية القدم تتمثل في وجود:
   أ. السيلوم. ب. التقسيم.
   جـ. الأشواك. د. يرقة حاملة العجل.

8. القبيلة الأكثر نجاحًا على الكوكب بالنسبة إلى عددها هي:
   أ. الرخويات. ب. المفصليات.
   جـ. شوكية الجلد. د. الحلقيات.

9. الصفة التي لا توجد في المفصليات هي:
   أ. الزوائد المتمفصلة. ب. التقسيم.
   جـ. الجهاز الدوري المغلق. د. عقد عصبية مقسمة.

10. حقيقة كون المفصليات تنسلخ يعني أنها تعدّ:
    أ. حلزونيات. ب. حيوانات انسلاخية.
    جـ. ثانوية الفم. د. نظيرة الحيوانات.

11. طائفة المفصليات التي تمتلك خطافات هي:
    أ. ذات المئة قدم. ب. القشريات.
    جـ. سداسية الأقدام. د. العنكبوتيات.

12. عشرية الأقدام هي:
    أ. ذات المئة قدم وذات الألف قدم. ب. البرنقيل.
    جـ. القراد والحلم. د. جراد البحر والقريدس.

13. الصفة التي تفصل ثنائية الأجنحة وغشائية الأجنحة هي:
    أ. نوع الجناح. ب. نوع أجزاء الفم.
    جـ. نوع الأرجل. د. طريقة التكاثر.

14. اعتمادًا على خاصية أولية الفم- ثانوية الفم، القبيلة الأكثر قرابة مع الحبليات هي:
    أ. الحلقيات. ب. المفصليات.
    جـ. شوكية الجلد. د. الرخويات.

15. التركيب الذي ليس مكونًا للجهاز المائي الوعائي في شوكية الجلد هو:
    أ. العظيمات. ب. الحوصلة.
    جـ. القنوات الشعاعية. د. المصفاة.

أسئلة تحدٍّ

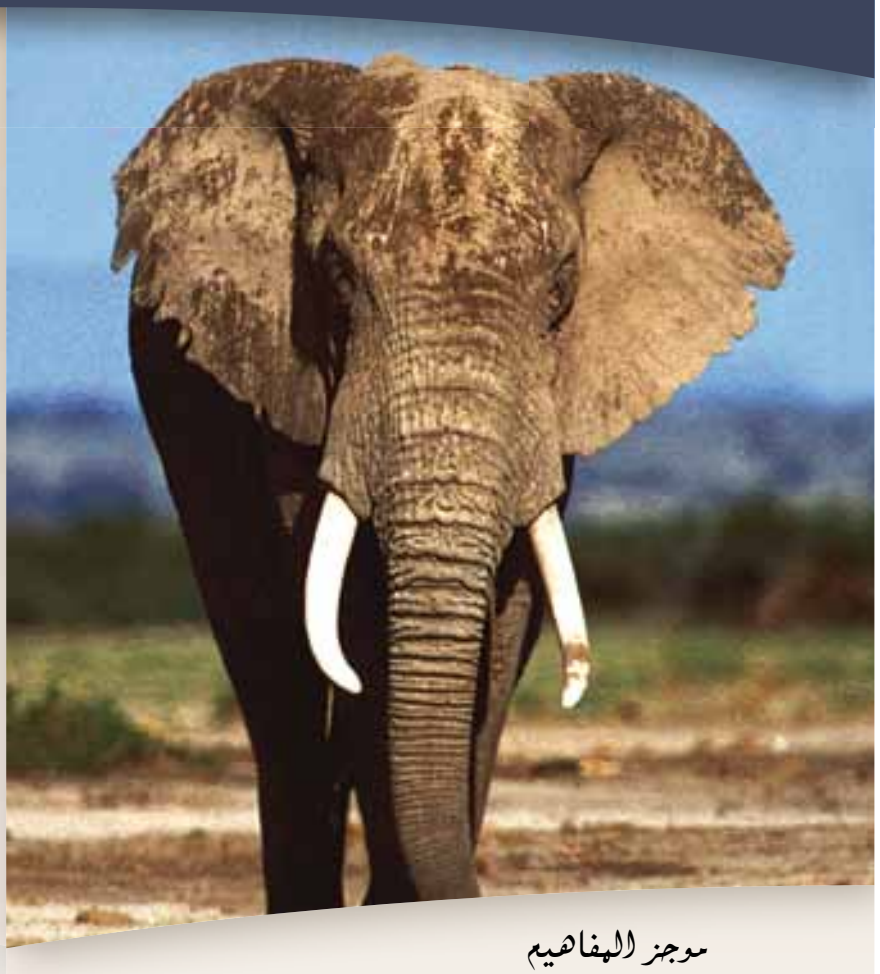
1. اكتشف العلماء في خليج شيسابيك أن انخفاض أعداد ثنائية المصراع في الخليج (خاصة المحار والأسكالوب) أدى إلى زيادة حادة في تلوث مياه الخليج. ما الصفة في هذه المجموعة التي يمكن أن تُعزى لهذه الملاحظة؟

2. الكايتين موجود في عدد من اللافقريات السيلومية، وموجود أيضًا في الفطريات. ماذا يدلك ذلك حول نشأة هذه المادة وأهميتها؟

هل أنت في حاجة إلى مراجعة إضافية؟ زر الموقع www.ravenbiology.com. لتتدرب على الاختبارات القصيرة، والرسوم المتحركة، والتسجيلات التلفزيونية، وأنشطة مخصصة لمساعدتك على فهم المادة الموجودة في هذا الفصل.

الفصل 35

الفقريات
Vertebrates



موجز المفاهيم

35-1 الحبليات

35-2 الحبليات اللافقرية

- *الزقيّات لها أشكال الحبليات اليرقية بشكل واضح.*
- *السُّهيم حبليات بحرية صغيرة.*

35-3 الحبليات الفقرية

- *الفقريات لها فقرات، ورأس متميز، وسمات أخرى.*
- *نشأت الفقريات منذ نصف بليون سنة خلت: نظرة عامة.*

35-4 الأسماك

- *تتميز الأسماك بخمس صفات أساسية.*
- *أسماك القرش بهياكلها الغضروفية أصبحت مفترسات سائدة.*
- *تسود الأسماك العظمية معظم المياه.*
- *المسار التطوري نحو اليابسة عبر من خلال الأسماك ذات الزعانف المفصصة.*

35-5 البرمائيات

- *البرمائيات الحية لها خمس سمات مميزة.*
- *قهرت البرمائيات تحديات اليابسة.*
- *تنتمي البرمائيات الحديثة إلى ثلاث مجموعات.*

35-6 الزواحف

- *تبدي الزواحف ثلاث سمات أساسية مميزة.*
- *سادت الزواحف الأرض مدة 250 مليون سنة.*
- *تنتمي الزواحف الحديثة إلى أربع مجموعات.*

35-7 الطيور

- *الريش والهيكل العظمي خفيف الوزن صفتان أساسيتان للطيور.*
- *ظهرت الطيور منذ نحو 150 مليون سنة.*
- *الطيور الحديثة بالغة التنوع، ولكنها تشترك في صفات عدة مميزة.*

35-8 الثدييات

- *للثدييات شعر، وغدد لبنية، وخصائص أخرى.*
- *انشقت الثدييات منذ نحو 220 مليون سنة.*
- *ضفت الثدييات في ثلاث مجموعات، أكبرها الثدييات الجرابية.*

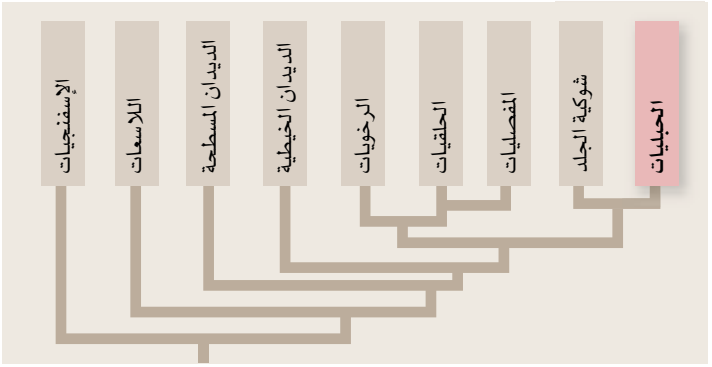
35-9 تطور الرئيسيات

- *السلالات شبيهة الإنسان قادت إلى الإنسان الأول.*
- *القردة الجنوبية كانت من أوائل الإنسانيات.*
- *ظهر الجنس Homo منذ نحو مليوني سنة.*

مقدّمة

تُظهر أعضاء قبيلة الحبليات تغيرات واسعة في الهيكل الداخلي مقارنة بما هو مُشاهد في شوكيات الجلد. فكما رأيت في الفصل الـ 34، فإن الهيكل الداخلي لشوكيات الجلد يشبه الهكيل الخارجي للمفصليات من ناحية وظيفية، فهو صدفة صلبة تحيط بالجسم، وترتبط العضلات على سطحها الداخلي. تستخدم الحبليات نوعًا مختلفًا جدًا من الهيكل الداخلي، فهو هيكل داخلي حقًّا. تتميز أعضاء قبيلة الحبليات بوجود قضيب مرن يتطور على طول ظهر الجنين. والعضلات المتصلة بهذا القضيب سمحت للحبليات الأوائل أن تؤرجح أجسامها من جانب إلى آخر، سابحة خلال الماء. هذا التقدم التطوري الأساسي –أي تعليق العضلات بتركيب داخلي– وضع الحبليات على مسار تطوري أدى إلى ظهور الفقريات، وقاد—أول مرة– إلى ظهور حيوانات كبيرة الحجم حقًّا.

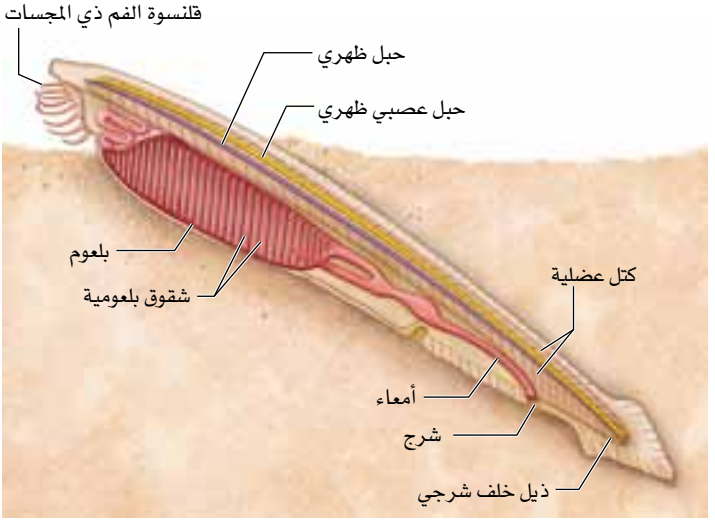
1-35 الحبليات



الحبليات (قبيلة الحبليات) حيوانات سيلومية ثانوية الفم، والأكثر قرابة لها في المملكة الحيوانية شوكيات الجلد التي تشكل كل ما تبقى من ثانوية الفم. هناك 56.000 نوع من الحبليات تقريبًا، وهي قبيلة تشمل الأسماك، والبرمائيات، والزواحف، والطيور، والثدييات.

تتميز الحبليات بأربع صفات أدت دورًا مهمًّا في تطور القبيلة (الشكل 35-1) هي:

1. **حبل عصبي Nerve cord** مجوف واحد، يمر تحت السطح الظهري للحيوان. وفي الفقريات، يتمايز الحبل العصبي الظهري إلى دماغ، وحبل شوكي.
2. **حبل ظهري Notochord**: قضيب مرن يتكون على الجانب الظهري للمعي الابتدائي في الجنين المبكر، وهو موجود في بعض مراحل التكوين الجنيني في الحبليات جميعها. يقع الحبل الظهري تحت الحبل العصبي مباشرة، وقد يستمر في بعض الحبليات طوال الحياة، لكنه يستبدل به في بعضها الآخر في أثناء التكوين الجنيني العمود الفقري الذي يتشكل حول الحبل العصبي.
3. **شقوق بلعومية Pharyngeal slits** تربط البلعوم، وهو أنبوب عضلي يربط تجويف الفم بالمرىء، مع البيئة الخارجية. وفي فقريات اليابسة لا تربط الشقوق البلعوم بالبيئة الخارجية. ولهذا، فإنها سميت تفضيلًا **الجيوب البلعومية Pharyngeal pouches**. توجد الجيوب البلعومية في أجنة الفقريات جميعها. وهي تصبح شقوقًا، وتفتح إلى الخارج في الحيوانات ذات الخياشيم، لكنها تختفي في تلك التي تفتقر إلى الخياشيم. إن وجود هذه التراكيب في أجنة الفقريات كلها يقدم دليلًا على تحدرها جميعها من بيئة مائية.
4. **ذيل خلف الشرج Postanal tail** يمتد إلى ما بعد فتحة الشرج، على الأقل في أثناء التكوين الجنيني. الحيوانات الأخرى جميعها تقريبًا لها شرج طرفي الموقع.



الشكل 35-1

الصفات الرئيسية الأربع للحبليات، كما تبدو في جنين عام.

الشكل 35-2

جنين الفأر. عند 11.5 يوم من التكوين الجنيني يكون الميزودرم مقسمًا إلى قطع تدعى قطعًا عضلية (تصطبغ باللون الداكن في الصورة) ما يعكس الطبيعة المقسمة للحبليات جميعها.

الشكل 35-3

قبيلة الحبليات: الحبليات، الفقريات، والزقيّات، والسهيم كلها حبليات، وهي حيوانات سيلومية ذات حبل ظهري مرن يعطي مقاومة لانقباض العضلات، ويسمح بحركات جانبية سريعة للجسم. تمتلك الحبليات شقوقًا أو أكياسًا بلعومية (تعكس سلفها المائي والبيئة الحالية لبعضها) وحبلًا عصبيًّا ظهريًّا أجوف. في الفقريات حل العمود الفقري محل الحبل الظهري في أثناء التكوين الجنيني.

الحبليات جميعها لها هذه الصفات الأربع المميزة لها في مرحلة ما من حياتها. فالإنسان مثلًا عندما يكون جنينًا يمتلك أكياسًا بلعومية، وحبلًا عصبيًّا ظهريًّا، وذيلًا خلف الشرج، وحبلًا ظهريًّا. وعندما يصبح بالغًا يبقى الحبل العصبي، ويستبدل بالحبل الظهري العمود الفقري، وتُفقد كل الأكياس البلعومية باستثناء زوج واحد منها يشكل قناتي أوستاكيوس التي تربط الأذن الوسطى بالبلعوم. أما الذيل خلف الشرج فيضمر مشكلًا عظمة الذيل أو العصعص.

هناك عدد من الصفات الأخرى التي تُميز الحبليات بشكل أساسي عن الحيوانات الأخرى. فعضلات الحبليات مرتبة في كتل مقسمة تؤثر في التنظيم الأساسي لجسم الحيوان الحبلي، ويمكن مشاهدتها بوضوح في أجنة هذه القبيلة (الشكل 35-2). معظم الحبليات لها هيكل داخلي تعمل العضلات ضده. وهذا الهيكل الداخلي أو الحبل الظهري (الشكل 35-3) يجعل القدرة على الحركة والانتقال ميزة أساسية لهذه المجموعة.

تتميز الحبليات بوجود حبل عصبي ظهري أجوف، وحبل ظهري، وأكياس بلعومية وذيل خلف الشرج، في مرحلة ما من تكوينها الجنيني. الحبل الظهري المرن يعلق العضلات الداخلية، ويسمح بحركة واسعة وسريعة.

35-2 الحبليات اللافقرية

يمكن تقسيم قبيلة الحبليات إلى قبائل ثلاث: اثنتان منها لا فقريتان هما: ذيلية الحبل، ورأسية الحبل، والثالثة هي الفقريات. لا تشكل الحبليات اللافقرية فقرات أو عظامًا أخرى، وفي حالة ذيلية الحبل، فإن الشكل البالغ منها يختلف كثيرًا عما نتوقعه من هيئة الحبليات.

الزقيّات لها أشكال الحبليات اليرقية بشكل واضح

الزقيّات والسالبا (تحت قبيلة ذيلية الحبل **Urochordata**) مجموعة مكونة من 1250 نوعًا من الحيوانات البحرية. معظم هذه الحيوانات تكون غير متحركة، وهي بالغة، واليرقات فقط لديها حبل ظهري، وحبل عصبي. وهي لا تبدي، عندما تكون بالغة، تجويف جسم ملحوظًا ولا إشارات واضحة للتقسيم (الشكل 35-4أ، ب).

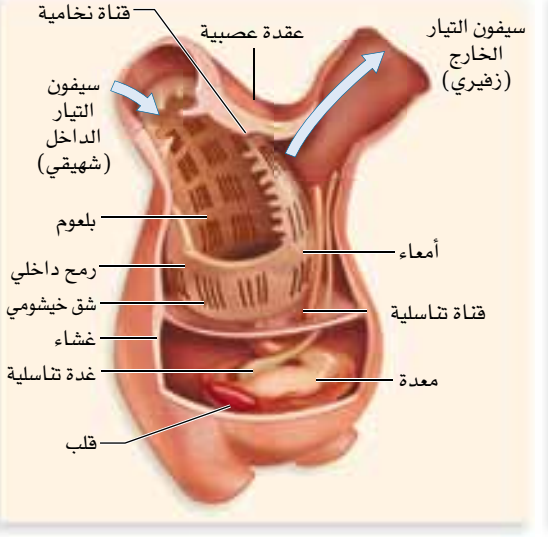
معظم الأنواع توجد في المياه الضحلة، في حين أن بعضها يوجد على أعماق كبيرة. في بعض الزقيات، يكوّن الحيوان البالغ مستعمرات، ويعيش في كتل أو مجموعات على أرضية المحيط. البلعوم مبطن بكثير من الأهداب التي تؤدي حركتها إلى جرّ تيار من الماء إليه، وتُحتجز دقائق الغذاء المجهرية في طبقة من المخاط يُفرزها تركيب يدعى الرمح الداخلي *Endostyle*.

تمتلك يرقات الزقيات، التي تشبه أبا ذنيبة بوضوح، كل السمات الأساسية المميزة للحبليات، وتعطي مؤشرًا على أن لها تشكيلة الصفات الأكثر بدائيةً الموجودة في أي حيوان حبلي (الشكل 35-4 جـ).

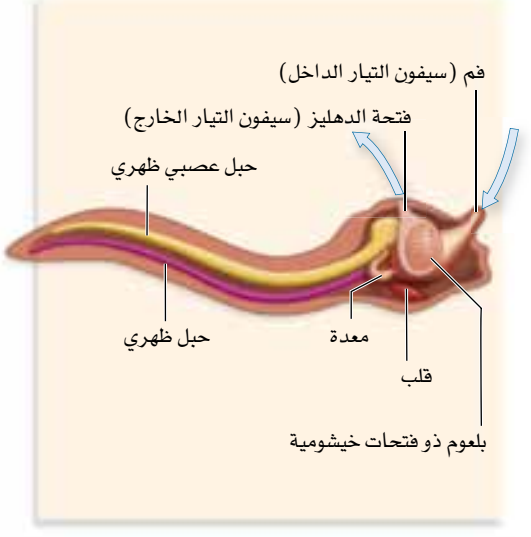
اليرقات هنا لا تتغذى، ولها مَعِي بدائي التطور، وهي تبقى حرة السباحة أيامًا عدة فقط قبل أن تستقر في القعر، وتعلق نفسها بوسط مناسب عن طريق ممص.

تتغير الزقيّات كثيرًا عند نضجها، وهي تكيف نفسها في أثناء التكوين الجنيني لتصبح مستقرة وترشيحية التغذية لدرجة يصعب معها تتبع علاقاتها التطورية بمجرد تفحص الحيوان البالغ فقط. تفرز الزقيّات البالغة **غشاءً Tunic**، وهو كيس صلب مكون أساسًا من السليلوز، وهي المادة التي توجد بشكل واسع في جدران الخلايا النباتية والطحالب، ولكن نادرًا ما توجد في الحيوانات. يحيط هذا الكيس بالحيوان، وهو يعطي القبيلة اسمها. الزقيّات التي تشكل مستعمرات قد يكون لها كيس مشترك، وفتحة واحدة مشتركة نحو الخارج.

أ.



ب.



جـ.

الشكل 35-4

الزقيات (قبيلة الحبليات، تحت قبيلة ذيلية الحبل). أ. مشمش البحر *Halocynthia auranthium* كالزقيات الأخرى لا يتحرك وهو بالغ، لكنه مثبت بشكل جيد إلى قعر البحر. ب. شكل تخطيطي لتركيب حيوان زقي بالغ. جـ. شكل تخطيطي لتركيب يرقة الزقيات، مبينًا شكلها المميز الذي يشبه أبا ذنيبة. تشبه الزقيات اليرقية السلف المشترك المفترض للحبليات.

تحتفظ إحدى مجموعات ذيلية الحبل، وهي اليرقانيات Larvacea، بالذيل والحبل الظهري في أثناء طور البلوغ. وتتضمن إحدى النظريات التي تفسر أصل الفقريات وجود شكل يرقي، ربما الشكل اليرقي للزقيّات، اكتسب القدرة على التكاثر.

السّهيم حبليات بحرية صغيرة

أعطي السُّهيم (**تحت قبيلة رأسية الحبل Cephalochordata**) اسمه لأنه يشبه سهمًا صغيرًا، وهو سكين جراحي صغير ذو حدين. توجد هذه الحبليات عديمة القشور والحراشف، التي يصل طولها بضعة سنتمترات فقط، بشكل واسع في المياه الضحلة في محيطات العالم. هناك نحو 23 نوعًا تنتمي لهذه القبيلة، ومعظمها تنتمي للجنس *Branchiostoma* الذي كان يدعى سابقًا *Amphioxus* وهو الاسم الذي لا يزال شائع الاستعمال. يمتد الحبل الظهري في السهيم، على كامل طول الحبل العصبي الظهري، وهو يستمر خلال كامل حياة الحيوان.

يقضي السُّهيم معظم وقته مدفونًا جزئيًّا في الرمل، أو في القعر، ولا يبرز منه إلاّ نهايته الأمامية (الشكل 35-5). وهو يستطيع السباحة، إلا أنه نادرًا ما يقوم بذلك. يمكن بسهولة رؤية عضلات الحيوان من خلال جلده الرقيق الشفاف على هيئة سلسلة من الكتل المتميزة التي تدعى القطع العضلية. وللسُّهيم عدد من شقوق الخيشوم البلعومية أكبر بكثير مما لدى الأسماك. الجلد في السُّهيم يفتقر إلى الصبغة، ومكون من طبقة واحدة من الخلايا، ما يجعله مختلفًا عن جلد الفقريات متعدد الطبقات. جسم السُّهيم مدبب في كلتا نهايتيه، ولا يوجد له رأس متميز ولا تراكيب حسية، باستثناء مستقبلات ضوئية ذات صبغة.

يتغذى السُّهيم على العوالق المجهرية، مستخدمًا تيارًا تحدثه الأهداب التي تبطن قلنسوة الفم، والبلعوم، وفتحات الخياشيم. تشكل شقوق الخياشيم مخرجًا للماء، وتُعدّ تكيفًا للتغذية الترشيحية. تبرز قلنسوة الفم خارج الفم، وتحمل مجسات حسية تشكل حلقة حول الرأس.

الشكل 35-5

السُّهيم. حيوانا سُهيم *Branchiostoma lanceolatum* (قبيلة الحبليات، تحت قبيلة رأسية الحبل) مدفونان جزئيًّا في حصى من الأصداف، وتبرز منهما مقدمتهما الأمامية. القطع العضلية تظهر بوضوح هنا.

يشير الاكتشاف الحديث لأشكال أحافير شبيهة بالسهيم الحي في صخور عمرها 550 مليون سنة إلى قدم هذه المجموعة. وإن الدراسات الحديثة باستخدام التصنيف الجزيئي تقدم مزيدًا من الدعم للفرضية التي تقول: إن السُّهيم هو الأقرب إلى الفقريات.

الحبليات اللافقرية، وتشمل الزقيات والسُّهيم، لها حبل ظهري، وليس لها فقرات أو عظام. وهي الأوثق صلة بالفقريات.

3-35 الحبليات الفقرية

الفقريات (تحت قبيلة الفقريات **Vertebrata**) هي حبليات ذات عمود شوكي، وقد جاء اسم الفقريات من القطع العظمية أو الغضروفية المفردة المسماة الفقرات، التي تشكل هذا العمود.

الفقريات لها فقرات، ورأس متميز، وسمات أخرى

تختلف الفقريات عن الزقيات والسُّهيم في أمرين مهمين، هما:

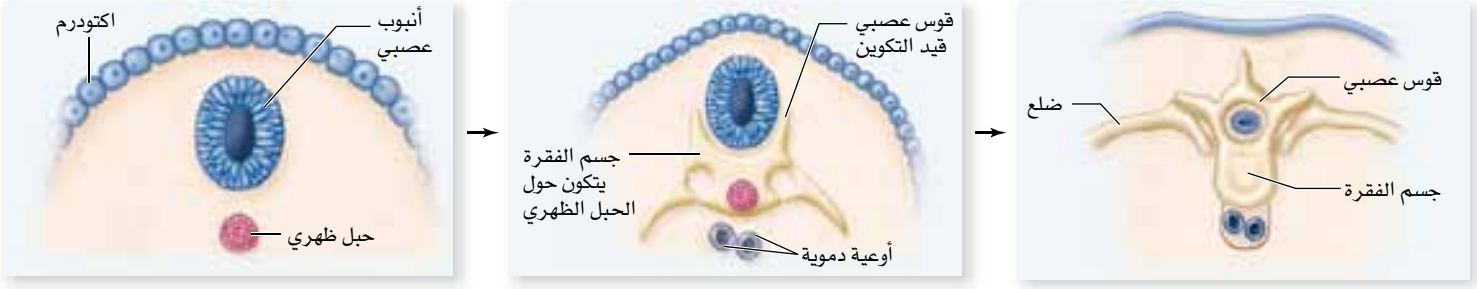
العمود الفقري Vertebral column في الفقريات جميعها، باستثناء الأسماك الأولى، استبدل العمود الفقري بالحبل الظهري في أثناء مسار التكوين الجنيني (الشكل 35-6). والعمودُ الفقريُّ سلسلةٌ من فقرات عظمية أو غضروفية تحيط، وتحمي الحبل العصبي الظهري مثل كُم الرداء.

الرأس Head للفقريات واضح وبالغ التمايز، وفيه ثلاثة أزواج من أعضاء الحس المتطورة، والدماغ محاط تمامًا بصندوق واحد هو الجمجمة أو القحف، المصنوع من العظم أو الغضروف. إضافة إلى هاتين الصفتين الأساسيتين، تختلف الفقريات عن الحبليات الأخرى في جوانب مهمة أخرى (الشكل 35-7).

العرف العصبي تسهم مجموعة متميزة من الخلايا الجنينية تدعى **العرف العصبي Neural crest** في التكوين الجنيني لكثير من تراكيب الفقريات. تتطور هذه الخلايا على عُرف الأنبوب العصبي، عندما يتشكل بانغماد الصفيحة العصبية وانفصالها (انظر الفصل الـ 53 للتفصيل). تهاجر خلايا العُرف العصبي بعد ذلك لمواقع مختلفة من الجنين قيد التطور، حيث تسهم في تكوين تراكيب مختلفة عدة.

الأعضاء الداخلية تشمل الأعضاء الداخلية المميزة للفقريات الكبد، والكلى، والغدد الصماء. فالغدد الصماء اللاقنوية تفرز هرمونات تساعد على تنظيم كثير من وظائف الجسم. وللفقريات جميعها قلب، وجهاز دوري مغلق، وتختلف الفقريات بشكل واضح عن الحيوانات الأخرى في وظائفها الدورية والإخراجية.

الهيكل الداخلي: يتكون الهيكل الداخلي لمعظم الفقريات من الغضروف أو العظم، وهما نسيج متخصص يحتوي أليافًا من بروتين كولاجين متراصة معًا (انظر الفصل الـ 47). يحتوي العظم كذلك بلورات من ملح فوسفات الكالسيوم، والميزة الكبرى للعظم على الكايتين بوصفه مواد تركيبية، هي أن العظم نسيج حي ديناميكي قوي، ولكنه غير هش. إن الهيكل الداخلي للفقريات يتيح مجالًا لجسم أكبر، ولقوة حركة غير عادية تميز هذه المجموعة.



الشكل 35-6

التكوين الجنيني للفقرة. في أثناء تطور التكوين الجنيني، يحاط الحبل الظهري المرن بغطاء غضروفي أو عظمي هو جسم الفقرة الذي يحل في النهاية محل الحبل الظهري. يحمي الأنبوب العصبي قوسًا فوق الفقرة. ويعمل العمود الفقري بوصفه تركيبًا قضيبيًّا مرنًا وقويًّا تنقبض نحوه العضلات، عندما تسبح الحيوانات أو تتحرك.

