

3

生命的演變

3-1 演化學說

活動 3-1 蛾體色的演化

3-2 演化的證據

3-3 生物的演化





跨越數千萬年時空，一個小男孩拿起相機拍下異特龍龐大的身影。恐龍曾稱霸地球上億年之久，當人類崛起時，恐龍卻僅剩骸骨一副副。生命在地球上不斷興起衰亡，你是否已參透其中的奧秘呢？

3-1

演化學說



Warm Up

電視上播放著動畫「神奇寶貝」，動畫中的生物們會「進化」成更強的生物，但是在真實生活中，生物卻不能如此快速演變，請問現今世界上的生物是如何演變出如此多樣的形態和行為呢？

生物是如何演變成今日的模樣呢？人們曾提出各種說法來解釋這個過程，這些說法即是**演化論**。

小視窗

1 用進廢退說的反證

德國動物學家魏斯曼 (August Weismann, 1834 ~ 1914) 進行實驗，切斷老鼠的尾巴並繁殖下一代，連續進行二十一代，發現親代老鼠雖然失去尾巴，但第二十一代的老鼠卻還是有尾巴，證明了拉馬克的理論是不正確的。

1 早期人類對生物演變的看法

昔日，西方世界的人們認為生物是由神所創造，是一種完美的設計，物種的外部形態和內部構造是固定不變的。然而，隨著大量化石的出土及地質學的研究發展，科學家漸漸質疑上述的看法。

西元十八世紀時，法國科學家拉馬克 (J. B. Lamarck, 1744 ~ 1829) 認為生物雖然是神創造的，但環境改變時，生物體內會有一股改進的動力，使生物適應環境，其經常使用的器官愈發達，反之則退化，使得生物逐漸演化，而這些生物後天獲得的改變可遺傳給下一代，此即所謂的**用進廢退說**¹。



B 輕足蟹



C 軍艦鳥



2 演化論的關鍵里程碑——達爾文的天擇說

英國科學家達爾文 (Charles Darwin, 1809 ~ 1882) (圖 3-1) 統整了他隨小獵犬號環球 5 年的觀察，以及諸多科學相關研究，於西元 1858 年提出天擇說的概念，認為演化是物種在適應環境的過程中，長期受到自然環境篩選的結果。🔍 P82



▲ 圖 3-1 達爾文

在小獵犬號的航程中，最重要的當屬距離南美大陸 1,000 多公里的火山群島——加拉巴哥群島，群島上居住著許多物種 (圖 3-2)，特別是那些外型相似卻帶有些微差異的不同物種，更是給予達爾文不少啟發。



▲ 圖 3-2 加拉巴哥群島位置及島上的生物



小視窗

2 個體的差異

同一物種的個體之間，會因為有性生殖的過程及突變而造成形態、內部構造及生理的差異。

以鸚鵡鳥為例，許多島上不同種的鸚鵡鳥看起來頗為相似（圖 3-3），但仔細觀察卻仍有些微差異。達爾文推測，這些鳥可能有共同祖先，且祖先是從南美大陸遷徙過來的，只是，為何現今這些鸚鵡鳥的外型會有差異呢？

5

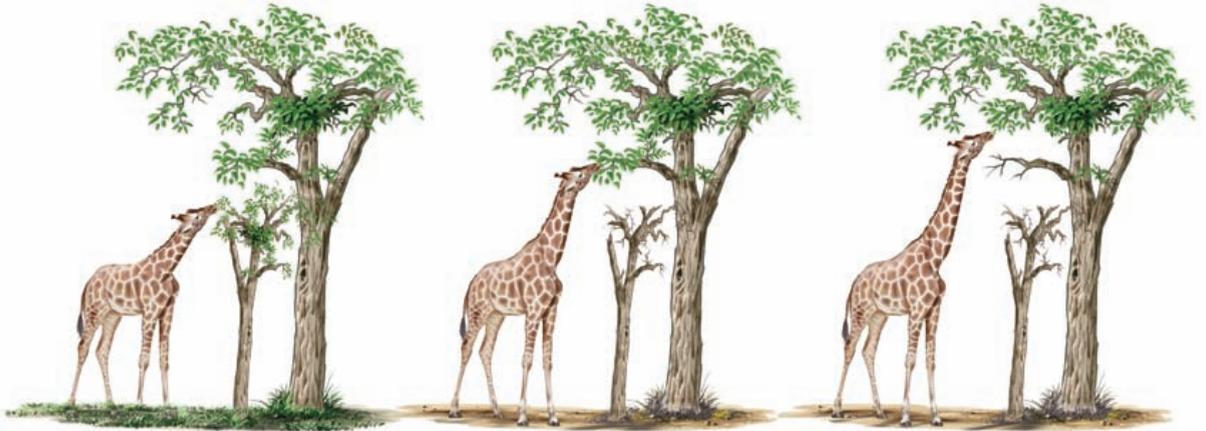
即使是同一物種，個體間的構造與功能仍會有差異²，當繁殖過多或環境發生變化時，生存資源可能不足而導致生存競爭。能適應環境的個體較容易存活，並有機會產生後代，因此，具備有利特徵的後代其比例會隨時間逐漸增加，使得該物種的外部形態或內部構造發生明顯的改變。不同島嶼上的鸚鵡鳥逐漸演化出各種不同的形態，便是適應各個島嶼環境的結果。

