

減緩全球暖化要加速提升 自然生態的碳吸蓄能力

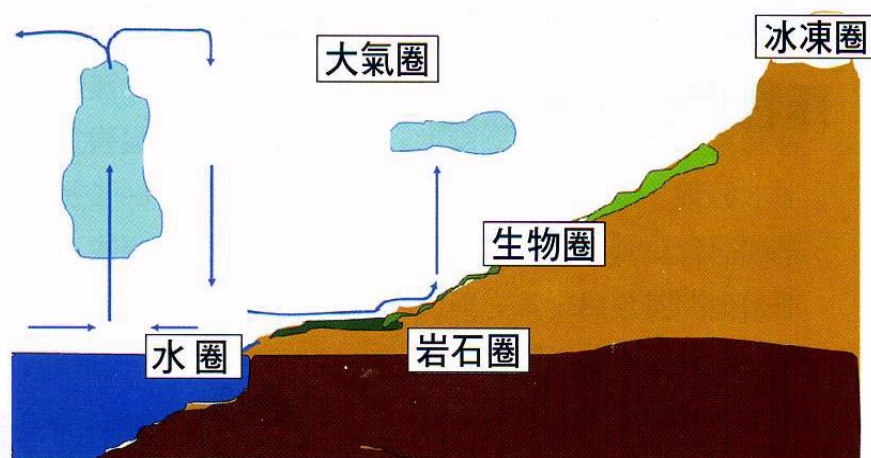
前言

去年是聯合國訂立的「國際生物多樣性年 (International Year of Biodiversity)」，藉此提升生物多樣性意識，促進《生物多樣性公約》(The Convention on Biological Diversity) 的推行。為評估活動的成效，今年初英國環境、食品與鄉村事務部 (Department for Environment, Food and Rural Affairs) 做了調查研究，結果發現回答對於生物多樣性了解「很多」者占 18%，比二〇〇九年下降兩個百分點；回答「甚少」者占 30%，比二〇〇九年上升六個百分點；回答「聽說過」占 18%，比二〇〇九年下降三個百分點；回答「從未聽說」則有 31%，略低於二〇〇九年的 32%。與同樣是一九九二年地球高峰會議產物的《氣候變化綱要公約》相比，民眾對於生物多樣性的認知普遍低於氣候變化，成為實現《生物多樣性公約》和其他相關公約的一大困難。殊不知，生物多樣性與減緩氣候暖化有著無法切割的關係。

地球氣候系統的生物與非生物圈

地球氣候系統是由大氣、水、冰凍、岩石和生物等五大圈所構成 (圖1)，各圈之間彼此影響，存在著生物和地球與環境之間複雜的物理與化學作用，這些錯綜複雜的關係可以從簡化的能量與物質流動過程概略理解。

地球氣候系統中能量的流動屬於開放性的，需要不停補充也在不停消耗。太陽是地球氣候系統的生物與非生物圈一切能量之源，生物賴以存活的能量稱為生物能。以浮游生物為



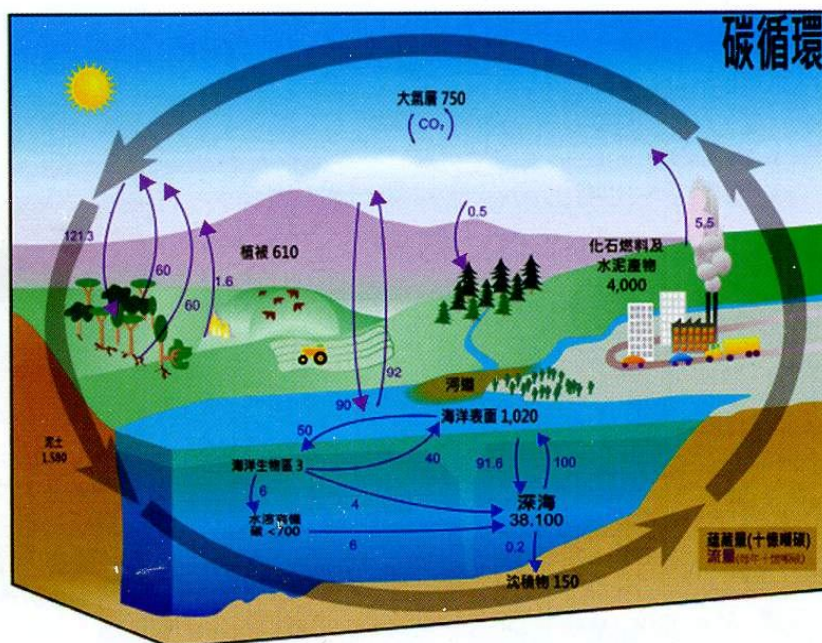
↑圖1. 地球氣候系統之大氣、水、生物、岩石、冰動等五大圈示意圖

主的綠色植物是生物圈的能量生產者，可吸收太陽能進行光合作用，與環境中的二氧化碳、水、氮、磷、硫等無機物合成能夠被動物或微生物攝取及分解的葡萄糖等有機物質。生物能隨著動物的呼吸、排泄或死亡而消散，最後被微生物分解變成無機體就脫離了生物圈。