نشأت الفقريات منذ نصف بليون سنة خلت: نظرة عامة

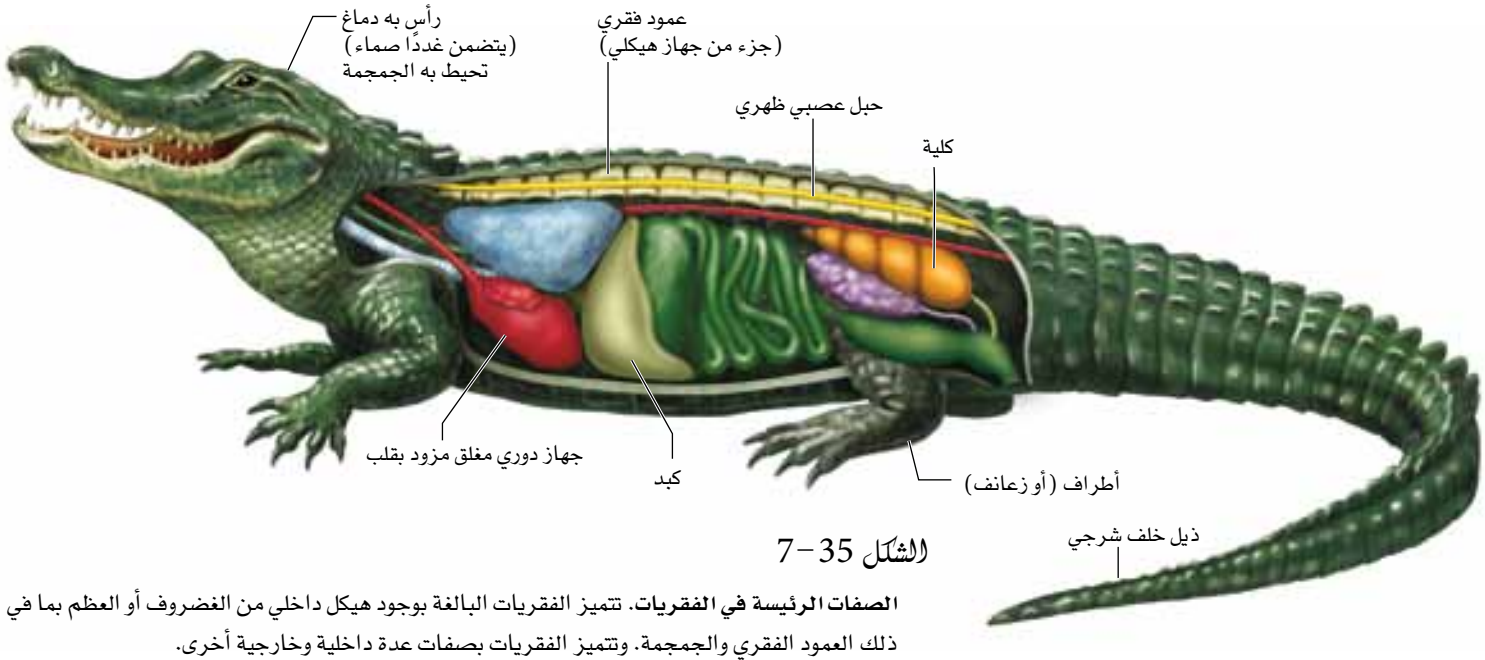
نشأت الفقريات الأوائل في المحيط منذ 545 مليون سنة في أثناء العصر الكمبري. وقد بدا كثير منها، كما لو كان سُجقًا مفلطحًا حيث، الفم في إحدى النهايات، والزعنفة في الطرف الآخر. وقد شكل ظهور الفك المتمفصل تقدمًا كبيرًا، إذ فتح خيارًا جديدًا لجمع الطعام، حيث أصبحت الأسماك ذات الفكوك هي المخلوقات الأوسع انتشارًا في البحر. أما أحفادها، أي البرمائيات، فقد غزت اليابسة، وأعطت بدورها الزواحف منذ نحو 300 مليون سنة خلت. وفي خلال خمسين مليون سنة حلت الزواحف محل البرمائيات لتصبح أوسع فقريات اليابسة انتشارًا، وهذه الزواحف هي الأكثر تكيفًا للعيش خارج الماء.

مع نجاح الزواحف، أصبحت الفقريات حقًّا المخلوقات الأوسع انتشارًا على الأرض. وقد تطورت أنواع عدة من الزواحف، وتراوحت في الحجم، من صغيرة كالدجاجة أو أصغر إلى كبيرة بحجم الشاحنة، بما في ذلك ما يطير منها أو ما يسبح. ومن بين هذه الأشكال تطورت زواحف أعطت النوعين الرئيسين المتبقيين من فقريات اليابسة: الطيور والثدييات.

لقد ظهرت الديناصورات والثدييات في الوقت نفسه تقريبًا في سجلات الأحافير منذ 220 مليون سنة خلت. وقد سادت الديناصورات الأرض مدة تزيد على 150 مليون سنة. وخلال هذه الحقبة التي تعادل 1.5 مليون قرن، لم يكن أكبر الثدييات يتجاوز حجم كلب متوسط الحجم. بعدئذ، وفي أثناء الانقراض الجماعي الذي حدث في العصر الطباشيري اختفت الديناصورات فجأة. وفي غياب الديناصورات احتلت الطيور والثدييات مكانها، وأصبحت شائعة ومتنوعة.

إن تاريخ الفقريات كان سلسلة من الإنجازات التطورية التي سمحت لها بغزو اليابسة أولًا ثم الهواء. في هذا الفصل، سوف نفحص الإنجازات التطورية الرئيسة التي سمحت للفقريات بغزو اليابسة بنجاح. وكما سنرى، فإن هذا الغزو شكل إنجازات تطورية مترنحة، وتضمن تغيرات أساسية في كثير من أنظمة الجسم.

الفقريات، وهي المجموعة الحبلية الرئيسة، تتميز بوجود عمود فقري، ورأس متميز، إضافة إلى اختلافات أخرى، كالجهاز الدوري المغلق، والأعضاء الأخرى. ظهرت الفقريات منذ 470 مليون عام.



الشكل 35-7

الصفات الرئيسة في الفقريات. تتميز الفقريات البالغة بوجود هيكل داخلي من الغضروف أو العظم بما في ذلك العمود الفقري والجمجمة. وتتميز الفقريات بصفات عدة داخلية وخارجية أخرى.

4-35 الأسماك

تشكل الأسماك أكثر من نصف الفقريات. وقد هيأت الأسماك، وهي مجموعة الفقريات الأكثر تنوعًا، الأساس التطوري لغزو اليابسة من قبل البرمائيات. وهكذا يمكن النظر إلى البرمائيات من نواحٍ عدة على أنها "أسماك خرجت من المياه".

تبدأ قصة تطور الفقريات من البحار القديمة في العصر الكمبري (545-490 مليون سنة خلت)، عندما ظهرت أول مرة حيوانات ذات عظم ظهري. يبين الشكل 35-8 الصفات الرئيسة للفقريات التي ظهرت لاحقًا. فالأسماك الأولى التي كانت تتلوى داخل المياه دون فكوك أو أسنان، كانت تمتص جزيئات الطعام الصغيرة من أرضية المحيط، كما تفعل مكنسة كهربائية صغيرة في تنظيف الغبار. وقد كان معظمها أقل من قدم طولًا، وتتنفس بالخياشيم، ولم يكن لها زعانف مزدوجة أو فقرات (على الرغم من أن بعضها كانت لها فقرات أثرية)، ولكنها كانت ذات رأس، وذنب بدائي يدفعها خلال الماء.

وقد كانت هذه الأسماك البسيطة هي الفقريات الوحيدة مدة 50 مليون سنة، أي في أثناء الحقبة الأردوفيشية (490-438 مليون سنة خلت). بنهاية تلك الحقبة، طورت الأسماك زعانف بدائية لمساعدتها على السباحة، وطورت دروعًا ضخمة من العظم للحماية. وقد ظهرت أولى الأسماك ذات الفكوك خلال الحقبة السيلورية (438-408 مليون سنة خلت)، كما جاء مع ذلك نمط جديد للتغذية.

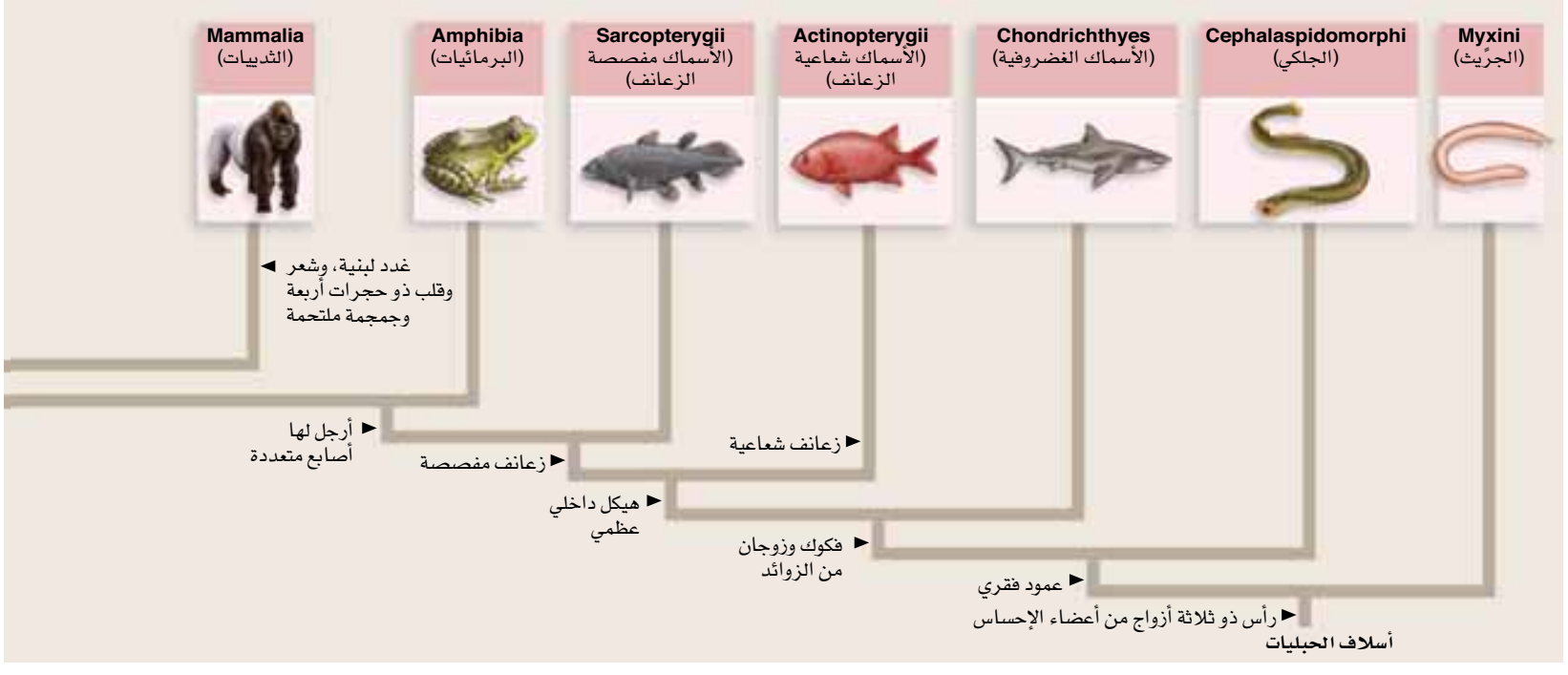
تتميز الأسماك بخمس صفات أساسية

تتميز الأسماك بشكل واضح في الحجم، والشكل، واللون، والمظهر، فالقرش الحوت يتجاوز 18 مترًا طولًا، وسمك القوبيون لا يتجاوز حجم الإظفر (الشكل 35-9). وبعضها يعيش في البحار المتجمدة، في حين يعيش بعضها الآخر في المياه العذبة الدافئة، ويقضي بعض آخر مدة طويلة من الوقت خارج الماء. وعلى الرغم من هذا التباين، فإن الأسماك جميعها لها صفات مشتركة مهمة:

الشكل 35-9

الأسماك. الأسماك أكثر الفقريات تنوعًا، وتضم أنواعًا أكثر من باقي الفقريات مجتمعة. في الأعلى الحنكليس الشريط *Rhinomuraena quaesita*، في الأسفل إلى اليسار تنين البحر الورقي *Phycodurus eques* وفي الأسفل إلى اليمين سمك التونا ذو الزعنفة الصفراء *Thunnus albacares*.

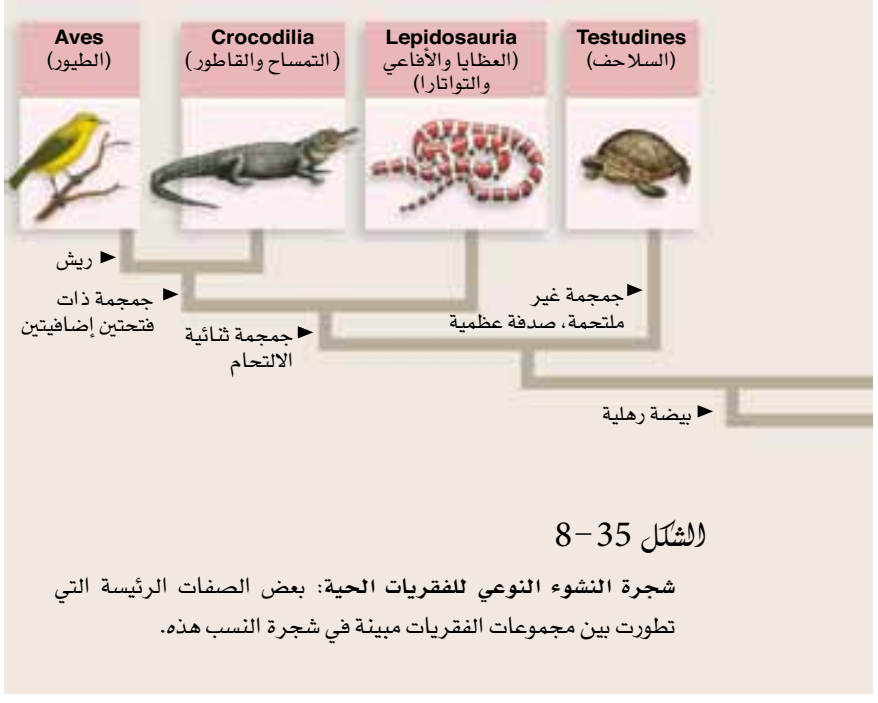
1. **العمود الفقري.** للأسماك هيكل داخلي ذو عمود عظمي أو غضروفي يحيط بالحبل العصبي الظهري، وجمجمة عظمية أو غضروفية تحيط بالدماغ. والاستثناء من ذلك أسماك الجَرّيث واللامبري أو الجلكي عديمة الفكوك. ففي الجرّيث توجد جمجمة غضروفية، لكن الفقرات غائبة، إذ يستمر الحبل الظهري في تقديم الدعامة. وفي الجلكي يوجد هيكل غضروفي، وحبل ظهري، وتوجد فقرات غضروفية أثرية تحيط بالحبل الظهري في أماكن محددة.



الجدول 35-1 طوائف الأسماك الرئيسة

الطائفة	أمثلة نموذجية	الصفات الرئيسة	العدد التقريبي للأنواع الحية
Actinopterygii الأسماك شعاعية الزعانف	الأسماك شعاعية الزعانف	المجموعة الأكثر تنوعًا بين الفقريات، لها مثانة سباحة وهيكل عظمي، وزعانف مزدوجة تدعمها أشعة عظمية.	30,000
Sarcopterygii الأسماك مفصصة الزعانف	الأسماك مفصصة الزعانف	مجموعة من الأسماك العظمية معظمها منقرض، أسلاف البرمائيات، زعانف مزدوجة مفصصة.	8
Chondrichthyes الأسماك الغضروفية	القرش، والوَرْنك، والراي	هيكل غضروفي، ليس لها مثانة سباحة، إخصاب داخلي.	750
Myxini الجرّيث	الجرّيث	ليس لها فكوك ولا زعانف مزدوجة، مترممة، غالبًا عمياء، لكن لها حاسة شم متطورة.	30
Cephalspidomorphi ذات الرأس المدرع	الجلكي (اللامبري)	ليس لها فكوك ولا زعانف ومعظمها منقرض، أنواع منها طفيلية، تتكاثر جميعها في الماء العذب.	35
Placodermi صفائحية الجلد	الأسماك المدرعة	لها فكوك، ورأسها مغطى بدرع ثقيل، كثير منها كان ضخمًا.	منقرضة
Acanthodii الأسماك الشوكية Ostracodermi صدفية الجلد	الأسماك الشوكية	لها فكوك، وجميعها منقرض الآن، زعانف مزدوجة مدعمة بأشواك حادة، صفائح الرأس عظمية، وبقية الهيكل غضروفي.	منقرضة

2. **الفكوك والزوائد المزدوجة.** باستثناء الجرّيث والجلكي، فإن الأسماك جميعها لها فكوك وزوائد مزدوجة، وهي صفات تشاهد أيضًا في رباعيات الأقدام (انظر الشكل 35-8). وقد سمحت الفكوك لهذه الأسماك أن تقبض على فرائس أكبر حجمًا وأكثر نشاطًا. معظم الأسماك لها زوجان من الزعانف: زوج من الزعانف الصدرية على الكتف، وزوج من الزعانف الحوضية عند الحوض. وقد أصبحت هذه الأزواج ملتحمة في الأسماك ذات الزعانف المفصصة.



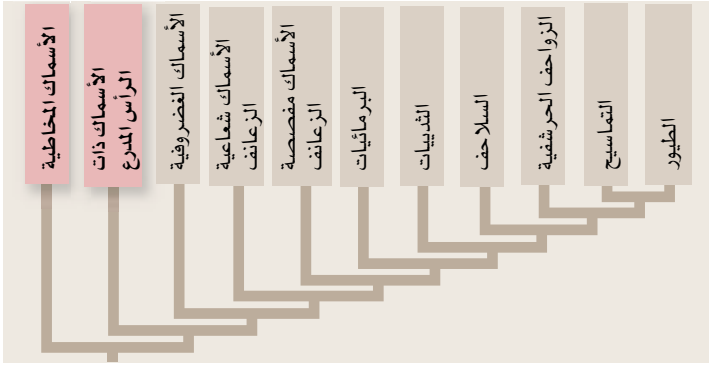
الشكل 35-8

شجرة النشوء النوعي للفقريات الحية: بعض الصفات الرئيسة التي تطورت بين مجموعات الفقريات مبينة في شجرة النسب هذه.

3. **الخياشيم الداخلية.** الأسماك مخلوقات تقطن الماء، لذا فعليها استخراج الأكسجين المذاب من الماء المحيط بها. وهي تقوم بذلك بتوجيه تدفق الماء عبر أفواهها وفوق خياشيمها (انظر الفصل الـ 49). تتكون الخياشيم من خيوط رفيعة من الأنسجة الغنية بالأوعية الدموية.

4. **جهاز دموي ذو دورة واحدة.** يُضخ الدم من القلب إلى الخياشيم، ويمر الدم المحمل بالأكسجين من هذه الخياشيم إلى بقية الجسم، ثم يعود إلى القلب. والقلب مضخة أنبوبية عضلية تتكون من أربع حجرات تنقبض على التوالي.

5. **النواقص التغذوية.** الأسماك ليست قادرة على بناء الأحماض الأمينية العطرية (فنيل ألانين، وتربتوفان، وتايروسين، انظر الفصل الـ 3)، ولهذا عليها أن تستهلك هذه الأحماض في غذائها. إن عدم القدرة هذه ورثها كل ما نسل منها من فقريات.



الأسماك الأولى

لم يكن للأسماك الأولى فكوك، فبدلًا من ذلك كان لها فقط فم في الطرف الأمامي للجسم يمكن فتحه لالتهام الطعام. وتعيش إحدى المجموعات الآن، وهي الأسماك عديمة الفكوك، تحت اسم أسماك الجريث (طائفة الأسماك المخاطية، الجدول-35 1) والجلكي (طائفة ذات الرأس المدرع).

المجموعة الأخرى، وهي ذات الجلد المُصدف، دروع رؤوسها فقط مصنوعة من العظم، أما هيكلها الداخلي المعقد فهو مبني من الغضروف. يقطن كثير من أسماك الجلد المصدّف القعر، ولها فم دون فكوك يقبع تحت رأس مسطح وعيون على السطح العلوي. عاشت أسماك الجلد المصدّف في حقبتي الأردوفيشي والسيلوري (490 –408 مليون سنة خلت) لكي تنقرض تمامًا تقريبًا مع نهاية الحقبة الديفونية (408–360 مليون سنة خلت).

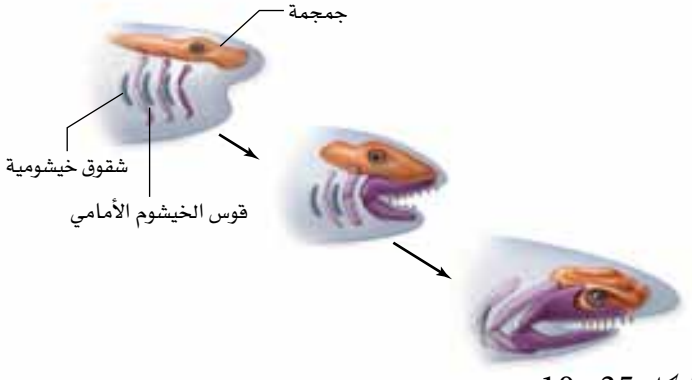
تطور الفك

شكل التطور الجنيني للفك في الحقبة السيلورية تطورًا أساسيًّا مهمًّا. فالفكوك نشأت من القوس الأمامي لسلسلة من الأقواس–دعامات مصنوعة من الغضروف استعملت لتدعيم الأنسجة بين شقوق الخياشيم لإبقائها مفتوحة (الشكل 35–10). وهذا التحول لا يبدو جذريًّا كما يبدو الأمر للوهلة الأولى.

يتشكل كل قوس خيشومي من غضاريف عدة (تطورت لاحقًا لتصبح عظامًا) مرتبة بصورة تشبه تقريبًا حرف V مقلوبًا على جانبه، وتتجه حافته المدببة نحو الخارج. ولو تخيلنا التحام الزوج الأمامي من الأقواس في الأعلى وفي الأسفل مع وجود تمفصل عند الحافة المدببة، فإنه قد تكون لدينا الفك البدائي للفقريات. لا يلتحم النصف العلوي للفك بالجمجمة مباشرة إلا عند الجانب الخلفي. أما الأسنان، فتتطور على الفكوك من حراشف جلدية متحورة تبطن الفم.

تمتلك الأسماك المدرعة المسماة صفائحية الجلد، والأسماك المسماة ذوات الأشواك فكوكًا. الأسماك الشوكية كانت شائعة جدًا خلال الحقبة الديفونية المبكرة، إذ حلت بشكل كبير محل الأسماك صدفية الجلد، ولكنها أصبحت منقرضة هي الأخرى مع نهاية العصر البرمي. وهي كصدفية الجلد، لديها هيكل داخلي من الغضروف، لكن حراشفها تحتوي صفائح صغيرة من العظم، ما يلقي ظلالًا على الدور الأعظم الذي سيؤديه العظم في مستقبل الفقريات. أما الأسماك الشوكية فكانت مفترسات ذوات فكوك، وكانت أفضل سباحةً من صدفية الجلد؛ إذ كان لها سبع زعانف لتساعد على السباحة، وجميع هذه الزعانف معززة بأشواك قوية ما أعطاها اسم ذوات الأشواك. في الوقت الحاضر لا توجد أسماك شوكية حية.

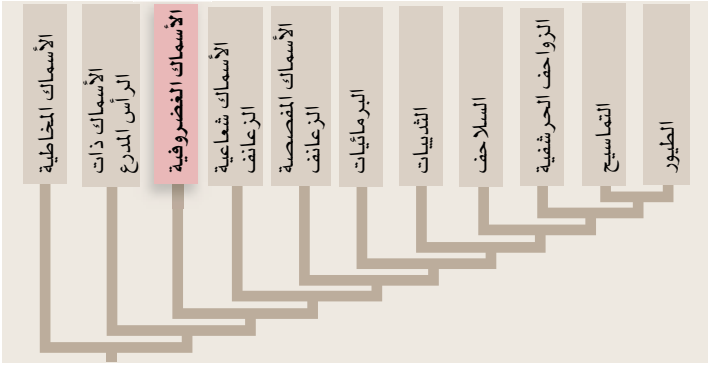
أصبحت الأسماك ذات الصفائح الجلدية والدرع الثقيلة شائعة في منتصف الحقبة الديفونية. تتكون إحدى المجموعات الناجحة والمتنوعة جدًا من سبع رتب من ذات الصفائح الجلدية، سادت البحار قرب نهاية الحقبة الديفونية لكي تصبح منقرضة في نهاية تلك الحقبة نفسها. وقد كانت فكوك ذات الصفائح الجلدية أكثر تطورًا من فكوك الأسماك الشوكية الأكثر بدائية. فالفك العلوي ملتحم مع الجمجمة، والجمجمة متمفصلة مع الكتف. وقد وصل كثير من تلك الصفائح إلى أحجام هائلة؛ إذ زاد بعضها على 30 قدمًا طولًا، وكان طول جمجمتها قدمين، وقضمتها هائلة.



الشكل 35–10

تطور الفك. تطورت الفكوك من أقواس الخياشيم الأمامية لأسماك قديمة عديمة الفكوك.

أسماك القرش بهياكلها الغضروفية أصبحت مفترسات سائدة



اختفت الفقريات الأوائل كلها في نهاية الحقبة الديفونية تقريبًا، وحلت محلها أسماك القرش والأسماك العظمية في واحد من أعظم الانقراضات الجماعية التي حدثت في تاريخ الأرض (انظر الفصل الـ 22). نشأت أسماك القرش والأسماك العظمية أول مرة في بداية الحقبة الديفونية، نحو 400 مليون سنة خلت. تحسَّن تركيب الفك في هذه الأسماك، إذ تحول الجزء العلوي للقوس الخيشومي الأول بعد الفك إلى تركيب دعامي يربط مؤخرة الفك السفلي بمؤخرة الجمجمة، ما سمح للفم أن يفتح بصورة أوسع مما كان ممكنًا من قبل.

أصبحت أسماك القرش هي المفترسات السائدة في البحار في أثناء الحقبة الطباشيرية (360–280 مليون سنة خلت). فالقرش (طائفة **الأسماك الغضروفية**) له هيكل مكون من الغضروف، كالأسماك البدائية، ولكنه تكلس، ودُعم بحبيبات من كربونات الكالسيوم التي ترسبت في الطبقات الخارجية من الغضروف، فكانت النتيجة هيكلًا خفيفًا جدًا، ولكنه قوي.

والقرش سباح ماهر؛ فهو يتمتع بشكل انسيابي وزعانف مزدوجة، وهيكل خفيف ومرن (الشكل 35–11). فالزعانف الصدرية واسعة بشكل خاص، وتندفع للخارج كجناحي طائرة، وهذه هي وظيفتها، إذ تضيف قوة دفع تعادل قوة الدفع نحو الأسفل التي تحدثها الزعنفة الذيلية. إنَّ أسماك القرش مفترسات عدوانية، وبعض أسماك القرش الأولى بلغت أحجامًا هائلة.

تطور الأسنان

كانت أسماك القرش من أوائل الفقريات التي تُطور أسنانًا. هذه الأسنان تطورت من حراشف خشنة على الجلد، ولم تكن مزروعة في الفك، كأسنان الإنسان، بل تستقر فوق الفك. لذا، فهي ليست راسية بقوة في الفك، ويمكن أن تُفقد بسهولة. تترتب الأسنان في فم القرش في 20 صفًّا تقريبًا، والأسنان الأمامية تقوم بالعض

الشكل 35–11

الأسماك الغضروفية. أفراد هذه الطائفة مثل القرش الأزرق *Prionace glauca* مفترسات بشكل رئيس أو مترممات.

والقطع، والأسنان في الخلف تنمو وتنتظر دورها. فعندما ينكسر أحد الأسنان أو يتآكل، فإن بديلًا له يتقدم نحو الأمام من الصف اللاحق. وقد يستخدم القرش الواحد خلال حياته أكثر من 20.000 سن.

جلد القرش مغطى بحراشف صغيرة تشبه الأسنان، وهي تعطي ملمسًا خشنًا يشبه ورق الزجاج. والحراشف هنا كالأسنان تستبدل بشكل مستمر في أثناء حياة سمك القرش.

نظام الخط الجانبي

تمتلك أسماك القرش والأسماك العظمية نظام خط جانبيًّا كامل التطور. يتكون نظام الخط الجانبي من سلسلة من أعضاء الحس تبرز في قناة تحت سطح الجلد، وتمتد على طول جسم السمكة، وتفتح نحو الخارج عن طريق سلسلة من النقر الغائرة. ويؤدي مرور الماء على جسم السمكة إلى إجبار الماء على المرور بهذه القناة عبر النقر. والنقر مرتبة، بحيث إن بعضها يجري تنبيهه بغض النظر عن اتجاه حركة الماء. إن تفاصيل وظيفة نظام الخط الجانبي موصوفة في الفصل الـ 45. وبمعنى حقيقي، فإن نظام الخط الجانبي في السمكة يعادل السمع.

التكاثر في الأسماك الغضروفية

يختلف التكاثر في طائفة الأسماك الغضروفية عنه في الأسماك الأخرى. بيوض القرش تخصب داخليًّا. في أثناء الجماع، يقبض الذكر على الأنثى عن طريق زعانف محورة تدعى **الحاضنات Claspers** ويجري المني من الذكور إلى داخل الأنثى خلال تجاويف في الحاضنات نفسها. وعلى الرغم من أن أنواعًا قليلة تضع بيوضًا مخصبة، فإن بيوض معظم الأنواع تتطور داخل جسم الأنثى، وتولد الصغار حية.