10



▲ 圖 3-3 加拉巴哥群島的鸚鵡鳥具有多樣化的鳥喙

比較兩位科學家的論點，拉馬克認為生物為生存而努力的改變會影響至後代，但達爾文則認為生物有先天上的變異，再經由環境的選擇決定生物演化的方向（圖 3-4）。

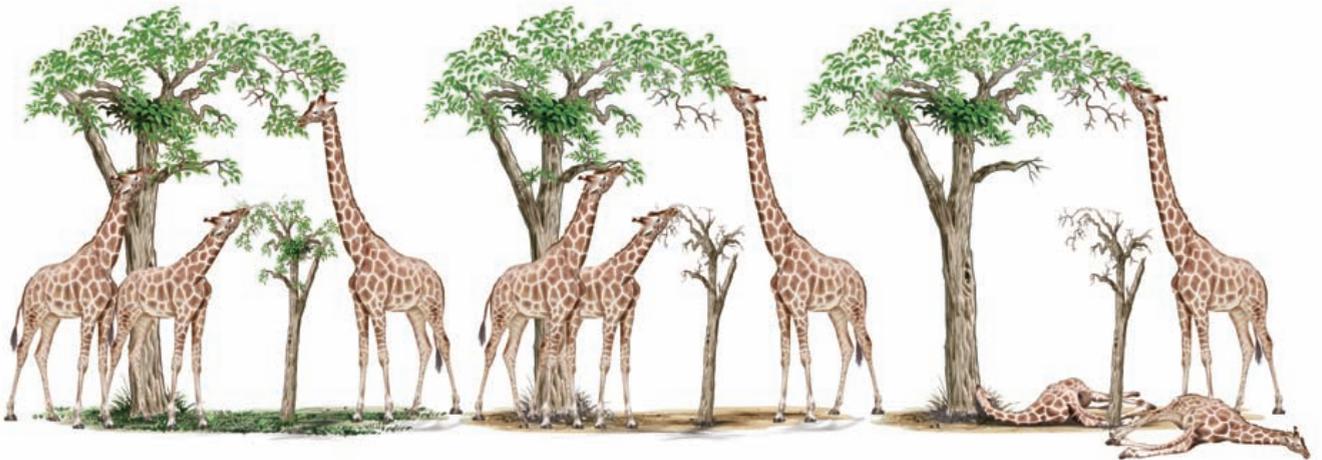


(1) 長頸鹿的祖先原本是短脖子。

(2) 由於要吃樹上的葉子，於是不断地伸長脖子。

(3) 經代代不斷重複進行，終於成為目前的模樣。

A 拉馬克的用進廢退說模式



(1) 長頸鹿祖先因個體差異，有的脖子較長、有的較短。

(2) 脖子較短的個體，因為無法吃到高處的葉子而被淘汰。

(3) 脖子較長的個體則能生存，並有機會繁衍下一代。

B 達爾文的天擇說模式

圖 3-4 利用長頸鹿解釋拉馬克和達爾文學說

除了大自然會對物種進行選擇，人類也常依據不同目的，如醫療需求、經濟價值及觀賞用途，用篩選的方式培育各種符合人類需求的品系，稱為**人擇**，例如：宋朝時，人們利用鯽魚培育出金魚（圖 3-5）。由於人類可直接選出特定個體產生下一代，故人擇較天擇快上許多。

5

頭腦體操

1. 在大自然中有許多生物的形態和行為似乎增加負擔或降低躲避天敵的能力，例如：孔雀漂亮的尾羽、麋鹿頭頂的巨角，為何這些醒目的或是沉重的特徵會演化出來呢？🔍 P82
2. 近幾年來，時有耳聞肺結核菌因為人類抗生素的濫用，而產生抗藥性，對人類醫療造成莫大的威脅。請仔細思考，這是天擇還是人擇的結果？為什麼？



▲ 圖 3-5 人類育種的金魚



活動 3-1

蛾體色的演化

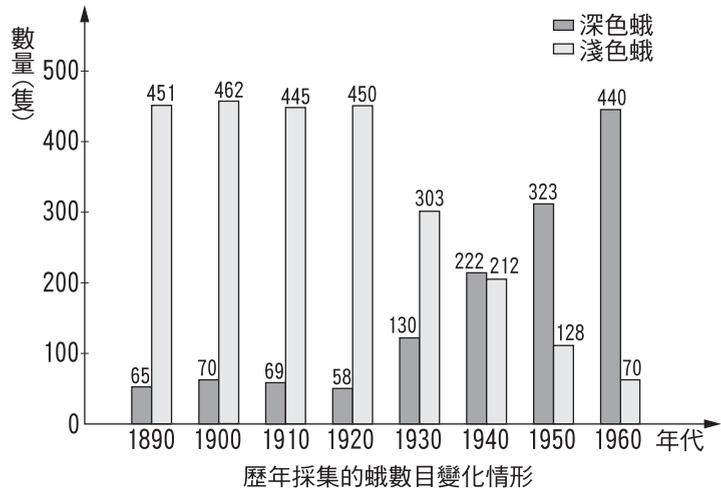
目的 ▶ 本活動利用模擬的資料，藉以了解環境如何影響生物的演化。

步驟

閱讀資料：某一村落旁有一座美麗的森林，森林中棲息著一種蛾，這種蛾有深色和淺色兩種體色，牠們在夜間活動，白天則棲息在樹幹上，森林中同時住有許多會捕食牠們的鳥類。後來，小村落漸漸發展成工業區，工廠排出的黑煙造成嚴重空氣汙染，使樹幹的顏色變深。自 1890 年起，有一群生物學家在此森林中持續進行蛾類的生態調查，發現蛾類的數目變化如下圖：



A 棲息在淺色樹幹及深色樹幹上的蛾



B 歷年採集的蛾數量變化情形

問題與討論

1. 根據圖 **A**，你認為樹幹的顏色對蛾的生存有何影響？
2. 根據圖 **B**，說明這兩種體色的蛾之數量有何變化。
3. 根據圖中資料，請問在哪個時期，小村落逐漸發展成工業區？

