نشوء الحياة وتطورها

في بداية تكوّن الأرض حالت طبيعة المناخ دون ظهور الحياة. وبعد مئات الملايين من السنين بدأت تتكون في مياه المحيطات مركبات عضوية مجهرية في غاية البساطة. وبعد ملايين أخرى من السنين صارت الحياة المائية شيئا فشيئا تزداد تعقيدا وتنوعا حتى ظهرت الأسماك والنباتات البحرية التي انتقلت لاحقا إلى اليابسة. انتقال النباتات إلى اليابسة سمح بتوفّر الأكسجين في الجو مما أتاح الفرصة للحياة الحيوانية أن تنتقل بدورها لتعيش خارج الماء. سوف نتتبع في هذا الفصل مراحل نشوء الحياة وتطورها من بداياتها المتواضعة حتى ظهور الثديات.

تشكُّل الأرض

يتراوح عمر الأرض حسب تقديرات العلماء ما بين ٤,٠٠٠ أربعة آلاف إلى ٥,٠٠٠ خمسة آلاف مليون سنة. وكانت في البداية دوامة ملتهبة من الغازات والرذاذ، ثم بدأت تتكثف شيئاً فشيئاً وتتخثر وتبرد إلى أن تحولت إلى كتلة كروية من الصخور المنصهرة التي أخذت تتبلور تدريجياً بفعل البرودة. وخلال ملايين السنين تكونت قشرة رقيقة من الصخور البلورية غلفت جوف الأرض الذي استمر في الغليان والهيجان مما أدى إلى حدوث زلازل عنيفة وانفجارات بركانية هائلة تطفح منها الحمم باستمرار. وكان غلاف الأرض الجوي آنذاك عبارة عن مزيج من الغازات البركانية والبخار، حيث كانت حرارة القشرة الأرضية المتوهجة تحول دون تكثف البخار إلى ماء. وبمجرد أن بدأ سطح الأرض في البرودة تكثف البخار على هيئة أمطار غزيرة فَجَرَت الأنهار إلى المنخفضات وتكونت البحار والمحيطات التي غمرت ثلثي مساحة الأرض. ويشكل الثلث الباقي الجزء اليابس من الأرض الذي يتكون من الصخور النارية كالبازلت والجرانيت وهي صخور كتلية الشكل تتكون من معادن متبلّرة تتفاوت أحجام بلوراتها بتفاوت معدل تبردها. هذه الصخور النارية التي يصعب اختراقها تشكل في الوقت الحالي الدرع الذي يغلف باطن الأرض وتتراكم فوقه طبقات الصخور الرسوبية. وكانت اليابسة حينذاك قطعة واحدة مسطحة حيث لم تظهر الجبال بعد ولم تنفصل القارات. كما أن مياه البحار والمحيطات كانت عذبة ثم أخذت ملوحتها في الازدياد تدريجياً بفعل التبخر ونتيجة لما تحمله مياه الأنهار أثناء جريانها من الأملاح المذابة (Volpe 1970: 140-1).

وتميز المناخ آنذاك بشدة الحرارة والرطوبة التي نتج عنها الضباب الكثيف والسحب الداكنة والعواصف الرعدية والزوابع مما تسبب في سقوط الأمطار الغزيرة التي تكونت منها الأنهار الجارفة. وبفعل عوامل التعرية المختلفة، بما فيها الأنهار والرياح والزحف الجليدي وتفاوت درجات الحرارة، تتفتت الصخور النارية إلى ذرات صغيرة تذوب في مياه الأنهار أو تمتزج معها فتحملها وحينما تضعف سرعة جريان النهر عند الدالات وعند مصبه في البحر أو المحيط تترسب الذرات التي يحملها. وينشأ عن ترسيب ذلك الفتات الصخري أنواعاً أخرى من الصخور تسمى الصخور الرسوبية مثل الحجر الرملي والحجر الجيري والصلصال. ففي كل

سنة يلقي النهر في مصبه ملايين الأطنان من الرسوبيات التي تندفع إلى قاع البحر وتتراكم فوق بعضها سنة بعد أخرى مما يؤدي إلى تضاغطها وتصلبها على هيئة طبقات قد يصل سمكها إلى عدة أميال. وعندما تتراكم الرسوبيات لمثل هذا السمك العظيم فإن الطبقات العليا تحدث ضغطاً هائلاً على الطبقات السفلى مما يؤدي إلى ازدياد حرارتها وعصر الماء من بين حبيباتها فتتماسك مع بعضها البعض مكونة صخراً صلباً. وبالإضافة إلى الصخور النارية igneous والصخور الرسوبية sedementary هناك نوع ثالث من الصخور يسمى الصخور المتحولة metamorphic مثل الرخام. وكما يوحي بذلك اسمها، فإن الصخور المتحولة كانت في الأصل صخوراً نارية أو رسوبية فتحولت نتيجة تعرضها لدرجات عالية من الضغط والحرارة.

كان غلاف الأرض الجوي في بداية تكوينها مختلف تماما عما هو عليه الآن وكانت هناك عدة عوامل تحول دون وجود الحياة في ذلك المحيط البدائي أهمها الحرارة الشديدة، وعدم وجود غاز الأوزون ozone في الأجواء العليا ليمتص أشعة الشمس فوق البنفسجية ultraviolet التي تقضي على الحياة؛ وعدم وجود ثاني أكسيد الكربون حيث أن الكربون لم يتحد بعد مع الأكسجين بل وجد مع الهيدروجين ومع المعادن في القشرة الأرضية؛ وعدم وجود الأكسجين الطلق، حيث كان لا يوجد إلا متحدا مع الهيدروجين في أبخرة الماء أو في الأكاسيد المعدنية. وتجدر ملاحظة أن عدم وجود الأكسجين الطلق يعني أنه لو وجد آنذاك أي مركب عضوي فإنه لن يتأكسد ويتحلل. وأهم الغازات الموجودة أنذاك غاز الهيدروجين الذي كان يوجد بنسبة عالية، خلاف ما هي عليه الحال الآن حيث لا يوجد إلا بنسبة ضئيلة جداً، كما وجد متحدا مع الأكسجين في الماء ومتحدا مع الكربون في غاز الميثين السام methane (CH4) ومتحدا مع النتروجين في غاز الأمونيا ammonia (NH4) السام كذلك (Olson 1965: 39).

والعناصر الأساسية التي تدخل في تركيب المواد العضوية التي تتألف منها الحياة هي الأكسجين والكربون والنيتروجين والهيدروجين. وجميع هذه العناصر وجدت منذ البداية إما بشكل أو بآخر، إما مستقلة كالهيدروجين أو ممتزجة مع غيرها من العناصر مثل الأكسجين الذي وجد ممتزجاً مع الهيدروجين في الماء، وقد سبق القول بأن الكربون وجد في غاز الميثين مثلما وجد النيتروجين في غاز الأمونيا (Time-Life Books 1972: 25-7; Volpe 1970: 141).

نشوء الحياة

ولكن كيف بدأت الحياة تحت هذه الظروف؟ كيف نشأت المركبات العضوية من مركبات غير عضوية؟ فالحياة مرتبط وجودها بوجود الأحماض والمركبات العضوية مثل الحمض الأميني amino acid والبروتينات proteins والكاربوهيدرات carbohydrates، وفي نفس الوقت فإن هذه المركبات العضوية يعتمد وجودها على الكائنات الحية التي تصنّعها.

تبدأ قصة الحياة على الأرض حينما أصبح المناخ مهيأ لتتمازج مختلف العناصر الكيميائية التي وجدت آنذاك في الغلاف الجوي وتتفاعل مع تلك الموجودة في الماء، فاتحد الهيدروجين والكربون لينشأ عن ذلك أولى المركبات العضوية وهو الهايدروكربون hydrocarbon. ومن المعلوم أن الماء والهايدروكربون وغاز الأمونيا هي المواد الخام التي يتكون منها الحمض الأميني والذي بدوره يشكل اللبنة الأساس التي تتكون منها جزيئات البروتين الأكبر منها. وهكذا بدأت تتجمع الأحماض الأمينية في المحيطات البدائية بكميات

كبيرة لتتحد مع بعضها وتتفاعل مكونة البروتينات. وتسمى المركبات الكربونية المعقدة مثل الحمض الأميني والبروتينات مركبات عضوية organic لأنه يتم إنتاجها بواسطة الكائنات الحية العضوية living organism. في الظروف الحالية يمتص النبات الطاقة المنبعثة من أشعة الشمس لتخليق المركبات العضوية من جزيئات بسيطة molecules غير عضوية. ولكن في محيط الأرض البدائي من أين جاءت الطاقة وكيف تم تصنيع المركبات العضوية في غياب الكائنات العضوية؟ يقال بأن الأشعة فوق البنفسجية من الشمس إضافة إلى الشحنات الكهربائية المفرغة مثل البرق والصواعق والحرارة الجافة الناجمة عن النشاطات البركانية كانت المسؤولة عن تهيئة الظروف لاتحاد المركبات الكربونية البسيطة مع المواد النيتروجينية لتوليد الحمض الأميني. وربما استغرقت هذه العملية بلايين السنين.

