

三月份 國中生物教室

楊榮祥

國立臺灣師範大學

這一個月我們來談「演化」的教學。美國 BSCS（生物科學課程研究學會）將演化的概念列入「生物科學九大概念」之一。生物經長久時間而演變，使現在我們地球上有些形形色色的動植物。這些變化，當然就是環境的巨大影響所致。環境改變，使生物改變。所以演化的概念，還與生態的概念，即生物與環境的相互關係，特別是「適應」的概念有關係。

演化與遺傳、生殖的概念又有密切的關聯。生物經生殖細胞減數分裂、受精作用，由染色體傳遞遺傳基因，使生物種的性狀代代相傳，保持其特徵。但經過長久的時間，因空間的影響其性狀還是演變。學生們剛學過生殖與遺傳，也學過突變與育種，教師宜善加運用學生們已具備的這些概念，再予發展。尤其注意演化的兩個因素：「時間因素」與「空間因素」，即「演化經長久時間的演變」，「受著龐大空間—環境的影響而演變」等基本概念，最需要學生理解。

關於探討演化

無論如何，每一個國中一年級的學生對於過去的生物世界，總多少有些幻想。在漫畫本、卡通影片、糖果的廣告，常都有恐龍或其他各種幻想的動物圖片。當他們到動物園看到獅子、虎、大象、長頸鹿、犀牛或大蟒蛇時，可能又會聯想到古代的、或根本就幻想的動物，如劍齒虎、猛

瑪象、麒麟、青龍、白虎等等。究竟這些古代的幻想、以及現實的動物之間，有什麼關係？如果牠們曾經生存過，那麼，現在為什麼沒有？是滅亡了？演化了？

課本裏面有許多古代生物以及其生活環境的圖片，教師如果一一加以說明，當可提高學生的興趣，更可激發其好奇心與想像力。這時，學生可能發生的第一個問題，就是「我們怎樣知道這些事情？」

探討古代生物世界的鑰匙，就是化石。我們都知道動物或植物遺體的堅硬部分，例如骨骼、介殼或堅果、種子等部分變成「石頭」，就是化石。其實，凡是由地殼中所能發現，可證明過去生物存在的無生命物質，也都可以稱作化石。例如，原始人所用過的箭頭、石斧或用過火的痕跡等也可以算是化石。但一般說來，所謂生物化石，就是生物的遺體內的有機物質，慢慢地，一點一點地，為無機物質所取代，而石化的。因為各地土壤成份不同，所以化石的「成份」並不一定相同，但其所保存的生物形態則不會變化。關於化石的形成過程，如需要進一步的說明，請閱教師手冊第 21 頁。

化石可以「告訴」我們許多過去的事實。只要我們「聽得懂」，化石能告訴我們「什麼時候」「在哪裡的地方」「發生過什麼事情」。當然這就談到「化石的解釋」問題。在我們課本之中，關於這一方面的

教材不多，但好在課本內還有許多彩色圖，包括「化石專家發掘恐龍化石」，始祖鳥化石，以及古代各期水中或陸地景象等等，足可為「根據化石探討過去」的材料。

科學教育的目的，並不只希望教師將「科學家根據化石所探討出來的結果」告訴學生來記憶，更重要的就是培養學生探討科學的過程技能，也就是說希望學生們會「根據化石資料探討過去」。至少也要讓學生瞭解「根據什麼化石資料，怎樣推理什麼事實來」。所以在這一章最主要的「過程技能目標」，應該就是培養「解釋數據」或「推理」能力的培養。

關於化石的探討，探討「什麼時候？」部分，需要「定年法」的技術，科學家可以利用放射性元素的半衰期原理，所謂的放射鐘法，來鑑定化石的生成年代。譬如，¹⁴碳法，鉀氫法（教師手冊第22頁第六行鉀「氫」法顯然誤植，請修改）或鈾鉛法。關於其「原理」，請參閱教師手冊第22～23頁。至於「什麼樣的地方」「發生過什麼事」，就需要再檢查化石發掘地種種資料。科學家根據化石本身的形態，化石的分佈情形，化石周圍的岩石上許多證據資料，來推論。例如，在岩層中發現許多卷螺的化石，埋在岩層中方向一致，周圍的岩石都是砂岩，上面又有「鏈波紋（ripple mark）」。¹⁴再經C¹⁴的定年法，證明這些岩石在一萬年前形成，則至少可推論「約一萬年前，這個地方是溫暖（因為這些卷螺只應在溫暖的海水）的沙濱」等等…。所以當我們採集化石時，不應該只管找「完美」的化石，還要注意觀察並記錄其分佈以及周圍一切有關特徵。往往有些業餘的化石採集家，只對「完美無損」的化石有興趣，常無意中破壞了「化石生態」，毀掉許多寶貴的資料。專研究化石以探討過去的世界情形的科學稱為古生態學（paleoecology）。