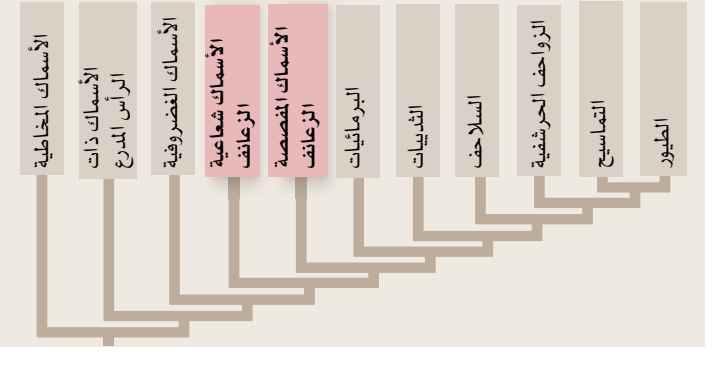
يقود هذا النظام التكاثري أسماك القرش في الوقت الحاضر إلى حتفها. فنظرًا لطول مدة الحمل وقلة عدد النسل الناتج، فإن القرش غير قادر على التعافي بسرعة من انخفاض تجمعاته السكانية. ولسوء الحظ، فإن أسماك القرش تُصطاد بشكل مكثف في الوقت الحاضر نظرًا لانتشار استعمال زعانفها كحساء مرغوب في آسيا وأماكن أخرى. نتيجة لذلك، تتناقص تجمعات أسماك القرش بشكل كبير، وهناك تخوف من أن أنواعًا عدة منها تواجه الانقراض سريعًا.

تطور أسماك القرش

إن كثيرًا من الخطوط التطورية المبكرة لأسماك القرش ماتت في أثناء الانقراض الجماعي الكبير عند نهاية الحقبة البرمية (248 مليون سنة خلت). أما ما بقي منها فقد عايش انفجارًا تنوعيًّا خلال الحقبة الوسيطة (248-65 مليون سنة خلت)، حيث ظهرت معظم المجموعات الحديثة من القرش. فأسماك الوَرْنك والراي، وهي أقارب للقرش مفلطحة ظهر بطنيًّا، تطورت في مثل هذا الوقت، أي ما يقارب 200 مليون سنة بعد ظهور القرش.

تسود الأسماك العظمية معظم المياه

تطورت الأسماك العظمية في الوقت نفسه الذي تطورت فيه أسماك القرش، أي منذ قرابة 400 مليون سنة، ولكنها سلكت طريقًا تطوريًّا مختلفًا. فبدلًا من اكتساب



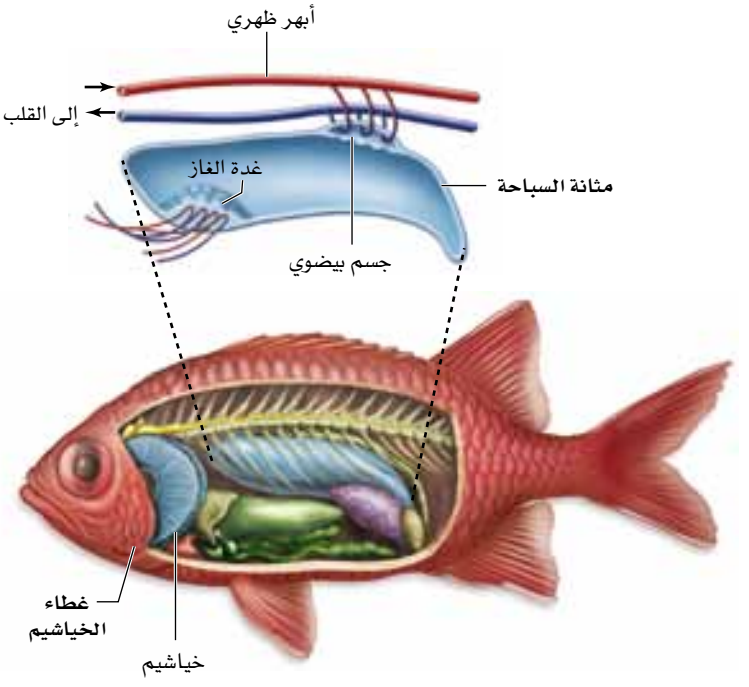
السرعة من خلال الخفة، كما فعلت أسماك القرش، نجد أن الأسماك العظمية تبنت هيكلًا داخليًّا ثقيلًا مصنوعًا بكامله من العظام.

العظم قوي، ويشكل قاعدة تنقبض العضلات نحوها. لم يتعظم الهيكل الداخلي وحده، ولكن تعظمت الأغطية الخارجية للصفائح والحراشف. معظم الأسماك العظمية لها زعانف متحركة، وحراشف رقيقة جدًا، وذيل كامل التناظر (يحفظ السمكة على خط مستقيم، وهي تشق طريقها في الماء). الأسماك العظمية أكثر مجموعات الأسماك تنوعًا بل أكثر من الفقريات. فهناك مجموعات عدة من الرتب التي تضم أكثر من 30,000 نوع حي. تحقق النجاح الملحوظ للأسماك العظمية من سلسلة من التكيفات المهمة التي مكنتها من أن تسود الحياة في الماء. ومن هذه التكيفات مثانة السباحة وغطاء الخياشيم (الشكل 35 - 12).

مثانة السباحة

على الرغم من أن العظام أثقل من الهيكل الغضروفي، فإن الأسماك العظمية لا تزال قابلة للطفو بسبب امتلاكها **مثانة السباحة Swim bladder**، وهي كيس مملوء بالغاز يسمح لها بتنظيم كثافتها، بحيث تبقى معلقة عند أي عمق في الماء دون مجهود. أما أسماك القرش في المقابل، فإن عليها أن تتحرك خلال الماء، أو أن تغطس؛ لأن أجسامها أكثر كثافة من الماء، ولا تحتوي مثانة سباحة.

في الأسماك العظمية البدائية، مثانة السباحة هي جيب خارجي ظهري من البلعوم، وينشأ بعد الحنجرة، وفي هذه الأنواع، تملأ السمكة مثانة السباحة بابتلاع الهواء عند سطح الماء. وفي معظم الأسماك العظمية الحديثة، تكون مثانة السباحة عضوًا مستقلًّا، وتمتلئ أو تفرغ داخليًّا من الغازات التي هي غالبًا من النتروجين والأكسجين.



الشكل 35-12

رسم تخطيطي لمثانة السباحة. تستخدم الأسماك العظمية هذا التركيب، الذي تطور على هيئة جيب خارجي ظهري من البلعوم، من أجل السيطرة على كثافتها في الماء. يمكن أن تُملأ مثانة السباحة أو تُفرغ من الغازات؛ للسماح للسمكة بالسيطرة على كثافتها في الماء. تؤخذ الغازات من الدم، حيث تفرز غدة الغاز الغازات إلى مثانة السباحة، ويتحرر الغاز من المثانة نحو الدم ثانية عن طريق صمام عضلي هو الجسم البيضوي.

أ.

ب.

الشكل 35-13

الأسماك الشعاعية الزعانف والمفصصة الزعانف.

أ. الأسماك شعاعية الزعانف كالسمكة الملاك الكورية المبينة في الصورة، تتميز بزعانف ذات أشعة عظمية متوازية فقط.

ب. الأسماك مفصصة الزعانف لها لب مركزي من العظم، إضافة إلى الأشعة العظمية. السمكة ذات الأشواك المجوفة *Latimeria chalumnae*، وهي سمكة مفصصة الزعانف العظمية، اكتشفت في غرب المحيط الهندي عام 1938. تمثل هذه السمكة مجموعة من الأسماك، كان يعتقد أنها انقرضت منذ 70 مليون سنة. وبينما كان العلماء يدرسون الأنواع الحية في بيئاتها الطبيعية على أعماق تتراوح بين 100-200 متر عثروا عليها تتجرف مع التيارات وتصطاد أسماكًا أخرى في الليل. بعض أفرادها يبلغ 3 أمتار طولًا، ولها مثانة سباحة رفيعة ومملوءة بالدهون.

كيف تتدبر الأسماك العظمية هذه الحيلة المدهشة؟ تحصل السمكة على الغازات من الدم باستخدام غدة متميزة تطلق الغازات إلى المثانة عندما ترغب السمكة في المزيد من الطفو. وعندما ترغب في الغوص، يعاد امتصاص الغازات إلى تيار الدم خلال تركيب يدعى الجسم البيضوي. وهناك مجموعة من العوامل الفيزيولوجية التي تسيطر على تبادل الغازات بين تيار الدم والمثانة.

غطاء الخياشيم

لدى معظم الأسماك العظمية صفيحة صلبة تدعى **غطاء الخياشيم Operculum**، الذي يغطي الخياشيم على كل من جانبي الرأس. إن ثني غطاء الخياشيم يسمح للسمكة العظمية بضخ الماء فوق الخياشيم. الخياشيم معلقة في الشقوق البلعومية التي تشكل ممرًّا بين البلعوم وخارج جسم السمكة. وعندما يُغلق غطاء الخياشيم يُغلق هذا المخرج تمامًا.

عندما تفتح الفم، فإن غلق غطاء الخياشيم يزيد حجم تجويف الفم، ويندفع الماء إلى داخله، وعندما تغلق الفم، فإن فتح غطاء الخياشيم يقلل حجم تجويف الفم ما يجبر الماء على المرور فوق الخياشيم في اتجاه الخارج.

إن استخدام هذا «المنفاخ» الفعال يمكِّن الأسماك العظمية من تمرير الماء فوق الخياشيم، وهي لاتزال ساكنة في الماء. وهذا ما تفعله السمكة الذهبية عندما تبدو أنها تبتلع شيئًا في حوض أسماك الزينة.

المسار التطوري نحو اليابسة مرّ من خلال الأسماك ذات الزعانف المفصصة

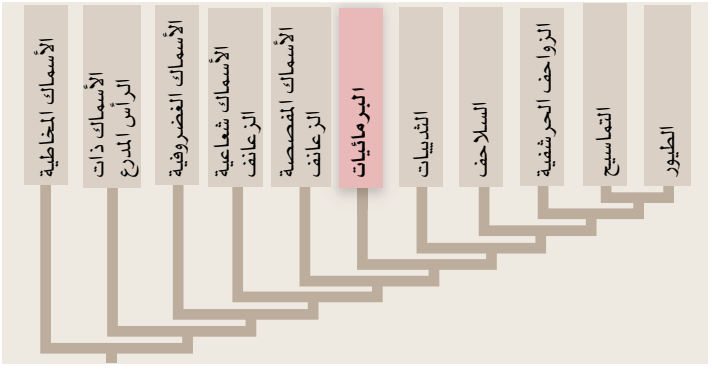
تُشكل الأسماك ذات الزعانف الشعاعية (**طائفة مشطية الأجنحة** (الزعانف) **Actinopterygii** الشكل 35-13 أ)، والأسماك ذات الزعانف المفصصة (**طائفة لحمية الأجنحة** (الزعانف) **Sarcopterygii**- مجموعتين كبيرتين من الأسماك العظمية. تختلف المجموعتان في تركيب زعانفهما (الشكل35-13 ب). ففي الأسماك ذات الزعانف الشعاعية، يتكون الهيكل الداخلي للزعنفة من أشعة عظمية متوازية تدعم كل زعنفة، وتعطيها صلابة. وليس هناك عضلات ضمن الزعانف، بل إن الزعانف تحركها عضلات ضمن الجسم.

في المقابل، الأسماك ذات الزعانف المفصصة لها زعانف مزدوجة، تتألف من فص عضلي لحمي طويل (ومن هنا جاء اسمها) مدعوم بلب مركزي من العظام التي تشكل مفاصل كاملة التمفصل مع بعضها. وهناك أشعة عظمية فقط عند قمة كل زعنفة مفصصة. وإن العضلات ضمن كل فص يمكن أن تحرك أشعة الزعنفة بشكل مستقل إحداها عن الأخرى، وهو إنجاز لا يمكن لأي سمكة شعاعية الزعانف أن تفعله.

تطورت الأسماك ذات الزعانف المفصصة منذ 390 مليون سنة تقريبًا، أي بعد أول ظهور للأسماك العظمية بمدة وجيزة. ويوجد منها في الوقت الحاضر ثمانية أنواع فقط: نوعان من ذات الأشواك المجوفة (الشكل 35-13ب) وستة أنواع من الأسماك الرئوية. وعلى الرغم من ندرتها في الوقت الحاضر، فإن أسماك ذات الزعانف المفصصة أدت دورًا مهمًّا في مسار تطور الفقريات، إذ من المؤكد أن البرمائيات تطورت في الغالب من الأسماك ذات الزعانف المفصصة.

تُعَدُّ الأسماك من أوائل الفقريات. وتتميز بالخياشيم، وبوجود جهاز دوري ذي دورة واحدة. الأسماك الغضروفية كالقرش تُعدّ سابحات سريعة، وتطورت بوصفها مفترسات سائدة. والأسماك العظمية، وهي ناجحة جدًا، لها ميزات خاصة كمثانة السباحة، وغطاء الخياشيم، إضافة إلى الهياكل المتعظمة.

5-35 البرمائيـات



تنحدر الضفادع والسلمندرات والديدان العمياء ذات الجلد الرطب من الأسماك مباشرة. هذه الأشكال هي الوحيدة المتبقية على قيد الحياة من أصل مجموعة ناجحة جدًا تدعى البرمائيات (طائفة **البرمائيات Amphibia**)، وهي أوائل الفقريات التي تمشي على اليابسة. معظم برمائيات الوقت الراهن صغيرة، وتعيش دون أن يكترث بها الإنسان، ولكنها تُعدّ من بين فقريات اليابسة الأكثر عددًا. وقد أدت البرمائيات في هذا العالم أدوارًا مهمةً جدًا في الشبكات الغذائية على اليابسة.

البرمائيات الحية لها خمس سمات مميزة

صنّف علماء الأحياء الأنواع الحية من البرمائيات في ثلاث رتب (الجدول 35-2): 1) خمسة آلاف نوع من الضفادع والعلجوم تقع ضمن 22 عائلة تشكل معًا رتبة عديمة الذيل. 2) 500 نوع من السلمندر والسمندل تقع ضمن 9 عائلات تشكل معًا رتبة الذيليات. 3) 170 نوعًا (6 عائلات) من مخلوقات تشبه الديدان، وغالبًا عمياء تدعى الديدان العمياء، وهي تعيش في المناطق الاستوائية، وتشكل رتبة عديمة الأقدام. هذه البرمائيات جميعها لها صفات عدة مميزة مشتركة:

1. **الأرجل:** الضفادع ومعظم السلمندرات لها أربع أرجل، وتستطيع الحركة على اليابسة بشكل جيد. وقد شكلت الأرجل أحد التكيفات المهمة للحركة على اليابسة. أما الديدان العمياء فقد فقدت أرجلها في أثناء مسار تكيفها للوجود داخل الجحور.
2. **الرئات:** تمتلك معظم البرمائيات زوجًا من الرئات على الرغم من أن السطوح الداخلية لها ذات مساحة سطحية أقل بكثير من رئات الزواحف أو الثدييات. تتنفس البرمائيات بخفض قعر الفم؛ لكي تمتص الهواء، ثم تعود لرفعه ثانية لدفع الهواء نحو رئاتها (انظر الفصل الـ 49).
3. **التنفس الجلدي:** الضفادع، والسلمندرات، والديدان العمياء جميعها تساند التنفس الرئوي لكونها تتنفس من خلال الجلد الذي تبقيه رطبًا، وله مساحة سطحية واسعة.
4. **الأوردة الرئوية:** بعد ضخ الدم نحو الرئتين، يقوم وريدان رئويان واسعان بإعادة الدم المحمل بالأكسجين إلى القلب لإعادة ضخه. وبهذه الطريقة، فإن الدم المحمل بالأكسجين يضخ إلى الأنسجة بضغط أعلى كثيرًا.
5. **القلب المقسوم جزئيًا:** يقوم جدار فاصل بمنع الدم المشبع بالأكسجين العائد من الرئتين من الاختلاط بالدم غير المشبع بالأكسجين العائد إلى القلب من بقية الجسم. لهذا، فالدورة الدموية مقسومة إلى مسارين منفصلين: رئوي وجهازي. لكن الفصل غير كامل؛ لأنه لا يوجد فاصل في إحدى غرف القلب، وهي البطين (انظر الفصل الـ 49).

هناك صفات عدة متخصصة تشترك بها كل برمائيات الوقت الحاضر. ففي الرتب الثلاث هناك منطقة ضعف بين قاعدة السن وتاجه، وإن لها نوعًا خاصًا من خلايا العصي الحسيّة في شبكية العين تدعى «العصا الخضراء» وهي غير معروفة الوظيفة بعد.

قهرت البرمائيات تحديات اليابسة

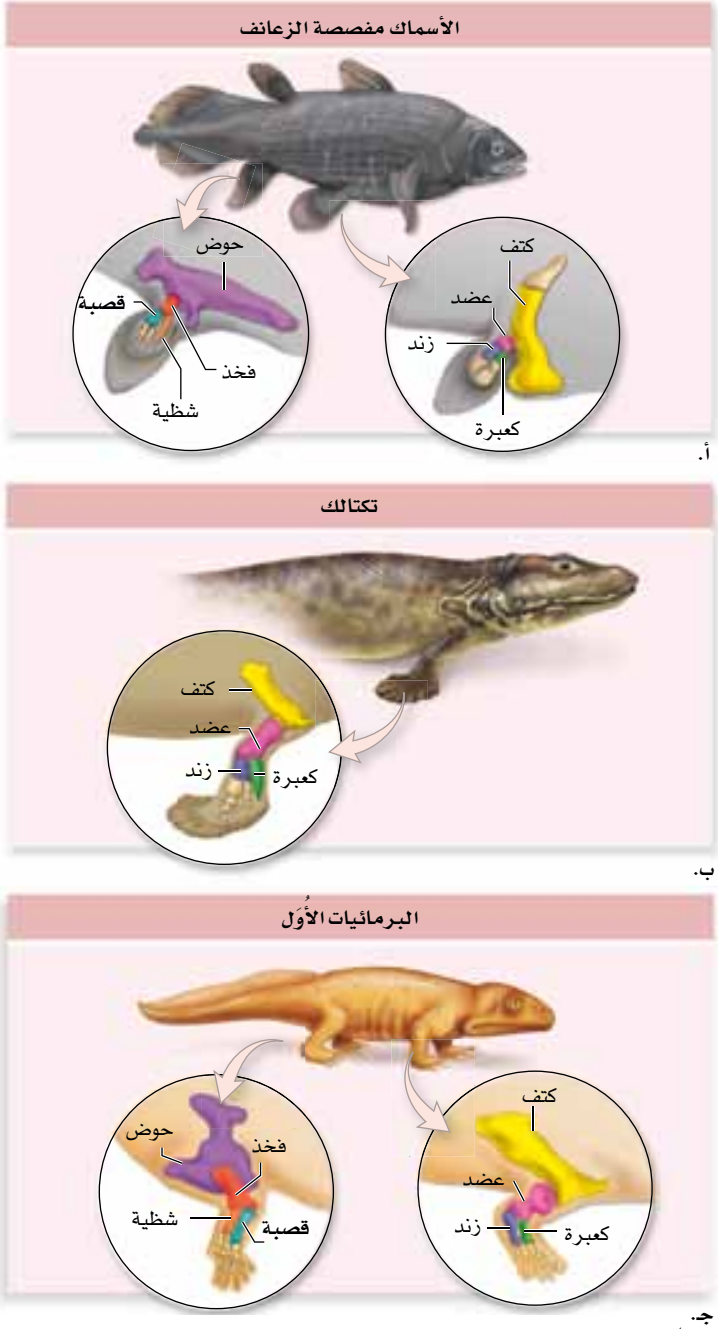
إن كلمة برمائي تعني "مزدوج الحياة"، وهو تعبير يعبر بشكل جيد عن صفة أساسية من صفات برمائيات الوقت الحاضر، ما يعكس قدرتها على العيش في عالمين-عالم الماء ذي الأسلاف من الأسماك، وعالم اليابسة الذي قامت بغزوه أولًا. وسنراجع هنا التاريخ المتقلب لهذه المجموعة، التي انقرض معظم أعضائها منذ 200 مليون سنة تقريبًا. ثم سنفحص بالمزيد من التفصيل حال الأنواع القليلة الباقية من البرمائيات.

لقد واجه غزو الفقريات لليابسة عددًا من التحديات المهمة:

- فنظرًا لأن أسلاف البرمائيات كان لها أجسام كبيرة نسبيًّا، فإن إسناد وزن الجسم على اليابسة وتحريكه من مكان إلى آخر شكل تحديًا كبيرًا (الشكل 35-14) وهكذا، فقد نشأت الأرجل لسد هذه الحاجة.
- على الرغم من توافر الأكسجين للخياشيم في الهواء أكثر منه في الماء، فإن التركيب الرقيق للخياشيم يتطلب رفع الماء لها لدعمها، ولهذا فإنها لن تعمل في الهواء. لذا، فإن وجود طرق أخرى للحصول على الأكسجين يصبح ضروريًّا.

الجدول 35-2 رتب البرمائيـات

الرتبة	أمثلة نموذجية	الصفات المميزة الأساسية	العدد التقريبي للأنواع الحية
عديمة الذنب	الضفدع والعلجوم	جسم متراص دون ذنب، رأس كبير ملتحم مع الجذع، الأطراف الخلفية متخصصة بالقفز.	5,000
الذيليات	السلمندر والسمندل	جسم رفيع، ذنب طويل وأطراف تنطلق على هيئة زوايا قوائم مع الجسم.	500
عديمة الأطراف	الديدان العمياء	مجموعة استوائية ذات جسم يشبه الأفعى، ليس لها أطراف، ذنب صغير أو معدوم.	170



الشكل 35-14

مقارنة بين أطراف الأسماك مفصصة الزعانف، وتكتالك، والبرمائيات الابتدائية. أ. سمكة مفصصة الزعانف: بعض هذه الحيوانات ربما يمكنها السير على اليابسة. ب. تكتالك: عظام الكتف والطرف الأمامي تشبه تلك التي للبرمائيات، لكن الزعانف تشبه تلك التي للأسماك مفصصة الزعانف. لم تكن متحجرة تكتالك تحتوي الأطراف الخلفية عندما عثر عليها. جـ. البرمائيات البدائية. كما يبين تركيب هيكلها، أرجل هذه الحيوانات يمكن أن تخدم بصورة أفضل من تلك التي لأسلافها في الحركة على اليابسة.

- يتطلب توفير كميات كبيرة من الأكسجين للعضلات الأكبر التي ستقوم بالحركة على اليابسة، حدوث تحوير في القلب والدورة الدموية.
- التكاثر يجب أن يتم في الماء؛ لكي لا تجف البيوض.
- والأكثر أهمية ألا يجف الجسم نفسه.

البرمائيات الأولى

لقد حلت البرمائيات مشكلاتها جزئيًّا فقط، ومع ذلك فإن الحلول كانت ناجحة، حيث استطاعت البرمائيات العيش مدة 350 مليون سنة، فالتطور إذن لا يعتمد على وجود حلول مثالية، بل على حلول قابلة للتطبيق.

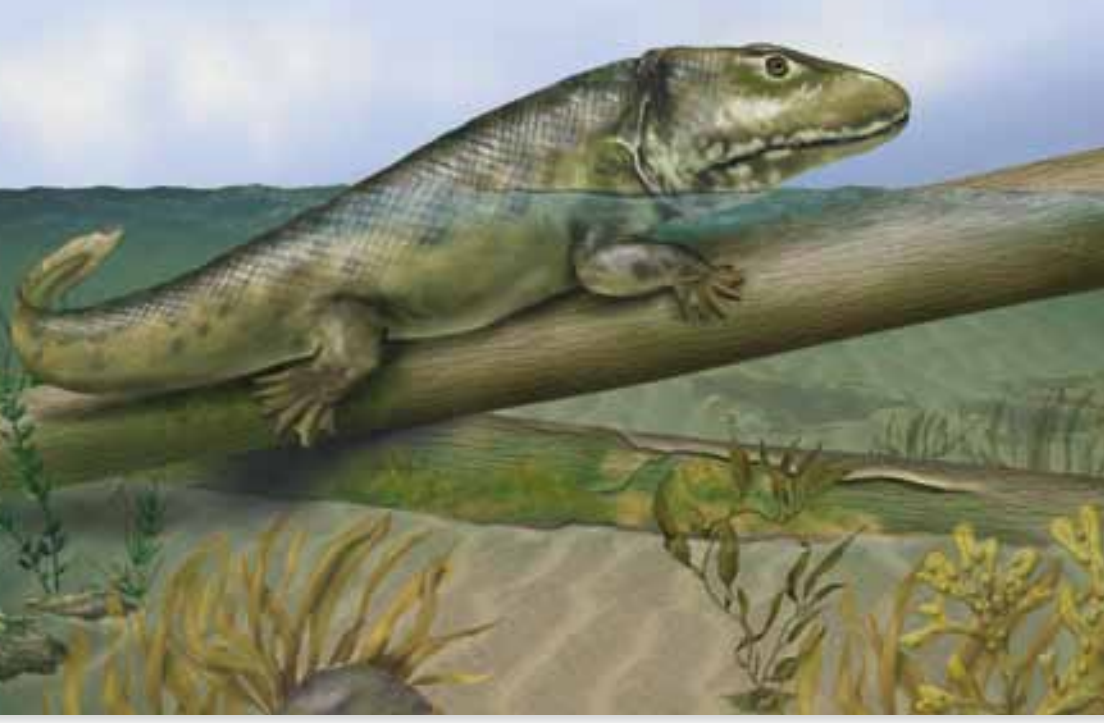
يتفق علماء الأحافير على أن البرمائيات نشأت من الأسماك ذات الزعانف المفصصة. لقد وجدت متحجرة إكثيوستيجا *Ichthyostega*، وهي واحدة من أقدم أحافير البرمائيات (الشكل 35-15)، في صخور عمرها 370 مليون سنة في غرينلند. في ذلك الوقت، كانت غرينلند جزءًا من قارة أمريكا الشمالية الحالية، وتقع قرب خط الاستواء. وقد وُجدت أحافير البرمائيات جميعها في المئة مليون سنة اللاحقة في أمريكا الشمالية. ولم تنتشر البرمائيات في العالم إلا عندما اندمجت قارة آسيا والقارات الجنوبية مع أمريكا الشمالية لتشكيل القارة العملاقة بانجيا.

لقد كان إكثيوستيغا حيوانًا قوي البناء، وذا أرجل أمامية متينة ومدعمة بعظام الكتف. وبخلاف عظام السمكة، لم تعد عظام الكتف هنا مرتبطة بالجمجمة، ولهذا فالأطراف قادرة على إسناد وزن الحيوان. وحيث إنَّ الأطراف الخلفية كانت أشبه بزعانف الحوت في شكلها، فإن من المحتمل أن إكثيوستيغا كان يتحرك كما تفعل الفقمة، إذ تشكل الأطراف الأمامية قوة للدفع في اتجاه الحركة، وتجر الأطراف الخلفية بقية الجسم جرًّا. ولكي تقوى عظام الظهر أكثر، فقد تشكلت أضلاع طويلة وعريضة ومتداخلة مع بعضها، وكونت قفصًا صلبًا للرئتين والقلب. لقد كان القفص الصدري هذا صلبًا لدرجة أنه لم يكن ممكنًا زيادة سعته أو إنقاصه من أجل التنفس. بدلًا من ذلك، فإن الحيوان ربما حصل على الأكسجين كما تفعل برمائيات العصر الحاضر، أي بخفض قاعدة الفم، وسحب الهواء، ثم رفعها ثانية لدفع الهواء نحو القصبة الهوائية والرئتين، وقد وجدت متحجرة انتقالية مهمة بين الأسماك والبرمائي إكثيوستيغا عام 2006 في شمالي كندا. عاشت هذه المتحجرة واسمها تكتالك *Tiktaalik* منذ 375 مليون سنة، وكان لها خياشيم وحراشف كالأسماك، وعنق كالبرمائيات. لكن الأكثر أهمية هو شكل أطرافها الأمامية (الشكل 35-14): فالكتف، والذراع الأمامي، وعظام الرسغ كانت تشبه عظام البرمائيات، ولكن في نهاية الطرف كانت توجد زعنفة مفصصة بدلًا من أصابع البرمائيات. ومن ناحية بيئية، فإن متحجرة تكتالك التي كان يبلغ طولها ثلاثة أمتار هي مرحلة وسطى بين الأسماك والبرمائيات، وربما كانت تقضي معظم وقتها في الماء، ولكنها كانت قادرة على جر نفسها نحو اليابسة للإمساك بالغذاء، أو للهرب من الأعداء.

ارتفاع البرمائيات وهبوطها

لقد تمكنت البرمائيات، بحركتها نحو اليابسة، من استغلال مصادر عدة والوصول إلى بيئات جديدة. فالبرمائيات أصبحت شائعة في أثناء الحقبة الطباشيرية (360-280 مليون سنة خلت). وهناك أربع عشرة عائلة معروفة من البرمائيات عاشت في مطلع الحقبة الطباشيرية، وكلها تقريبًا كانت مائية، أو شبه مائية مثل متحجرة إكثيوستيغا (الشكل 35-15). وفي نهاية الحقبة الطباشيرية، كان معظم أمريكا الشمالية مغطى بمستنقعات استوائية ضحلة، حيث عاشت 34 عائلة من البرمائيات في هذه البيئة اليابسة الرطبة متشاطرة العيش مع أنواع من الديناصورات، وبعض الزواحف الأولى.