معلوم بأن المركبات العضوية يستحيل أن تنشأ من مركبات غير عضوية تحت الظروف المناخية والطبيعية الراهنة. وحتى لو افترضنا أنه بطريق الصدفة المحضة حدث وأن ظهر الآن بشكل ما جسيم حي يقترب في تكوينه من شكل الحياة الأولى فإنه سوف يتحلل ويتأكسد بسرعة، نظرا لتوفر الأكسجين الطلق الآن في الجو، أو سوف تنقض عليه وتلتهمه الكائنات الدقيقة التي توجد الآن في كوكب الأرض بأعداد لا تحصى. ولكن إذا ما عرفنا أن طبيعة الأرض والمناخ منذ بلايين السنين يختلفان تماماً عما هما عليه الآن فإنه تبعاً لذلك قد يكون من غير المستحيل نشوء الحياة في بداية تكوين الأرض من العناصر الموجودة في الطبيعة عن طريق التفاعلات الكيميائية (Volpe 1970: 140-1).

وللتحقق من هذه الفرضية أجرى العلماء عدة تجارب مخبرية لمعرفة ما إذا كان من الممكن تخليق مركبات عضوية بدون وجود الكائنات العضوية. أهم هذه التجارب تلك التي قام بها ستانلي مِلَر Stanley Miller من جامعة شيكاغو ومِلفِن كالْفِن Melvin Calvin من جامعة بيركلي وسِدني فوْكس Sidney Fox من جامعة ميامي، وغيرهم. أجرى ستانلي ميلر تجربته الكيميائية سنة ١٩٥٣ في المعمل وأثبت إمكانية تصنيع المركبات العضوية من العناصر غير العضوية عن طريق التفاعل الكيميائي. حاول ميلر في تجربته أن يوجد جوا اصطناعياً يشبه جو الأرض في حالتها البدائية فمزج مقادير من البخار وغازات الهيدروجين والميثين والأمونيا وجعلها تمر بماء حار. لكن هذا المزيج يحتاج إلى طاقة حتى تتولد التفاعلات المطلوبة. في بداية تكوين الأرض وجدت هذه الطاقة عن طريق العواصف الرعدية وعن طريق الإشعاع الناتج عن أشعة الشمس فوق البنفسجية. أما ميلر فإنه أوجد الطاقة المطلوبة عن طريق مولد كهربائي يقدح الشرر باستمرار في الجو الاصطناعي. ولم يمر أسبوع إلا وقد تغير لون الماء نتيجة تفاعل تلك الجزيئات غيرالعضوية (الغازات)، وعن طريق الفحص المجهري تبين أن الماء العكر يحتوي على الحمض الأميني، اللبنة الأولى في بناء الحياة.

استنتج العلماء عن طريق هذه التجربة وتجارب أخرى مماثلة أن البحار في بداية تكوين الأرض كانت عبارة عن معامل ضخمة لتصنيع أنواع مختلفة من المركبات العضوية تلقائيا والتي صارت تتفاعل مع بعضها وتتحد لتكون مركبات أكبر وأكثر تعقيدا، مما أدى إلى وجود مكونات البروتوبلازما. اتحاد جزيئات الحمض النووي مع البروتينات يقود في النهاية إلى تكون جزيئات من البروتين النووي شبيهة بالفيروسات في أن لها القدرة على التكاثر الذاتي. ومن أهم خصائص الحياة قدرة الكائن العضوي على إنتاج نفسه بنفسه، أو التوالد والتكاثر ذاتيا. وقد استمر هذا الوضع ما يقرب من بليوني سنة حتى تشبعت البحار والمحيطات بهذه المركبات العضوية المجهرية وتحولت إلى ما يسميه العلماء الحساء العضوي organic soup.

وهذه هي الخطوة الأولى في مسيرة الحياة. ومما شجع على تكاثر تلك الكائنات العضوية بهذا الكم الهائل عدم وجود الكائنات الحية التي تتغذى عليها وانعدام الأكسجين الذي يتسبب في إتلافها عن طريق التحلل والتأكسد (Volpe 1970: 142).

وهكذا تشبعت مياه البحار والمحيطات بالمركبات العضوية المجهرية التي أخذت تتصادم وتتفاعل مع بعضها على مدى ملايين السنين حتى تولد عن ذلك مركبات جديدة أكثر تعقيداً وأقرب إلى طبيعة الحياة، إلا أنها تفتقد ميزة من أهم مزايا الحياة وهي تصنيع عناصر الحياة الأساسية مثل حامض الأمينيك والكاربوهايدريت والبروتين والأنزيم enzyme. لذلك ظلت هذه الكائنات البدائية تتغذى على المركبات العضوية التي تزخر بها مياه المحيط.

وبمرور ملايين السنين بدأت كمية المواد العضوية الموجودة في المحيط تتضاءل دون أن يكون هناك وسيلة لتعويضها. فالخلايا التي تتغذى عليها غير قادرة على تصنيعها كما أن حالة الجو كانت قد تغيرت تغيرا ملحوظا عما كانت عليه في البداية بحيث أصبح من المستحيل تصنيع المواد العضوية من مواد غير عضوية عن طريق التفاعلات الكيميائية. وهكذا بدأ التنافس يزداد بين الخلايا الحية على المواد العضوية حتى استنفدتها تماما مما أدى بالضرورة وعلى مدى ملايين السنين إلى ظهور أنواع جديدة من الخلايا الحية أكثر تعقيدا من سابقتها ولديها القدرة على تصنيع المواد العضوية تلقائيا. وهذا يحتاج إلى كم متنوع من الأنزيمات enzymes اللازمة لقدح العمليات المتعددة والمعقدة لتوجيه سلسلة التفاعلات المتدرجة والمترابطة الضرورية لتخليق البروتينات والكاربوهايدرات. ولا بد أن وجود هذه الأنزيمات احتاج إلى ملايين السنين.

وتتميز تلك الكائنات البدائية عن غيرها من الكائنات الحية في أنها تتكاثر عن طريق الانقسام لا عن طريق التزاوج والتوالد. فهي أشبه ما تكون بالفطريات والفيروسات والبكتريا. وكانت تتغذى وتنمو عن طريق التخمر fermentation لذلك فهي لا تحتاج إلى الأكسجين الذي لم يكن بعد متوفرا في الجو انذاك. ومن المعروف أن التخمر ينتج عنه ثاني أكسيد الكربون (Time-Life Books 1972: 27). وهنا يبدأ ثاني أكسيد الكربون يتوفر في الجو وتبدأ خطوة أخرى مهمة في عملية نشوء الحياة وتطورها على الأرض. ومع توفر ثاني أكسيد الكربون تتهيأ الظروف لنشوء شكل آخر من الحياة يحتوي على مادة اليخضور chlorophyll وهي من المواد الأساسية التي لا يستغني عنها النبات في عملية التخليق الضوئي photosynthesis. فمادة اليخضور تجعل باستطاعة النباتات امتصاص أشعة الشمس ليستخلص منها الطاقة الضرورية لتحليل الماء إلى أكسجين وهيدروجين. ويتحد الهيدروجين مع ثاني أكسيد الكربون الذي يمتصه النبات من الجو لتخليق المواد العضوية اللازمة لنمو النبات مثل الكاربوهايدرات. ويتسرب الأكسجين من النبات إلى الجو نهارا. فظهور النبات، في الماء أولا ثم على اليابسة فيما بعد، يعتبر مرحلة ضرورية لتوفر الأكسجين في الجو ومن ثم ظهور الحيوانات التي تتنفس هذا الأكسجين. وهكذا نشأت علاقة بيئية تكاملية بين النبات والحيوان بحيث لا يستغني أحدهما عن الآخر. فالنبات يحصل على ثاني أكسيد الكربون من الحيوان الذي بدوره يحصل على الأكسجين من النبات. كما أن الحيوان يتغذى على النبات (Kelso 1970: 123; Time-Life Books 1972: 27; Volpe 1970: 140-4).