除了探討過程技能的訓練之外，教師在生物課中，也要注意培養學生良好的科學態度。下面

兩個故事，都是有關探討化石的故事，也許可提高學生興趣，也許可為培養科學態度的教材。

曼泰爾與恐龍

在第十九世紀，英國有位醫生，名叫曼泰爾（Gideon Mantell, 1790—1852），對於化石很有興趣，也是一位業餘的古生物學家。1882年有一天，當他外出應診時，他的夫人在住所附近，新開的採石場岩石碎片裏，無意中發現有一些骨片。她就隨手撿回來交給她丈夫。却沒想到使曼泰爾喜出望外，如獲至寶。他看出來那一定是動物牙齒的化石，却想不出什麼動物有這樣的牙齒。他立刻奔向採石場，仔細找過好幾個星期，果然又找到幾個同樣的牙齒，和一些別的骨片化石。

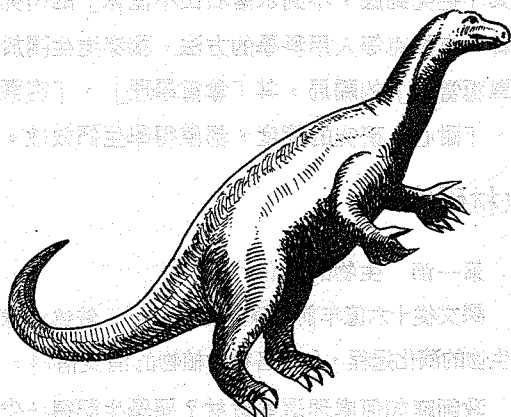
曼泰爾醫生就將這些化石寄到巴黎，請當時的動物學權威，邱維埃（Baron Georges Cuvier, 1769—1833）鑑定。這位「比較解剖學之父」告訴曼泰爾說：那些牙齒是「古犀牛」的，那一批骨片，則屬於已絕種的「古河馬」的化石。但曼醫生想來想去，總覺得不太對。他認為發現這一批化石的岩層，顯然比那些古犀牛、古河馬的生存年代要「古老」得多。這些岩層形成時，根本就不可能有這些犀牛與河馬。於是他再找一位英國的古生物學家徵求意見，却沒想到，他反而勸曼醫生放棄主見，接受邱維埃的意見。

曼醫生還是不死心，決心要查個水落石出。但，就是找不到具有此類牙齒的動物。三年很快地過去，有一天當他還在倫敦一所大學博物館標本室，拿著他的化石，逐一比較所陳列每一種動物骨骼時，遇到曾在熱帶地方研究爬蟲類動物的學者。他一看曼醫生手裏的化石時，就立刻指出其中一個牙齒化石說：這很像一種叫做「鬃蜥（iguana）」的蜥蜴牙齒，只是比較大得多。這就是三年來曼醫生寤寐以求的線索！再經幾次核對之後，他深信這就是已絕種多年，像鬃蜥的巨型

蜥蜴化石。

同年，他正式發表論文，說明發現的經過時，就用 *Iguanodon* [iguana (鬣蜥) + 希臘文：odous (牙齒)] 的名稱，中譯名為「鬣蜥龍」。二年以後，在英格蘭東南部，肯特 (kent) 地區，又發現同樣的牙齒及身體其他部位的骨骼化石，直到 1830 年以前，共發現三種此類巨型爬蟲動物的化石。

1842 年，繼邱維埃為解剖學界領袖的歐文爵士 (Richard Owen; 1804~1892，英國動物學家)，正式命名這一類已絕滅的巨型爬蟲類為 *dinosauria* (恐龍)。此後不到幾年，恐龍成為英國人無人不曉的「熱門」動物。1854 年「水晶宮展 (Crystal Palace Exposition)」中，首次展出鬣蜥龍及其他大恐龍的復原模型。