في الحقبة البرمية المبكرة التي أعقبت ذلك (280-248 مليون سنة خلت)، حدث تغير ملحوظ بين البرمائيات-فقد بدأت بمغادرة السبخات نحو الأراضي الجافة. وقد كان لكثير من البرمائيات اليابسة صفائح عظمية، ودروع تحمي أجسامها،



الشكل 35-15

كانت البرمائيات أول الفقريات التي مشت على اليابسة. أحد أوائل البرمائيات كان إكثيوستيجا *Ichthyostega*، وكان له أطراف فعالة في الزحف على اليابسة، وله حاسة شم متطورة وخطم متطاول، وتراكيب أذن متقدمة لالتقاط الأصوات المحمولة بالهواء. وعلى الرغم من صفاته هذه، فإن إكثيوستيجا الذي عاش منذ 350 مليون سنة، كان لها شبه بالأسماك من حيث المظهر العام، وربما يكون قد مكث الجزء الأكبر من حياته في الماء.

ونمت في الحجم لتصبح في مثل حجم حصان قزم. ويشير الحجم الكبير، ووجود الحماية على أجسامها إلى أن هذه البرمائيات لم تستخدم جلدها في التنفس كما تفعل برمائيات اليوم، بل كان لها جلد غير نفاذ ليمنع تبخر الماء. وهكذا، فإنها اعتمدت تمامًا على رئاتها من أجل التنفس. في منتصف الحقبة البرمية، كان هناك 40 عائلة من البرمائيات، 25% منها كانت لا تزال شبه مائية مثل إكثيوستيغا و 60% من البرمائيات كانت تعيش على اليابسة تمامًا، 15% كانت تعيش على وسط شبه يابس. وقد شكل ذلك قمة نجاح البرمائيات، ودعيت تلك الحقبة أحيانًا بعصر البرمائيات.

تطورت الزواحف من البرمائيات في نهاية الحقبة البرمية. فقد أصبحت إحدى المجموعات، ثيرابسدا أو "وجه الوحش" شائعة وطردت البرمائيات من بيئتها اليابسة، واستحوذت عليها. وقد أصبحت ثيرابسيدا فقريات اليابسة السائدة عقب الانقراض الجماعي الكبير الذي حدث في نهاية الحقبة البرمية، وأصبح معظم البرمائيات مائيًا. واستمر هذا التوجه في الحقبة الثلاثية (248-213 مليون سنة خلت) حيث شهدت هذه الحقبة الانقراض النهائي للبرمائيات من على اليابسة.

تنتمي البرمائيات الحديثة إلى ثلاث مجموعات

تحدرت البرمائيات الحديثة جميعها من ثلاث عوائل من البرمائيات التي استطاعت البقاء خلال عصر الديناصورات. خلال الحقبة الثلثية (65-2 مليون سنة خلت)، نجحت البرمائيات ذات الجلد الرطب في غزو البيئات الرطبة في العالم كله، حيث يوجد منها اليوم أكثر من 5600 نوع موزعة على 37 عائلة مختلفة، تشكل رُتبًا ثلاثًا، هي: عديمة الذنب، والذيليات، وعديمة الأطراف.

رُتبة عديمة الذنب: الضفادع والعلجوم

تعيش الضفادع والعلاجيم، وهي برمائيات عديمة الذنب، في بيئات متعددة تتراوح بين الصحراء، والجبال، إلى البرك والمستنقعات (الشكل 35-16 أ). الضفادع لها جلد ناعم رطب وجسم عريض، وأرجل خلفية طويلة تجعل منها قافزات رائعة. تعيش معظم الضفادع في الماء أو قربه على الرغم من أن بعض الأنواع الاستوائية تعيش على الأشجار.

يختلف العلجوم عن الضفدع، في أن له جلدًا جافًّا ذا نتوءات، وأرجله قصيرة، ومتكيف جدًا مع البيئات الجافة. لا يشكل العلجوم مجموعة وحيدة الأصل، بمعنى

الشكل 35-16

طائفة البرمائيات. أ. الضفدع الشجري ذو العيون الحمراء *Agalychnis callidryas* من رتبة عديمة الأطراف. **ب.** السلمندر النمر البالغ *Ambystoma tigrinum* من رتبة الذيليات. **جـ.** الدودة العمياء *Caecilia tentaculata* من رتبة عديمة الأطراف.

أن أنواع العلجوم ليست أقرب إلى بعضها مما هي لبعض أنواع الضفادع. فمصطلح العلجوم *Toad* يُطلق على البرمائيات عديمة الذنب التي تكيفت مع البيئات الجافة بتطويرها حزمة من الميزات التكيفية. هذا التطور الالتقائي حدث مرات عدة بين برمائيات عديمة الذنب متباعدة القرابة.

تعود معظم الضفادع والعلاجيم إلى الماء للتكاثر، فتضع بيوضها في الماء مباشرة. تفتقر بيوضها إلى أغشية خارجية منيعة ضد الماء، وهي قد تجف بسرعة على اليابسة. تُخصب البيوض خارجيًّا وتفقس منتجة أشكالًا يرقية سابحة تدعى أبا ذنيبة. يعيش أبو ذنيبة في الماء حيث يتغذى عادة على طحالب دقيقة. بعد أن ينمو إلى حجم مناسب، يتطور جسم أبي ذنيبة إلى شكل الضفدع البالغ.

رتبة الذيليات: السلمندرات

السلمندرات ذات أجسام متطاولة، وذنب طويل، وجلد ناعم رطب (الشكل 35-16ب). يتراوح طولها بين بضعة إنشات إلى قدم، على الرغم من أن السلمندرات الآسيوية العملاقة من الجنس *Andrias* يبلغ طولها مترًا ونصف المتر، وتزن قرابة 33 كجم. تعيش معظم السلمندرات في الأماكن الرطبة، وتحت الحجارة والأخشاب وأوراق النباتات الاستوائية، ويعيش بعض السلمندرات في الماء بشكل كامل.

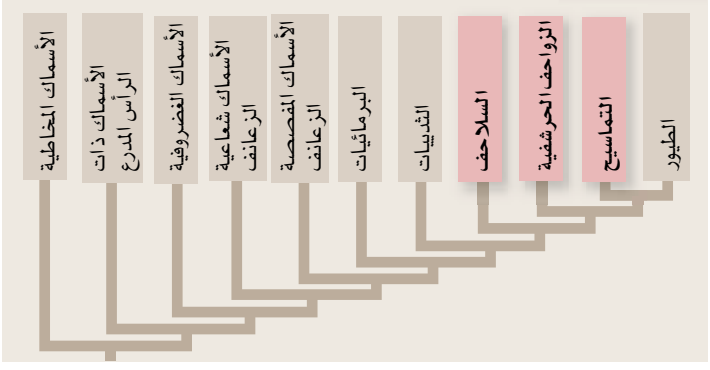
تضع السلمندرات بيوضها في الماء أو في الأماكن الرطبة، ومعظمها تمارس نوعًا من التلقيح الداخلي، تلتقط فيه الأنثى كتلًا من المني يضعها الذكر. تمر معظم السلمندرات، كعديمة الذنب، بمرحلة يرقية قبل التحول إلى بالغ، لكنها تختلف عن عديمة الذنب في أن أبا ذنيبة يختلف كثيرًا عن الضفدع البالغ، في حين تشبه الأطوار اليرقية للسلمندرات الحيوان البالغ على الرغم من أن هذه الأطوار تعيش في الماء، ولها خياشيم خارجية تختفي في أثناء مراحل التطور.

رتبة عديمة الأطراف: الديدان العمياء *Caecilians*

أفراد رتبة عديمة الأطراف من الديدان العمياء (تدعى أيضًا Gymnophiona)، هي مجموعة شديدة التخصص من برمائيات استوائية تعيش في الجحور (الشكل 35-16 جـ). هذه المخلوقات عديمة الأطراف، وهي تشبه الديدان، ويتراوح طولها بين 30 سنتمترًا و 1.3 متر. لها عيون صغيرة، والغالب أن تكون عمياء، وهي تشبه الديدان، لكن لها فكوكًا ذات أسنان، تتغذى على الديدان، وبعض لافقريات التربة، والتلقيح داخلي.

ظهرت البرمائيات على اليابسة منذ نحو 370 مليون سنة. تتميز بوجود جلد رطب وأرجل (فقدت في بعض الأنواع)، ورئات، وجهاز دوري معقد ومقسم. تعتمد معظم الأنواع على البيئة المائية من أجل التكاثر.

6-35 الزواحف



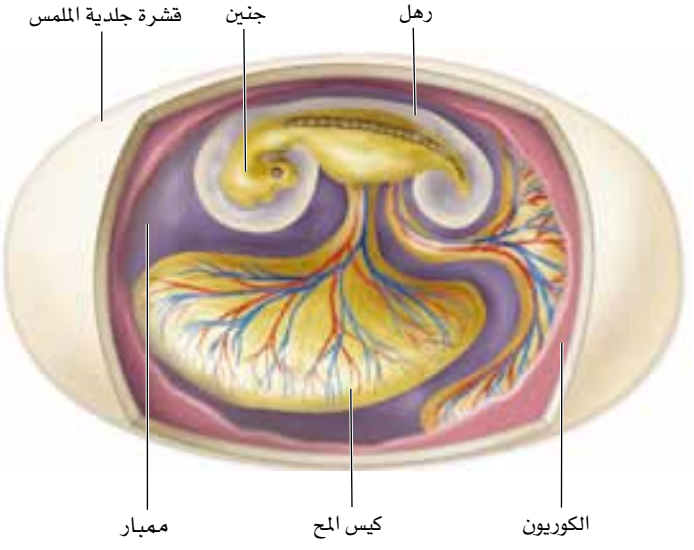
إذا تخيلنا أن البرمائيات مسوّدة مخطوط للبقاء على اليابسة، فإن الزواحف هي الكتاب المتكامل. فقد حسنت الزواحف من الحلول التي قدمتها البرمائيات للتحديات الخمسة التي واجهتها للعيش على اليابسة. فتنظيم الأرجل تطور ليدعم وزن الجسم بشكل أكثر فعالية، ما سمح للزواحف أن تكون ذات أجسام أكبر، وأن تركض كذلك. وأصبح القلب والرئتان أكثر فعالية، وأصبح الجلد مغطى بصفائح جافة أو حراشف؛ لتقليل فقد الماء، وغُلفت البيوض بغطاء مانع لنفاذ الماء.

يعيش الآن على الأرض أكثر من 7000 نوع من **الزواحف** (طائفة الزواحف **Reptilia**). تشكل الزواحف مجموعة حافظت على وجودها في عالم اليوم، إذ إن هناك أنواعًا حية من الأفاعي والعظايا أكثر مما لدى الثدييات.

تبدي الزواحف ثلاث سمات أساسية مميزة

تتشاطر الزواحف الحية جميعها بعض الصفات الأساسية المميزة لها، التي احتفظت بها منذ أن أبعدت البرمائيات التي كانت فقريات اليابسة السائدة، وحلت محلها. من بين هذه الصفات المهمة:

1. **البيوض الرهلية Amniotic eggs**: كان على البرمائيات وَضْع بيوضها في الماء، أو في بيئة رطبة لكي تتجنب الجفاف. أما معظم الزواحف فتضع بيوضًا مقاومة لتبخر الماء، وتحتوي مصدرًا للغذاء (المح)، ولها سلسلة من أربعة أغشية، هي: كيس المح، والرهل، والممبار، والكوريون (غشاء المشيمة) (الشكل 35-17). كل واحد من هذه الأغشية يجعل من البيضة نظامًا مستقلًّا وقابلًا للحياة. تمتلك كل الزواحف الحديثة إضافة إلى الطيور والثدييات هذا النمط نفسه من الأغشية ضمن البيضة، ولهذا تعرف هذه الطوائف الثلاث **بالرهليات Amniotes**.



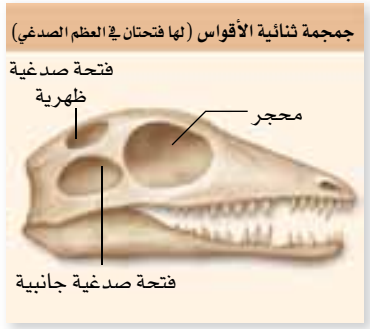
الشكل 35-17

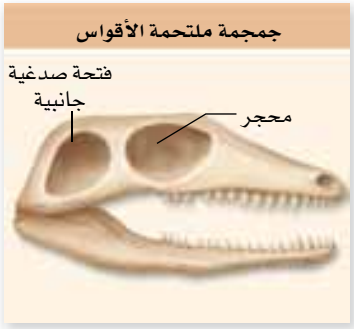
البيضة المانعة لنفاذ الماء. تعد البيضة الرهلية الصفة الأهم التي سمحت للزواحف بالعيش في تشكيلة واسعة من البيئات اليابسة.

الجدول 35-3	رتب الزواحف الرئيسة		
الرتبة	**مثال نموذجي**	**الخصائص الأساسية**	**العدد التقريبي للأنواع الحية**
ذوات الحراشف، تحت رتبة الزواحف الحقيقية	العظايا	عظايا، تنبثق الأطراف على هيئة زوايا قوائم على الجسم، الشرج شق عرضي، أغلبها حيوانات تعيش على اليابسة.	3,800
ذوات الحراشف، تحت رتبة الأفاعي	الأفاعي	أفاعٍ، ليس لها أرجل، تتحرك بالسعي أو الانزلاق، الجلد الحرشفي ينسلخ بشكل دوري، معظمها حيوانات يابسة.	3,000
ذوات الخطم (خطمية الرأس)	تواتارا	المتبقي الوحيد من مجموعة كانت ناضجة، واختفت قبل الديناصورات، أسنان إسفينية متحدة ليس لها جيوب تستقر بها، عين بدائية ثالثة تحت جلد الجبهة.	2
السلاحف	السلاحف والسلاحف البرية والسلاحف البحرية	زواحف ذات درع، وصدفة ذات صفائح عظمية تلتحم بها الفقرات والأضلاع، منقارها حاد ومتقرن وليس به أسنان.	250
التماسيح	التمساح والقاطور	زواحف متقدمة، قلبها له أربع حجرات وأسنانها منغرزة بالفك، الشرج شق طولي، أقرب الزواحف الحية إلى الطيور.	25
زواحف ذات ورك يشبه الطيور Ornithischia	ستيجوسور	ديناصور له عظمتا حوض تتجهان إلى الخلف، كما في حوض الطيور، عاشبة، الأرجل تحت الجسم.	منقرضة
الزواحف الوركية Saurichia	تيرانوسور	ديناصور له عظمة حوض تتجه نحو الأمام والأخرى إلى الخلف، كما في حوض العظايا. آكل للنبات واللحوم، الأرجل تحت الجسم، تطورت منها الطيور.	منقرضة
الزواحف المجنحة	تيروسور (الزاحف المجنح)	زواحف طيارة، الأجنحة مصنوعة من الجلد الممتد بين الأصبع الرابع والجسم، البعد بين نهايتي الجناح في الأشكال المبكرة 60 سم، وفي الأشكال المتأخرة نحو 8 م.	منقرضة
أقارب الزواحف	قريب الزواحف	زواحف بحرية برميلية الشكل ذات أسنان كبيرة وحادة، وزعانف تشبه المجذاف، بعضها له رقبة تشبه الأفعى، ويصل طولها ضعف طول الجسم.	منقرضة
الزواحف الطيور	الزاحف الطائر إكثيوسور	زواحف بحرية انسيابية يشابه جسمها في نواحٍ عدة أسماك القرش والأسماك الحديثة.	منقرضة

يقع الغشاء الخارجي للبيضة، وهو **الكوريون Chorion** تحت القشرة المسامية مباشرة، وهو يمنع نفاذ الماء، لكنه يسمح بتبادل الغازات التنفسية. أما **الرهل Amnion** فيحيط بالجنين المتطور ضمن تجويف مملوء بالسائل. ويزود **كيس المح Yolk sac** الجنين بالغذاء القادم من المح عن طريق أوعية دموية تربطه بمعي الجنين. أما **الممبار Allantois** فيحيط بتجويف تخرج إليه النواتج الضارة للجنين.

2. **الجلد الجاف**: تمتلك معظم البرمائيات الحية جلدًا رطبًا، وعليها أن تبقى في أماكن رطبة لتتجنب الجفاف. أما الزواحف فلها جلد جاف، ومانع لتبخر الماء، إذ توجد طبقة من الحراشف تغطي أجسامها، وتمنع فقد الماء. تتطور الحراشف من خلايا سطحية مملوءة بالكيراتين، وهو البروتين نفسه الذي يشكل المخالب، والأظافر، والشعر، وريش الطيور.





الشكل 35-18

جماجم مجموعة الزواحف. تُميز مجموعة الزواحف بعدد الفتحات الموجودة على جانب الرأس خلف المحجر: صفر لعديمة الأقواس، 1 لملتحمة الأقواس، 2 لثنائية الأقواس.

3. **التنفس الصدري**: تتنفس البرمائيات بعصر حنجرتها لضخ الهواء نحو الرئتين، وهذا أمر يقيِّد قدرتها على التنفس لتكون محدودة بحجم الفم فقط. أما الزواحف فقد طورت تنفسًا رئويًّا، إذ تُوسع أو تُضيق حجم القفص الصدري، ما يسبب دخول الهواء إلى الرئتين أو يجبره على الخروج منهما. فقدرة هذا النظام إذن محددة بحجم الرئتين فقط.

سادت الزواحف الأرض مدة 250 مليون سنة

خلال مدة 250 مليون سنة، كانت الزواحف فقريات اليابسة الضخمة السائدة، وخلال هذه المدة ظهرت سلاسل مختلفة من مجموعات الزواحف، ثم اختفت.

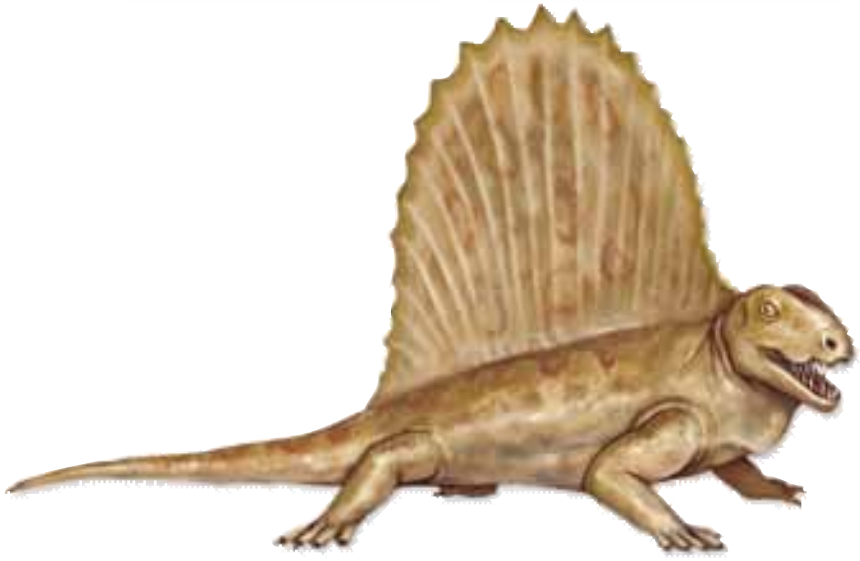
ملتحمة الأقواس (سينابدا) *Synapsida*

إحدى الصفات المهمة في تصنيف الزواحف هي وجود عدد من الفتحات خلف العيون (الشكل 35-18). تتعلق عضلات فك الزواحف بهذه الثقوب، ما يسمح لها أن تقضم بقوة أكبر. أولى المجموعات التي سادت كانت ملتحمة الأقواس (**سينابدا Synapsida**) التي كان لجمجمتها زوج من الفتحات الصدغية خلف فتحات العيون.

الزواحف الحوضية (**بيليكوسور Pelycosaurs**) مجموعة مهمة من ملتحمة الوجه الأولى، وقد سادت مدة 50 مليون سنة، وشكلت 70% تقريبًا من فقريات اليابسة، وقد وزنت بعض الأنواع قرابة 200 كجم. وقد تمكنت هذه الزواحف بما لديها من أسنان طويلة حادة وشبيهة بالسكين، أول مرة بين فقريات اليابسة، من قتل حيوانات أخرى بحجمها (الشكل 35 - 19).

استُبدلت الزواحف الحوضية منذ نحو 250 مليون سنة بنوع آخر من ملتحمة الأقواس، يدعى وجه الوحش أو ثيرابسدا (الشكل 35-20). تشير بعض الأدلة إلى أن هذه المجموعة الأخيرة كانت من ذوات الدم الحار، وقادرة على توليد الحرارة داخليًّا، وربما امتلكت بعض الشعر أيضًا، وقد مكن هذا ثيرابسدا من أن تكون أكثر نشاطًا من الفقريات الأخرى عندما كان الشتاء طويلًا وباردًا.

كانت الزواحف ثيرابسدا فقريات اليابسة السائدة لما يقارب 20 مليون سنة (تدعى أيضًا زواحف شبيهة الثدييات)، إلى أن استبدلت بشكل كبير منذ نحو 230 مليون سنة بمجموعة أخرى من الزواحف تدعى ذات القوسين. انقرضت معظم ثيرابسدا منذ 170 مليون سنة، لكن مجموعة واحدة بقيت، وأنجبت أنسالًا تعيش حتى اليوم، وهي الثدييات.



الشكل 35-19

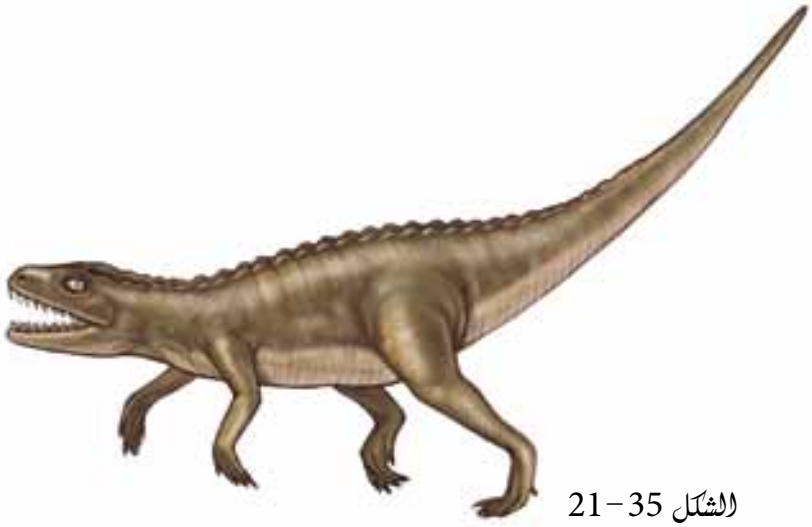
الزواحف الحوضية (بيليكوسور). الجنس *Dimetrodon* هو زاحف حوضي آكل للحوم، وله شراع ظهري، ربما كان ينظم درجة حرارة الجسم بتبديد الحرارة أو جمعها عند الاستدفاء بالشمس.

الشكل 35-20

وجه الوحش: هذا الحيوان الصغير يشبه ابن عرس، وينتمي إلى الجنس *Megazostrodon* وربما كان له فرو. هذا الحيوان الذي عاش في الحقبة الترياسية (الثلاثية) يشبه إلى حد كبير الثدييات الحديثة، لدرجة أقنعت بعض العلماء بوصفه أوائل الثدييات.

الزواحف ذات الأقواس *Archosaurs*

ذات القوسين هي زواحف لها جمجمة، فيها زوجان من الثقوب الصدغية، وقد كانت كالبرمائيات والزواحف المبكرة من ذوات الدم البارد. وقد وجدت تشكيلة من ذات القوسين في الحقبة الثلاثية (الترياسية) (213-248 مليون سنة خلت)، لكن مجموعة منها، وهي الزواحف القوسية كانت ذات أهمية تطورية خاصة؛ لأنها أنتجت التماسيح، والزواحف المجنحة، والديناصورات، والطيور (الشكل 35-21).



الشكل 35–21

زاحف مبكر من ذات الأقواس. هذا الجنس *Euparkeria* كان له صفوف من صفائح عظمية على طول جانبي العمود الفقري، كالذي نشاهده في التماسيح الحديثة والقاطور.

كان من بين الزواحف ذات الأقواس أضخم حيوانات شهدها العالم حتى الآن وأوائل فقريات اليابسة ذات الرِّجْلين التي تقف وتمشي على قدمين. بانتهاء الحقبة الثلاثية، تطورت إحدى مجموعات الزواحف القوسية لتعطي الديناصورات.

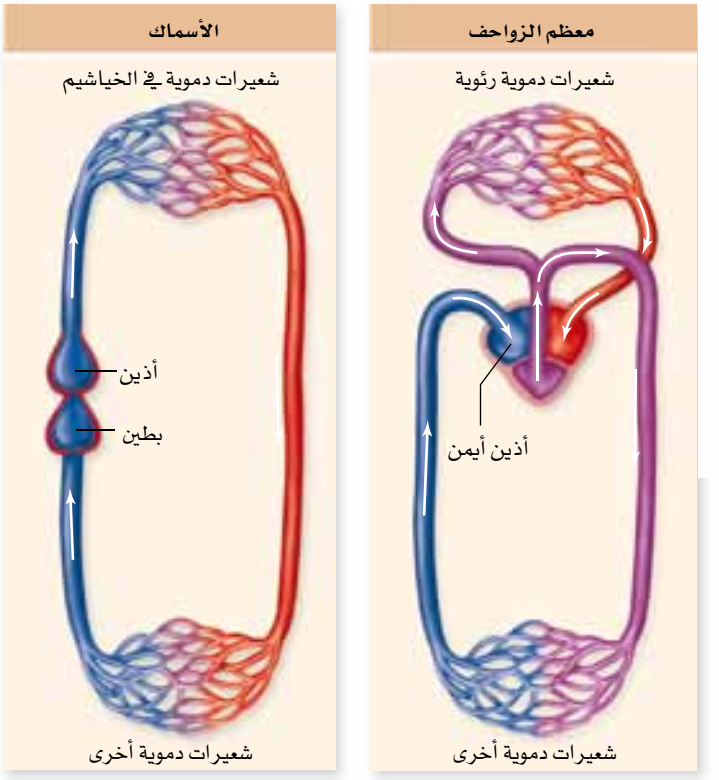
تطورت الديناصورات منذ نحو 220 مليون سنة، وبخلاف ثنائية الرِّجْلين ثنائية الأقواس كانت أرجلها متموضعة تحت جسمها تمامًا (الشكل 35–22). وضع هذا التصميم وزن الجسم مباشرة فوق الأرجل ما سمح للديناصورات أن تركض بسرعة كبيرة وبرشاقة. في مرحلة لاحقة، طوّر أنواع عدة من الديناصورات أحجامًا ضخمة، فعادت إلى وضع ذي أربع أرجل لإسناد وزنها الهائل. واستمرت الديناصورات في البقاء لتصبح أكثر فقاريات اليابسة نجاحًا، فسادت الأرض أكثر من 150 مليون سنة. لكن الديناصورات جميعها انقرضت فجأة منذ 65 مليون سنة تقريبًا، نتيجة لأثر كويكب على ما يبدو.

الصفات المهمة للزواحف الحديثة

عند تخيل تركيب البيضة الأمنيوتية، يمكن القول: إن الزواحف والرهليات الأخرى لا تمارس التلقيح الخارجي، كما تفعل معظم البرمائيات. فالحيوانات المنوية

الشكل 35–22

هيكل أعيد بناؤه للزاحف *Afrovenator*. هذا المخلوق آكل للحوم، ويمشي على قدمين، وكان طوله نحو 30 قدمًا، وعاش في إفريقيا منذ 130 مليون سنة تقريبًا.



أ. ب.

الشكل 35–23

مقارنة بين الدورة الدموية للزواحف وللأسماك. أ. في معظم الزواحف، الدم المحمل بالأكسجين (أحمر) يعاد ضخه بعد مغادرته الرئتين، وتبقى الدورة الدموية لبقية الجسم قوية ونشطة. ب. الدم في الأسماك يتدفق من الخياشيم مباشرة إلى بقية الجسم ما يعطي دورة دموية بطيئة.

ليست قادرة على اختراق الحواجز الغشائية التي تحمي البيضة. بدلًا من ذلك، يضع الذكر المني داخل الأنثى، فيلقح المني البيوض قبل أن تتكون عليها الأغشية الواقية، وهذا يدعى الإخصاب الداخلي.

طرأ تحسن على الجهاز الدوري للزواحف، إضافة إلى ما كان لدى البرمائيات والأسماك، ما زود الجسم بالأكسجين بكفاءة (الشكل 35–23). تحقق هذا الإنجاز بامتداد حاجز ضمن القلب ابتداءً من الأذين، وامتدادًا نحو البطين. هذا الحاجز أنشأ جدارًا جزئيًّا يميل لتقليل مزج الدم قليل الأكسجين بالدم الغني بالأكسجين ضمن البطين. في التماسيح، يقسم هذا الحاجز البطين تمامًا، ما يشكل أربع حجرات، كما هو حال قلب الطيور والثدييات (وربما كما فعلت الديناصورات).

الزواحف الحية جميعها **خارجية الحرارة Ectothermic** (كانت تسمى ذوات الدم البارد سابقًا)، وهي تحصل على الحرارة من مصادر خارجية. في المقابل، فالحيوانات **داخلية الحرارة Endothermic** قادرة على توليد الحرارة داخليًّا (انظر الفصل الـ 50). وعلى الرغم من أن الزواحف خارجية الحرارة، فإن ذلك لا يعني أنها لم تكن قادرة على تنظيم درجة حرارة أجسامها. فكثير من الأنواع كانت قادرة على تنظيم درجة الحرارة بدقة، وذلك بالحركة نحو الشمس أو بعيدًا عنها. بهذه الطريقة، تستطيع بعض عظايا الصحراء أن تُبقي أجسامها على درجة حرارة ثابتة خلال النهار بأكمله. أما في الأيام الغائمة، أو في الأنواع التي تعيش في بيئات ظليلة، فإن هذا التنظيم الحراري لا يكون ممكنًا، وفي مثل هذه الحالات تكون درجة حرارة الجسم كدرجة حرارة البيئة المحيطة نفسها.