تطور الحياة

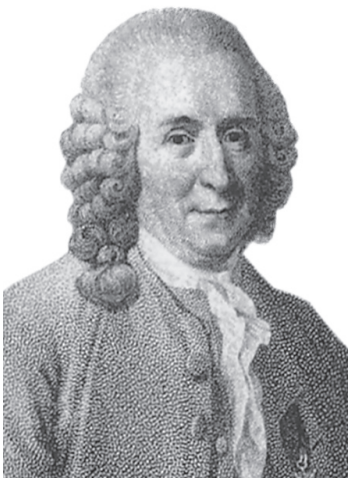
نشأت الحياة في البحار ثم انتقلت تدريجيا من الماء إلى اليابسة. ولم يكن هذا أمرا سهلا، فالحياة على اليابسة، بشكل عام، أصعب من الحياة في الماء، وكان لا بد للحيوانات والنباتات أن تواجه مشكلة التكيف مع هذا المحيط الجديد. فمن المشاكل التي واجهتها النباتات البرية مشكلة التغلب على الجفاف ونقل الماء والغذاء إلى أغصانها وأوراقها، فنشأت لها أنابيب شعيرية تفي بهذا الغرض، كما نشأت لها جذور تضرب في أعماق التربة بحثا عن الماء والغذاء ولتثبيتها في الأرض وإسنادها. أما بالنسبة للحيوانات فقد واجهتها مشاكل من نوع آخر أهمها مشكلة التنفس والتكاثر والحركة وإسناد الجسم على القوائم، كما أن ظروف المناخ وتوفر الطعام على اليابسة غير ثابتة وتتغير بتغير الفصول. لذا فقد مر انتقال الحيوانات من الماء إلى اليابسة بعدة مراحل ابتداء بالأسماك الرئوية مرورا بالحيوانات البرمائية ثم إلى الزواحف. تعيش الكائنات البحرية في بيئة بحرية مستقرة إلى حد ما تحتوي على ما تحتاجه من السوائل والأملاح والطعام والأكسجين. وبالنسبة للأسماك التي تعيش في قاع البحر فإنها لا تتعرض لتقلبات الجو والتغيرات المناخية الناتجة عن تعاقب الفصول، حيث أن درجة الحرارة في عمق المحيط تكاد تكون معتدلة وثابتة طوال العام. لذا فإن انتقال الحياة من الماء إلى اليابسة يتطلب منها أن ينشأ لها وسيلة تساعدها على الاحتفاظ بالاتزان الجسمي homeostasis بين عناصره المختلفة وتحافظ على بيئتها الداخلية بحيث تقارب إلى حد ما البيئة المائية التي انحدرت منها. فمثلاً نجد أن كل خلية من خلايا الثديات تعوم في سائل لمفاوي lymph، وهو عبارة عن خليط من الأملاح والبروتينات والسكر والأكسجين وغيرها من المواد المستحصلة من شعيرات الدم vessels. وهكذا تستطيع البقاء في الأجواء الحارة والباردة والرطبة والجافة لأن خلايا الجسم الحية محفوظة في بيئة مالحة حرارتها ثابتة وتركيبها ثابت. ومن وسائل الاحتفاظ بالاتزان الجسمي الجوع والعطش وسرعة التنفس في حالة الاختناق ومنه العرق في حالة الحر (للتبريد) وميل الجلد إلى السواد في المناطق الحارة (لمنع نفوذ الأشعة فوق البنفسجية). كما أن الحيوانات البرية نشأ لها طبلة الأذن التي تساعدها على سماع الأصوات المحمولة في الهواء. كذلك لا بد من نشوء رموش لحماية العين ودموع لترطيبها وكذلك القدرة على الرؤية في الهواء (Campbell 1970: 16-8; Cox 1970: 32-3).

ولا تستطيع السمكة العيش خارج الماء كما لا يستطيع أي حيوان بري العيش مغمورا بالماء. وتحصل الأسماك، لا سيما الأنواع الصغيرة البدائية، على الأكسجين من الماء عن طريق مسام الجلد وكذلك بواسطة الخياشيم gills. والخياشيم عبارة عن فتحتين تلتقيان داخل حلق السمكة وتتجهان نحو الخارج إلى الجهة الأمامية من الجسم يمينا وشمالا. وتوجد على مدخل كل فتحة رزمة من الأهداب تستخدمها السمكة لشفط الماء الغني بالأكسجين والمواد الغذائية إلى داخل الحلق لتمتص ما يحتويه من الغذاء والأكسجين قبل أن تقذف به إلى الخارج مرة أخرى. وقد ظهر في المرحلة الانتقالية نوع خاص من السمك يسمى السمك الرئوي lung fish بإمكانه الحصول على الأكسجين من الماء بواسطة الخياشيم إضافة إلى رئة بدائية تمكنه من تنفس الهواء، وكانت هذه الرئة في الأصل كيس هوائي يساعده في الطفو على سطح الماء. وظهر هذا النوع من السمك تجاوبا مع التغيرات المناخية التي حدثت في العصور الجيولوجية القديمة لتعيش في البرك والمستنقعات التي تتراوح بين الرطوبة والجفاف. فإذا ما جف الماء عن هذه الأسماك تنفست الهواء حتى تجد الماء. ولكن لا يكفي لهذه الأسماك لكي تعيش على اليابسة أن تتنفس الأكسجين، فطريقة الحركة

والانتقال تختلف على اليابسة عنها في الماء. الحيوانات المائية تطفو أجسامها ولا تحتاج إلا إلى جهد بسيط من أجل الحركة. أما الحيوان البري فلا بد أن يحمل جسمه بكامل ثقله، كما أن بقية الهيكل العظمي لا بد أن يتكيف مع الحياة على اليابسة ليصبح العمود الفقري صلباً يلتحم بالزنار الحوضي pelvic girdle الذي تلتحم به القوائم الخلفية. لذا كان لا بد لزعانف السمك الرئوي التي تستخدمها للتجديف في الماء أن تتحول إلى قوائم رافعة تتناسب مع الحركة على اليابسة حتى إذا جف عنها الماء تستطيع الزحف والانتقال إلى مستنقع آخر. وهكذا تطور السمك الرئوي إلى حيوان برمائي له قوائم بدائية ورئة بدائية. ومن المفارقات أن هذه الأرجل والرئة البدائية جاءت أصلا لتساعد هذه الأسماك على الاستمرار في عيشتها المائية في أزمان الجفاف كما رأينا لكنها في نهاية الأمر مهدت الطريق لها لتتحول إلى حياة برية لا صلة لها بالماء (Cox 1970: 28, 32-3; Romer 1971: 48-9).

الحيوانات البرمائية تستطيع أن تتنفس الهواء ولها القدرة على الحركة على اليابسة، لكنها لا تستطيع أن تقطع صلتها بالماء وتحيا حياة برية كاملة. فلا بد للأنثى أن تضع بيضها في الماء أو قريبا منه وفي معظم الحالات يلقح الذكر البيضة تلقيحا خارجيا بعد أن تضعها الأم. وإذا ما تعرضت البيضة للهواء جفت وفسدت لأنها تفتقر إلى قشر يحميها. وتصبح البيضة يرقة ثم فرخ يعيش مرحلة حياته الأولى في الماء مثل الأسماك تماما ويتنفس الماء بخياشيمه، ولربما يعود ذلك إلى توفر الغذاء المناسب لهذه المرحلة من حياة البرمائيات في الماء بدل اليابسة. وبعد أن تنتهي المرحلة اليرقية تبدأ عمليات التحول metamorphosis التي عن طريقها يبدأ جسم الحيوان وطريقة حياته في التغير، فتختفي الخياشيم والذنب وتستبدل بالأرجل والرئتين وينتقل إلى البر ولا يعود إلى الماء إلا ليضع بيضه (Romer 1971: 49).