鬣蜥龍的復原圖

這當然就是根據化石，照原來尺寸型態塑造的。

在新大陸的美國人不甘示弱，十九世紀後半，他們發現在「大西部 (The Great West)」除了黃金以外，還可以挖掘許多珍貴的大恐龍化石。有些人，例如耶魯大學的馬爾許 (Othniel C. Marsh, 1831—1899，古生物學家)，及費城科學學會的庫柏 (Edward D. Cope, 1840—1897，博物學家)，還組織龐大的化石採集隊，像軍隊的作戰計劃一樣，建立周密的計劃，大規模發掘美國中西部的恐龍化石。現在

美國中西部有很多大學，例如，內布拉斯加大學 (University of Nebraska)，博物館，例如，丹佛博物館 (Denver Museum)，都珍藏著許許多多恐龍以及其他古生物的化石，尤其科羅拉多州內，還有恐龍谷 (Dinosaur Valley)，專陳列很多巨型的恐龍化石。

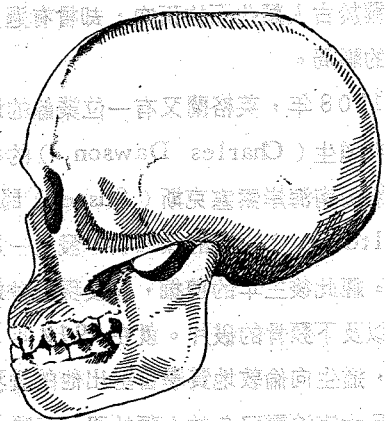
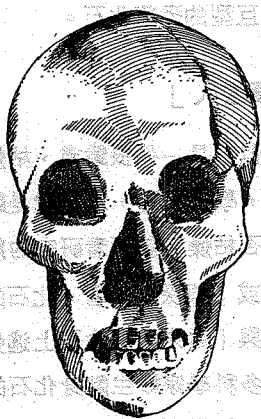
道生的「畢爾當人」

研究化石似乎是一件很嚴肅、枯燥無味的科學。說到嚴肅，學問之道，本來就是嚴肅而莊重的事，至於是否枯燥？就要看研究的態度。當做一種「狩獵」或「偵探」來看，化石的探討應該充滿「刺激」與「趣味」，除了上述曼泰爾醫生以外，還有許多科學家終生獻身化石的研究，不計名利，而根本就樂而不疲，他們的貢獻確實很大。但關於古人類化石的研究，却曾有過「聲名狼藉」的騙局。

在 1908 年，英格蘭又有一位業餘的地質學家，名叫道生 (Charles Dawson) 的律師。他在英格蘭南海岸索塞克斯 (Sussex) 郡畢爾當村 (Piltdown) 附近的採石場，發現一片奇特的化石。經此後三年的搜掘，又發現一些頭骨的斷片，以及下顎骨的破片。就在 1912 年 12 月 18 日，道生向倫敦地質學會呈出他的發現，聲明這就是大家追尋已久的人類始祖——「曙人」的化石。他還正式取名 *Eoanthropus dawsoni*：(道生曙人之意，俗稱畢爾當人)。

關於道生所提出的這一組化石，有一點使人感覺到驚奇。那就是這個曙人的頭蓋骨腦容量，只比現代人小一點，也沒有顯著的眉稜 (眼睛上面眉毛部分的隆起)，很像現代人；但其下顎骨却十分像現代的類人猿下顎。因而一時議論紛紛，有些科學家就接受道生的解釋，甚至還根據這一項新發現，重新修改以前關於人類演化的看法，包括其演化的過程與時間。但，也有一批科學家始終表示懷疑態度，他們懷疑那些頭骨的骨片

與下顎骨，是否屬於同一種動物？但再過三年之後，道生宣佈又找到相同的化石，並提出數片頭骨斷片與下顎白齒的化石。爭論似乎因而平息下來，各級學校生物課本，也都採納這個「畢爾當人」做為教材。



畢爾當人頭骨復原圖

可是，還有些科學家就是不甘罷休，在40年之後，英國的三位科學家，牛津大學解剖學家克拉克（Wifrid Le Gros Clark）、韋納（J.S. Weiner）及英國博物館古生物學系的奧克萊（Kenneth Oakley），用x光攝影道生的化石，做解剖學上的比較，也分析化石中的氟與氮的含量比（氟氮定年法）以求出其形成年代，再以化學分析骨片表面的顏色。經過一番精密分析與比對的結果，他們終於拆穿一項科學史上