رتبة السلاحف

أ.

رتبة خطمية الرأس

ب.

الشكل 35-24

الرتب الحية للزواحف. أ . السلاحف: السلحفاة ذات البطن الأحمر *Pseudemys rubriventris* (اليمين) تستدفئ بالشمس، وهي طريقة فعالة، بها تنظم الحيوانات خارجية الحرارة درجة حرارة أجسامها. الصدفة التي تشبه القبة للسلاحف البرية كسلحفاة نجمة سريلانكا التي نشاهدها هنا *Geochelone elegans* تعطي حماية ضد المفترس، وهي عادة سلاحف برية تمامًا. ب. تواتارا *Sphenodom punctatus*: الأعضاء المتبقية الوحيدة من مجموعة خطمية الرأس القديمة. وعلى الرغم من أنها تشبه العظايا، فإن السلف المشترك لخطمية الرأس وللعظايا انشق منذ 250 مليون سنة. **ج.** الحرشفيات: عظايا مطوقة *Crotaphytus collaris* تبدو إلى اليمين وأفعى خضراء ملساء *Liochlorophis vernalis* إلى اليسار. **د.** التماسيح: معظم التماسيح كالنوع المبين في الشكل *Crocodylus acutus* والغريال *Gavialis gangeticus* (اليسار) تشبه الطيور والثدييات في أن لها قلبًا مكونًا من أربع حجرات، الزواحف الأخرى جميعها لها قلب بثلاث حجرات. التماسيح كالطيور أشد قرابة بالديناصورات منها ببقية الزواحف الحية الأخرى.

تنتمي الزواحف الحديثة إلى أربع مجموعات

تضم الرتب الأربع الحية للزواحف نحو 7000 نوع. توجد الزواحف في العالم كله باستثناء المناطق الأبرد، إذ لا يسمح كونها خارجية الحرارة بالبقاء. الزواحف من أكثر فقريات اليابسة عددًا وتنوعًا.

رتبة السلاحف: السلاحف *Order Chelonia*

تتكون رتبة السلاحف (الشكل 35-24 أ) من 250 نوعًا تقريبًا من السلاحف (معظمها مائية) والسلاحف البرية (وهي برية). تفتقر السلاحف بأنواعها إلى الأسنان لكن لها منقارًا حادًّا. وتختلف عن الزواحف الأخرى جميعها بأن أجسامها محاطة بصدفة واقية، ومعظمها قادر على سحب رأسه وأرجله إلى داخل الصدفة؛ لتوفير حماية كاملة من المفترس.

تتكون الصدفة من جزأين رئيسين: الدَّبل وهو درع ظهرية، والصدر وهو جزء بطني. ومن أجل التزام أساسي بهذا التصميم الهيكلي للصدفة، نجد أن الفقرات والأضلاع لمعظم أنواع السلاحف تتحد مع داخل الدبل، ويأتي معظم الدعم من خلال تعلق العضلات من الصدفة.

وبينما نجد أن معظم السلاحف البرية ذات صدفة تشبه القبة، ويستطيع الحيوان أن يتراجع برأسه وأطرافه داخلها، نجد أن السلاحف القاطنة في الماء انسيابية الشكل وذات صدفة قرصية تسمح بالدوران في الماء. تمتلك سلاحف المياه العذبة أصابع ذات وَتَرَة (غشاء بين الأصابع)، أما السلاحف البحرية، فقد تحورت أطرافها الأمامية إلى زعانف.

وعلى الرغم من أن السلاحف البحرية تقضي معظم وقتها في البحر، فإن عليها العودة إلى اليابسة لوضع بيوضها. ويقطع كثير من الأنواع مسافات طويلة للقيام بذلك، فسلاحف الأطلسي الخضراء *Chelonia mydas* تهاجر من أماكن تغذيتها على شواطئ البرازيل إلى جزر أسنشن في منتصف الأطلسي الجنوبي - وهي مسافة تزيد على 2000 كم - لوضع البيوض على الشواطئ نفسها التي فقست هي عليها.

رتبة خطمية الرأس: تواتارا *Order Rhynchocephalia*

تضم رتبة خطمية الرأس اليوم نوعين فقط من التواتارا، وهي حيوانات كبيرة تشبه العظايا، ويصل طولها نحو نصف متر (الشكل 35-24 ب). المكان الوحيد الذي يوجد به هذان النوعان المهددان بالانقراض هو تجمع جزر صغيرة قرب سواحل نيوزيلندا. إن التنوع المحدود لخطمية الرأس الحديثة يناقض الماضي التطوري الخصب لها: ففي الحقبة الثلاثية، عايشت خطمية الرأس إشعاعًا تكيفيًّا كبيرًا، فأعطت أنواعًا عدة اختلفت في أحجامها وبيئاتها.

إحدى الصفات غير العادية للتواتارا (ولبعض العظايا)، هي وجود "عين ثالثة" غير واضحة على قمة رأسها تدعى "العين الجدارية"، هذه العين، التي تختفي تحت طبقة رقيقة من الحراشف، لها عدسة وشبكية ومرتبطة بأعصاب إلى الدماغ. لماذا تكون عينًا إذا غطيت؟ قد تعمل العين الجدارية على تحذير الحيوان، عندما يكون قد تعرض للكثير من الشمس ما يعطيه حماية ضد ارتفاع درجة الحرارة. التواتارا، وبخلاف معظم الزواحف، يكون أعظم نشاطًا على درجات الحرارة المنخفضة، فهو يحفر في أثناء النهار، ويتغذى ليلًا على الحشرات والديدان وحيوانات أخرى صغيرة.

تعد خطمية الرأس الأوثق قرابة بالأفاعي والعظايا، وكلها تشكل مجموعة تدعى الزواحف الحرشفية Lepidosauria.

رتبة الحرشفيات

جـ

رتبة التماسيح

د

رتبة ذوات الحراشف (الحرشفيات): العظايا والأفاعي *Order Squamata*

تضم رتبة الحرشفيات (الشكل 35-24ج) 3800 نوع من العظايا، ونحو 3000 نوع من الأفاعي. إحدى الصفات المميزة لهذه الرتبة هي وجود زوج من أعضاء الجماع في الذكر. إضافة إلى ذلك، فقد سمحت تغيرات في كل من الرأس والفك بقوة وحركة أكبر. فمعظم العظايا والأفاعي هي آكلة لحوم تفترس الحشرات والحيوانات الصغيرة، وهذه التحسينات التي طرأت على تصميم الفك أسهمت بقوة في نجاحها التطوري.

تتميز الأفاعي التي تطورت من سلف من العظايا، بغياب الأطراف وبوجود الجفون المتحركة والأذن الخارجية، إضافة إلى وجود عدد كبير من الفقرات (يصل أحيانًا إلى 300 فقرة). إن فقدان الأطراف تطور في الحقيقة أكثر من عشر مرات في الزواحف، ولكن الأفاعي تشكل الحالة الأكثر تطرفًا في هذا الاتجاه.

تشمل العظايا الشائعة الإيجوانا، والحرباء، والوَزَغَة (أبو بريص) والأنول، ومعظمها حيوانات يصل طولها إلى أقل من قدم. تعود أكبر العظايا إلى عائلة الوَرَل، وأكبر عظايا هذه العائلة تنين الكومودو في إندونيسيا الذي يصل إلى 3 أمتار طولًا، وقد يزن 100 كجم. تختلف كذلك الأفاعي في الطول من بضعة إنشات إلى أكثر من 10 أمتار.

تعتمد معظم العظايا والأفاعي على الرشاقة والسرعة في الإمساك بالفريسة وتجنب المفترس. هناك نوعان سامان فقط من العظايا هما: وحش الهيليّة Gila الذي يعيش في جنوب غرب الولايات المتحدة، والعظاءة ذات الخرز التي تعيش في غرب المكسيك. كذلك، فإن معظم أنواع الأفاعي غير سامة، فمن بين 13 عائلة من الأفاعي توجد 4 منها سامة: ذات الأنياب الثابتة، وتضم الكوبرا، والكُرَيْت، وأفاعي المرجان، والأفاعي البحرية، والأفاعي الخبيثة ذات الأسنان المتحركة (الصل-وسيدة الأجمات، والأفاعي المجلجلة، وأفعى المُقَسِين وذات الرأس النحاسي)، وبعض الثعابين (أفعى الأشجار، والإفريقية، وأفعى الأغصان). كثير من العظايا، كالأنول، والسقنقور، والوَزَغة لها القدرة على فقد ذيلها وتجديده بآخر غيره، وهذه القدرة تمكنها من الهرب من المفترس.

رتبة التماسيح: التمساح والقاطور (التمساح الأمريكي)
Order Crocodylia

تضم رتبة التماسيح 25 نوعًا من زواحف عملاقة مائية في الأصل (الشكل 35-24د). تضم الرتبة إضافة إلى التمساح والقاطور حيوانين أقل شيوعًا، هما: الكَيْمَن الأمريكي والغريال الهندي. وعلى الرغم من أن التماسيح جميعها متشابهة تقريبًا في الوقت الحاضر، فقط أظهرت تنوعًا عظيمًا في الماضي، ويشمل ذلك أنواعًا كانت برية تمامًا، وأخرى وصل طولها أكثر من خمسين قدمًا.

التماسيح غالبًا حيوانات ليلية تعيش في الماء أو قربه في المناطق الاستوائية، وشبه الاستوائية في إفريقيا، وآسيا، وأمريكا. فالتمساح الأمريكي *Crocodylus acutus* موجود في جنوب فلوريدا، وكوبا، وفي المناطق الاستوائية لأمريكا الوسطى. أما تمساح النيل *Crocodylus niloticus* وتمساح مصاب الأنهار *Crocodylus porosus* فيمكن أن يصلا إلى حجم ضخم، وهما يتسببان في كثير من الإصابات القاتلة كل عام.

هناك نوعان من القاطور؛ أحدهما يعيش في جنوب الولايات المتحدة *Alligator mississippiensis* والنوع الآخر مهدد بالانقراض، ويعيش في الصين *Alligator sinensis*. أما الكيمن، وهو شبيه بالقاطور فيعيش في أمريكا الوسطى، والغريال هو مجموعة من التماسيح آكلة للأسماك ذات خطم رفيع طويل، وتعيش في الهند وبورما.

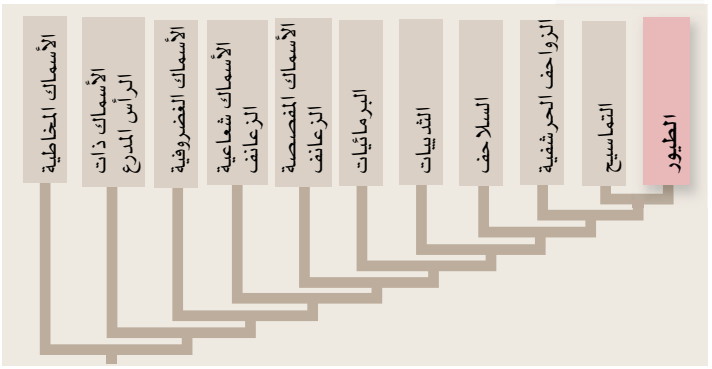
التماسيح جميعها آكلة للحوم، وهي تصطاد بطريقة السرقة، إذ تنتظر في كمين لفريستها، ثم تنقض عليها بعنف. أجسامها متكيفة تمامًا مع هذا الشكل من الصيد؛ فالعيون تقع في أعلى الرأس وفتحات المناخر على قمة الخطم، وهكذا ترى وتتنفس، في حين تستلقي بهدوء تحت الماء تقريبًا. أفواه التماسيح كبيرة جدًا ومعززة بأسنان حادة ورقبة قوية، وهناك صمام في مؤخرة الفم يمنع الماء من دخول الممرات التنفسية، عندما يتغذى التمساح تحت الماء.

تشبه التماسيح الطيور في الكثير من الطرق أكثر مما تشبه الزواحف الحية الأخرى. فالتماسيح مثلًا تبني أعشاشًا، وتعتني بصغارها (صفات تشترك بها مع بعض الديناصورات على الأقل) ولها قلب من أربع حجرات كالطيور.

لماذا تعد التماسيح أكثر شبهًا بالطيور منها بالزواحف الأخرى؟ يتفق معظم علماء الأحياء على أن الطيور هي في الحقيقة الخَلَف المباشر للديناصورات. التماسيح والطيور كلاهما أكثر قرابة للديناصورات ولبعضهما، مما هما للعظايا والأفاعي.

كثير من مجموعات الزواحف الرئيسة التي سادت الحياة على الأرض مدة 250 مليون سنة انقرضت الآن. الرتب الأربع الحية من الزواحف تشمل السلاحف، وتواتارا، والعظايا والأفاعي، والتماسيح.

7-35 الطيـور



يكمن نجاح الطيور في تطوير تركيب فريد في عالم الحيوان – أي الريش. يُعدّ الريش الذي تطور من حراشف الزواحف تكيفًا مثاليًّا للطيران، إذ يعمل كسطح انسيابي حامل خفيف الوزن يمكن استبداله بسهولة إذا ما تهتك (وليس كالأجنحة الجلدية للخفاش والزواحف المجنحة المنقرضة الذي يكون حساسًا).

تعد **الطيور** اليوم (طائفة الطيور **Aves**) الأكثر تنوعًا بين فقريات اليابسة، إذ تضم 28 رتبة، تحتوي ما مجموعه 166 عائلة، ونحو 8600 نوع (الجدول 35-4).

الريش والهيكل العظمي خفيف الوزن

صفتان أساسيتان للطيور

تفتقر الطيور الحديثة إلى الأسنان، ولها ذيل أثري، ولكنها لا تزال تحتفظ بكثير من صفات الزواحف. فمثلًا تضع الطيور بيوضًا رهلية (أمنيوتية)، وإن حراشف الزواحف موجودة على الأقدام والأجزاء السفلى من أرجل الطيور.

هناك ميزتان رئيستان تميزان الطيور عن الزواحف الحية:

1. **الريش:** حراشف زواحف متحورة لتؤدي وظيفتين، هما: تقدم قوة رفع للطيران، وتحفظ الحرارة. ويجمع تركيب الريش بين المرونة القصوى والقوة وخفة الوزن (الشكل 35-25).

الشكل 35-25

ريشة. الجزء المكبر يبين الأفرع الثانوية والشعرات وكيف ترتبط مع بعضها عن طريق شعيرات وخطافات مجهرية.

يتطور الريش من نقر صغيرة في الجلد تدعى الجراب، وفي ريشة طيران نموذجية، ينبثق محور الريشة من الجراب، كما تنبثق أزواج من الرِّيَش (البنود) من جانبي المحور المتعاكسين. وعند النضج يكون لكل بند كثير من الأفرع تدعى شعرات، ولكل من هذه نتوءات تدعى شعيرات تكون مزودة بخطافات مجهرية. تربط الخطافات الشعرات ببعضها ما يعطي الريشة سطحًا متصلًا وقويًّا، لكنه مرن في شكله.

يمكن استبدال الريش كما هو حال الحراشف، والريش مميز للطيور دون غيرها من الحيوانات الحية، ولكن دليل الأحافير الحديث يقترح أن بعض الديناصورات كان لها ريش أيضًا.

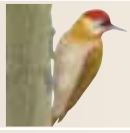
2. **هيكل الطيران.** عظام الطيور رقيقة ومجوفة، وكثير منها ملتحمة، ما يجعل هيكل الطيور أكثر متانة من هيكل العضلات في أثناء الطيران. تأتي قوة الطيران النشط من عضلات صدر كبيرة تشكل 30% تقريبًا من كامل وزن الطائر. تمتد هذه العضلات من الجناح، وتتعلق بعظمة الصدر التي تضخمت كثيرًا، وحملت تركيبًا بارزًا يشبه الزورق تتعلق به العضلات. تتعلق عضلات الصدر كذلك بعظام الترقوة الملتحمة التي تشكل معًا ما يدعى عظمة الترقوة، ولا توجد فقريات حية لها عظام ترقوة ملتحمة، أو عظمة صدر كالزورق.

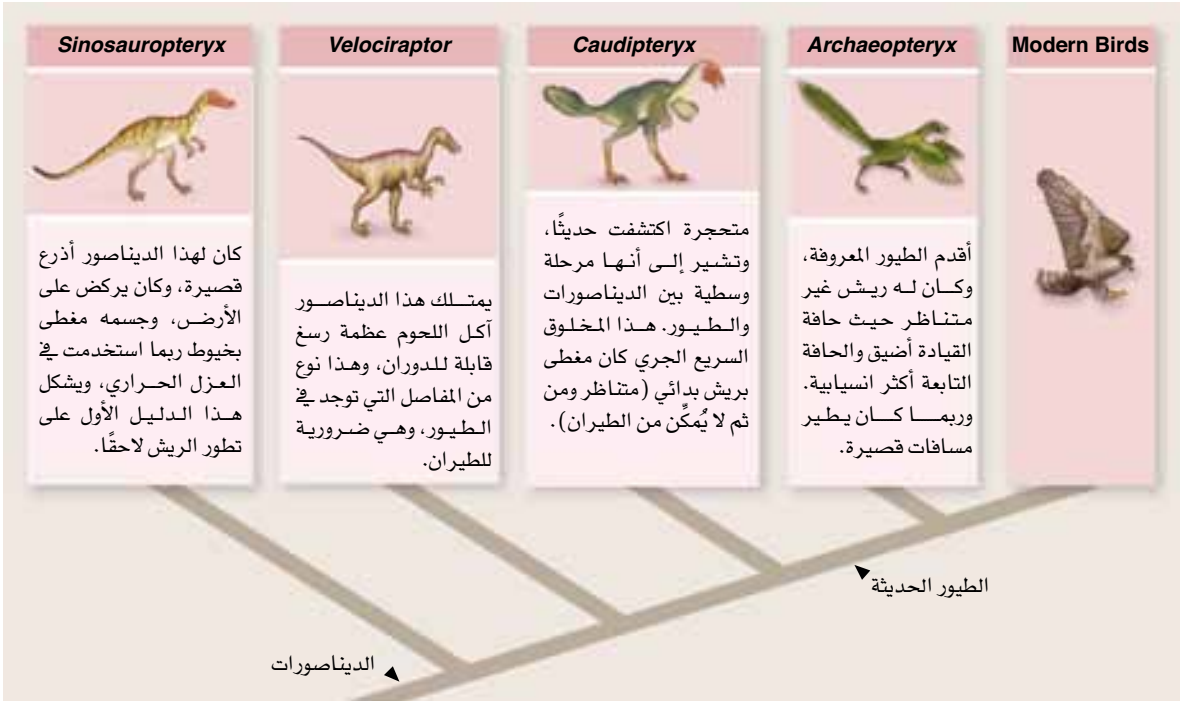
ظهرت الطيور منذ نحو 150 مليون سنة

وجدت أول متحجرة للطيور، وتدعى *Archaeopteryx* منذ 150 مليون سنة (الشكل 22-13؛ 35-26)، وذلك عام 1862 في مقلع للحجارة في بافاريا بألمانيا، حيث خُتم انطباع ريشها بوضوح في الصخور. يتشاطر هيكل أركيوبتركس كثيرًا من الصفات مع الديناصورات ذات الأقدام الصغيرة. كان حجم أركيوبتركس بحجم الغراب، ولها جمجمة ذات أسنان، والقليل من عظامها ملتحم مع بعضه، وقد جرى الاعتقاد أن عظامها كانت مصمتة، وليست مجوفة كعظام الطيور، وقد كان لها ذنب طويل يشبه أذناب الزواحف، ولم تكن عظمة الصدر متضخمة، كما في الطيور الحديثة، لتعليق عضلات الطيران. وأخيرًا، فإن تركيب هيكل الطرف الأمامي كان مطابقًا تقريبًا لمثيله في الديناصورات ذات الأقدام.

الشكل 35-26

متحجرة أركيوبتركس *Archaeopteryx*. كانت متحجرة أركيوبتركس شديدة القرابة مع أسلافها من الديناصورات التي تمشي على قدمين، وكانت في حجم الغراب، وعاشت في غابات وسط أوروبا منذ 150 مليون سنة. لا يعرف اللون الحقيقي لريش هذه المتحجرات.

الجدول 35-4	رتب الطيور الرئيسة		
الرتبة	أمثلة نموذجية	الصفات المميزة الأساسية	العدد التقريبي للأنواع الحية
Passeriformes	الغراب، الطائر المحاكي، أبو الحناء، الدوري، الزرزور، الهازجة	الطيور المغردة. أعضاء صوت متطورة جدًا، أقدام جاثمة، تعتني بصغارها.	5276 (الأكبر بين الطيور 60% من الأنواع)
Apodiformes	الطائر الطنان، السّمامة.	سريعة الطيران. أرجل قصيرة، جسم صغير، ضربات أجنحة سريعة.	428
Piciformes	دليل المناحل، الطُّوقان، نقار الخشب 	نقار الخشب أو الطوقان. أقدام للقبض، منقار حاد كالإزميل يستطيع كسر الخشب.	383
Psittaciformes	الببغاء، الببغاء ذات العرف	الببغاوات. منقار قوي كبير لكسر البذور، أعضاء صوت متطورة.	340
Charadriiformes	الأوَك، النورس، الزقزاق، الطيطوى، الخرشنة	طيور الشاطئ. أرجل طويلة رفيعة، منقار فاحص.	331
Columbiformes	الحمام، والحمام البري	الحمام. أقدام جاثمة، جسم مستدير قوي.	303
Falconiformes	النسر، الباز، الصقر	طيور نهارية مفترسة. آكلة لحوم، بصر حاد، منقار حاد مدبب لتمزيق اللحم، نشطة في أثناء النهار.	288
Galliformes	الدجاج، السلوى (السُّماني)، التّدَرُّج	طيور الصيد. لها قدرة محدودة على الطيران، أجسامها مستديرة.	268
Gruiformes	الواق، الكُركي، الغراء، التفيلق	طيور المستنقعات. أرجل طويلة، أشكال جسم متنوعة، تقطن السبخات والمياه الضحلة.	209
Anseriformes	البط، الإوز، الإوز العراقي	طيور الماء. أصابع ذات غشاء، منقار عريض ذو حواف للترشيح.	150
Strigiformes	بوم الحظائر، البوم الصيّاح	البوم. طيور ليلية مفترسة، منقار قوي، أقدام قوية.	146
Ciconiiformes	البلشون (مالك الحزين)، اللقلق، أبو منجل	طيور مخوضة. أرجل طويلة، أجسام كبيرة.	114
Procellariformes	القَطْرَس، طائر النوء	طيور بحرية. منقار يشبه الأنبوب، قادر على الطيران مدّة طويلة من الزمن.	104
Sphenisciformes	البطريق الإمبراطور، البطريق ذو العرف	البطاريق. بحرية، أجنحة متحورة للسباحة، عديم الطيران، يوجد في نصف الكرة الجنوبي فقط، غطاء سميك من الريش العازل.	18
Dinornithiformes	الكيوي	الكيوي. عديم الطيران، صغير، مقصور على نيوزيلندا.	2
Struthioniformes	النعام	النعام. أرجل جري قوية. عديم الطيران، إصبعان فقط، كبير الحجم.	1



الشكل 35-27

المسار التطوري حتى الطيور. يُجمع العلماء جميعهم تقريبًا على قبول النظرية القائلة: إن الطيور تحدرت مباشرة من ديناصورات ذات أقدام.

ونظرًا لخصائص الديناصور الكثيرة التي امتلكتها أركيوبتركس، فقد صنفت هذه المتحجرات في البداية على أنها الزاحف *Compsognathus*، وهو ديناصور صغير من ذوات الأقدام، وله حجم مماثل تقريبًا، إلى أن تم اكتشاف الريش على المتحجرات. إن ما جعل من متحجرة أركيوتركس طائرًا متميزًا هو وجود الريش على أجنحتها وذيلها.

إن التشابه المذهل بين أركيوبتركس وكمبسوقناش قاد معظم علماء الأحافير إلى الاستنتاج أن آركيوبتركس هي سليلة الديناصورات–وبالفعل تعد الطيور الحديثة هي ديناصورات ذات ريش. وبعض العلماء يتحدث مازحًا بالقول إنه: "يحشو الديناصور" من أجل عشاء العيد. وقد قاد الاكتشاف الحديث الذي تم في الصين، لمتحجرات الديناصورات ذات الريش إلى إسناد كبير لهذا الاستنتاج.

فالديناصور كوديبرتكس *Caudipteryx* حلقة وسطية واضحة بين أركيوبتركس والديناصورات، إذ إن له ريشًا كبيرًا على ذيله وأذرعه، ولكن له أيضًا كثير من صفات الديناصورات مثل *Velociraptor* (الشكل 35-27)، وحيث إن أذرع كوديبتركس كانت أقصر من أن تستخدم أجنحة، فإن الريش هنا لم يتطور من أجل الطيران، ولكن من أجل العزل، كما هو حال الفراء في الثدييات.

إن الطيران قدرة حققتها أنواع محددة من الديناصورات، عندما طورت أذرعًا أطول، وتسمى هذه الديناصورات الطيور. وعلى الرغم من قرابتها للديناصورات، فإن الطيور تبدي ثلاثة ابتكارات تطورية، هي: الريش، والعظام المجوفة، والآليات الفيزيولوجية المتمثلة في الرئات الفعالة جدًا التي سمحت بطيران قوي ومتواصل.

مع بداية الحقبة الطباشيرية، أي منذ ملايين عدة من السنين فقط بعد وجود أركيوبتركس، ظهرت تشكيلة متنوعة من الطيور لديها كثير من صفات الطيور الحديثة. فالمتحجرات التي اكتشفت خلال السنوات الأخيرة في منغوليا، وإسبانيا، والصين كشفت عن وجود تشكيلة واسعة من طيور ذات أسنان، وعظام مجوفة، وعظمة صدر لإدامة الطيران (الشكل 35-28). وكشفت متحجرات أخرى طيور غوص متخصصة جدًا، ولا تطير. إن الطيور المتنوعة في الحقبة الطباشيرية تقاسمت الفضاء مع الزواحف المجنحة مدة 70 مليون سنة.

الشكل 35-28

متحجرة للطيور من العصر الكربوني المبكر. كان للجنس *Confuciornis* ريش ذنب طويل. بعض النماذج المتحجرة لهذا النوع كانت تفتقر إلى ريش الذنب الطويل ما يشير إلى أن هذه الصفة كانت موجودة فقط في جنس واحد، كما هو الحال في بعض الطيور الحديثة.

إن سجل أحافير الطيور غير متكامل؛ لأن انطباع الريش لا يتحجر بشكل جيد، وأن عظام الطيور الحديثة مجوفة وهشة. ولهذا، فقد اشتقت العلاقات بين 166 عائلة تشكل الطيورالحديثة من دراسات التشريح، ودرجة تشابه DNA بين الطيور الحية.

الطيور الحديثة بالغة التنوع ولكنها تشترك في صفات عدة مميزة

تُعدّ الطيور غير القادرة على الطيران، كالنعامة، أقدم الطيور الحية. وقد ظهرت الطيور المائية كالبط والإوز بعد ذلك في مطلع الحقبة الطباشيرية، وتبعتها مجموعات متنوعة من نقار الخشب، والببغاوات، والسمامة، والبوم. وتطورت في منتصف الحقبة الطباشيرية رتبة العصافير التي تشكل 60% من أنواع الطيور اليوم. وبشكل عام، هناك 28 رتبة من الطيور تضم أكبرها أكثر من 5000 نوع (الشكل 35-29).

يمكن للمرء معرفة الكثير من المعلومات عن بيئة الطائر وغذائه بتفحص منقاره وقدميه. فالطيور آكلة اللحوم مثلًا كالبوم لها مخالب معقوفة للإمساك بالفريسة، ومناقير حادة لتمزيقها إربًا. أما منقار البط فهو مسطح لإزاحة الطين، ومناقير الحسون قصيرة وسميكة لكسر البذور.

وقد مكنت تكيفات الطيور الكثيرة من الاستجابة لمتطلبات الطاقة الهائلة المطلوبة للطيران بما في ذلك تكيفات تنفسية ودورية أخرى تتعلق بتنظيم حرارة الجسم.

التنفس الفعال

تستهلك عضلات الطيران كميات كبيرة من الأكسجين في أثناء الطيران النشط، فقد كانت رئات الزواحف ذات مساحة سطحية داخلية محدودة، ولم تكن كافية تقريبًا لامتصاص الأكسجين المطلوب، ورئات الثدييات ذات مساحة سطحية أكبر. أما رئات الطيور فقد واجهت هذا التحدي بتصميم مختلف جذريًّا.

عندما يحدث الشهيق في الطائر، فإن الهواء يمر متجاوزًا الرئة إلى سلسلة من الأكياس الهوائية واقعة قرب العظام المجوفة للظهر وداخلها. من هناك، ينتقل الهواء إلى الرئات، ثم إلى مجموعة من أكياس الهواء الأمامية قبل أن يخرج بعملية الزفير. ولأن الهواء يعبر كامل المسافة خلال الرئة في اتجاه واحد، فإن تبادل الغازات يكون فعالًا جدًا. وسنصف التنفس في الطيور بتفصيل أكبر في الفصل الـ 49.

الدورة الدموية الفعالة

إن الأيض المتسارع المطلوب لتزويد الطاقة للطيران النشط يتطلب أيضًا دورة دموية فعالة، بحيث إن الأكسجين الذي حصلت عليه الرئة يمكن نقله بسرعة إلى عضلات الطيران. وفي قلب معظم الزواحف الحية، يختلط الدم الغني بالأكسجين من الرئة مع الدم الفقير بالأكسجين العائد من بقية الجسم؛ لأن الحاجز بين البطينين غير مكتمل. في الطيور، الحاجز الذي يقسم البطين إلى حجرتين مكتمل تمامًا، والدورتان الدمويتان لا تمتزجان، ولهذا فإن عضلات الطيران تحصل على دم محمل بالأكسجين (انظر الفصل الـ 49).