3-2 演化的證據

演化是物種在漫長的時間中逐漸改變的過程，通常需要上千或上萬年的時間才會有可見的改變，所以一般不容易看到演化的發生。

1 認識化石

目前，地球上已看不到活生生的恐龍，為何電影中或博物館裡仍可塑造出許多恐龍的形象呢？這是因為在地層中找到了許多恐龍化石的緣故。**化石**是指保留在岩層中的古生物遺體或活動痕跡。由於地層中保存了大量的恐龍化石，讓我們了解到恐龍曾經是地球上極為活躍的生物；而藉由對恐龍骨骼化石的分析，則可以讓我們造出牠大致的樣貌。

研究化石可以讓我們了解古生物的形態（圖 3-6）。除此之外，透過對一系列相關化石的研究，可推測該生物的演化過程，故化石是說明生物演化最直接的證據。



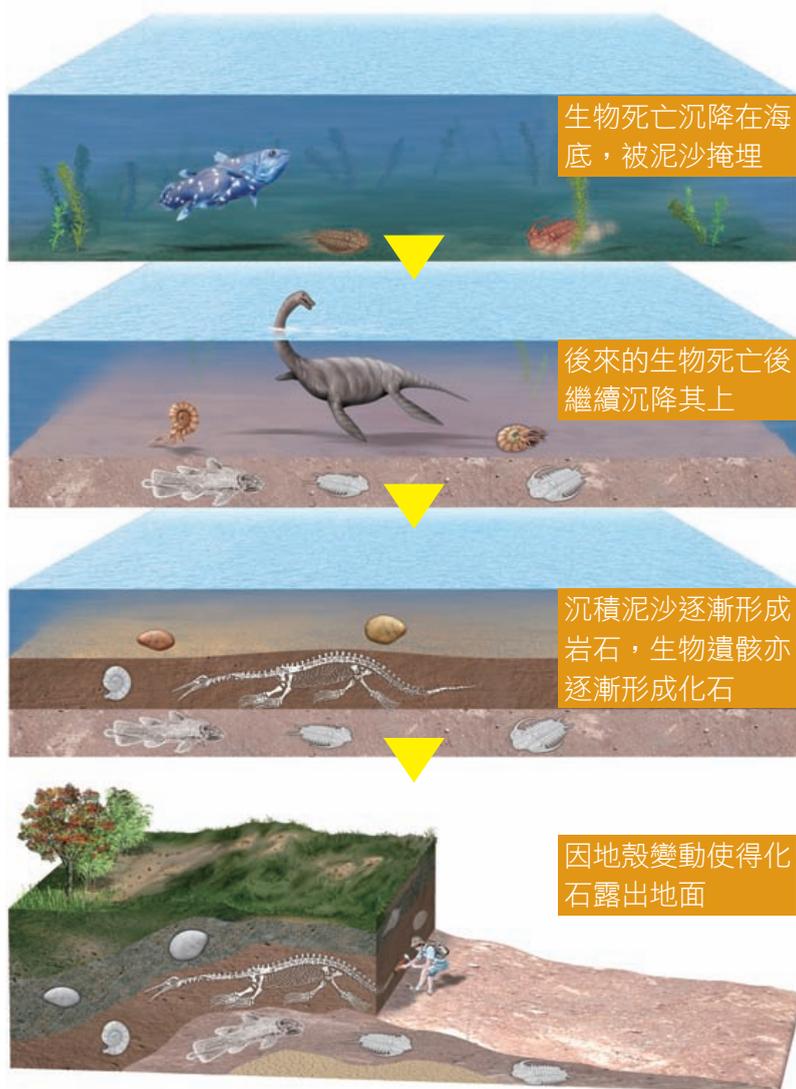
A 恐龍骨骼

B 推測出的恐龍形態

▲ 圖 3-6 由恐龍的骨骼推測恐龍的形態



大多數化石是古代生物體被泥沙掩埋後，經過很長一段時間於沉積岩中形成（圖 3-7）。自然界中，絕大部分生物的遺體會被分解或破壞，只有較堅硬的部分比較容易被保存下來，例如：動物的骨骼、牙齒、外殼或植物的細胞壁、葉脈等。因此，完整的生物化石並不多見，只有少數特殊情況下的化石保存得較為完整，例如：在冰層中發現的猛獁象化石³及琥珀中的昆蟲化石（圖 3-8）。