空前絕後的騙局。那一片下顎骨，果然就是約十年前死亡的類人猿下顎，為配合另一塊頭骨骨片，還染過色。下顎上的牙齒也都曾經加工配色，甚至研磨使能嵌合下顎骨。其中有一顆犬齒因研磨過多，還露出牙齒髓部。至於那一塊頭骨骨片，不過是更新世後期，也就是約一萬多年前現代人的化石。而第二塊「畢爾當人」的頭骨片，也是冒充物，根本就是十年前死亡的人頭骨片，用化學藥品處理偽造的。

道生的「畢爾當人」確實戲弄過許多科學家一段時間，但最後還是被拆穿其西洋鏡。科學之道是嚴肅的、絕不容許這種騙局。

以上兩個有關化石的故事，希望對於培養學生良好的科學精神以及探討的興趣，有所幫助。例如，曼泰爾探討並發現第一個恐龍化石的故事，其「追究到底，不到水落石出不罷休」的研究精神，克拉克等人用科學的方法，揭穿道生關於「畢爾當人」的騙局，其「尊重學理」、「客觀」、「耐心」研究的態度，都值得學生們效倣。

教材研究

第一節 生物的演化

課文從十六億年前藍綠藻的化石起，敘述地球上生物的演化過程，包括各種動植物的消長情形。

教師應如何處理這些教材？要學生記得多少年前，有過什麼動物？什麼植物？要學生記得先有什麼生物，後來那時候有什麼生物？或地球上各種生物「出現」的順序？

首先我們先研究，這一節應含有那些科學概念：

- 1.地球上以前沒有生物，後來才有了生物。
- 2.生物先在海洋中繁榮。
- 3.最初的生物身體構造簡單，愈演化生物體制愈複雜。
- 4.生物由共同始祖，在不同的環境中，各自演化，而慢慢形成現在這些許多不同的物種。

5.生物的消長與演化均與環境有密切關係。

這些概念都要由學生自行發現，教師宜設法，例如利用課本內的彩色圖片，或放映幻燈片，一面提高學生興趣，一面啟發學生思想，使他們能自行發現。

關於生命起源、古生物各論，各地質年代地球上景象、年代等，教師手冊第23～33頁有詳盡的資料敘述，請參閱。

總之，本節最重要的學習行為目標，應該是「根據化石或其他有關資料，瞭解或推論過去的生態景象。」，而不是「能記憶或重述生命演化的過程。」

第二節 人類的演化

課本從靈長類的演化，說到各種原人化石的發現，其型態、生活的特徵、以及演化的概況。教師手冊中，也有更詳細的資料可供教師參考。

重要的科學概念有：

1.人類之演化與其工具之製造與使用有密切關係。

2.人類的演化史與其文化史，有不可分的相互關係。其他的許多概念，請參閱上一節。

本節重要的學習行為目標，除了上一節所列以外，還應含有：

1.指出人類與一般動物形態上的不同點。

2.指出人類與一般生物的演化原因與過程的不同點。

第三節 演化是怎樣發生的

教師都很容易發現，這一節的教材，是以達爾文的天擇說為中心。關於達爾文的生平，探討演化理論的經過，天擇說的內容及摘要，在教師手冊第39～40頁，有詳細資料可參閱。尤其畢格爾號艦的航海，加拉巴哥群島（Galapagos Islands，教師手冊Galipagos顯為誤植）的生物，馬爾薩斯人口論；對於達爾文的理論有深

遠的影響，教師最好能到圖書館或在書局找到「達爾文傳」「物種原始」「畢格爾航海記」或「加拉巴哥群島」等書籍，以充實自己的知識，以及演化的見解。

這一節最主要的學習行為目標，應為「運用達爾文的天擇說，以解釋特定生物特徵的演化原因」。

第一節還有三個實驗，用玩卡片的方式，讓學生了解演化的過程，或其機制。這三個實驗都是「演化的模型」。教師要注意指導學生，能區別「模型」與「現實」。所謂模型就是簡化的現實（現象及機制）。注意指導學生，是否了解每一張卡片代表什麼？卡片上面的字，又代表現實的什麼？二張卡片代表什麼？為什麼要混合再分發？「拿開」卡片代表什麼現象？「保留」的卡片又代表了什麼？等等…。