وهكذا على مدى ملايين السنين تطورت الحياة من خلايا بسيطة التركيب إلى كائنات في غاية التعقيد وانقسمت في فترة مبكرة إلى مملكتين: نباتية وحيوانية. تتميز النباتات بقدرتها على التخليق الضوئي، أي امتصاص الطاقة من أشعة الشمس لتخليق مركبات عضوية من مركبات كيميائية غير عضوية، بينما تتميز الحيوانات بقدرتها على الحركة والهضم والتنفس. والمملكة Kingdom، سواء الحيوانية أو النباتية، تنقسم بدورها إلى شُعب وكل شعبة Phylum تنقسم إلى فصائل وكل فصيلة Class إلى رُتب والرتبة Order إلى طوائف والطائفة Family إلى أصناف والصنف Genus إلى أنواع والنوع Species إلى أجناس Races.



كارلُس لينـاوس
Carolus Linnaeus

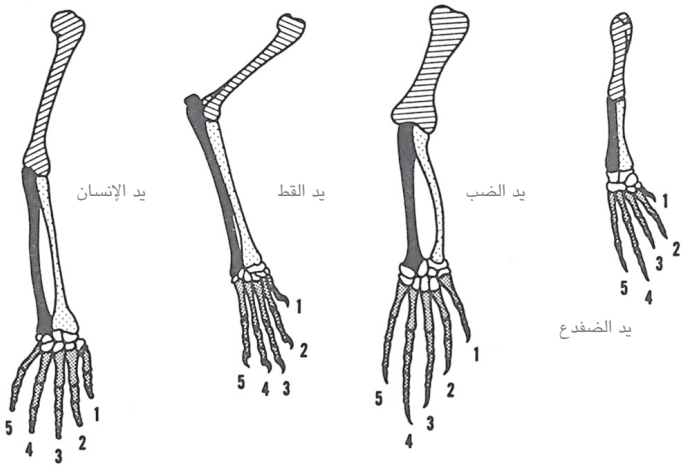
وأول من فكر في النظام المتبع الآن في تصنيف الحيوانات والنباتات هو عالم النبات السويدي كارلُس لينـاوس (١٧٠٧–١٧٧٨) Carolus Linnaeus. فقد وضع هذا العالم الأسس والخطوط العريضة التي لا تزال مستخدمة حتى الآن. ولقد استطاع لينـاوس، دون أن يقصد إلى ذلك، أن يقدم بتصنيفه هذا دليلاً قوياً على صحة نظرية التطور التي أتى بها دارْوِن

بعد وفاة لينـاوس بأكثر من ثمانين سنة. وغرض لينـاوس من التصنيف هو إيضـاح علاقة القرابة البيولوجية أو البعد بين الكائنات الحية من حيث بنية الأعضاء ووظيفتها. إلا أنه اتضح فيما بعد أن هذه العلاقة ذات دلالة مهمة بالنسبة لتطور الكائنات الحية. فبمقدار ما هنالك من شبه بين الكائنات الحية في الهيكل العظمي وبنية الأعضاء يكون قربها أو بعدها من بعضها على سلم التطور. فالكائنات التي بينها تشابه واضح تكون انحدرت من أصل واحد. وهنالك نوعان من التشابه هما التناظر analogy والتماثل homology. فالتناظر هو التشابه السطحي الذي لا يعني شيئاً كان تتشابه الأعضاء في وظيفتها أو في شكلها الظاهري مثل جناح الطير والخفاش والحشرة. فكلها تبدو أجنحة يستعان بها في الطيران إلا أنها من الناحية التشريحية والبنيوية تختلف تماماً ولا تدل على أي صلة نسب بيولوجية. بينما أجنحة الخفاش وقوائم القوارض الأمامية بالرغم من اختلافها في الوظيفة والمظهر الخارجي فإنها تتشابه تماماً في بنيتها فهذا النوع من التشابه يسمى تماثل وهو دليل قاطع على صلة النسب البيولوجي التي تربط الخفاش بالقوارض، فكلاهما انحدر من أصل واحد (Kelso 1970: 26; Pilbeam 1970: 28).

وعملية التصنيف ليست سهلة. فهناك مثلا أنواع مثل البكتيريا لا تنتمي لا إلى عالم الحيوان ولا إلى عالم النبات. كما أن هناك من الحيوانات ما هو مجموعة من الخصائص بعضها يشاركه فيه هذا الصنف من الحيوانات وبعضها يشاركه فيه صنف آخر، فلأي الصنفين يُضم ذلك الحيوان؟ وهنالك حالات غير قليلة اختلف فيها المختصون. فلا بد أن يختار المصنف أهم الخصائص التي تميز الحيوان ويصنفه تبعاً لذلك. فالحوت بالرغم من أنه يعيش في الماء بين الأسماك وله زعانف وليس له فرو إلا أنه يصنف مع الثديات لأنه يمتلك طبقة دهنية عازلة تحت الجلد تساعده على الاحتفاظ بحرارة جسمه، علاوة على كونه يلد ويرضع ومن ذوات الدم الحار. وكذلك البلاتِبوس platypus وهو حيوان يعيش في أستراليا له منقار كمنقار البطة ويبيض كالزواحف إلا أنه يصنف من الثديات لأنه مثلها له فرو ويرضع صغاره (Olson 1965: 41; Simpson 1953: 101-2).

التناظر تشابه سطحي لا يعني شيئاً كأن تتشابه الأعضاء في وظيفتها أو في شكلها الظاهري مثل جناح الطير والخفاش والحشرة

التماثل هو التشابه البنيوي وهو دليل على صلة النسب البيولوجي، فيد الإنسان مثلا الذي يعتبر من أرقى فصائل الرئيسيات لا تختلف في بنيتها التشريحية عن يد الضفدع أو الضب بالرغم من اختلافها عنهما في الوظيفة والمظهر الخارجي.

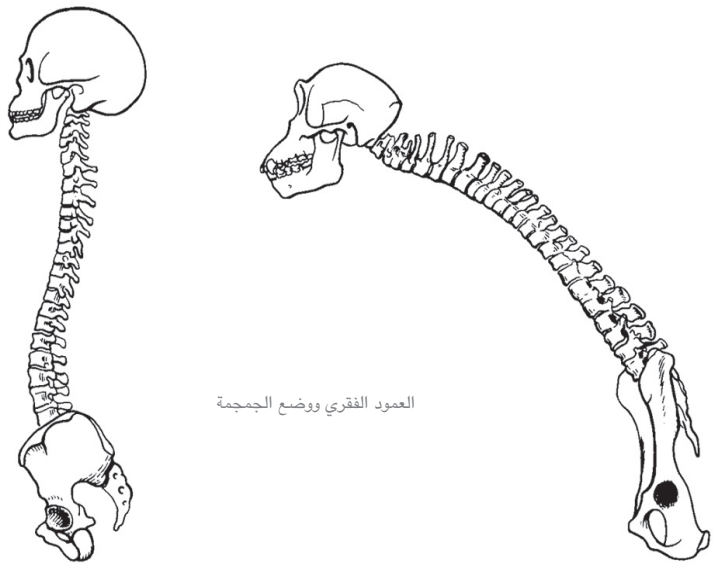


ومن أهم شُعب المملكة الحيوانية شعبة الحبليات chordata التي تتميز بأن لها حبل أنبوبي مرن يسمى الحبل الظهري notochord. في الفصائل المتطورة من هذه الشعبة مثل الفقريات يوجد الحبل الظهري في الحالة الجنينية الأولى لكنه سرعان ما يتحول بعد تخلق العظام إلى ما نسميه بالعمود الفقري. ومن شعبة الحبليات تنحدر شعبة فرعية هي الفقريات vertebrate التي تضم فصائل كثيرة من الأسماك والبرمائيات والزواحف والطيور والثديات. من أهم الخصائص التي تميز الفقريات عن اللافقريات امتلاكها لعمود فقري مجزأ إلى فِقَر، خرز segmented backbone مما يمنحه مرونة حركية، وهذا ما يمنحها اسمها، وزنار حوضي pelvic girdle يربط القوائم الخلفية بالعمود الفقري. والعمود الفقري يحتوي على حبل شوكي spinal cord متصل بالدماغ من عند الثقب الكبير foramen magnum الذي يقع أسفل الجمجمة التي تحمي الدماغ داخلها. هذا بالإضافة إلى تماثل الشقين الأيمن والأيسر أو ما يسمى بالتماثل المحوري bilateral / axial semmetry. وتمتلك الفقريات رأس يحتوي الأعضاء الحسية وفم بأسنان وجهاز هضمي وجهاز بولي للتخلص من النفايات.