▲圖 3-7 化石形成過程的示意圖

小視窗

3 猛獁象

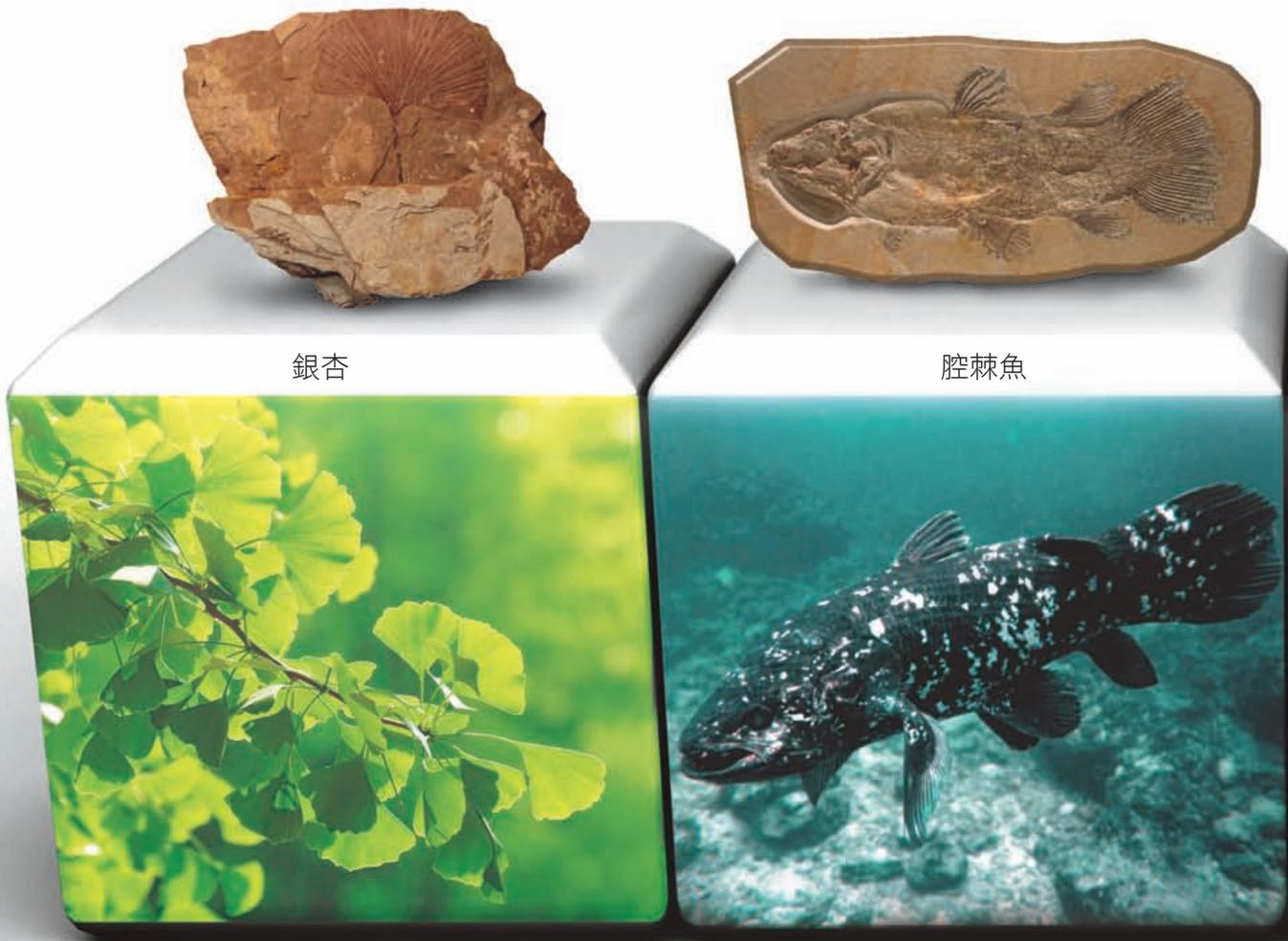
又稱長毛象，有著厚皮毛的哺乳動物，很能適應寒冷地區的生活。在西伯利亞的冰層中找到的猛獁象，連毛帶肉都完整保存下來，也可算是化石。臺灣也有發現長毛象，屬於南方種類，體型較小。



▲圖 3-8 琥珀中的昆蟲化石

古代生物活動所留下的痕跡，也屬於化石的一種，例如：古生物的排遺、足跡（圖 3-9）、爬痕及挖掘的洞穴等。

有些現存的生物，其形態、構造與其祖先的化石極為相似，無太大的變異，故稱這些生物為**活化石**，⁵ 例如：銀杏、腔棘魚、鸚鵡螺及鱘（圖 3-10）。



▲ 圖 3-10 化石與活化石的對照



A 生物的排遺



B 生物的足跡

▲ 圖 3-9 痕跡化石



鸚鵡螺



鱗





小視窗

4 地質年代

地質年代是依化石種類及地質變化所訂定，隨著各種化石出土，地質年代亦會有所改變。依據年代的時間長短，使用元、紀和世等層次分類。

2 化石提供的訊息

有些化石數量較多且特徵明顯，廣泛分布在特定年代的岩層中，成為該特定年代的**標準化石**。例如：古生代的三葉蟲、中生代的菊石和恐龍（圖 3-11）。

藉由地層中所含的化石群可判斷兩岩層的地質年代是否相近，如在美國和臺灣的某個岩層發現同樣的生物化石群，可推測這兩個岩層的地質年代⁴相近。

5

✓ 圖 3-11 各地質年代的標準化石





在不同年代的地層中，若發現一系列同類生物的化石群，即可以根據這些化石的特徵變化，推測該生物的演化過程，例如：馬的演化（圖 3-12）。除此之外，也可以藉著化石群的種類和特徵，推測化石形成時的環境及氣候條件⁵。

頭腦體操

圖 3-12 是科學家在不同年代的岩層中挖掘到的馬的化石，根據圖中所示推測：

1. 馬的體型在演化過程中，有何改變？
2. 馬的前肢腳趾在演化過程中，有何改變？
3. 科學家認為：「具有 4 個腳趾的馬，較適合在叢林中生活；而單趾馬則較適合在草原上奔跑。」試依此論點推測馬的生活環境在演化過程中的改變情形。

課後活動

除了化石之外，還有哪些證據可以說明生物的演化？

小視窗

5 化石與環境

珊瑚生活在熱帶、亞熱帶海域，溫度介於 22℃ ~ 28℃，陽光充足、水質清澈的淺海區。若在某一地層中發現了珊瑚化石，可推測該地層是來自溫暖、水質清澈的淺海環境。

✓ 圖 3-12 馬的演化示意圖

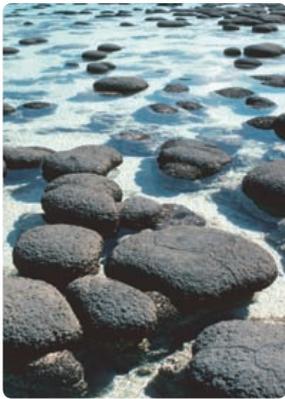


3-3

生物的演化

Warm Up

老師帶小豪搭乘時光機回到恐龍時代採集裸子植物標本，小豪跟老師說：「我們快去找原始人幫忙吧！他們對環境一定很熟，很快就可以幫我們找到想要的植物啦！」老師告訴他：「還是自己認真找植物！因為你一定找不到原始人的！」你知道老師為什麼這樣說嗎？