بالمقارنة مع الزواحف والفقريات الأخرى، للطيور نبض قلب متسارع، فقلب الطائر الطنان يضرب نحو 600 ضربة في الدقيقة، وطائر القُرقُف ينبض قلبه 1000 مرة في الدقيقة. وفي المقابل، فإن قلب النعامة مثلًا ينبض 70 مرة في الدقيقة فقط، وهو معدل نبض القلب في الإنسان نفسه.

توليد الحرارة داخليًّا *Endothermy*

الطيور كالثدييات، حيوانات داخلية الحرارة. ويعتقد كثير من علماء الأحافير أن الديناصورات التي تطورت منها الطيور كانت داخلية الحرارة أيضًا. تحافظ الطيور على درجة حرارة أعلى بشكل واضح من معظم الثدييات، فهي تتراوح بين 40 - 42 س (درجة حرارة جسم الإنسان هي 37 س). ويُشكل الريش عازلًا ممتازًا؛ فهو يساعد على حفظ حرارة الجسم.

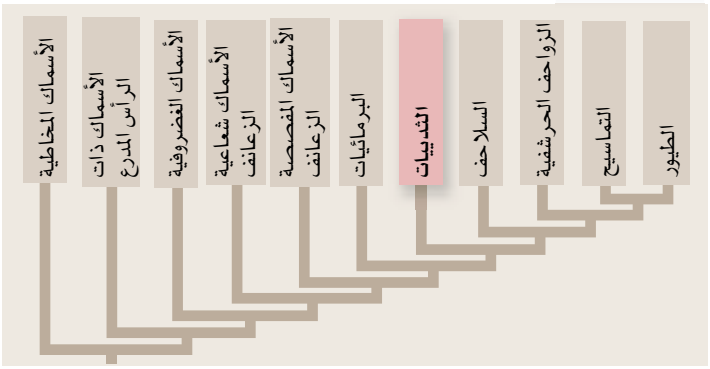
تسمح درجة الحرارة العالية التي تُحافظ عليها بتوليد الحرارة داخليًّا للأيض في عضلات الطيران بأن يسير بخطى سريعة ليزود ATP الضروري ليقود عملية انقباض العضلات.

للطيور أكبر تباين في الأنواع بين فقريات اليابسة. متحجرة أركيوبتركس، وهي أقدم متحجرة للطيور تُبدي صفات مشتركة بين الطيور والديناصور ثيرابسدا. تتميز الطيور الحديثة بوجود الريش، ووجود الحراشف على الأرجل والأقدام، وهيكل عظمي رقيق ومجوف، وأكياس هواء مساعدة، وقلب ذي أربع حجرات. تضع الطيور بيوضًا رهلية، وهي داخلية درجة الحرارة.

الشكل 35-29

تنوع رتبة العصافير، وهي الرتبة الأكبر بين الطيور. أ. مهاجر الصيف، *Prianga rubra*؛ ب. الدَّرس النيلي *Passerina cyanea*؛ جـ. القيق (أبو زريق) *Cyanositta stelleri*؛ د. المِمْراح *Dolichonyx oryzivorus*.

8-35 الثدييـات



هناك نحو 4500 نوع حي من **الثدييات** (طائفة **الثدييات** class **Mammalia**) وهو العدد الأقل من الأنواع في أي من الطوائف الخمس للفقريات. معظم الفقريات الضخمة التي تقطن اليابسة هي ثدييات. فعندما ننظر إلى السهوب الإفريقية مثلًا، فإننا نرى ثدييات كبيرة كالأسد والزرافة، والغزال، والوعل. لكن الثدييات النموذجية لا تكون بهذا الحجم عادة، فمن بين 4500 نوع هناك 3200 نوع من القوارض، والخفاش، والزَّبابة، والخلد.

للثدييات شعر وغدد لبنية وخصائص أخرى

تتميز الثدييات عن بقية طوائف الفقريات الأخرى بصفتين أساسيتين، هما: الشعر والغدد اللبنية، ولكن لديها أيضًا صفات عدة ملاحظة أخرى:

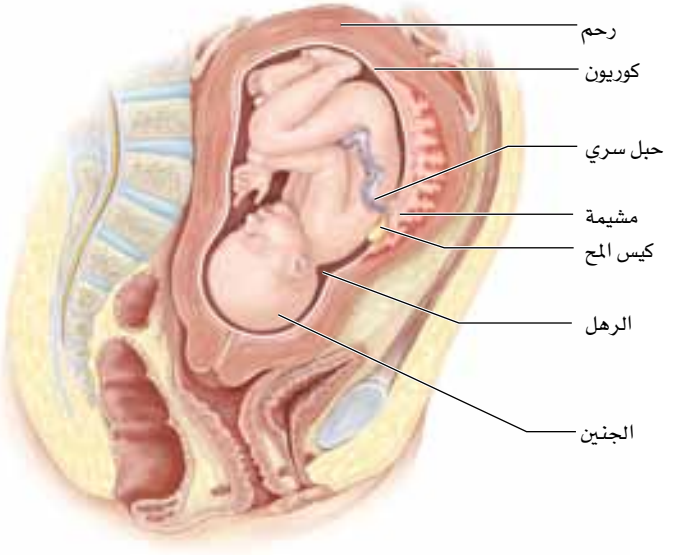
1. **الشعر**: الثدييات جميعها لها شعر، حتى تلك الحيوانات التي تبدو كأنها دون شعر كالحوت والدلفين، فإن لها شعيرات حسية على خطمها. إن تطور الفراء والقدرة على تنظيم درجة الحرارة مكنا الثدييات من غزو بيئات أبرد، لم تتمكن الزواحف خارجية الحرارة من أن تقطنها. الثدييات داخلية الحرارة تحافظ بشكل نموذجي على درجة حرارة جسم أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط. فوجود طبقة كثيفة تحت الجلد في كثير من الثدييات يخفض كمية الحرارة المفقودة.

إحدى الوظائف الأخرى للشعر هي التمويه. فلون فراء الحيوان الثديي ونمطه يتماهى عادة مع الخلفية التي يعيش عليها الحيوان. ففأر صغير بني اللون لا يبدو واضحًا عمليًّا على أرضية غابة مغطاة بأوراق الأشجار البنية، وإن التخطيط البرتقالي والأسود للنمر البنغالي يختفي مع اللون البرتقالي-البني للحشائش الطويلة، التي يصطاد بها النمر فريسته. يقوم الشعر كذلك بوظيفة حسية. فشوارب الهر أو الكلب صلبة شديدة الحساسية للمس. والحيوانات التي تنشط ليلًا، أو التي تعيش في الجحور، تعتمد غالبًا على هذه الشوارب؛ لتحديد موقع الفريسة، أو لتجنب الاصطدام بالعوائق. ويُستخدم الشعر أخيرًا بوصفه سلاحًا دفاعيًّا، فالشَّيْهم (النيص) والقنفذ يحميان نفسيهما عن طريق شعر صلب طويل حاد يدعى الأشواك.

ولا يشبه شعر الثدييات ريش الطيور الذي تطور من حراشف الزواحف، فالشعر هنا هو شكل مختلف تمامًا من تراكيب الجلد. فشعرة الثدييات المفردة طويلة، وهي خيط غني بالبروتين يمتد من أساس منتفخ تحت الجلد يعرف بجراب الشعرة. والخيط مؤلف في الغالب من خلايا ميتة مملوءة ببروتين كيراتين الليفي.

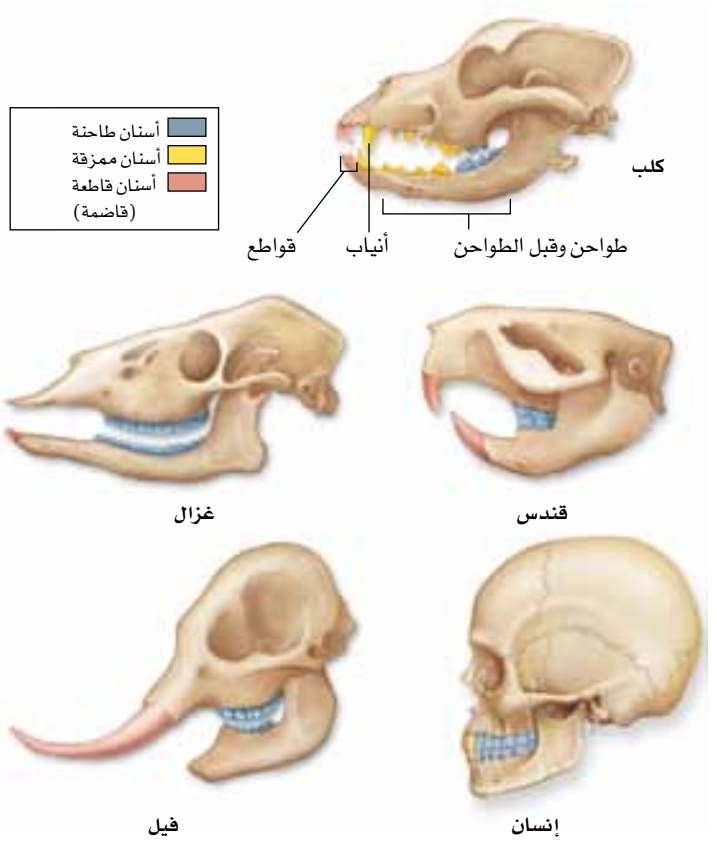
2. **الغدد اللبنية (الأثداء)**: تمتلك كل إناث الثدييات غددًا لبنية تفرز الحليب. وتولد صغار الثدييات دون أسنان، فتمتص هذا الحليب بوصفه غذاءً أساسيًّا لها. وحتى صغار الحيتان ترضع حليب أمهاتها. إنَّ الحليب غذاء غني جدًا بالطاقة (حليب الإنسان به 750 سعرًا كبيرًا في كل لتر)، وهو مهم ليسد احتياجات صغار الثدييات ذات النمو المتسارع من الطاقة العالية. ويأتي نحو 50% من الطاقة في الحليب من الدهون.
3. **داخلية الحرارة**: كما ذكرنا سابقًا، الثدييات داخلية الحرارة، وهو تكيف مهم سمح لها بأن تنشط في أي وقت من الليل أو النهار، وأن تقطن بيئات متطرفة تمتد من الصحراء وحتى حقول الجليد. كذلك، فالدورة الدموية الفعالة بفعل القلب ذي الحجرات الأربع والتنفس الفعال بفعل وجود الحجاب الحاجز (طبقة خاصة من العضلات تحت القفص الصدري تساعد على التنفس)، كل ذلك جعل معدل الأيض عاليًا، وهو ما يعتمد عليه تنظيم درجة الحرارة داخليًّا.
4. **المشيمة**: في معظم أنواع الثدييات، تحمل الأنثى الجنين قيد التكوين داخليًّا في الرحم وتغذيه من خلال المشيمة، ثم تلده صغيرًا جدًا. **المشيمة Placenta** هي عضو متخصص بجلب تيار دم الجنين ليكون على مقربة من تيار دم الأم (الشكل 35-30). يمكن أن يمر الماء والغذاء والأكسجين عبر المشيمة من الأم إلى الجنين، كما تعبر الفضلات نحو دم الأم لتخرج خارجًا.

إضافة إلى هذه الصفات الرئيسة، طورت سلالات الثدييات تكيفات عدة أخرى في بعض المجموعات. وهذه تشمل الأسنان المتخصصة، وقدرة حيوانات الرعي على هضم النباتات، والحوافر، والقرون المكونة من الكيراتين، وتكيفات للطيران في الخفاش.



الشكل 35-30

المشيمة. تميز المشيمة المجموعة الأكبر من الثدييات، وهي الثدييات المشيمية. تطورت المشيمة من الأغشية في البيضة الرهلية، أما الحبل السري فقد تطور من الممبار. يشكل الكوريون، وهو الجزء الخارجي من البيضة الرهلية، معظم المشيمة نفسها. تقوم المشيمة بالوظيفة المتوقعة من الرئات والأمعاء والكلى في الجنين، وكل ذلك دون امتزاج دم كلّ من الأم والجنين.



الشكل 35-31

للثدييات أنواع مختلفة من الأسنان المتخصصة. آكلة اللحوم كالكلاب لها أنياب تمزق بها الغذاء؛ بعض الأسنان كالطواحن وقبل الطواحن في الكلاب أيضًا قادرة على التمزيق. آكلة الأعشاب كالغزال لها أسنان قواطع تعمل كالإزميل في قطع الحشائش، أما الطواحن فهي مصممة لطحن النباتات. في القندس تسود الأسنان القاطعة كالإزميل. في الفيل أصبحت القواطع أسلحة متخصصة، أما الطواحن فتقوم بطحن الحشائش. الإنسان مختلف (مختلط) التغذية ولديه الأنواع الثلاثة: للطحن والتمزيق والقضم.

الأسنان المتخصصة

للثدييات أنواع مختلفة من الأسنان التي تخصصت بشكل كبير لمواءمة عاداتها الغذائية المحددة (الشكل 35-31). ومن الممكن عادة تحديد نوع غذاء الحيوان الثديي بالنظر إلى أسنانه. فأنياب الكلب الطويلة مثلًا تناسب تمامًا عملية العض والإمساك بالفريسة، وإن أسنانه الطواحن وقبل الطواحن مثلثة وحادة لتمزيق قطع اللحم التي تشكل غذاءه.

في المقابل، فإن أسنان آكلات العشب الكبيرة كالغزال تفتقر إلى الأنياب، وبدلًا من ذلك يقضم الغزال ملء فمه من النباتات عن طريق قواطع عريضة كالإزميل موجودة في فكه الأسفل. وطواحن الغزال كبيرة ومغطاة بنتوءات لتطحن أنسجة النبات القاسية وتقطعها بفعالية.

هضم النبات

معظم الثدييات هي آكلات عشب، إذ غالبًا ما تتغذى على النباتات فقط. ويشكل السليلوز الجزء الأكبر من جسم النبات، وهو مصدر أساسي للغذاء في الثدييات العاشبة. ليس للثدييات أنزيمات تحطم الروابط بين جزيئات الجلوكوز في السليلوز. وتعتمد الثدييات آكلة العشب على شراكة تكافلية مع البكتيريا الموجودة في قنواتها الهضمية، التي تمتلك الأنزيمات المحطمة للسليلوز.

الثدييات؛ كالأبقار، والجاموس، والوعل، والماعز، والغزال، والزرافة لها كرش تخمير كبير ذو أربع حجرات مشتق من المريء والمعدة معًا. الحجرة الأولى، وهي الأكبر تحتوي كثافة عالية من البكتيريا المحللة للسليلوز، وتمر المادة النباتية التي يتناولها الحيوان إلى هذه الحجرة، حيث تهاجم البكتيريا السليلوز. ثم تهضم المواد بشكل أكثر في بقية الحجرات الثلاث.

القوارض، والخيول، والأرانب، والفيلة من ناحية أخرى، لها معدة صغيرة نسبيًّا وتهضم السليلوز بدلًا من ذلك كما يفعل النمل الأبيض، أي في أمعائها. فالبكتيريا التي تنجز هضم السليلوز هنا تعيش في كيس يدعى الأعور يتفرع من نهاية الأمعاء الدقيقة.

وحتى مع وجود كل هذه التكيفات المعقدة لهضم السليلوز، فإن ملء الفم من النباتات ليس مغذيًا كملء الفم باللحم، ولهذا فإن على العواشب التهام كميات كبيرة من النباتات لتحقق تغذية كافية. فالفيل يتناول 135-150 كجم من الغذاء النباتي كل يوم.

تطور الحوافر والقرون

يشكل الكراتين، وهو بروتين الشعر، تراكيب نباتية أخرى كالمخالب، والحوافر والأظافر. والحوافر هي وسادة من الكيراتين تستقر على أصابع الخيول، والأبقار، والأغنام، والوعول، وثدييات الجري الأخرى، والوسادة هنا تكون صلبة ومتقرنة، تحمي الأصابع، وتمتص الصدمات.

تتكون قرون الأبقار، والأغنام، والوعول من لب من العظم محاط بغمد من الكراتين. واللب العظمي متحد مع الجمجمة، ولهذا لا تنسلخ القرون.

قرون الغزال مصنوعة من العظم، وليس من الكيراتين، والغزال الذكر تنسلخ قرونه كل عام، وبينما هي تنمو في أثناء الصيف تغطى قرون الغزال بطبقة رقيقة مخملية من الجلد.

الثدييات الطائرة: الخفاش

الخفاش هو الحيوان الثديي الوحيد القادر على الطيران النشط (الشكل 35 - 32). جناح الخفاش هو أطراف أمامية متحورة، كأجنحة الطيور والزواحف المجنحة. وجناح الخفاش غشاء جلدي تمتد داخله عضلات فوق عظام أربعة أصابع. وتتصل حواف الغشاء بجوانب الجسم حتى الأرجل الخلفية. وعندما ترتاح الخفافيش، يفضل معظمها التعلق بصورة مقلوبة عن طريق مخالب الأصابع.

الشكل 35-32

الخفاش حذوة الحصان الأعظم *Rhinolophus ferrumequinum*. الخفافيش هي الثدييات الوحيدة القادرة على الطيران.

تشكل الخفافيش ثاني أكبر رتبة من الثدييات بعد القوارض. ولقد كانت ناجحة على وجه الخصوص؛ لأن أنواعًا عدة منها استطاعت استغلال مصدر للغذاء لم تتمكن معظم الطيور من استخدامه ألا وهو الحشرات الطائرة ليلًا.

كيف توجه الخفافيش طيرانها في أثناء الظلام؟ لقد بين عالم الأحياء الإيطالي سبالنزانو في أواخر القرن الثامن عشر أن الخفاش الأعمى لا يزال قادرًا على الملاحة دون الاصطدام بالعوائق، وهو كذلك قادر على اصطياد الحشرات. فمن الواضح إذن أن الخفاش يستخدم حاسة أخرى غير الرؤية للملاحة في أثناء الظلام. وعندما قام سبالنزانو بسد أذني الخفاش كان الأخير غير قادر على الملاحة الصحيحة، واصطدم بالعوائق، فاستنتج سبالنزانو أن الخفاش يستخدم السمع في أثناء الملاحة في الليل (الفصل الـ 45 يصف استخدام الخفاش رجع الصدى عند طيرانه في الظلام).

انشقت الثدييات منذ نحو 220 مليون سنة

لقد ظهرت الثدييات منذ وقت ظهور الديناصورات، أي منذ 220 مليون سنة. ولم تكن الثدييات الأولى آنذاك إلا مخلوقات صغيرة تشبه الزّبابة تعيش على الأشجار، وتتغذى على الحشرات، حيث شكلت مكونًا صغيرًا على اليابسة التي سرعان ما سادتها الديناصورات. وتشير الأحافير إلى أن الثدييات الأولى كان لها محاجر عيون كبيرة ما يشكل دليلًا على أنها ربما كانت نشطة في أثناء الليل. وقد كان للثدييات الأوائل كذلك عظمة فك سفلي واحدة. يبين سجل الأحافير كذلك حدوث تغير في الديناصورات ثيرابسدا (التي تعد أسلاف الثدييات) من فك سفلي شبيه بفك الزواحف – مكون من عظام عدة – إلى فك أقرب ما يكون إلى فك الثدييات، وقد هاجرت عظمتان من العظام المشكلة لمفصل فك ثيرابسدا لتدخلا الأذن الوسطى للثدييات، وتلتئمان مع عظمة ثالثة كانت موجودة هناك لتعطي معًا العظام الثلاثة التي تضخم الأصوات بصورة أفضل من أذن الزواحف.

عصر الثدييات

عند نهاية الحقبة الطباشيرية، منذ 65 مليون سنة، انقرضت الديناصورات مع كثير من حيوانات اليابسة والبحار، لكن الثدييات استمرت في البقاء، ربما بسبب العزل الحراري الذي قدمه لها الفراء. وفي الحقبة الثلثية (استمرت من 65–2 مليون سنة خلت) تنوعت الثدييات بسرعة، واحتلت كثيرًا من الأدوار البيئية التي كانت تحتلها الديناصورات.

وقد وصلت الثدييات أوج تنوعها قرب نهاية الحقبة الثلثية، نحو 15 مليون سنة خلت. في ذلك الوقت، سادت ظروف استوائية معظم العالم. خلال الخمسة عشر مليون سنة الأخيرة، تغير مناخ العالم، وتناقصت المساحات التي كانت تغطيها الظروف الاستوائية ما سبب انخفاضًا في العدد الإجمالي لأنواع الثدييات (الجدول 35-5).

صُنّفت الثدييات في ثلاث مجموعات، أكبرها الثدييات الجرابية

كانت الثدييات مجموعة صغيرة من حيوانات صغيرة آكلة للحشرات والأعشاب مدة 155 مليون سنة، في الوقت الذي كانت فيه الديناصورات تسود الأرض. أكثر الثدييات بدائية كان ينتمي لطائفة **الوحوش الأوائل Prototheria**. معظم هذه الوحوش الأوائل كانت صغيرة، وكانت تشبه الزّبابة الحديثة، وكانت جميعها تضع بيضًا، وكانت أسلافها الزواحف ملتحمة الوجه. إن المجموعة الوحيدة الباقية من الوحوش الأوائل هي وحيدة المسلك Monotremes.

الجدول 35-5 بعض مجموعات الثدييات المنقرضة

المجموعة	الوصف
دببة الكهوف	كانت كثير في العصور الجليدية، هذا الدب الضخم كان نباتيًّا بشكل رئيس، وكان ينام في أثناء الشتاء في مجموعات كبيرة.
الأيل (الإلكة) الأيرلندي	ليس أيلًا ولا أيرلنديا كما يشير الاسم بل هو غزال. يعد *Megaloceros* أكبر غزال عاش على الأرض، إذ تمتد المسافة بين قرونه إلى 12 قدمًا. شوهد في رسومات بكهوف في فرنسا، وانقرض منذ نحو 2500 سنة.
الماموث	على الرغم من وجود نوعين حيين من الفيلة اليوم، إلا أن عائلة الفيلة كانت أكثر تنوعًا خلال الحقبة الثلثية. كثير منها كان متكيفًا جدًا للبرد كالماموث ذي الفرو الطويل الأشعث.
الكسلان الأرضي العملاق	كان *Megatherium* عملاقًا طوله 20 قدمًا، ويزن ثلاثة أطنان، وكان بحجم الفيل الحديث.
القطط مسيّفة الأسنان	تفتح فكوك هذه القطط الكبيرة، التي تصل إلى حجم الأسود، بزاوية مقدارها 120° لتسمح للحيوان بغرز زوج ضخم من الأسنان العلوية التي تشبه السيف في الفريسة.

المجموعة الرئيسة الثانية من الثدييات هي تحت **طائفة الوحوش Theria** وهي حيوانات ولودة (تلد صغارًا حية). والمجموعتان الحيَّتان من هذه الوحوش هما الجرابيات أو الثدييات الجرابية، وتشمل (الكنجارو، والأبوسوم، والكوالا) والثدييات المشيمية (الكلاب، والقطط، والحصان، والإنسان، ومعظم الثدييات الأخرى).

وحيدة المسلك: ثدييات بيوضة

يشكل منقار البط *Ornithorhynchus anatinus* ونوعان آخران من آكلات النمل حيوانات وحيدة المسلك الحية المتبقية (الشكل 35-33 أ). ووحيدة المسلك هي الحيوانات الثديية الحية الوحيدة التي تضع بيضًا. تركيب الكتف والحوض لها يشبه كثيرًا الزواحف الأولى أكثر من أي ثدييات حية. كذلك، فلوحيدة المسلك، كما للزواحف، مجْمَع، وفتحة وحيدة للتخلص من البراز والبول ونواتج التكاثر خارج الجسم.

وحيدة المسلك

أ.

الجرابيات

ب.

الثدييات المشيمية

ج.

الشكل 35–33

الثدييات الحديثة: أ. وحيدة المسلك. آكل النمل ذو الأنف القصير *Tachyglossus aculeatus* (اليسار) ومنقار البط *Ornithorhynchus anatinus* (اليمين)، ب. الجرابي، الكنجر الأحمر *Macropus rufus* (اليسار) والأبوسوم *Didelphis verginiana* (اليمين). ج. الثدييات المشيمية، الأسد *Panthera leo* (اليسار) والدلفين *Tursiops truncatus* (اليمين).

وعلى الرغم من احتفاظها ببعض خصائص الزواحف، فإن وحيدة المسلك لها صفات ثديية تشخيصية: عظمة واحدة على كل جانب من الفك السفلي، وفراء، وغدد لبنية. وتشرب صغار وحيدة المسلك حليب أمهاتها بعد فقسها من البيوض. والإناث تفتقر إلى حلمة متطورة للثدي، وبدلًا من ذلك، فإن الحليب يتدفق على فراء الأم، ويقوم الصغير بلعقه عن طريق لسانه.

يوجد منقار البط في أستراليا، ويعيش معظم حياته في الماء، فهو سبّاح ماهر. ويستخدم منقاره بصورة مشابهة جدًا لما يفعله البط، إذ يغرسه في الطين ليستخرج ما به من ديدان أو حيوانات لينة أخرى. آكلات النمل الأسترالية *Tachyglossus aculeatus* (آكل النمل ذو الأنف القصير) وآكلات النمل من غينيا الجديدة *Zaglossus bruijni* (آكل النمل ذو الأنف الطويل) لهما مخالب حادة قوية تستخدم في الحفر وصنع الجحور. يتحرى آكل النمل عن طريق خطمه عن الحشرات خاصة النمل والنمل الأبيض.

الجرابيات: ثدييات ذات كيس

يكمن الفرق بين **الجرابيات Marsupials** (الشكل 35–33 ب) والثدييات الأخرى في نمط تكوينها الجنيني. ففي الجرابيات، تحاط البيضة المخصبة بأغشية الكوريون والرهل، ولكن تتشكل قشرة حولها، كما هو حال وحيدة المسلك. ويتغذى جنين الجرابيات معظم مدة تكوينه الجنيني على كمية المح الكبيرة الموجودة في البيضة. وتتشكل قبل الولادة بوقت قصير من غشاء الكوريون مشيمة لا تعمر طويلًا. بعد ذلك– فورًا– يلد جنين الجرابيات، أحيانًا في مدة ثمانية أيام من الإخصاب. يخرج الجنين صغيرًا ودون شعر، ويزحف نحو جراب أمه، حيث يلتصق بحلمة الغدة اللبنية، ويستمر في تطوره الجنيني.

تطورت الثدييات الجرابية قبل الثدييات المشيمية بوقت قصير منذ نحو 125 مليون سنة. تعيش معظم الجرابيات في الوقت الحاضر في أستراليا وأمريكا الجنوبية، وهي مناطق عانت فترات طويلة من الانعزال الجغرافي. وتنوعت الجرابيات كثيرًا في أستراليا وغينيا الجديدة لتحتل أدوارًا بيئية تملؤها الثدييات المشيمية في أماكن أخرى من العالم (انظر الشكل 22 – 20). أما الثدييات المشيمية في أستراليا وغينياالجديدة فقد وصلت هناك حديثًا نسبيًّا وفي بعض الحالات أدخلها الإنسان. ويشكل أبوسوم فرجينيا *Didelphis virginiana* الجرابي الوحيد الموجود في أمريكا الشمالية، حيث هاجر إليها عن طريق أمريكا الوسطى خلال الثلاثة ملايين سنة الأخيرة.

الثدييات المشيمية: *Placental mammals*

تتشكل المشيمة التي يتغذى عن طريقها الجنين خلال تكوينه الجنيني كاملًا في الرحم في الثدييات المشيمية (الشكل 35–33 ج). تقع معظم أنواع الثدييات التي تعيش اليوم، بما في ذلك الإنسان، ضمن هذه المجموعة. فمن بين 19 رتبة من الثدييات الحية، 17 منها هي ثدييات مشيمية (على الرغم من أن بعض العلماء يضعون الجرابيات في أربع رتب لا رتبة واحدة). ويبين الجدول 35 –6 (صفحة 708) بعضًا من هذه الرتب. إنها مجموعة بالغة التنوع، وتتراوح في الحجم من 1.5 جم للزّبابة القزم وحتى الحيتان التي تزن 100,000 كجم.

تتشكل المشيمة في أثناء مراحل التكوين الجنيني المبكرة. الأوعية الدموية للأم وللجنين غزيرة في المشيمة، والمواد يمكن تبادلها بفعالية كبيرة بين تيار الدم للأم وللنسل (انظر الشكل 35 – 30). تتكون مشيمة الجنين من أغشية الممبار والكوريون. في الثدييات المشيمية يحتاج الصغير إلى مدة معقولة من التطور قبل ولادته، وهذا خلاف الحال في الجرابيات.

لم تكن الثدييات مجموعة رئيسة إلا بعد اختفاء الديناصورات. الثدييات هي الحيوانات الوحيدة التي لها شعر وغدد لبنية. تشمل التخصصات الأخرى في الثدييات تكوّن المشيمة والأسنان المصممة لتناسب نوع الغذاء والأجهزة الحسية المتخصصة. يمكن تمييز ثلاث مجموعات من الثدييات في الوقت الحاضر، هي: وحيدة المسلك، والجرابيات، والثدييات المشيمية.