實驗9—1是演化的模型，但內容上有些人認為那完全是「育種」的模型。其實這都對。由「育種」去了解「演化」，這本來就是很好的說明方式。達爾文在1858年發表的巨著「物種原始（全名應為『由天擇論物種起源』，The Origin of Species by means of Natural Selection）」的第一章就是人擇，達爾文要說明他的演化理論天擇說時，就是先從人擇，也就是育種開始解釋，這樣較容易為世人所接受。

實驗9—2逢機選擇與9—3非逢機選擇，也都是演化的模型，在這模型中是「天擇」，不是「人擇」，但有人會認為這是「鳥擇」，由鳥來選擇所謂的「適者」。這倒也可以那麼說，但天擇的「天」字本來就代表「環境」，對於本模型中的昆蟲來說，鳥也是其環境因素之一。所以鳥擇也應包含在天擇之內。

在9—2的模型中，因牠們的環境對於昆蟲體色沒有影響，鳥對於蟲的顏色並沒有「選擇」，只是「逢機」吃擇其中一部分。結果深淺色昆蟲的比率，應代代不變。但在9—3的模型中，

鳥真要擔任「選擇者」，因為環境橋樑顏色，可保護深色蛾，所以鳥要專吃淺色昆蟲。經過這種「天擇」之後，淺色昆蟲勢必一代一代地減少，最後只剩深色蛾。

在這一套實驗中，教師要注意學生是否了解鳥為什麼要吃淺色蛾。為什麼這些鳥專吃淺色蛾，就可以算是「演化的模型」。在這模型中，環境使深色蛾能逃過鳥劫，所以真正的選擇者，還是環境的「地色」，鳥不過是天擇的「執行者」。

問題討論

1. 課本第 30 頁倒數第二行：「全盛期的爬蟲，因為氣候變化及食物“消失”而逐漸衰退或滅絕。爬蟲的食物真會突然消失嗎？」

〔答〕中生代末期全地球的氣候慢慢變冷，也普遍地發生地殼變化，使巨型的變溫動物，很難適應寒冷的氣候，同時也使牠們原來所攝食的大量植物慢慢減少或消失，也慢慢使恐龍衰退至絕滅。把「消失」改為「減少」也很好，但關於這個事實，可能很多人有所誤解。認為這些變化是「突然」的。事實上，地質年代很多巨大的地殼變動（包括多次造山運動），或冰期（ice age）的來臨與退却，也都要經過幾千甚至數萬年的時間，慢慢地變化。當然這些時間在整個地球歷史幾十億年的時間尺度來看，可能只是「一瞬間」，所以有些地質學家或古生物學家，就喜歡用「突然」這個形容詞。希望教師能把握這些時間尺度，那些變化，事實上都是漸進的，絕不真是突然的變化。

2. 據報紙報導，已有人發現更早的原人，如屬實，是否應修改課本教材？

〔答〕當然學校教材應該隨時接受新知，隨時修改。這就是我們都主張隨時研究並修訂課本

的原因。課本上所列之「東非猿人，學名為 *Zinjanthropus boisei*」，約為一百七十五萬年前的原人，就是當代最偉大的考古人類學家李蓋博士（L. S. B. Leakey）在非洲坦干伊喀（Tanganyika）的奧爾杜伐（Olduvai）峽谷所發現。據報傳李蓋博士夫婦，最近又發現更早，約為三百萬年前的原人化石。如是我們關於人類起源及演化的概念，都要修改。只要我們看到正式論文或報告，一定列入課本。關於科學知識，我們不能單憑報紙記者的「報導」，就接受修改。

3. 課本第 32 頁說：「1927 年在我國北平周口店發現北京人…」，但教師手冊却在第 36 頁說 1924 年發現，究竟那一年發現北京人化石？

〔答〕教師手冊說的是「自 1924 年開始在…陸續發現…」。根據李蓋博士著 *Adam's Ancestors—The Evolution of Man and His Culture*（1960 年出版），北京人化石發現的經過是：「1918 年瑞典的安德生（S. G. Anderson），在北平附近，發現化石含量豐富的石灰岩。又因發現化石堆裏面還夾著一些水晶的破片，他預言：此地必找得到原人的化石（他認為此地這樣的岩層中，不可能自「生」水晶。這些水晶必然由「人」帶來。）