▲ 圖 3-13 科學家在澳洲海岸找到的最古老的化石（藍綠菌）

1 前寒武紀

科學家認為最早出現的生命是一些構造簡單的單細胞生物，直接以海洋中的養分維生，而目前發現到最古老的生物化石是距今 30 多億年前的藍綠菌（又稱為藍菌）（圖 3-13）。

5

大部分化石的形成都晚於 5.42 億年前，因此科學家以 5.42 億年前至今幾次生物大滅絕作為依據，將地質年代畫分為古生代、中生代及新生代，而自地球誕生至 5.42 億年前之間則稱為前寒武紀（圖 3-14）。

🔍 P84



▲ 圖 3-14 前寒武紀末期的生物（未依實際比例繪製）

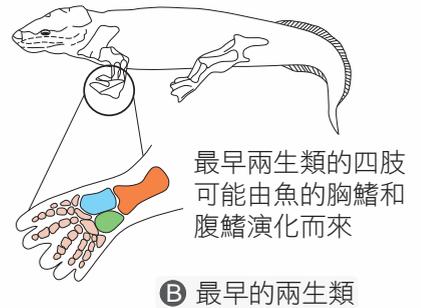


2 物種大爆發的時代——古生代

古生代初期，藻類和各式各樣的無脊椎動物開始大量出現在海洋中，其中以**三葉蟲**最具代表性。後來藻類逐漸適應海陸交界的環境，進而演化出能適應陸地生活的**蘚苔**植物，陸地才漸漸有了生氣。

植物登陸後，原始的**節肢動物**於古生代中期也陸續登陸。接著，陸地上也出現了能行走的兩生類，根據化石推測，兩生類的四肢可能是由某些魚類的胸鰭和腹鰭演化而來（圖 3-15）。

到了古生代晚期，陸地上林立著許多高大的**蕨類**植物，其根系淺而容易傾倒，今日使用的煤炭大多就是其遺體埋於地層內漸漸形成的。在動物方面，則出現了能完全適應乾燥陸地生活的**爬蟲類**（圖 3-16）。



▲ 圖 3-15 兩生類四肢的演化



3 裸子植物與爬蟲類的時代 —— 中生代

中生代初期，**裸子植物**相當興盛。爬蟲類不僅能完全適應陸地的乾燥環境，也演化出地球史上的巨大動物 —— **恐龍** P86，幾乎主宰了整個中生代。哺乳類和鳥類也分別在初期和中期演化而來，但兩者種類和數量仍然不多。中生代晚期，被子植物逐漸興盛（圖 3-17）。