والزواحف من ذوات الدم البارد إلا أنها تتميز عن البرمائيات بأن لها رئة فعالة تساعدها على استخلاص الأكسجين الضروري لبقائها من الهواء ونقله إلى الدم، على خلاف البرمائيات التي لا تساعدها رئتها البدائية في الحصول على ما يكفيها من الأكسجين لذا تمتص الباقي من الماء بواسطة مسام الجلد. كما تمتاز الزواحف بدماغها المتطور نوعا ما وقوة عمودها الفقري وبأن لها قوائم قوية مستقيمة تحمل جسمها وترفعه عن الأرض وتساعدها على الحركة السريعة الرشيقة. وأهم ما يميز الزواحف القدرة على التناسل خارج الماء حيث تمكنت من أن تبيض بيضة يتم تلقحيها داخل الأم عن طريق السفاد وتغطيها قشرة تحميها من الجفاف وتنفذ الأكسجين في الوقت نفسه وغشاء تحت القشرة. وفي داخل البيضة يحاط الجنين embrryo

بغلاف من الصفار yolk الذي يمده بالغذاء كما يوجد كيس صغير لطرح الفضلات waste. وحالما تفقس البيضة يخرج منها فرخ قادر على الحركة والعيش على اليابسة. وقد ورثت الزواحف من أسلافها الأسماك حراشيفها التي تغطي جسمها وتقيه البرد والحر.

ومن الزواحف انحدرت الطيور، وبالتحديد من الزواحف التي تمشي على ثنتين thecodonts، فهي قريبة الصلة ببعض أنواع الديناصور. وكان لهذه الأنواع الأولى أسنان في المنقار. وقد يعتقد البعض أن الخاصية التي تميز الطيور عن غيرها هي القدرة على الطيران. لكن هناك أنواع من الطيور لا تطير مثل البطريق وهناك الكثير من الحشرات التي تطير لكنها لا تعتبر طيور. إن أهم ميزة تنفرد بها الطيور هي الريش الذي يغطى جسمها والذي تطور من حراشف الزواحف الذي بدوره تطور من حراشف السمك scales. فالطيور تختلف عن الزواحف بريشها وبدمها الحار، وهي بذلك تشترك مع الثديات إلا أن الثديات لها شعر بدل الريش. ويعتقد أن الطيور في البداية لم تستفد من ريشها في الطيران بل كانت مهمة الريش هو تنظيم حرارة الجسم. أما الطيران فهو خطوة تالية تطلبت بالإضافة إلى الريش إدخال بعض التعديلات على بنية الجناحين. وفي البداية كان هناك شبه بين الطيور والزواحف، فبعض الزواحف كانت تمشي على أرجلها الخلفية وتستعمل الأمامية والذيل لحفظ التوازن. ثم بدأت بعض هذه الزواحف تعيش في الأشجار وتقفز من غصن إلى آخر. وشيئاً فشيئاً بدأت تتغير أرجلها الأمامية لتساعدها في الطيران وبعد ذلك تحولت إلى أجنحة. أما بالنسبة للخفاش فإنه حقق القدرة على الطيران على حساب القدرة على المشي، لذا فالخفاش لا يستطيع الوقوف أو المشي وإذا كان لا يطير فإنه يتعلق بأرجله بوضع مشقلب (Cox 1970: 98-9).



العمود الفقري ووضع الجمجمة

لدى الإنسان

لدى الشمبانزي

وانحدرت أيضا من الزواحف فصيلة الثديات التي تنتمى إليها رتبة الرئيسيات primates التي ينتمي إليها الصنف البشري. ومن المحتمل أن أسلاف الثديات الأولى تشبه الأصناف البدائية التي لا يزال منها على قيد الوجود آكل النمل والبلاتِبوس platypus وهذه تسمى أحادية المسلك monotremes لأن أعضائها التناسلية والبولية والهضمية لها مسلك واحد، أي مخرج واحد. والبلاتِبوس له منقار كالطيور ويبيض كالزواحف إلا أنه مثل الثديات له فرو ويرضع صغاره. وهناك أصناف أخرى من الثديات متقدمة نوعاً ما هي الحيوانات الجرابية marsupials التي توجد أيضا في أستراليا مثل الكنغر ودب كوالا koala bear. وهذه الحيوانات تلد وترضع إلا أن صغارها تولد غير مكتملة النمو فتلجأ إلى جراب في بطن أمها تقبع فيه حتى يكتمل نموها. أما الثديات الحقيقية فهي المشيمية placental التي لها مشيمة لتغذية الجنين داخل الرحم.

والثديات من ذوات الدم الحار وهذه من أهم الخصائص التي تميزها عن الزواحف، وتسمى هذه الخاصية خاصية الاتزان الحراري homoiothermy. أجسام الثديات يغطيها الشعر (الصوف) بدل الريش أو الحراشيف مما يساعدها على الاحتفاظ بحرارة جسمها مهما كانت برودة الجو الخارجي، وهذا يساعدها على الاحتفاظ بحيويتها ونشاطها تحت الظروف المناخية المتغيرة وفي الأجواء الباردة. هذا على عكس ذوات الدم البارد من الزواحف والأسماك والبرمائيات التي تتعادل درجة حرارة جسمها مع الجو الخارجي أو الماء، مما يحد من توزيعها الجغرافي ويجعلها غير محصنة ضد تقلبات الجو وعرضة للهلاك لو زادت حرارة المحيط الخارجي أو نقصت عن الحد المحتمل ولم تجد ملجأ يحميها من هذه التقلبات من شقوق وجحور أو ظلا تتفيأ فيه في حالة الحر أو شمسا تتدفأ بأشعتها في حالة البرد. وللثديات تحت الجلد غشاء دهني (شحم) لعزل جسمها عن محيط الجو الخارجي ولتستخدمه كمصدر للطاقة والغذاء. وتساعد حرارة الجسم الثابتة والعالية نسبياً على تنظيم التفاعلات الكيميائية المعقدة في الجسم والنشاطات العقلية الدقيقة في الدماغ التي تجعل من الممكن هذا الضبط السريع والمحكم لحركة الجسم والأعضاء عند الثديات (Campbell 1970: 35-9). وتقوم غدة الهايبوثالاموس hypothalamus التي تقع في قاعدة الدماغ، بضبط درجة حرارة الجسم وتنظيمها بشكل دقيق. فحالما تبدأ حرارة الدم في الارتفاع أو الانخفاض عن درجة معينة ترسل هذه الغدة إشارة إلى الدماغ ليعمل ما يلزم من تعديلات سلوكية وفسيولوجية كفيلة بإعادة حرارة الدم إلى الدرجة التي تعود عليها الجسم مثل زيادة أو خفض تدفق الدم في العروق. ومن التعديلات السلوكية التي تؤدي إلى خفض درجة حرارة الجسم في الجو الحار أو بعد التعب يحصل التالي:

١/ تخفيف سمك الشعر بحمله على الانبساط.

٢/ اتساع العروق التي تحت الجلد capillaries لتنشط دورة الدم حول سطح الجسم وتقل الداخل ليفقد الدم بعض حرارته بقربه من السطح.

٣/ مد الأطراف والتمغط لزيادة منسوب السطح المكشوف.

٤/ اللهث وزيادة سرعة التنفس لزيادة التبخر من الفم والحلق والرئتين.

٥/ إفراز العرق الذي يتبخر فتنخفض درجة حرارة الجسم.

أما من أجل رفع درجة حرارة الجسم في الجو البارد فإنه يحدث التالي:

١/ وقوف الشعر ليزداد سمكه وذلك بواسطة عضلات مخصوصة تسمى follicles في جذور الشعر تعمل على رفعه أو بسطه.

٢/ ارتعاش الجسم والقرفصة لتقليل نسبة السطح المكشوف.

٣/ تضييق العروق التي تحت الجلد ليندفع الدم إلى داخل الجسم.