1923 年他的同事渣丹斯基（Otto Zdan-sky），果然找到兩顆顯然就是原人的牙齒，就在 1926 年正式發表此項發現。此後，又與我國地質學家合作，在周口店附近石灰岩洞中繼續挖掘，陸續發現很多北京人以及其遺物的化石。」

根據戈定邦博士著 *BSCS 高中生物學* 記載，在 1929 年，我國科學家裴文中在周口店龍骨山掘發北京人的頭蓋骨，其後十二年間，又挖出 40 多具個體不同部位的化石，許多石器，包含整套劈器，以及顯然是用火的痕跡。

最不幸的是，這一批寶貴的化石，就因日本

帝國主義者的侵華，居然全告失蹤！不過不幸中的大幸，這些化石早已鑄造成模型，也有詳盡的記錄，可供研究。

4. 實驗 9—3 非逢機選擇，照步驟做過了，却始終沒有得到預期的結果，是不是課文有錯？

〔答〕實驗 9—3，步驟 5，第二行…將「全部」卡片收回…，應指「在步驟 3 為鳥捕食而已經除去的基因卡以外「全部」卡片（包括全部深色昆蟲及「逃過鳥劫」的全部淺色昆蟲）。既然已經被鳥「吃」掉了，應該沒有機會再生產下一代。下表是一班（52 人）學生，分二組實驗之實得結果，請參考（丙組的淺色對於深色基因之比率，顯然隨代減少）。

學生分組	代	被鳥所捕		生存			
		深色昆蟲	淺色昆蟲	食之數目	深色昆蟲	淺色昆蟲	基因基因
第一組 (26 人)	1	20	6	2	20	4	26 22
	2	19	5	5	19	0	26 12
	3	18	1	1	18	0	26 10
	4	17	1	1	17	0	26 8
第二組 (26 人)	1	20	6	4	20	2	26 18
	2	18	4	1	18	3	26 16
	3	19	2	2	19	0	26 12
	4	18	1	1	18	0	26 10

5. 第八章請增加「中間型遺傳」的教材。

〔答〕這位老師沒有說明這一項建議的理由，不知其動機何在？筆者認為科學教育，並非要求師生必須以課本為學習的「範圍」或「限度」，不得「超出」。課本僅為教學的素材，如果老師認為必要或學生覺得有興趣，甚至有此要求，老師應補充這項教材，至少可以介紹課本以外的課外書籍，指導學生自行閱讀。課本為唯一教材的觀念，宜早日捨棄。升學競爭可能對此項觀念

，有所影響，但老師宜注意：學生考得上高中及大學，固然很重要，但考上以後是否學得好？才是「真正愛護學生的老師」所要關心的問題。

6. 下冊第 25 頁，視覺正常為顯性，「夜盲」是否為「色盲」之誤？

〔答〕夜盲症有兩種。一種是營養性夜盲，因缺乏某些營養素（如維生素 A），所引起的。這種夜盲症只要補充所缺乏之營養素，即可不「藥」而癒。另一種是遺傳性夜盲，因先天缺乏接受弱光刺激的色素體，所以成為夜盲。這種夜盲基因，也和色盲基因一樣都是隱性的。課本並沒有錯。

7. 人類性別的決定，其中的異常者，如 XXY，XXX 等的特性，資料不易求得。

〔答〕市上，尤其各大學附近的書店，都會有大學用書「普通生物學」，這些資料大概都會有一些。「遺傳學」中也應該都有。請就近購置參考。

8. 第八章關於突變的材料太少。

〔答〕這一節內容很少是事實，根據教師手冊，這一節主要是讓學生知道隱性基因是怎樣來的。某一基因在突變之前，所表現的就是「野生型」，突變之後，所表現不同的表型就是「突變型」。突變基因通常是隱性的，但也有隱性基因突變為顯性基因的情形。農學家常在世界各地，廣泛收集各種自然突變型，或以人工方法使基因突變，經過反覆配種（雜交）與選擇（人擇），以改良農作物及家畜、家禽的品種。這就是所謂的「育種」。此外，生物的演化亦有賴於基因突變，這一點本月份已略有所述。