▲ 圖 3-17 中生代的生物（未依實際比例繪製）



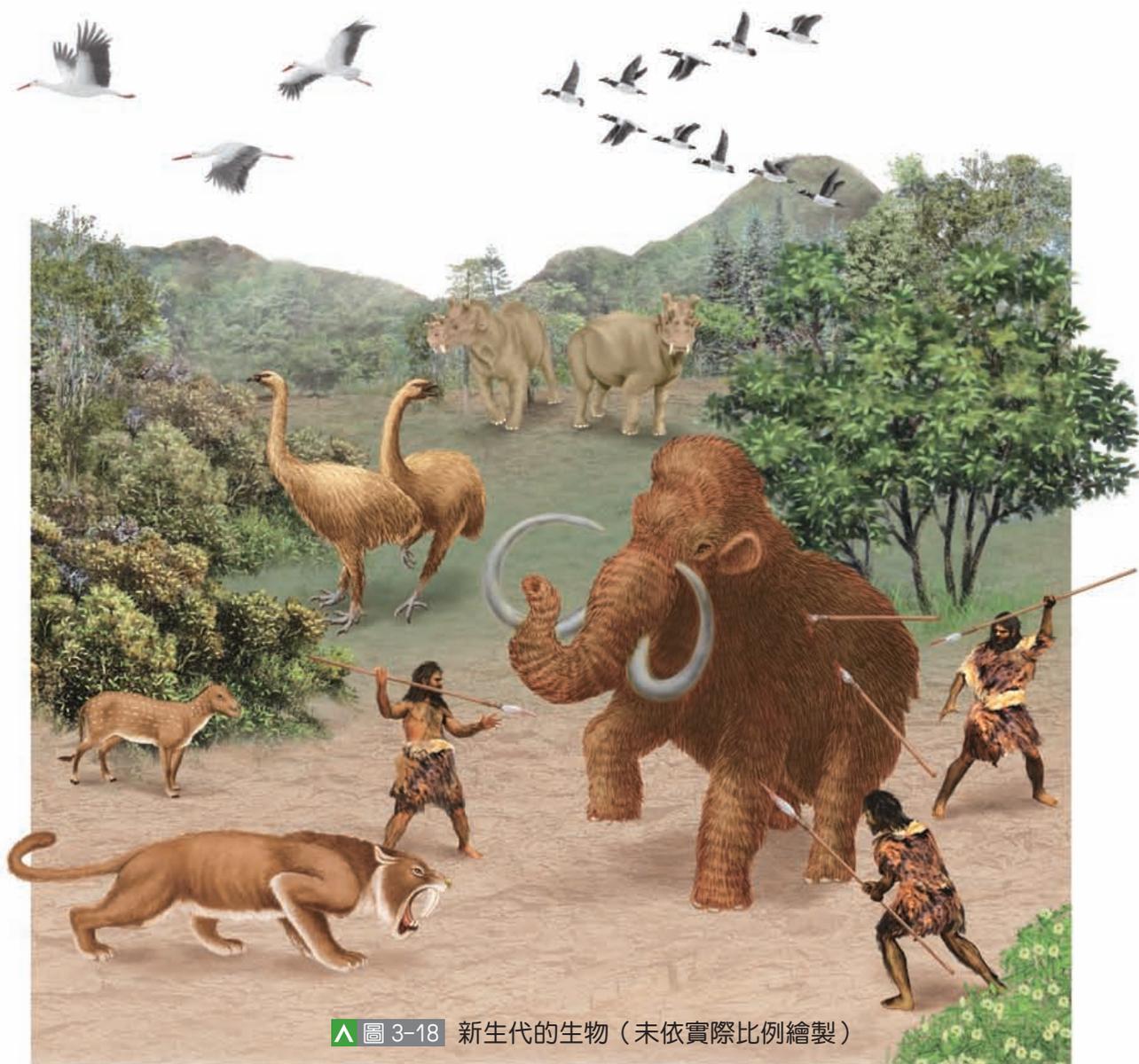
4 哺乳類、鳥類與被子植物的時代——新生代

約 6,550 萬年前，地球環境出現巨大變動，導致恐龍陸續消失⁶，**哺乳類**和**鳥類**大量繁衍，取代恐龍成為新生代的霸主^{P83}，同時**被子植物**興盛也取代了裸子植物的地位。人類的祖先則在新生代晚期出現，靠著發達的大腦及靈巧的雙手創造適合自己生存的環境，並在地球上扮演著重要角色（圖 3-18）。

小視窗

6 恐龍的滅絕

有關恐龍的滅絕，目前較被接受的原因，推測是在 6,550 萬年前，地球受到隕石撞擊，造成當時氣候劇烈改變，恐龍因為無法適應環境的巨變，而導致滅絕。

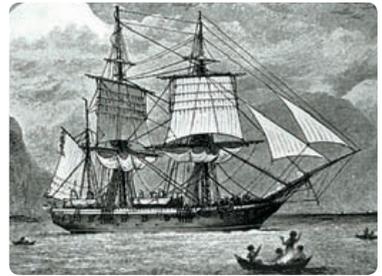


▲ 圖 3-18 新生代的生物（未依實際比例繪製）

❖ 達爾文與天擇說

課本 P67

達爾文出生於醫生世家，家中主張繼承祖業，但他在愛丁堡大學醫學系只讀了2年，就因興趣不合而離開。之後，父親將他送往劍橋大學基督學院主修神學，但他仍鍾情於自然科學。西元1831年，達爾文自劍橋大學畢業，不久就以學者的身分，搭上皇家軍艦「小獵犬號」（右圖）開始為期5年的環球科學之旅，孕育了「天擇說」的最重要基礎。



▲ 小獵犬號

西元1858年，達爾文與另一位研究演化的生物學家華萊士（A. R. Wallace, 1823 ~ 1913）同時正式發表「天擇說」，個人並於1859年出版物物種原始，從此為人類社會、科學界帶來重大影響。綜觀達爾文的成功之處，初始的建立在詳實而仔細的觀察、比較、記錄與蒐集資料，以及對興趣的堅持。雖然初始的「天擇說」有許多不完備，不斷地受到修正與擴充，但這是礙於昔日科學的水準，並無損他為了探究真相而不斷努力的心及所獲得的成就。

❖ 性擇

課本 P70

在天擇說提出之後，達爾文仍不斷地補充修正其學說，使其更為完備。其中最特別的一點便是性擇。

性擇是指在環境中部分動物會有一些誇張的特徵（如下圖A、B），這些特徵可能會招引天敵、妨礙活動及耗費能量，但卻會吸引異性的注意。比如說孔雀的尾羽又大又美，可能會造成雄孔雀容易被天敵捕食，或是妨礙在樹林間的飛行，但卻能吸引雌孔雀而獲得更多交配的機會。目前普遍認為性擇與雌性的審美觀，或是判斷雄性適應環境的能力優劣有關。



▲ 孔雀的美麗尾羽



▲ 麋鹿的巨角



■ 巨獸飛上天 課本 P81

啾啾的麻雀在枝桠間跳躍飛舞，黑面琵鷺由遙遠的北方往南遷移。你能想像在空中或樹枝間活動的輕盈鳥兒，祖先可能來自中生代的恐龍嗎？

鳥類祖先原來是樹棲爬蟲類，本來就會滑翔，後來為了延長在空中停留的時間，才開始以前肢上下拍撲。另一個是奔跑理論，就是說，鳥類的祖先是一種以兩足行走的小型獸足類恐龍，牠們在地面上追逐獵物，或逃避掠食者，絕招就是以上肢向兩側伸出，騰空躍起。其前肢上的羽毛能增加浮力，後來便演化出飛行的能力。目前數種可做為鳥類起源的化石有始祖鳥（如下圖 A、B）、奔龍及孔子鳥，其中始祖鳥曾被認為是鳥類的祖先，因為同時具有鳥類和爬蟲類的特徵，但其是否真為鳥類祖先則仍有待商榷。

此外，近年的科學家發現 6800 萬年前的暴龍腿骨化石中的蛋白質，檢驗後發現現生生物中，這種蛋白質的形式與雞的蛋白質形式最接近，這個證據則又為鳥類源自恐龍有更進一步的證明。

到底鳥類是否來自恐龍，尚須有更多的證據出現，才能做出最正確的推論。



A 始祖鳥化石



B 始祖鳥復原想像圖

地質年代表

課本 P78

生物種類



興盛的植物

藻類時代

蕨類時代

興盛的動物

無脊椎動物時代

魚類時代

重要紀事

地球誕生

生物出現

三葉蟲等生物出現

魚類出現

植物登陸

維管束植物出現

節肢動物登陸

兩生類出現

爬蟲類出現

種子植物出現

(百萬年前)