الجدول 35-6	رتب الثدييات المشيمية الرئيسة		
الرتبة	**أمثلة نموذجية**	**الصفات الأساسية**	**العدد التقريبي للأنواع الحية**
القوارض	القُندس، الفأر، الشّيْهم، الجرذ	صغيرة وآكلة للنباتات. أسنان قواطع كالإزميل.	1814
مجنحة الأيدي (الخفاشيات)	الخفاش	ثدييات طائرة. آكلة للفواكه والحشرات بشكل رئيس، أصابع طويلة، أجنحة غشائية رقيقة، ليلية غالبًا، توجه طيرانها برجع الصدى.	986
آكلة الحشرات	الخُلد، الزّبابة	ثدييات صغيرة حافرة. آكلة للحشرات، أكثر الثدييات المشيمية بدائية، تقضي معظم وقتها تحت سطح الأرض.	390
آكلة اللحوم	الدب، القط، الراكون، ابن عرس، الكلب	مفترسات آكلة اللحوم. الأسنان متكيفة لتمزيق اللحم، ليس لها عائلات متوطنة في أستراليا.	274
الرئيسيات	القردة، الإنسان، السعادين، الليمور	قاطنات الأشجار. حجم الدماغ كبير، رؤية بصرية موجودة للعينين، إبهام مقابل للأصابع، مجموعة تطورت من خط تفرع مبكرًا من ثدييات أخرى.	233
زوجية الحافر	الأبقار، الغزال، الزراف، الخنازير	حيوانات ذات حافر بإصبعين أو أربع. معظم الأنواع عاشبات مجترة.	211
الحوتيات	الدلفين، خنزير البحر، الحوت	ثدييات بحرية تمامًا. جسم انسيابي، أطراف أمامية متحورة إلى زعانف، لا توجد أطراف خلفية، فتحات لنفخ الهواء على قمة الرأس، لا يوجد شعر إلا على الخطم.	79
الأرنبيات	الأرنب، الأرنب البري، البِيكة	قافزات تشبه القوارض. أربع قواطع عليا (بدلًا من اثنتين في القوارض)، أرجل خلفية أطول من الأمامية وهو تكيفٌ للقفز.	69
المدرّعات	آكل النمل، الأرمادييللو، الكسلان	عديمة الأسنان آكلة للحشرات. كثير منها عديم الأسنان، ولكن بعضها لديه أسنان مدببة مضمحلة.	30
مفردة الحافر	الحصان، الكركدن (وحيد القرن)، التابير	ثدييات ذات حوافر بأصابع مفردة العدد. آكلات أعشاب متكيفة للقضم.	17
ذوات الخرطوم	الفيلة	آكلات أعشاب ذات خرطوم طويل. القاطعان العلويان متطاولان كالأنياب، أكبر حيوانات اليابسة الحية.	2

9-35 تطور الرئيسيات

الرئيسيات Primates هي مجموعة الثدييات التي نشأ منها النوع الإنساني. طورت الرئيسيات صفتين مميزتين سمحتا للمجموعة أن تنجح بوصفها حيوانات آكلة للحشرات قاطنة للأشجار.

1. **أصابع يد وأصابع قدم قابضة**: تختلف الرئيسيات عن السنجاب والزّبابة، وكلاهما ذات أقدام بمخالب، في أن الرئيسيات لها أيدٍ وأقدام تمكنها من القبض والتعلق بالأغصان وإمساك الغذاء، واستخدام الأدوات في بعض الرئيسيات. الإصبع الأول (أو الإبهام) في معظم الرئيسيات يقابل بقية الأصابع، وبعض الأصابع على الأقل، إن لم يكن جميعها، توجد لها أظافر.
2. **الرؤية الثنائية بالعينين Binocular vision**: تختلف الرئيسيات عن الزبابة والسنجاب اللذين يوجد لكل منهما عين على كل جانب من الرأس، في أن عيني الرئيسيات تحركتا في اتجاه الأمام إلى مقدمة الوجه. هذا الأمر ينتج رؤية متداخلة من كلتا العينين ما يسمح للحيوان بتقدير مسافة الأشياء التي يراها بدقة، وهو أمر ضروري لحيوان يتحرك خلال الأشجار، ويحاول الإمساك بالغذاء.

هناك ثدييات أخرى ذات رؤية ثنائية، مثلًا المفترسات آكلة اللحوم، ولكن الرئيسيات وحدها لها صفتا الرؤية الثنائية واليد القابضة، ما يجعل منها مجموعة متكيفة بشكل جيد لبيئة الغابات.

السلالات شبيهة الإنسان قادت إلى الإنسان الأول

منذ نحو 40 مليون سنة، انقسمت الرئيسيات الأولى إلى مجموعتين: قبل القردة وشبيهة الإنسان. تشبه قبل **القردة Prosimians** تزاوجًا بين السنجاب والقطط، وقد كانت شائعة في أمريكا الشمالية وأوروبا وآسيا وإفريقيا. يعيش قليل من قبل القردة اليوم–الليمور واللّوْرس (الليمور الهندي) والتَّرْسير (الشكل 35-34). إضافة إلى الأصابع القابضة والرؤية الموحدة بالعينين، تمتلك قبل القردة عيونًا واسعة، وحدة إبصار كبيرة. معظم قبل القردة ليلية المعيشة، وهي تتغذى على الفواكه، والأوراق، والأزهار. إن كثيرًا من أنواع الليمور له ذنب طويل للتوازن.

شبيهة الإنسان *Anthropoids*

تضم شبيهة الإنسان القردة، والسعادين، والإنسان، وهي غالبًا نشطة في أثناء النهار، وتتغذى بشكل رئيس على الفواكه والأوراق. وقد صاحب الانتخاب الطبيعي تغيرات عدة في تصميم العينين، بما في ذلك رؤية الألوان التي تعد تكيفًا للتغذية النهارية. ويسيطر دماغ كبير الحجم على الحواس المتطورة، ويشكل صندوق الدماغ جزءًا كبيرًا من الرأس.

الشكل 35-34

قبل القردة. التَّرْسير *Tarsius* هو من مجموعة قبل القردة، ويعيش في آسيا الاستوائية، ويظهر الصفات المميزة للرئيسيات: أصابع قابضة، ورؤية ثنائية بالعينين.

تعيش شبيهة الإنسان، مثلها مثل مجموعة قبل القردة القليلة ذات التغذية النهارية، في مجموعات وتبدي تفاعلًا اجتماعيًّا معقدًا. وهي تميل إلى العناية بصغارها مددًا طويلة، ما يسمح بمدة طفولة طويلة مهمة لتطور الدماغ وللتعلم.

منذ 30 مليون سنة تقريبًا، هاجرت بعض شبيهة الإنسان إلى أمريكا الجنوبية، ويمكن التعرف بسهولة إلى ما تناسل منها من مخلوقات سميت سعادين العالم الجديد (الشكل 35-35أ): هذه الحيوانات جميعها تعيش على الأشجار، ولها أنوف مسطحة واسعة، ولكثير منها ذنب طويل يستخدم في الإمساك بالأشياء.

أما شبيهة الإنسان التي بقيت في إفريقيا، فقد أعطت سلالتين: سعادين العالم القديم (الشكل 35-35ب) والإنسانيات (القردة والإنسان الشكل 35-35جـ). تشمل سعادين العالم القديم أنواعًا شجرية وأخرى تقطن الأرض، وليس لأي منها ذنب معدٌ للإمساك، وفتحتا المنخر لها متقاربتان من بعضهما، وأنوفهما تتجه نحو الأسفل، وبعضها لها مخدة من جلد متصلب على الكفل للجلوس الطويل.

الإنسانيات Hominoids

تشمل الإنسانيات القردة **وعائلة الإنسان Hominids** التي تضم الإنسان المعاصر وأسلافه المباشرة. تتألف القردة الحية من الغابون (الجنس *Hylobates*)، وإنسان الغاب *Pongo Pan* ، والشمبانزي *Pan*، والغوريلا *Gorilla*. تمتلك القردة أدمغة أكبر من السعادين، وهي تفتقر إلى الذنب. والقردة الحية جميعها، باستثناء الغابون، أكبر حجمًا من السعادين. تُبدي القردة سلوكًا تكيفيًّا هو الأكبر بين الثدييات باستثناء الإنسان. وقد كانت القردة شائعة الانتشار في إفريقيا وآسيا، ولكنها نادرة اليوم، وهي تعيش في مناطق صغيرة نسبيًّا. ولا توجد القردة في أمريكا الشمالية أو الجنوبية.

أ. ب. جـ.

الشكل 35-35

شبيهة الإنسان.

أ. سعادين العالم الجديد، السعدان السنجاب *Saimiri oerstedii*.

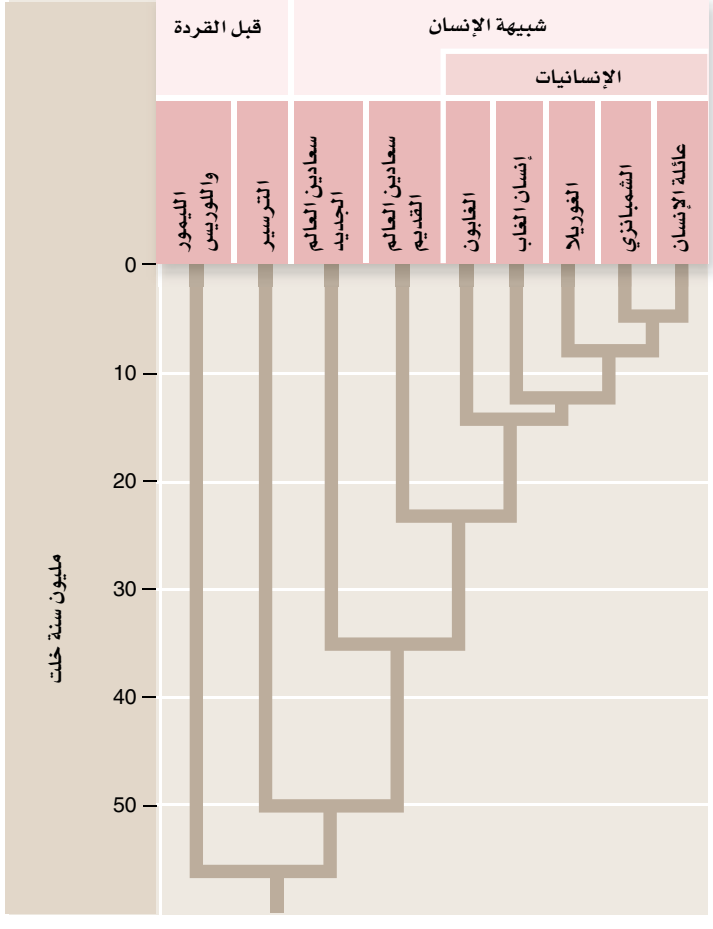
ب. سعادين العالم القديم، الميمون *Mandrillus sphinx*.

جـ. الإنسانيات، الغوريلا *Gorilla gorilla* (اليسار) والإنسان *Homo sapiens* (اليمين).

قدمت لنا دراسات DNA الكثير من المعلومات عن تطور القردة الحية. فالقردة الآسيوية تطورت أولًا، حيث انشقت سلالة القردة معطية الغابون منذ ما يقارب 15 مليون سنة، في حين انشق إنسان الغاب منذ نحو 10 ملايين سنة (الشكل 35-36) ولم يكن أي من السلالتين ذا قرابة وثيقة بالإنسان.

أما القردة الإفريقية فقد تطورت حديثًا، أي منذ 6 إلى 10 ملايين سنة خلت. هذه القردة هي أكثر الأقارب الحية صلة بالإنسان. ومجموعة "القردة" التصنيفية مجموعة متوازية الأصول، فبعض القردة هي أكثر قرابة لعائلة الإنسان مما هي للقردة الأخرى. ولهذا، فإن بعض علماء التصنيف يرون ضرورة وضع الإنسان والقردة الإفريقية في العائلة الحيوانية نفسها، التي تدعى عائلة الإنسان Hominidae.

تشير أحافير عائلة الإنسان المبكر (الإنسان وأسلافه المباشرة) التي سنصفها في جزء لاحق، إلى أن السلف المشترك لعائلة الإنسان كان أكثر شبهًا بالشمبانزي منه بالغوريلا. ويقدر العلماء، اعتمادًا على الفروق الوراثية، أن الغوريلا انشقت عن الخط المؤدي إلى الشمبانزي والإنسان منذ قرابة 8 ملايين سنة.



الشكل 35-36

الشجرة التطورية للرئيسيات. انشقت قبل القردة مبكرًا في أثناء تطور الرئيسيات، في حين انشقت عائلة الإنسان حديثًا جدًا. تشكل القردة مجموعة متوازية الأصول؛ لأن بعض القردة أوثق قرابة ببعض الأنواع من غير القردة (عائلة الإنسان) منها بالقردة الأخرى.

بعد مدة وجيزة من انشقاق الغوريلا، انشق السلف المشترك لعائلة الإنسان عن خط الشمبانزي ليبدأ رحلة تطورية تقود إلى الإنسان. وحيث إن هذا الانشقاق تم حديثًا جدًا، فإنه لم يتوافر وقت كافٍ لتراكم فروق وراثية بين الإنسان والشمبانزي. فعلى سبيل المثال، يختلف جزيء هيموجلوبين الإنسان عن نظيره في الشمبانزي في حمض أميني واحد فقط. وبشكل عام، فإن الإنسان والشمبانزي يظهران مستوى من التشابه الوراثي لا يوجد عادة إلا بين أنواع وثيقة القرابة، وتنتمي إلى الجنس نفسه.

مقارنة القرود مع عائلة الإنسان

يعتقد أن السلف المشترك للقردة ولعائلة الإنسان كان مخلوقًا متسلقًا شجريًّا. وقد عكس معظم التطور اللاحق للإنسانيات مقاربات مختلفة لأمر الحركة والانتقال. فعائلة الإنسان أصبحت ثنائية الأرجل، وكانت تمشي قائمة، في حين طورت القردة السير على البراجم (مفردها بُرْجُمة، وهي مفاصل الأصابع في اليد والرجل)، ملقية ثقل جسمها على السطح الظهري لأصابعها (في المقابل، كانت السعادين تسير باستعمال راحة اليدين).

وابتعد الإنسان عن القردة في نواحٍ عدة من التشريح المتعلق بالانتقال المعتمد على رِجْلين. فنظرًا لأن الإنسان يمشي على رِجْلين، فإن العمود الفقري أكثر تقوسًا منه للقردة، والحبل الشوكي للإنسان يخرج من أسفل الجمجمة لا من مؤخرتها. والحوض في الإنسان أصبح أعرض، وله شكل زبدية أو سلطانية، والعظام تنحني نحو الأمام؛ لكي تركز وزن الجسم فوق الأرجل. إضافة إلى الاختلافات في نسب الورك والركبة والقدم.

ولأن الإنسان يمشي على رِجْلين، فإنه يحمل معظم وزن الجسم على الأطراف السفلى التي يبلغ وزنها 32 - 38% من وزن الجسم، وهي أطول من الأطراف العليا. في الإنسان، لا تحمل الأطراف العليا وزن الجسم، بل تشكل 7-9% من وزنه فقط. تمشي القردة الإفريقية على أربع أرجل، حيث تحمل الأطراف العليا والسفلى وزن الجسم؛ فالغوريلا أطرافها العليا أطول، وتشكل 14 - 16% من وزن الجسم، أما الأطراف السفلى الأقصر قليلًا، فتشكل نحو 18% من الوزن.

القردة الجنوبية كانت من أوائل الإنسانيات

أصبح مُناخ العالم أكثر برودة منذ 5-10 ملايين سنة، وتلاشت الغابات الإفريقية الكبرى لتحل مكانها بشكل كبير مناطق السفانا ومناطق الأشجار المفتوحة. واستجابة لهذه التغيرات، تطور نوع جديد من الإنسانيات، كان يمشي على رِجْلين. صنفت هذه الإنسانيات على أنها عائلة الإنسان، أي الخط التطوري الذي أنتج الإنسان.

تضم المجموعات الرئيسية لعائلة الإنسان 3 - 7 أنواع تنتمي إلى الجنس *Homo* (اعتمادًا على كيفية احتسابها)، وسبعة أنواع من القرود الجنوبية *Astralopithecus* الأقدم وذات الدماغ الأصغر، وسلالات عدة أقدم من ذلك. وفي كل حالة، وحيثما وجدت الأحافير التي تسمح بالتحليل، فإن عائلة الإنسان ذات رِجْلين، وهي سمة مميزة لتطور هذه العائلة.

في السنوات الأخيرة وجد العلماء سلسلة مدهشة من أحافير عائلة الإنسان المبكرة التي تمتد إلى الوراء 6-7 ملايين سنة، وحيث كانت هذه الأحافير تحتوي مزيجًا من الصفات البدائية والحديثة، فإنها سببت اضطرابًا كبيرًا في دراسة عائلة الإنسان الأولى. وعلى الرغم من أن إدخال هذه الأحافير ضمن عائلة الإنسان يبدو مبررًا، إلا أن عددًا قليلًا فقط من النماذج كان قد اكتشف، وهي لا تقدم معلومات تكفي لتحديد علاقاتها بالقردة الجنوبية وبالإنسان بدرجة من اليقين. ولهذا، فإن البحث لا يزال جاريًا عن المزيد من متحجرات عائلة الإنسان الأولى.

القردة الجنوبية الأولى *Early Australopithecines*

تعتمد معرفتنا للقردة الجنوبية على مئات الأحافير التي وجدت جميعها في جنوب إفريقيا وشرقها (باستثناء واحدة عثر عليها في تشاد بغرب إفريقيا). يعتقد أن القردة الجنوبية كانت قد عاشت فوق منطقة واسعة في إفريقيا، ولكن الصخور ذات العمر المناسب التي قد تحتوي هذه المتحجرات لم يتم الكشف عنها في المناطق الأخرى. ويبدو أن تطور عائلة الإنسان قد بدأ بإشعاع أولي لأنواع عدة. فالأنواع السبعة التي تم تشخيصها حتى الآن تشكل دليلًا قويًّا على أن القردة الجنوبية كانت مجموعة متنوعة.

كانت عائلة الإنسان الأولى تضم أفرادًا وزن كل منها نحو 18كجم وطوله قرابة متر واحد، أما نظام أسنانها فقد كان إنسانيًّا متميزًا، ولكن أدمغتها لم تكن لتتجاوز أدمغة القرود، أي ما يقارب 500 سم أو أقل. أما دماغ الجنس *Homo* للمقارنة فهو عادة أكبر من 600 سم، ودماغ الإنسان الحديث *Homo sapiens* فهو في المعدل 1350سم.

يُشير تركيب متحجرات القردة الجنوبية إلى أنها كانت تمشي قائمة. ويشمل الدليل على المشي على رِجْلين وجود 69 بصمة رِجل (آثار الخطوات) في منطقة ليتولي بشرق إفريقيا. فقد عثر على خطوات تشير إلى مسير شخصين: أحدهما أكبر من الآخر، جنبًا إلى جنب وبصورة قائمة لمسافة 27 مترًا، وكانت آثار خطواتهما محفوظة في طبقة من الرماد البركاني عمرها 3.7 ملايين سنة. ومن المهم ملاحظة أن الأصبع الأكبر لم يكن يميل جانبًا كما في السعادين أو القردة، ما يشير إلى أن هذه الخطوات كانت لعائلة الإنسان دون شك.

السير على رِجْلين *Bipedalism*

تُؤرخ ظاهرة السير على رِجْلين لبداية ظهور عائلة الإنسان. ويبدو أن هذه الظاهرة تطورت عندما غادرت القردة الجنوبية الغابات الكثيفة، واتجهت نحو أراضي الحشائش ومناطق الأشجار المفتوحة.

خضعت فكرة أيهما تطور أولًا: السير على رِجْلين أم الدماغ الأكبر حجمًا، للكثير من الجدل لبعض الوقت. إحدى مدارس التفكير تفترض أن أدمغة عائلة الإنسان تضخمت أولًا، ثم أصبحت عائلة الإنسان تسير على قدمين. مدرسة أخرى ترى أن السير على قدمين كان متطلبًا سابقًا للأدمغة الكبرى، وحجتها في ذلك أن السير على قدمين حرر الأطراف الأمامية لصنع الأدوات واستخدامها ما قاد إلى تطور أدمغة كبرى. وقد حسمت الأحافير المستخرجة من الأرض في إفريقيا هذا الجدل، إذ تبين أن السير على قدمين يعود إلى 4 ملايين سنة خلت، حيث؛ مفصل الركبة، والحوض، وعظام الرجل كلها تظهر الصفات المميزة للوضع القائم. أما توسع الدماغ بشكل ملحوظ، من ناحية أخرى، فإنه لم يظهر إلا منذ نحو مليوني سنة. ففي تطور عائلة الإنسان كان واضحًا أن المسير بوضع قائم سبق ظهور دماغ كبير الحجم.

أما سبب تطور المسير على قدمين في عائلة الإنسان فقد بقي موضوعًا خاضعًا للجدل. فالأدوات لم تظهر إلا منذ 2.5 مليون سنة، ولهذا فصناعة الأدوات لم تكن سببًا محتملًا. إحدى الأفكار البديلة تقترح أن السير قائمًا هو أسرع، ويحتاج طاقة أقل من السير على أربع، وأن الوضع القائم يسمح لعائلة الإنسان بالتقاط الثمار من الأشجار، وأن ترى من فوق الحشائش الطويلة، كذلك يقلل الوضع القائم مساحة سطح الجسم المعرضة لأشعة الشمس، ويسمح للغوص في الماء لعائلة الإنسان شبه المائية. ويحرر الوضع القائم الأطراف الأمامية للذكور لجلب الطعام للإناث، ويشجع على إنشاء علاقات بين الأزواج. هذه الاقتراحات جميعها لها مؤيدوها، ولكن أيًّا منها لم يُقبل عالميًّا، وهكذا يبقى أصل المسير على قدمين، وهو الحدث الأساسي في تطور عائلة الإنسان لغزًا.

تضم الرئيسيات قبل القرود وشبيهة الإنسان. تشكل القرود، والسعادين، وعائلة الإنسان مجموعة واحدة هي شبيهة الإنسان. تطور المسير على قدمين - والسير قائمًا - يؤرخ لبداية تطور عائلة الإنسان، على الرغم من أن أحدًا لا يعرف بشكل قاطع سبب تطور المسير على قدمين. إن جذور شجرة تطور عائلة الإنسان معروفة فقط بصورة غير كاملة، ولكن يبدو أنها بدأت من القردة الجنوبية.

ظهر الجنس *Homo* منذ نحو مليوني سنة

الإنسان الأول (الجنس *Homo*) تطور من أسلافه من القرود الجنوبية منذ نحو مليوني سنة. لم يتم تشخيص السلف بدقة متناهية، ولكن يعتقد بشكل شائع أنه *Austrlopithecus afarensis*. تم الكشف في خلال الثلاثين عامًا الأخيرة عن عدد من الأحافير المهمة للجنس المبكر. وقد أدى هذا إلى تغذية الاكتشافات الحقلية بمزيد من الطاقة، ما مكن من اكتشافات جديدة تعلن بشكل مستمر، ففي كل عام تصبح قاعدة شجرة تطور الإنسان أكثر وضوحًا. والسرد التاريخي المقبل يشكل مثالًا جيدًا على الأعمال العلمية التي هي قيد الإنجاز، وإن كنا نعتقد أن هذا السرد سوف يتغير مستقبلًا بفعل الاكتشافات المستقبلية.

الإنسان الأول *Homo habilis*

في مطلع الستينيات من القرن الماضي، وجدت أدوات حجرية مبعثرة بين عظام آدمية بالقرب من الموقع الذي استخرج منه *Australopithecus boisei*. وعلى الرغم من أن المتحجرات كانت مهشمة لدرجة كبيرة، فإن عملية إعادة وضع القطع المتعددة مع بعضها أشارت إلى أن حجم الدماغ كان نحو 680 سم، وهو أضخم من دماغ القرود الجنوبية الذي يتراوح بين 400-550سم. ونظرًا لارتباطه بالأدوات الحجرية فقد سُمي هذا الإنسان الأول *Homo habilis*، الذي يعني "الإنسان الماهر"، وقد أشارت الهياكل العظمية الجزئية المكتشفة عام 1986 إلى أن *Homo habilis* كان صغير القامة، وكانت ذراعاه أطول من رجليه، وهيكله يشبه كثيرًا هيكل *Australopithecus* (القرود الجنوبية). وبسبب شبهه العام بهذه القرود الجنوبية، فإن عددًا من الباحثين تشككوا في أن هذا هو متحجر الإنسان.

كم كان الإنسان الأول *Homo* متنوعًا!

لم يتم العثور إلا على عدد قليل من أحافير الجنس *Homo*، ولهذا نشأ جدل كبير حول ضرورة جمعها معًا في نوع واحد هو الإنسان الماهر *H.habilis* أو تشعيبها إلى ثلاثة أنواع: *H. rudolfensis*، *H. habilis*، *H. ergaster* وإذا تم قبول هذا التشعيب، فإن الرأي الذي يقبله عدد متزايد من العلماء هو أن الجنس *Homo* عايش إشعاعًا تكيفيًّا، وكان النوع. *H rudolfensis* هو النوع الأكثر قدمًا، ويعقبه *H. habilis* ثم *H. ergaster* وبسبب هيكله الحديث، فقد أعتقد أن *H. ergaster* (الشكل 35-38) هو السلف الأكثر احتمالًا لأنواع الإنسان المقبلة.

الخروج من إفريقيا: الإنسان القائم *Homo erectus*

إن الصورة التي لدينا عما كان عليه الإنسان من الجنس *Homo* تنقصها التفاصيل؛ لأنها تعتمد على عدد قليل من العينات. ولكن لدينا معلومات أكثر عن النوع الذي حل محله، وهو الإنسان القائم *H. erectus*.

الإنسان القائم كان أكبر حجمًا بكثير من الإنسان الماهر *H. habilis*، فقد كان طوله نحو 1.5 متر، وكان له دماغ أكبر، 1000سم تقريبًا، وقد كان يمشي قائمًا. كان لجمجمته حواف بارزة عند الحواجب، وكان له فك مستدير كالإنسان الحديث. والأكثر إثارة من كل ذلك أن شكل الجمجمة من الداخل يشير إلى أن الإنسان القائم كان قادرًا على الكلام. ولأن الإنسان القائم كان أكثر نجاحًا من الإنسان الماهر، فقد انتشر بسرعة في إفريقيا وهاجر خلال المليون سنة المقبلة إلى أوروبا وآسيا. كان الإنسان الماهر، وهو نوع اجتماعي، يعيش في قبائل من 20-50 شخصًا، وغالبًا ما كان يقطن الكهوف. وقد اصطادوا بنجاح حيوانات كبيرة الحجم وذبحوها باستخدام أدوات الصوان، والعظم، وطبخوها باستخدام النار. وقد وجد موقع في الصين يحتوي على بقايا خيول، ودببة، وفيلة، ووحيد القرن.

عاش الإنسان القائم مدّة تزيد على مليون سنة، وهي مدة أطول مما عاشه أي نوع إنساني آخر. واختفى هذا الإنسان الشديد التكيف من إفريقيا منذ قرابة 500,000 سنة، عندما بدأ الإنسان الحديث يظهر. ومن المثير للاهتمام، أنه عاش في آسيا مدة أطول، واختفى منذ 250,000 سنة فقط.

إضافة جديدة لعائلة الإنسان: إنسان فلورس *Homo floresiensis*

عام 2004 ذهل العالم بإعلان اكتشاف متحجرة لنوع إنساني جديد من جزيرة فلورس الصغيرة بإندونيسيا (الشكل 35-39). كان إنسان فلورس قميء القامة بشكل ملاحظ، إذ يصل طوله مترًا واحدًا، وكان حجم جمجمته 380 سم، وقد أطلق عليه بسرعة لقب الجنـيّ (العفريت) إشارة إلى أبطال ثلاثية تولكين "سيد الخواتم". وقد كان مذهلًا أيضًا عمر المتحجرات، إذ كان عمر أصغرها 15,000 سنة تقريبًا.

وعلى الرغم من حداثتها، فإن عددًا من هياكلها أوحت للعلماء بأن إنسان فلورس كان أوثق قرابة بالإنسان القائم منه بالإنسان الحكيم *Homo sapiens* الحالي. فإذا كان ذلك صحيحًا (وهذا ما لا يتفق عليه كل العلماء)، فإن النتيجة تعني أن سلالة الإنسان القائم بقيت مدة أطول بكثير مما كان يعتقد سابقًا - حتى وقتنا الحاضر تقريبًا. إن ذلك يعني أيضًا أنه حتى وقت قريب لم يكن الإنسان الحكيم هو النوع الإنساني الوحيد على الكوكب. وتستطيع فقط أن تتكهن حول كيف كان التفاعل بين إنسان فلورس والإنسان الحكيم، وكيف تأثر هذا التفاعل بالفروق الكبيرة في حجم الجسم.

لماذا طور إنسان فلورس حجمًا صغيرًا كهذا؟ إنه أمر غير معروف على الرغم من إشارة بعض الخبراء إلى ظاهرة "القَزَم في الجزر"، التي لوحظ بها أن أنواع الثدييات تتطور لتكون أصغر حجمًا بكثير على الجزر. وبالفعل، فإن إنسان فلورس، تعايش مع أنواع صغيرة الحجم من الفيلة التي عاشت على جزيرة فلورس، وتغذى عليها، ولكنها انقرضت هي بدورها. هذه الحقائق أحيت الاهتمام بتفسير ظاهرة القَزَم في الجزر ثانية.