وللحفاظ على حرارة الجسم تحتاج الثديات إلى معين لا ينضب من الأكسجين والغذاء الذي يمدها بالطاقة لتوليد الحرارة اللازمة داخل الجسم، لذا نشأ لديها فكان قويان وأسنان مهيئة للمضغ. وبنية الأسنان عند الثديات معقدة إلى حد ما بالنسبة للزواحف وهي لا تفقد أسنانها باستمرار كالزواحف ولكن هناك أسنان اللبن تفقدها ثم تنبت أسنان جديدة مستديمة. فالزواحف أسنانها متشابهة homodont وهي لا تستعملها للمضغ وإنما فقط لاصطياد الفريسة ومسكها والقبض عليها وتزدردها كاملة كما تفعل الثعابين والتماسيح. أما أسنان الثديات فهي متنوعة heterodont وتشمل القواطع incisors للقطع cutting والأنياب canines للقبض grasping والضواحك premolar والطواحن molar للطحن والجرش. والطواحن لها نتوءات مستدقة cusps تساعدها على طحن الطعام. هذا يجعل بإمكان الثديات تنويع مصادر طعامها ويساعدها على هضمه واستخراج كل ما فيه من طاقة وقيمة غذائية. فأصبحت قادرة مثلاً على أكل الحبوب والجوز والعروق والجذور ومختلف الأغذية التي تنمو على مدار السنة. هذا على خلاف الحيوانات الدنيا التي تضطر إلى السبوت خلال فصول السنة التي لا يتوفر فيها لها النوع المناسب من الغذاء (Campbell 1970: 40-2).

ومن خصائص الثديات الأخرى أن لها جهاز هضمي متطور ولها قلب بأربع تجويفات chambers تعمل بكفاءة عالية ودورة دموية ممتازة لنقل الغذاء والدم الغني بالأكسجين بكفاءة عالية إلى خلايا الجسم التي تنتج الطاقة والحرارة الضروريتين. وتستطيع كريات الدم الحمراء عند الثديات حمل كميات أكبر من الأكسجين مقارنة بباقي فصيلة الفقريات باستثناء الطيور. وهذا ما يفي بمتطلبات الدم الحار الذي يحتاج إلى حرق كميات كبيرة من الغذاء للحفاظ على درجة حرارة عالية. وللثديات غشاء حاجز يساعدها على التنفس ويفصل بين الزور (الصدر) thorax والأحشاء. ولها حنك عظمي يفصل ما بين مجرى الطعام (الفم) ومجرى النفس (الأنف) بحيث لا تؤثر عملية مضغ الطعام على التنفس.

ومن خصائص الثديات ما يسمى الاقتصاد في التكاثر reproductive economy. فهي، على خلاف الأسماك التي تبيض بالملايين والزواحف التي تضع كل عام بيضا كثيرا ولا ينجو منه إلا القليل، لا تلد عادة إلا جنينا واحدا على فترات متباعدة. وتحمل جنينها في الرحم وتلده بعد ما يصل إلى مرحلة متقدمة من النمو وترضعه الحليب من ثديها وتستغرق رعايته وتدريبه فترة طويلة بعد الولادة قبل أن يصبح قادرا على الاعتماد على نفسه ويتعلم كل ما يحتاجه للبقاء على قيد الحياة. وتحمي الثديات صغارها من الأخطار وتدافع عنهم ويتعلمون منها أسباب البقاء، أما الزواحف فهي لا تعتني لا ببيضها ولا بفراخها وتتركها فريسة للحيوانات الأخرى التي تقتات عليها،

بما في ذلك الثديات. ويتماشى مع انخفاض نسبة التوالد وطول فترة النمو طول العمر (Campbell 1970: 42-9). وبينما تنحصر نشاطات الزواحف في عمليات التزاوج والتكاثر والبحث عن الغذاء رالبقاء على قيد الحياة نجد أن الثديات تزاول نشاطات أخرى تدخل في مجال حب الاستطلاع واستكشاف البيئة واللعب، وهذا النوع من النشاطات التي ليس لها غاية خاصة ولا هدف مباشر تسمى effectance motivation وهي نشاطات ترتبط بالحيوية والحركية والنشاط والذكاء والقدرة على التعلم، لذا كان حجم دماغ الثديات كبيرا نسبياً وله جمجمة تحميه (Campbell 1970: 49-52).

والثديات من أنجح فصائل الحيوان وأقدرها على العيش والبقاء والتكيف مع بيئات مختلفة بدليل سعة انتشارها وتعدد أنواعها. ولا يزال الآن على قيد الوجود ما لا يقل عن ٣,٥٠٠ ثلاثة آلاف وخمسمائة نوع من الثديات بينما انقرض ما يزيد عن ١٠,٠٠٠ عشرة آلاف نوع. وتعد القوارض أكثر الثديات عددا وتنوعا.

آكل النمل

البلاتيبوس

الأزمنة الجيولوجية

يقسم العلماء عمر الأرض على أربع حقب جيولوجية Eras هي: حقبة ماقَبْل الكامبري Precambrian والحياة السحيقة Paleozoic والحياة الوسيطة Mesozoic والحياة الحديثة Cenozoic. وتنقسم الحقب بدورها إلى عهود Periods تتراوح مُددها ما بين ١٠٠ إلى ٤٠ مليون سنة، والعهود تنقسم إلى عصور Epochs تتراوح مددُها ما بين ٨ إلى ٢٠ مليون سنة.

هذه التقسيمات محكومة بظهور أنماط جديدة من الحياة أو بتغيرات جذرية في مناخ الأرض أو في تكويناتها الجيولوجية والجغرافية. وما يهمنا من هذه الحقب الجيولوجية الحقبة الحديثة التي ظهرت فيها رتبة الرئيسيات، وتحديدا العصر الأخير من هذه الحقبة، وهو عصر البلايستوسين الذي ظهر فيه الإنسان. وسوف نتحدث هنا باختصار عن الحقب الأولى ونرجئ الحديث عن الحقبة الحديثة إلى الفصول اللاحقة.

ما قبل الكامبري PRECAMBRIAN

تمتد هذه الحقبة من بداية تكوين الأرض حتى ٦٠٠ مليون سنة خلت وتشير إلى كل ما جاء قبل عهد الكامبري، وهو العهد الأول من عهود حقبة الحياة السحيقة. والبعض يقسم هذه الفترة الطويلة التي تمتد بلايين السنين إلى حقبتين هما Archaeozoic وبعدها Proterozoic. كانت الحياة في تلك الحقبة تخطو خطواتها الأولى وتتميز النباتات والحيوانات البدائية بصغر الحجم ورخاوة الجسم ولم تظهر آنذاك النباتات الخشبية ولا الحيوانات ذات العظام والأصداف التي تتحجر وتبقى على شكل حفريات. ولم تترك الكائنات الحية بقايا حفرية تدل عليها إلا بعد أن قطعت الحياة شوطاً طويلاً في مسيرة التطور مما جعل من الصعب أن نتعرف على البدايات الأولى بطريقة مباشرة. لذا فإن معظم الدلائل التي بين أيدينا عن الحياة البدائية هي مجرد استنتاجات غير مباشرة. ولكن بالرغم من ندرة الأحافير فإن هناك دلائل قوية تشير إلى أن الحياة في آخر هذه الحقبة كانت قد بدأت تتنوع وتتكاثر بشكل ملحوظ وانقسمت إلى نبات وحيوان وظهرت مخلوقات معقدة التركيب. فبالإضافة إلى الطحالب والفطريات والبكتيريا كانت هناك الأسماك الهلامية (قنديل البحر) jellyfish والمرجان coral والديدان (Kelso 1970: 123-5).