4570

3800

542

488

444

416

359

299

紀

前寒武紀

寒武紀

奧陶紀

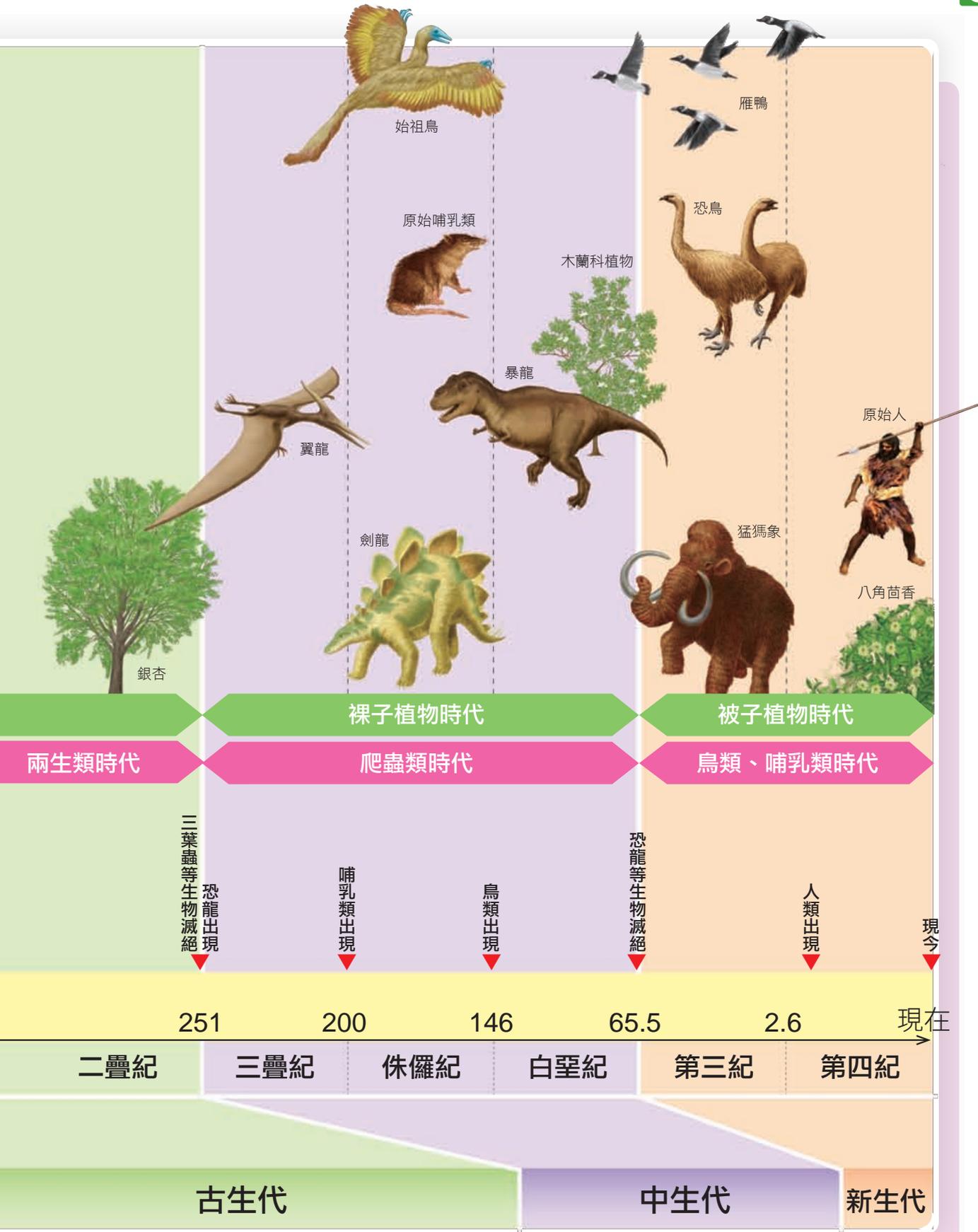
志留紀

泥盆紀

石炭紀

代

前寒武紀



中生代的大型爬蟲類

(此圖未按照實際比例繪製)

課本 P80



劍龍 的長度大約是 9 公尺，高度則大約 4 公尺，屬於草食性恐龍。弓起的背部有兩道形狀類似風箏的板狀物平行排列；在尾部則有數對尖刺向水平方向突起，這些裝甲可以用來防禦肉食性恐龍。



角龍 的上頰前端是喙骨，喙骨與前齒骨一起形成類似鸚鵡的喙狀嘴，頭顱頂部的骨頭往後延伸，形成頸部頭盾，使得三角形外表更為明顯。



暴龍 是陸地上出現過的最大型肉食性動物之一，前肢短後肢長。目前仍有一些爭議，例如到底是內溫或是外溫動物，是捕食其他恐龍或是吃屍體。





翼龍 種類繁多，可在天空飛行，其骨頭中空，內有空氣，類似鳥類的骨頭，牠們擁有胸骨，可讓飛行肌肉附著在上，前肢延長，翼膜由皮膚和極薄的肌肉構成。

雷龍 是最大型的恐龍之一，頭尾可達 23 公尺，體重最重可達 35 公噸，因此會在水中活動以減輕骨骼的負擔。

亞冠龍 屬於鴨嘴龍的一類。頭上的空心冠最可能有社交的功能，如作為視覺上的特徵，亦可以作為發聲的共鳴室。

異特龍 為主動攻擊的大型掠食動物。眼睛上方擁有一對角冠，由延伸的淚骨所構成，形狀與大小隨著個體而不同。

似鳥龍 為快速、敏捷、雜食性或草食性恐龍，前肢很修長，上有強壯的指爪。有些種類甚至可能有羽毛覆蓋。





重點整理

3-1 演化學說

- 解釋生物如何演變的過程稱為**演化論**，過去曾出現過的相關理論：
 - (1) 創造論認為生物並非演化而來，而是神創造出來的，隨著科學的發達，此說被逐漸揚棄。
 - (2) 拉馬克認為生物會隨環境變化而改變，並透過「用進廢退」的機制產生新物種，但並無證據支持。
- 目前最被接受的學說是達爾文提出的「**天擇說**」，他認為演化是生物在適應環境過程中，因環境改變及生存競爭而受到環境長期篩選的結果。
- 人類依據自我的醫療目的、經濟價值及觀賞用途，對生物進行培育並使之符合人類的需要，此過程稱為**人擇**。