الإنسان الحديث *Modern humans*

دخلت الرحلة التطورية مرحلتها النهائية عندما ظهر الإنسان الحديث أول مرة في إفريقيا منذ ما يقارب 600,000 سنة. ويدرج الباحثون المهتمون بتنوع الإنسان ثلاثة أنواع من الإنسان الحديث، هي: إنسان إثيوبيا *Homo heidelbergensis* وإنسان وادي نيندر *H.neanderthalensis*. والإنسان الحكيم *Homo sapiens*. لكن باحثين آخرين يجمعون الأنواع الثلاثة في نوع واحد هو الإنسان الحكيم *H. sapiens* حيث تعني كلمة *sapiens* حكيم.

عرف أقدم أنواع الإنسان الحديث *H.heidelbergensis* من دراسة متحجرة عثر عليها في إثيوبيا عمرها 600,000 سنة. وعلى الرغم من أنه تعايش في الوقت نفسه مع الإنسان القائم في إفريقيا، فإن إنسان إثيوبيا كانت له صفات تشريحية متقدمة تشمل وجود قارب عظمي (حز عظمي) يمتد على طول الخط الوسطي للجمجمة، وحافة سميكة فوق محجري العينين ودماغ ضخم. كذلك كانت جبهته وعظام منخريه شبيهة جدًا بمثيلاتها في الإنسان الحكيم.

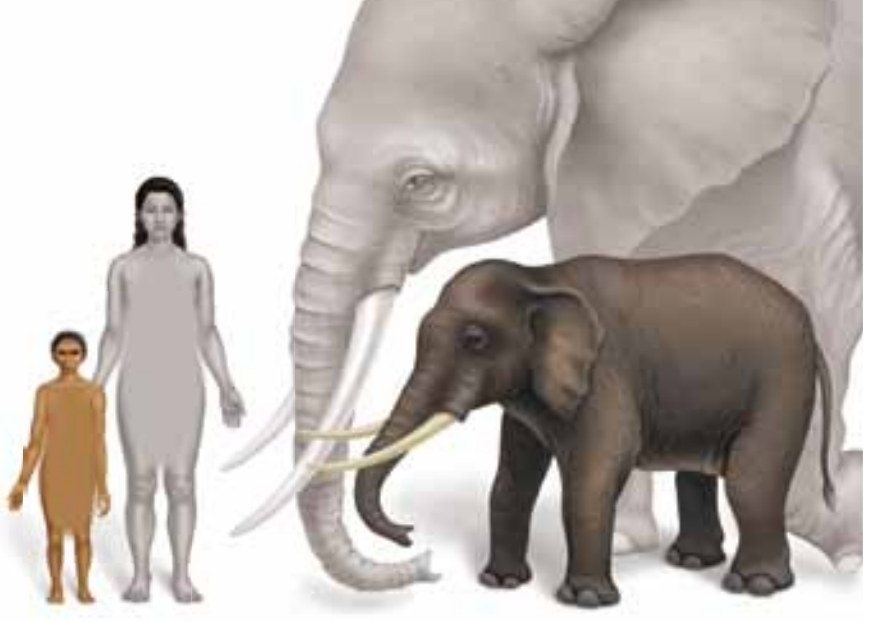
وعندما أصبح الإنسان القائم أكثر ندرة، أي منذ نحو 130,000 سنة، وصل نوع جديد من الإنسان إلى أوروبا قادمًا من إفريقيا. يعتقد أن إنسان وادي النيندر *H.neanderthalensis* تفرع من خط سلفي يقود إلى الإنسان الحديث منذ قرابة 500,000 سنة. وعند مقارنته بالإنسان الحديث، فقد كان إنسان وادي النيندر قصيرًا ممتلئًا ومبنيًّا بشكل قوي، وجمجمته كانت ضخمة، ذات وجه بارز، وحواف عظمية سميكة الحواجب، وكانت محفظة الدماغ واسعة.

إنسان وادي كرو- ماجنون *Cro- Magnon* وإنسان وادي نيندر *Neanderthals*

سُمي إنسان وادي نيندر (يصنفه بعض علماء الأحافير بوصفه نوعًا مستقلًّا، *H.neanderthalensis*) بهذا الاسم نسبة لوادي نيندر في ألمانيا الذي اكتشفت فيه أحافيره الأولى عام 1856. كان في البداية نادرًا في أوروبا، ولكنه أصبح أكثر وفرة لاحقًا في أوروبا وآسيا، حتى أصبح شائعًا قبل 70,000 سنة تقريبًا.

الشكل 35-38

الجنس *Homo* المبكر: هذه جمجمة فتى، يبدو أنه مات في مرحلة المراهقة المبكرة، عمرها 1.6 مليون سنة، وقد صنفت في النوع *Homo ergaster* وكان طوله نحو 1.5 متر ووزنه 47 كجم.



الشكل 35–39

إنسان فلورس *Homo floresiensis*. هذا النوع القميء الحجم (قارن أنثى الإنسان الحديث إلى اليمين بأنثى إنسان فلورس على اليسار) عاش فوق جزيرة فلورس، وتغذى على أنواع قزمة من الفيلة *Stegodon sondaari* كان يعيش أيضًا في فلورس.

صنع إنسان نيندر أدوات متنوعة تضم أدوات الكشط، ورؤوس رماح، وفؤوسًا يدوية، وعاش في أكواخ أو مغاور. كان إنسان نيندر يعتني بالمصابين والمرضى من أفراد نوعه، وكان في الغالب يدفن موتاه، وغالبًا ما يدفن معهم طعامًا وأسلحة وأزهارًا. إن هذا الاهتمام بالموتى يشير إلى أنه كان يؤمن بالحياة بعد الموت، وهذا يشكل أول دليل على خصائص التفكير الرمزي لدى الإنسان الحديث.

اختفت أحافير إنسان نيندر فجأة من سجل الأحافير منذ نحو 34,000 سنة، وحل محلها أحافير الإنسان الحكيم الذي يدعى إنسان كرو- ماجنون (سمي باسم وادي كرو-ماجنون بفرنسا، حيث اكتشفت متحجراته هناك أول مرة). ونستطيع التكهن فقط حول سبب حصول هذا الإحلال المفاجئ، ولكنه كان تامًّا في أوروبا في مدة قصيرة من الوقت.

تشير خطوط عدة من الأدلة إلى أن إنسان كرو- ماجنون جاء من إفريقيا- حيث وجدت هناك متحجرات، معظم صفاتها حديثة، لكن عمرها قد يصل إلى 100,000 سنة. ويبدو أن إنسان كرو-ماجنون حل محل إنسان نيندر تمامًا في الشرق الأوسط منذ 40,000 سنة، ومن ثم انتشر عبر أوروبا. إن التحليل الحديث لمادة DNA لإنسان نيندر تبين أنها متميزة تمامًا عن DNA لإنسان كرو-ماجنون، ما يشير إلى أن النوعين لم يتزاوجا فيما بينهما، على الرغم من أن العلماء جميعًا لا يتفقون على هذا الأمر. إن إنسان نيندر هو من أبناء عمومتنا ولم يكن سلفًا ا لنا. كان لإنسان كرو-ماجنون الذي حل محل إنسان نيندر تنظيم اجتماعي معقد، ويعتقد أنه كان لديه قابلية لغوية كاملة، ويمكن مشاهدة رسوم جميلة وتفصيلية صنعها إنسان كرو-ماجنون على جدران الكهوف في كامل أوروبا (الشكل 35-40).

وأخيرًا، انتشر إنسان ذو مظهر حديث عبر سيبيريا إلى أمريكا الشمالية، حيث وصل هناك منذ 13,000 سنة تقريبًا، بعد أن بدأ الجليد يتراجع، وكان لا يزال هناك جسر من اليابسة يربط سيبيريا بألاسكا. ومنذ 10,000 سنة كان هناك نحو 5 ملايين شخص يقطنون العالم كله (قارن ذلك بأكثر من 6 بلايين في الوقت الحاضر).

نوعنا الإنساني: الإنسان الحكيم *Homo sapiens*

الإنسان الحكيم هو النوع الوحيد الحي من الجنس *Homo* ، وهو بالفعل الوحيد المتبقي من عائلة الإنسان. أفضل المتحجرات للإنسان الحكيم كانت 20 هيكلًا محفوظة بشكل جيد مع جماجمها، عثر عليها في كهف بالقرب من الناصرة في فلسطين. وتقدر تقنيات تقدير العمر الحديثة أن هذه العظام البشرية عمرها يتراوح بين 100,000-90,000 سنة. الجمجمة كانت حديثة في مظهرها وحجمها، وذات محفظة دماغ مرتفعة وقصيرة، وجبهة عمودية مع ثنية حاجب خفيفة فقط، وحجم جمجمة يقارب 1550 سم. نحن بني البشر نتجنا عن حيوانات بعملية التطور. وقد تميز تطورنا بزيادة مستمرة في حجم الدماغ، ما ميزنا عن باقي الحيوانات بطرق متعددة: أولًا، الإنسان قادر على صنع الأدوات واستخدامها بشكل فعّال، وهي قدرة تعد مسؤولة، أكثر من أي شيء آخر عن موقعنا السيادي في مملكة الحيوان. ثانيًا، على الرغم من أننا لسنا الحيوان الوحيد القادر على التفكير المفاهيمي، لكننا الوحيد الذي صقل هذه القدرة، ووسعها حتى أصبحت سمة مميزة للنوع. ثالثًا، نحن نستخدم اللغة الرمزية، ونستطيع باستخدام الكلمات تشكيل مفاهيم نتجت عن خبراتنا، ونقل خبراتنا المتراكمة من جيل إلى آخر.

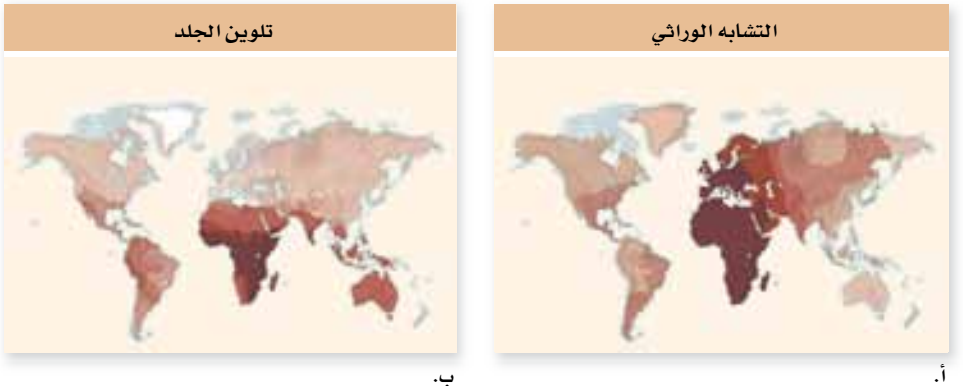
لقد شهد الإنسان دون غيره من الحيوانات الأخرى تطورًا حضاريًّا واسعًا. فمن خلال الحضارة، أوجدنا طرقًا لتغيير بيئتنا وصقلها بدلًا من التغير التطوري استجابة لمتطلبات هذه البيئة. نحن نسيطر على مستقبلنا البيولوجي بطريقة لم تكن ممكنة من قبل، وهذه قوة كامنة مدهشة ومسؤولية مثيرة للرعب.

الشكل 35–40

رسومات إنسان كرو-ماجنون. تظهر هذه الرسومات التي عثر عليها عام 1995 في كهف بفرنسا أن وحيد القرن كان من بين الحيوانات التي صورها.

الشكل 35-41

أنماط الاختلافات الوراثية في المجموعات السكانية الإنسانية تختلف عن أنماط اختلافات تلون الجلد.
أ. الاختلافات الوراثية في النوع *Homo sapiens*. المناطق المتشابهة في اللون بالصورة هي الأكثر تشابهًا من ناحية وراثية بناءً على كثير من المواقع الجينية للأنزيمات ومجموعات الدم.
ب. التشابه بين بني البشر في لون الجلد.
في الصورة، يعكس لون المنطقة تلوين الجلد بين الناس الذين يقطنونها أصلًا.



أ. ب.

السلالات البشرية *Human races*

الإنسان كباقي الأنواع الأخرى تمايز في صفاته، بينما كان ينتشر خلال العالم كله. فالتجمعات السكانية المحلية في منطقة ما غالبًا ما تختلف بشكل كبير عن تلك التي تعيش في منطقة أخرى. فمثلًا، سكان شمالي أوروبا غالبًا ذوو شعر أشقر، وبشرة فاتحة اللون وعيون زرق، في حين أن الأفارقة غالبًا ذوو شعر أسود، وبشرة دكناء وعيون بنية. تؤدي هذه الصفات دورًا في تكيف هذه المجموعات السكانية مع بيئاتها. وتكون مجموعات الدم المرتبطة بالمناعة ضد الأمراض أكثر شيوعًا في مناطق جغرافية معينة، وإن الجلد الداكن اللون يقي الجسم من الآثار المدمرة للأشعة فوق البنفسجية التي تكون أكثر قوة في المناطق الاستوائية منها في المناطق المعتدلة.

السلالات البشرية كلها قادرة على التزاوج مع بعضها، وإنتاج نسل خصب. والسبب الذي يجعل البشر يختارون القيام بذلك أم لا هو نفسي أو سلوكي (ثقافي) فقط.

إن عدد المجموعات التي يمكن تقسيم النوع الإنساني لها منطقيًّا كان مسألة جدل مدة طويلة. إذ يقسم بعض علماء السلالات البشرية المعاصرين البشر إلى نحو 30 سلالة، في حين يقسمهم بعضهم الآخر إلى ثلاث سلالات هي: القوقازي، والزنجي، والشرقي. ويعد الهنود الأمريكان والبوشمان (في أمريكا الجنوبية) والأروميون (من أستراليا) أمثلة لوحدات متميزة بشكل خاص، ويمكن اعتبارها أحيانًا مجموعات متميزة.

تكمن المشكلة في تصنيف البشر أو المخلوقات الأخرى إلى سلالات بهذه الطريقة في أن الصفات المستخدمة في تحديد السلالة لا تكون عادة مترابطة مع بعضها، ولهذا فإن تحديد السلالة سيكون عشوائيًّا دائمًا. الإنسان يوجهه البصر عادة، نتيجة لذلك فإننا نعتمد على حاسة البصر - بشكل أساسي لون الجلد-لتحديد السلالة. ولكن عندما نتفحص صفات أخرى كمجموعات الدم مثلًا، فإن أنماط الاختلاف لا تتطابق بشكل جيد مع السلالات التي حددناها بصريًّا. وبالفعل إذا كان علينا تقسيم النوع الإنساني إلى وحدات اعتمادًا على التشابه الوراثي الإجمالي، فإن التقسيم سيكون مختلفًا عما هو عليه لو اعتمدنا لون الجلد وصفات بصرية أخرى (الشكل 35-41).

في النوع الإنساني، ليس من الممكن ببساطة أن نضع حدودًا واضحة تميز السلالات، وتعكس التباين البيولوجي، وتنتج مجموعات محددة تمامًا. السبب في ذلك واضح وبسيط؛ فالمجموعات المختلفة من البشر كانت تختلط مع بعضها بشكل دائم، وتتزاوج مع بعضها عبر مجرى التاريخ. فتدفق الجينات المستمر منع النوع الإنساني من التجزؤ إلى أنواع متمايزة. أما تلك الصفات التي تمايزت بين المجموعات، كلون الجلد، فإنها تُعدّ أمثلة تقليدية للتعارض بين تدفق الجينات والانتخاب الطبيعي. وكما رأيت في الفصل الـ 20، فعندما يكون الانتخاب الطبيعي قويًّا بما فيه الكفاية، كما هو حال التلوين الداكن في المناطق الاستوائية، يمكن للمجموعات أن تتمايز حتى بوجود تدفق الجينات. ومع ذلك، فإنه حتى في هذه الحالات سيستمر تدفق الجينات لضمان بقاء المجموعات متجانسة نسبيًّا للاختلافات الوراثية عند مواقع جينية أخرى.

لهذا السبب، فإن القليل من الاختلافات في النوع الإنساني تمثل اختلافات بين السلالات الموصوفة. وقد بينت إحدى الدراسات بالفعل أن نحو 8% فقط من كل الاختلافات الوراثية بين البشر يمكن اعتمادها بوصفها فروقًا بين مجموعات السلالات البشرية. بعبارة أخرى، إن مجموعات السلالات البشرية لا تصف بشكل جيد الأغلبية الكبيرة من الاختلافات الوراثية التي توجد في الإنسان. ولهذا، فإن معظم علماء الأحياء الحديثين يرفضون التصنيف السلالي (العرقي) للإنسان، ولا يعدونه عاكسًا لأنماط التمايز البيولوجي في النوع الإنساني. وهذا يُعدّ أساسًا بيولوجيًّا منطقيًّا للتعامل مع كل إنسان على أساس جدارته، وليس على أساس أنه ينتمي لسلالة محددة.

تطورت أنواع عدة من الجنس *Homo* في إفريقيا، بعضها هاجر من هناك إلى أوروبا وآسيا. الإنسان الحكيم، وهو نوعنا البشري، يبدو أنه تطور في إفريقيا ومثله مثل الإنسان القائم قبله هاجر إلى أوروبا وآسيا. الإنسان الحكيم محترف في استخدام التفكير المفاهيمي واستخدام الأدوات، وهو الحيوان الوحيد الذي يستخدم اللغة الرمزية. لا تعكس السلالات البشرية أنماطًا ذات أساس من التمايز البيولوجي.

مراجعة المفاهيم

35-1 الحبليات

الحبليات حيوانات سيلومية ثانوية الفم ذات قرابة وثيقة بشوكيات الجلد.

- تشترك الحبليات في أربع صفات مميزة في مرحلة ما من تكوينها الجنيني، هي: حبل عصبي مجوف مفرد، وحبل ظهري مرن، وشقوق بلعومية، وذيل يمتد خلف الشرج (الشكل 35-1).

35-2 الحبليات اللافقرية

يمكن تقسيم قبيلة الحبليات إلى تحت قبائل ثلاث: الفقريات، وذيلية الحبل، ورأسية الحبل، والأخيرتان ليستا من الفقريات.

- يرقة ذيلية الحبل متحركة لها حبل ظهري وحبل عصبي، لكن الحيوان البالغ غير متحرك، وليس له تجويف جسم كبير، ولا يبدي أي إشارة واضحة للتقسيم. كثير منها لها غشاء مكون من السليلوز بشكل أساسي (الشكل 35-4).
- رأسية الحبل لها حبل ظهري دائم يمتد على طول الحبل العصبي الظهري، ولها قطع عضلية مقسمة، وجلد مكون من طبقة واحدة من الخلايا، لكن ليس لها عظام أو رأس متميز عندما تكون بالغة (الشكل 35-3).

35-3 الحبليات الفقرية

الفقريات حبليات ذات عمود فقري مكون من فقرات عظمية أو غضروفية.

- تنفصل الفقريات عن قبائل الحبليات الأخرى؛ لأن لها عمودًا فقريًّا يحيط بالحبل العصبي الظهري ويحميه، ولها رأس متمايز جدًا، وبه أعضاء للإحساس.
- للفقريات أعراف (ثنيات) عصبية خلال مراحل التكوين الجنيني، وأعضاء داخلية، وهيكل داخلي مكون من فوسفات الكالسيوم (الشكل 35-6، 35-7).

35-4 الأسماك

أكثر من نصف الفقريات أسماك (الشكل 35-8).

- تتميز الأسماك بصفات عدة أساسية، هي: عمود فقري من العظم أو الغضروف، وفكوك وزوائد مزدوجة، وخياشيم داخلية، وجهاز دوري مغلق.
- تطور الفك من أقواس الخياشيم الداخلية للأسماك عديمة الفكوك القديمة (الشكل 35 - 10).
- للأسماك نظام خط جانبي يرصد التغيرات في أمواج الضغط.
- لمعظم الأسماك العظمية، غطاء خياشيم يحمي الخياشيم والأسماك الغضروفية تفتقر لذلك الغطاء.
- تنتمي الأسماك العظمية، إما إلى الأسماك ذات الزعانف الشعاعية Actinopterygii أو إلى الأسماك ذات الزعانف المفصصة Sarcopterygii.
- الأسماك ذات الزعانف الشعاعية لها زعانف مدعمة بأشعة عظمية متوازية، والأسماك ذات الزعانف المفصصة لها فصوص عضلية، وعظام تشكل مفاصل كاملة التمفصل مع بعضها (الشكل 35-13).

35-5 البرمائيات

البرمائيات فقريات ذات جلد رطب تحدرت مباشرة من الأسماك.

- للبرمائيات الحية خمس صفات مميزة، هي: أرجل، ورئات، وتنفس جلدي، وأوردة، وقلب مقسم جزئيًّا.
- تسبب غزو البرمائيات لليابسة في مشكلات عدة للمخلوقات التي عاش أسلافها في الماء مثل: دعم وزن الجسم الكبير، والتنفس خارج الماء، ومنع جفاف الجسم.
- تنتمي البرمائيات الحديثة لثلاث مجموعات: عديمة الذنب أو الضفادع والعلجوم وليس لها ذنب وهي بالغ؛ الذيليات المتطاولة أو السلمندرات؛ وعديمة الأطراف أو الديدان العمياء عديمة الأرجل.

35-6 الزواحف

الزواحف أنواع تعيش على اليابسة بشكل أساسي، ولها جلد جاف وذو حراشف.

- تتميز الزواحف بثلاث صفات أساسية، هي: بيضة رهلية مانعة لفقد الماء، وجلد مانع لفقد الماء، وتنفس صدري (الشكل 35-17).
- تستخدم الزواحف الضغط السالب لملء رئاتها بالهواء، ويُنتج هذا الضغط السالب توسعًا في تجويف القفص الصدري وسحب الهواء إلى الداخل.
- تمارس الزواحف الحديثة الإخصاب الداخلي، وهي خارجية الحرارة، إذ تحصل على الحرارة من مصادر خارج الجسم.
- تنتمي الزواحف الحديثة إلى أربع مجموعات، هي: السلاحف، ورأسية الخطم أو التواتارا، والحرشفيات كالعظايا والأفاعي، والتماسيح بأنواعها كالتمساح والقاطور.

35-7 الطيور

تُعدّ الطيور الأكثر تنوعًا بين فقريات اليابسة، وهي تمتلك تكيفًا متميزًا هو الريش (35-25 وجدول 35 - 4).

- الصفتان الأساسيتان للطيور هما: حراشف الزواحف المتحورة إلى ريش يحفظ الحرارة، ويشكل قوة رفع عند الطيران، وهيكل عظمي خفيف للطيران.
- تطورت الطيور من ديناصور ثيرابودا (الشكل 35-27).
- تشترك الطيور الحديثة في صفات عدة مميزة؛ التنفس والدورة الدموية الفعالة، وإنها داخلية الحرارة.

35-8 الثدييات

تطورت الثدييات من زواحف ثيرابسدا، وهي تتميز بسهولة عن باقي طوائف الفقريات.

- تتميز الثدييات بوجود الفراء والغدد اللبنية.
- الثدييات داخلية الحرارة، وفي معظمها يحدث التكوين الجنيني داخل الرحم والجنين يرتبط بالأم عن طريق المشيمة.
- للثدييات أسنان تلائم نوع غذائها، ومعظمها آكلات للعشب.
- الثدييات الحديثة تصنف إما إلى الوحوش الأولية، أو وحيدة المسلك التي تضع بيضًا ذا قشور، أو إلى الوحوش الولودة.
- تضم الوحوش الجرابيات التي تطور بها الجنين بشكل أساسي خارج الجسم في كيس أو جراب، والثدييات المشيمية.

35-9 تطور الرئيسيات (الشكل 35-36)

الرئيسيات ثدييات أعطت النوع الإنساني الذي ننتمي إليه.

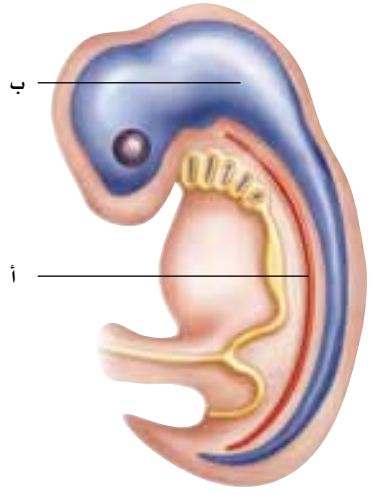
- تشترك الرئيسيات في ابتكارين: الأصابع القابضة، والرؤية الثنائية بالعينين معًا.
- الرئيسيات الأوائل أعطت قبل القردة التي تشمل الليمور، واللورس، والتَّرْسير، وشبيهة الإنسان تضم السعادين، والقرود، والإنسان.
- الإنسانيات تشمل القردة وعائلة الإنسان.
- إحدى العلامات المميزة لتطور عائلة الإنسان هي الوضع القائم، والانتقال باستخدام القدمين. أما القردة فتمشي ببعض الميل.
- ظهر الجنس *Homo* منذ نحو مليوني سنة تقريبًا من أسلاف من القردة الجنوبية.
- من الصفات الشائعة لأنواع الجنس *Homo* حجما الجسم والدماغ الكبيران.
- الإنسان الحكيم هو النوع الوحيد المتبقي من الجنس *Homo* وهو محترف في استعمال الأفكار المفاهيمية، والأدوات، واللغة الرمزية.

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. فيما يتعلق بأنواع الحبليات جميعها، واحد مما يأتي غير صحيح:
   أ. الحبليات ثانوية الفم.
   ب. الحبل الظهري موجود في الجنين.
   جـ. الحبل الظهري محاط بالعظم والغضروف.
   د. كلها لها ذيل يمتد خلف الشرج في أثناء التكوين الجنيني.
2. في الشكل الآتي تمثل (أ) _____ وتمثل (ب) _____
   أ. جهازًا هضميًّا كاملًا، حبلًا ظهريًّا.
   ب. حبلًا شوكيًّا، حبلًا عصبيًّا.
   جـ. حبلًا ظهريًّا، حبلًا عصبيًّا.
   د. شقوقًا بلعومية، حبلًا ظهريًّا.



3. في أثناء التكوين الجنيني، توجد الأعراف العصبية في كل الحبليات الآتية، باستثناء:
   أ. رأسية الحبل. ب. الزواحف.
   جـ. الطيور. د. الثدييات.
4. الجهاز الدوري المغلق ذو الدورة الواحدة يميز كل:
   أ. البرمائيات. ب. الطيور.
   جـ. الزواحف. د. الأسماك.
5. تطور _____ في الأسماك العظمية ليعادل أثر كثافة العظم المتزايدة.
   أ. الخياشيم. ب. الفكوك.
   جـ. مثانة السباحة. د. الأسنان.
6. تطورت البرمائيات من مجموعة الأسماك:
   أ. شعاعية الزعانف. ب. مفصصة الزعانف.
   جـ. الغضروفية. د. الأسماك الشوكية.
7. تمثل إكثيوستيجا:
   أ. الحبليات الأولى. ب. زواحف ذات ريش.
   جـ. أول البرمائيات. د. سمكة غضروفية مبكرة.
8. يُعدّ تطور الوريد الرئوي مهمًّا للبرمائيات؛ لأنه:
   أ. يحرك الأكسجين من الرئتين وإليها.
   ب. يزيد معدل الأيض.
   جـ. يزيد دورة الدم إلى الدماغ.
   د. لا شيء مما ذكر.
9. أول مجموعة من الحيوانات استخدمت البيضة الرهلية كانت:
   أ. الطيور. ب. الثدييات.
   جـ. البرمائيات. د. الزواحف.
10. المجموعة التي تفتقر إلى قلب ذي أربع حجرات هي:
    أ. الطيور. ب. الزواحف.
    جـ. الثدييات. د. البرمائيات.
11. واحدة مما يأتي ليست من خصائص الزواحف:
    أ. التنفس الجلدي. ب. البيضة الرهلية.
    جـ. التنفس الصدري. د. جلد جاف مانع لتبخر الماء.
12. واحدة من التكيفات التطورية الآتية يسمح للطيور لتصبح كفأة في أثناء الطيران:
    أ. تركيب الريش. ب. درجة حرارة أيض مرتفعة.
    جـ. زيادة فعالية التنفس. د. لا شيء مما ذكر.
13. مجموعة الثدييات الأكثر قرابة للزواحف هي:
    أ. ثيرابسدا. ب. الجرابيات.
    جـ. وحيدة المسلك. د. الثدييات المشيمية.
14. المجموعة التي تضم القردة والإنسان وأسلافها المباشرة فقط هي:
    أ. الإنسانيات. ب. الرئيسيات.
    جـ. شبيهة الإنسان. د. الثدييات المشيمية.
15. النوع الأول من عائلة الإنسان الذي انتقل من إفريقيا في مجموعات اجتماعية هو:
    أ. الإنسان الماهر *Homo habilis*.
    ب. الإنسان القائم *Homo erectus*.
    جـ. الإنسان الحكيم *Homo sapiens*.
    د. إنسان فلورس *Homo floresiensis*.

أسئلة تحدٍّ

1. يعتقد بعض العلماء أن الريش تطور أصلًا للقيام بوظيفة العزل، ولم يتطور من أجل الطيران. ما الفوائد التي يمكن أن تجنيها الطيور الأوائل عديمة الطيران من هذا الأمر؟
2. يعتقد بعض الناس أن الديناصورات لم تنقرض، وإنما هي بيننا اليوم. ما الدليل الذي يمكن أن يستخدم لدعم هذه المقولة؟
3. يقول بعض الناس: إن الإنسان تطور من القردة، ومع ذلك، فإن هذه المقولة ليست صحيحة حقًّا. لماذا؟

هل أنت في حاجة إلى مراجعة إضافية؟ زر الموقع www.ravenbiology.com. لتتدرب على الاختبارات القصيرة، والرسوم المتحركة، والتسجيلات التلفزيونية، وأنشطة مخصصة؛ لمساعدتك على فهم المادة الموجودة في هذا الفصل.