الحياة السحيقة PALEOZOIC

تمتد هذه الحقبة من ٦٠٠ إلى ٢٢٥ مليون سنة خلت واستمرت لما يزيد عن ٣٠٠ مليون سنة. وتميزت بكثرة الانفجارات البركانية خصوصاً على حافة القارات؛ كما تميزت بظهور الجبال والتقلبات في درجة الحرارة وكذلك نشاط عوامل النحت والتعرية. وكانت حدود القارات وأشكالها تختلف عما هي عليه الآن وكانت أجزاء كبيرة منها تغمرها الخلجان والممرات المائية التي كونت مرتعاً خصباً لمختلف أنواع النباتات والحيوانات المائية. ولقد تظافرت عدة عوامل على إحداث تغيرات جذرية في المناخ والبيئة على الأرض، منها الحركات البركانية والزلازل والزحف الجليدي وعوامل النحت والتعرية والنشاطات التي تزاولها الكائنات الحية. وهذه التغيرات في حالة المناخ والبيئة شكلت بصورة مستمرة تحديات قاسية واجهتها الكائنات الحية اضطرتها إما إلى التكيف أو إلى الفناء. وكانت إمكانيات الاستجابة لهذه التحديات محدودة بتوفر الإمكانيات المتاحة في أي وقت. ففي البداية كان المجال ضيقاً لقلة التنوع في أجناس الحياة وظروف البيئة. ولكن بزيادة التنوع واختلاف الظروف ازدادت الإمكانيات وتراكمت التغيرات البنيوية والوظيفية وبدأت الحياة تتكاثر وتتنوع بشكل ملحوظ. وفي المراحل الأولى من هذه الحقبة كانت الحياة بجميع أشكالها حياة مائية وكانت الحيوانات معظمها حيوانات لافقرية. ثم بدأت النباتات تغزو اليابسة فيما بعد. وظهرت الأسماك الحقيقية والحيوانات البرمائية والزواحف البدائية التي بدأت في الظهور نتيجة لانحسار الخلجان والممرات المائية التي كانت تغطي معظم أجزاء اليابسة. فمن الحيوانات اللافقرية البسيطة في العهد الكامبري ظهرت الفقريات البسيطة ثم الأسماك الحقيقية ثم البرمائيات ثم الزواحف ثم الزواحف الثديية التي مهدت لظهور الثديات الحقيقية في العهود التالية (Kelso 1970: 125-33). وتنقسم هذه الحقبة إلى ستة عهود هي:

الكامبري Cambrian. استمر مناخ الأرض حاراً دون أي تغيرات فصلية. وتتوفر الكثير من الأحافير عن هذا العهد. كانت الحياة بجميع أشكالها حياة مائية حيث لم تغز الحياة اليابسة بعد. بالإضافة إلى الطحالب والفقريات وجدت أنواع عديدة من اللافقريات أهمها ثلاثي الفصوص trilobites وهي من أنواع الحشرات التي انقرضت فيما بعد.

الأُردوفيشي Ordovician. استمر عهد الكامبري حوالي ٨٥ مليون سنة واستمر عهد الأرُوفيشي ٦٠ مليون سنة. وبقدر ما كان الكامبري هادئاً كان الأردوفيشي هائجاً سادته الفيضانات. استمرت الحيوانات اللافقرية في التنوع والانتشار في بيئتها البحرية. ومن أهم أحداث هذا العهد من حيث تطور الحياة ظهور أول أنواع الفقريات وتسمى ostracoderms.

السيلوري Silurian. كثرت فيه أسماك الـ ostracoderms وهي حيوانات مائية قريبة الشبه بالأسماك لها قوقعة تحميها إلا أنها تفتقر إلى الفكين ولها بدلا من ذلك فم بدون أسنان تستعين به في امتصاص الغذاء من الطين في قاع البحر. وبدلاً من الزعانف كانت تمتلك أنسجة لحمية تستعين بها في السباحة. وشيئاً فشيئاً ازداد سُمك جلد هذه السمكة حتى تحول إلى قوقعة تحميها من هجمات الأعداء مثل العقرب المائية التي يبلغ طولها ٦ أقدام ولها براثن في حجم براثن سرطان البحر. وظهرت في هذا العهد أسماك حقيقية من نوع placoderms. وأهم ما يميز هذا العهد انتقال الحياة من الماء إلى اليابسة. فقد انتقلت النباتات إلى شواطئ البحار أولاً ثم انتشرت داخل القارات وبعد ذلك بدأت اللافقريات تنتقل إلى اليابسة. أما الفقريات فبقيت في الماء ولم تنتقل إلى اليابسة إلا في العهد التالي.

الديفوني Devonian. صاحب دخول هذا العهد حركات أرضية عنيفة وتغيرات في جغرافية الأرض ومناخها. فتكونت جبال جديدة بينما انحسرت المياه من داخل القارات وخلفت ورائها مساحات شاسعة من الأرض المغطاة بالطمي الخصب، مما أدى إلى ظهور الغابات الكثيفة. وفي هذا العهد بدأ المناخ يجف نوعاً ما وبدأت تظهر الفصول وتتراوح أيام السنة بين البرودة والرطوبة إلى الحرارة والجفاف، مما كان له عميق الأثر على الحياة بشكل عام وفرض أنماط جديدة من التكيف على مختلف أنواع النباتات والحيوانات. وفي هذا العهد انتقلت اللافقريات إلى اليابسة وهي الحشرات مثل العنكبوت والعقارب. وتتنفس هذه الحشرات بواسطة قصبة هوائية صغيرة دون أن يخلق لها جهاز رئوي. وبدون الرئتين لا تستطيع هذه الحشرات أن تتنفس كميات كبيرة من الهواء، فجهازها التنفسي ضيق لذلك تكون أجسامها صغيرة ولا يمكن لها أن تنمو أكبر من ذلك. ومن أهم مميزات هذا العهد ظهور السمك الرئوي وانتقال الفقريات من الماء لتقضي الجزء الأكبر من حياتها على اليابسة، أي ظهور الحيوانات البرمائية.

الكربوني Carboniferous. في هذا العهد طمرت الغابات الكثيفة لتكون فيما بعد مناجماً للفحم. وفي تلك الغابات تكاثرت الحشرات وتعددت أنواعها. وفي هذا العهد ظهرت الزواحف التي تطورت عن الحيوانات البرمائية بعد أن صار لها رئة تتنفس بها.

البِرْمي Permian. لم يتغير مناخ الأرض كثيراً في هذا العهد بل ظلت مقسمة بين فصلين أحدهما بارد مطير والآخر حار وجاف واختفت الكثير من الحيوانات المائية من فقريات ولافقريات. وتقلص

دور البرمائيات فقد تغلبت عليها الزواحف التي تكيفت كلية مع الحياة على اليابسة. وظهرت بعض الزواحف التي تتميز ببعض خصائص الثديات والتي تشكل مرحلة تطور انتقالية بينهما. فبعد فحص بقايا هذه الزواحف الثديية تبين أنها تشترك مع الثديات في كثير من الخصائص مثل شكل الفكين والأسنان والحنك. ويعتقد بعض علماء الأحافير أن هذه الحيوانات لها فرو أو طبقة دهنية تحت الجلد تقيها البرد.

الحياة الوسيطة Mesozoic

تمتد هذه الحقبة من ٢٢٥ إلى ٧٠ مليون سنة خلت، ومن أهم خصائصها ظهور الديناصورات وانقراضها وظهور النباتات المزهرة وظهور الثديات. وتعد حقبة الحياة الوسيطة حقبة الزواحف التي هيمنت على الأرض ومنها الديناصورات بجثثها الضخمة المروعة والتي انقرضت مع انتهاء هذه الحقبة مع الكثير من أنواع الزواحف الأخرى. وفي هذه الحقبة ظهرت النباتات المزهرة وكان لها كبير الأثر في إحداث إمكانيات جديدة للتطور والتكيف والتنوع لا سيما بالنسبة للحشرات والثديات والطيور التي ظهرت لأول مرة. وكانت الثديات في البداية صغيرة الحجم تتغذى على الحشرات. أما ذوات الحافر ungulates والسباع والرئيسيات فلم تظهر إلا في الحقبة التالية (Kelso 1970: 133-7). وتنقسم حقبة الحياة الوسيطة إلى ثلاثة عهود هي:

الترياسي Triassic. حقبة الحياة الوسيطة تسمى حقبة الزواحف حيث تكاثرت فيها وتعددت أنواعها والبعض منها مثل الديناصور بلغ طوله ثمانين قدماً ووزنه أربعين طناً. ومن أنواع الديناصور ما يمشي على أربع ومنها ما يمشي على ثنتين وبعضها مفترس مثل tyrannosaurus ومنها ما يتغذى على النباتات مثل brontosaurus. وبانتهاء حقبة الحياة الوسيطة اندثر الديناصور وأصناف أخرى من الزواحف. كذلك انقرضت الزواحف الثديية التي ظهرت في نهاية حقبة الحياة السحيقة واستمرت حتى نهاية العهد الأول من حقبة الحياة الوسيطة. ويعزو بعض العلماء انقراض هذه الزواحف إلى عدم قدرتها على التكيف مع الظروف المناخية المتغيرة. ففي نهاية حقبة الحياة السحيقة كان المناخ بارداً بسبب الزحف الجليدي، فلما انحسر الجليد بدأ الجو يميل نحو الدفء وأصبح حاراً في بعض المناطق. وكانت تلك الزواحف لديها القدرة الفسيولوجية على توفير الحرارة اللازمة لجسمها في الأجواء الباردة ولكن لم تكن لديها القدرة على خفض درجة حرارة جسمها في الأجواء الحارة كالثديات الحقيقية. فلما انقلب المناخ من بارد إلى حار عمل النظام العازل (الفرو، الطبقة الدهنية تحت الجلد) الذي خدم تلك الزواحف في المناخ البارد ضدها وانطبخت أجسامها داخل جلودها. ولكن بالإضافة إلى تلك الزواحف ظهرت في هذا العهد زواحف أخرى تمتلك بالإضافة إلى الطبقة العازلة التي تحميها ضد البرد القدرة على التخلص من الحرارة الزائدة حينما يدفأ الجو. بالإضافة إلى ذلك كانت أيديها وأرجلها أكثر استقامة مما ساعدها على الحركة الرشيقة السريعة. بينما كانت الزواحف الأخرى تترنح وتتهادى في مشيتها بسبب قوائمها المعوجة.