3-2 演化的證據

- 生物經過漫長時間，隨環境變化而發生體形、構造與功能的改變現象，稱為**演化**。
- 要了解生物演化有許多方式，其中利用保存在地層中的**化石**是最直接的證據。
- 有些現存生物的形態與祖先化石幾乎沒有差異，這些生物稱為**活化石**。
- 透過對化石系列的研究，能讓我們了解古生物的形態及其生活環境，並可得知生物的演化過程。

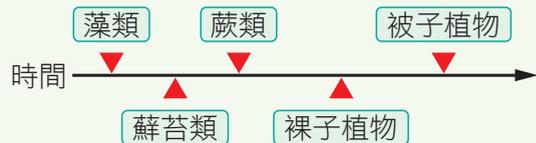
3-3 生物的演化

- 生物的演化過程中，從化石的證據可知，新生命出現與物種滅絕不斷互相交替出現。

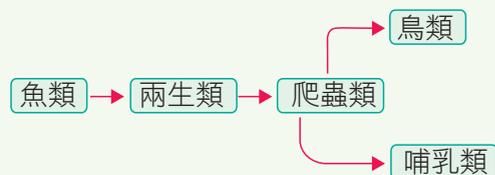
2. 生命的演化史簡表：

地質年代	重 要 事 件
前寒武紀	* 類似細菌的單細胞生物出現 * 行光合作用的藍綠菌出現
古生代	* 海洋充斥藻類和各種動物 * 蘚苔和蕨類登陸 * 昆蟲登陸 * 兩生類出現 * 爬蟲類出現 * 陸地高大蕨類林立
中生代	* 裸子植物取代蕨類的地位 * 恐龍大量繁衍，哺乳類、鳥類出現 * 被子植物出現 * 恐龍滅絕
新生代	* 哺乳類和鳥類取代恐龍的地位 * 被子植物取代裸子植物的地位

3. 植物的出現順序：



4. 脊椎動物的演化順序：





小試身手

大家來找碴（找出錯在哪裡）

1. 演化論僅包含達爾文的天擇說。(P.66、67)
2. 人的手臂因為打網球而變粗是天擇的結果。(P.66、67)
3. 細菌出現抗藥性是因為人擇的結果。(P.68)
4. 愈深的地層通常可以找到愈古老的化石，所以在地表上不會看到三葉蟲的化石。(P.73)
5. 鳥類比哺乳類晚出現，所以鳥類演化自哺乳類。(P.80)

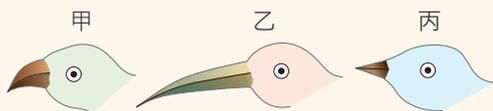
腦內大革命（寫出正確答案）

● 演化論

1. 近年來蚊子對殺蟲劑的抗藥性比例逐漸上升，請問是經由何種過程發生的呢？(P.68)
(A)殺蟲劑會使蚊子產生抗藥性突變 (B)具有抗藥性的蚊子繁殖能力較強 (C)殺蟲劑可促進蚊子生長，所以有抗藥性的蚊子可以產生較多後代 (D)自然界本來就有一些具有抗藥性的蚊子存在，人類大量使用殺蟲劑後使這些蚊子的比例上升

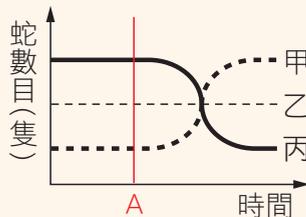
● 天擇說

2. 十萬年前某地有一種鳥類大遷移，分別到甲、乙、丙三地，今調查甲、乙、丙三地的鳥，發現牠們體型相同但鳥喙卻顯著地不同，如下圖，就生物演化的觀點來看，這是下列哪種因素所造成的結果？(P.68)



- (A)天擇 (B)人擇 (C)用進廢退 (D)修補

3. 某森林中原有甲、乙、丙三種體色的蛇，並有吃蛇的老鷹。多年來，蛇的數量大致維持固定比例，但近來（時間 A 後）卻因酸雨導致綠色森林大量枯死，三種蛇的個體數目變化如下圖，則丙蛇的體色最可能是下列哪種顏色？(P.68)



- (A)黃色 (B)褐色 (C)綠色 (D)黑色

● 地層與化石

4. 經過多年的化石研究，某一研究團隊發表了人類歷史前的地球環境圖像，但裡面有一個場景有些怪異，請問是哪一個呢？(P.79 ~ 81)
(A)昆蟲在蕨類形成的森林中飛翔
(B)三葉蟲刮食海洋底層的藻類
(C)人類遭到迅猛龍的圍捕
(D)小型哺乳類竊取恐龍的蛋
5. 某一化石採集隊，在甲、乙、丙三個不同地層中挖掘到許多化石，清單如下：甲地層——恐龍蛋；乙地層——三葉蟲；丙地層——象牙。這些地層依年代由古到今，依次排列為何？(P.79 ~ 81)
(A)乙丙甲 (B)丙甲乙
(C)甲乙丙 (D)乙甲丙

● 生物的演化

6. 請填入脊椎動物的演化過程：(P.79、80)