الجوراسي Jurassic. استمرت بعض الزواحف تتطور باتجاه الثديات فنشأت في هذا العهد ثديات تحتفظ ببعض صفات الزواحف وتسمى pantotherians. وبعضها يعيش على اللحوم carnivorous

بينما يعيش البعض الآخر على النباتات herbivorous والبدائية منها والصغيرة استمرت تعيش على الحشرات والديدان insectivores، وربما في بعض الحالات أكل كبيرها صغيرها. وتمتاز الزواحف الجديدة عموما بصغر الجسم مما يساعدها على الحركة السريعة والمناورة، كما أن صغر الحجم يساعد أيضاً على التخلص من الحرارة الزائدة حيث أن نسبة المكشوف من الجسم إلى المغطى تزداد، أي أن السطح المشع أكبر من الجسم المولد للحرارة. وكانت هذه الزواحف صغيرة في حجم الجرذان ويعتقد أنها تنشط في الليل nocturnal وتسكن الجحور الأرضية والشقوق الصخرية والفجوات الموجودة في الأشجار لتقي نفسها من الحيوانات الأخرى المفترسة، ويعتقد أنها الأسلاف التي انحدرت منها لاحقا رتبة الرئيسيات.

الكريتاشي Cretaceous. أهم خصائص هذا العهد ظهور النباتات المزهرة angiosperms. لقد انتقلت النباتات من الماء إلى اليابسة منذ العهد السيلوري Silurian. في البداية كانت النباتات تتلاقح وتتكاثر إما عن طريق تطاير البوغ spores في الجو، وهذه طريقة بدائية، أو عن طريق تناثر البذور على الأرض، وهذه متطورة عن الأولى. لكن هذه الطريقة المتطورة نوعا ما كانت تعتمد على هبوب الرياح لتحمل غبار الطَلع pollen، أي اللقاح، من الذكر إلى الأنثى التي تحمل خلايا البويضة لتتم عملية الإخصاب. وفي العهد الكريتاشي ظهرت نباتات جديدة تحتوي على اللقاح والبويضة في نفس الوعاء (الزهرة) لكنها تحتاج إلى عامل خارجي يساعد في عملية التلقيح، كأن تقع حشرة صغيرة على التاج الذي يحمل الزهرة لتحدث فيه هزة بسيطة أو تمايلا طفيفا أو تمسح على الزهرة بأرجلها أو أجنحتها. من المحتمل أن الزهور في البداية كانت عديمة اللون والرائحة لكنها شيئاً فشيئاً بدأت تكتسب الألوان الزاهية والروائح الزكية والرحيق اللذيذ لاجتذاب الطيور والحشرات لتتم عملية التلقيح. وكان لذلك دور كبير في انتشار وتنوع الحشرات التي توفر لها مصدر غذائي لا يستهان به، ومن هذه الحشرات النحل والدبور والفراشة والذباب والجندب وغيرها. كذلك كان لظهور النباتات المزهرة دور كبير في ظهور وتطور نوع جديد من الفقريات هي الطيور (Time-Life Books 1972: 40-1; Volpe 1970: 150).

كذلك أثر ظهور هذه النباتات فيما بعد على تطور فصيلة أخرى صارت لها الغلبة على الزواحف وهي الثديات التي تكيف بعضها للعيش في المروج بينما تكيف البعض الآخر للعيش في الغابات ومنها انحدرت رتبة الرئيسيات التي تعيش على الأشجار وتنتقل عن طريق التشبث والقفز من غصن لآخر. أضف إلى ذلك أن الحبوب والفواكه والبزر والخضروات والثمار التي تنتجها هذه الأشجار وكذلك الحشائش والأعشاب تشكل الجزء الأكبر من غذاء الثديات. وفي هذا العهد استمرت الثديات تتطور وظهرت أصناف جديدة تتغذى على الحشرات التي بدأت تتكاثر بظهور النباتات المزهرة، كما يتضح من حفريات هذه الثديات ومن أسنانها وخيشومها snout. ومن الثديات التي ظهرت في أواخر هذا العهد وبداية العهد الذي يليه من الحقبة التالية طائفة بدائية من ذوات الحافر تتغذى على المراعي الغزيرة آنذاك والغنية بالحشائش والأعشاب والشجيرات. هذه الحيوانات البدائية، التي أدت لاحقا إلى ظهور الأصناف المتطورة مثل الخيل

ERAS الحقب	PERIODS العهود	EPOCHS العصور	DATES AND FORMS OF LIFE المدد بالسنين ومظاهر الحياة
	Quaternary الكواترناري	Pleistocene البلايستوسين	2,000,000 - 10,000 ظهور البشريات
		Pliocene البلايوسين	10,000,000 - 2,000,000 ظهور أشباه البشريات
		Miocene المايوسين	25,000,000 - 10,000,000 انتشار القردة والسعادين
		Oligocene الأُليغوسين	40,000,000 - 25,000,000 ظهور القردة والسعادين
		Eocene الأيوسين	60,000,000 - 40,000,000 انتشار طلائع القردة
Cenozoic الحياة الحديثة	Tertiary الترشياري	Paleocene الباليوسين	70,000,000 - 60,000,000 ظهور طلائع القردة
	Cretaceous الكريتاشي		135,000,000 - 70,000,000 ظهور النباتات المزهرة وانقراض الديناصورات
	Jurassic الجوراسي		180,000,000 - 135,000,000 ظهور الطيور
Mesozoic الحياة الوسيطة	Triasic التِرْياسي		225,000,000 - 180,000,000 ظهور الثديات والديناصورات
	Permian البِرْمي		270,000,000 - 225,000,000 انتشار الزواحف والحشرات وأشجار الصنوبر
	Carboniferous الكربوني		350,000,000 - 270,000,000 ظهور الزواحف والحشرات وأشجار الصنوبر
	Devonian الديفوني		400,000,000 - 350,000,000 ظهور الغابات والبرمائيات والأسماك العظمية
	Silurian السيلوري		440,000,000 - 400,000,000 انتقال النباتات إلى اليابسة
	Ordovician الأُردوفيشي		500,000,000 -440,000,000 ظهور الفقريات والأسماك ذوات الفكين
Paleozoic الحياة السحيقة	Cambrian الكامبري		600,000,000 - 500,000,000 ظهور اللافقريات والمحاريات
Precambrian ما قبل الكامبري			4,500,000,000 - 600,000,000 بداية ظهور الحياة على شكل فطريات وبكتيريا

والأبقار والأغنام والماعز وأنواع الظباء والغزلان، لم تكن سريعة ولا رشيقة في عدوها، كما أنها لم تطور بعد المعدة المتعددة التجويفات والتلافيف والقادرة على الاجترار التي تمكنها في مناطق السفانا المفتوحة المعرضة للمخاطر من التهام كميات كبيرة من الحشائش بسرعة حتى تهرب إذا داهمها العدو وتلجأ إلى مكان آمن بعيدا عن الأخطار والحيوانات المفترسة لتعيد ما التهمته كي تجتره وتمضغه على مهل. وفي الصفحة السابقة مخطط يوضح تعاقب الحقب والعهود والعصور الجيولوجية ومددها الزمنية وتطور مظاهر الحياة على الأرض.