有別於能量的開放性，地球氣候系統中的物質流動則是封閉性的，也就是說不會有源源不斷的新物質補充進來，物質也不會在地球系統中完全消失，而是不斷轉換變成不同的形式存在。化學元素或分子在地球系統中的循環過程稱為「生物地質化學循環」(Biogeochemical Cycle)，又稱「生態系統的物質循環」或「生地化循環」。地球上所有的有機體都參與了生地化循環，作為生物營養物質的碳、氮、氧、磷、硫等元素都在生態系中不斷循環，也就是說這些化學元素在地球上的總量大體不變，僅偶有從外太空入侵的隕石可造成極微小的變動。因此，生地化循環是一個封閉系統。

氣候系統的碳循環

生地化循環包括了碳、氮、氧、磷、硫和水循環，其中以碳循環和氣候暖化的關係最密



↑圖2. 碳循環示意圖。黑色數字表示碳的蘊藏量，以十億噸（「GtC」是「gigatons of carbon」的縮寫。約為2004年數據）計。紫色數字表示碳每年的流動量。圖中的「沉積物」不包括碳酸鹽及岩乾酪根（數量約為7千萬GtC）。圖片來源：<http://zh-tw.enc.tfoe.com/%E7%A2%B3%E5%BE%AA%E7%8E%AF>

切。碳循環顧名思義是指碳元素在地球氣候系統中的循環變化（圖2），也就是在大氣圈、水圈、冰凍圈、岩石圈和生物圈中交換。碳的來源分布在大氣圈、生物圈、海洋和海底沉積物等處，大氣裡的碳元素主要以二氧化碳形式存在，生物體中有大量的碳，海洋裡則是以可溶性無機碳為主，海溫愈低時海洋的二氧化碳溶解度愈高。溶解在海表層的二氧化碳可以進入大氣或進入深海，也可以被海表層浮游生物經光合作用轉變成可溶性有機碳，經動物吸收後部分，隨著動物的死亡轉變成無機碳逐漸沉入海底，數億年下來海底已累積了大量的碳。除了海底以外，土壤和岩石中也有儲存有豐富的

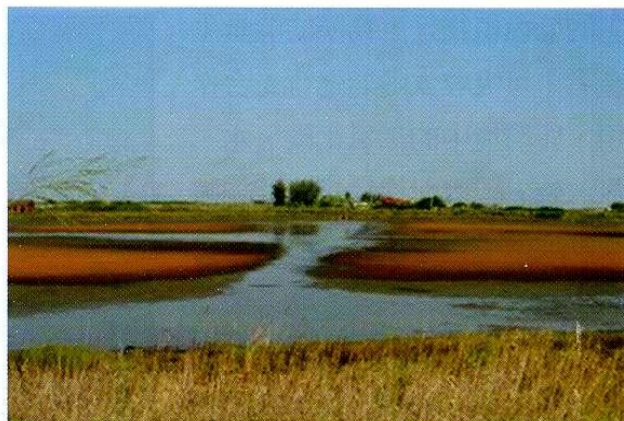
碳，這些碳的變化通常非常緩慢，以相當漫長的地質時間尺度的過程為主，遇火山爆發時儲藏在地球深處的二氧化碳也會被帶入大氣。

綠色植物、土壤、海洋是大氣二氧化碳的主要吸收者，它們的吸碳和蓄碳能力直接影響著大氣二氧化碳的濃度。

十八世紀第一次工業革命以來，大氣中多了一個碳的來源。人類發明了化石能源使用技術，把數千萬年或數億年前儲藏在地下碳挖出來燃燒，釋放大量的二氧化碳到地球大氣層。石化與能源工業都是人類一手帶動的「碳流」，這些技術固然為運用者帶來前所未見的經濟發展與生活便利，但是對於地球生態系統的影響既全面又深遠。

氣候變化與生物多樣性

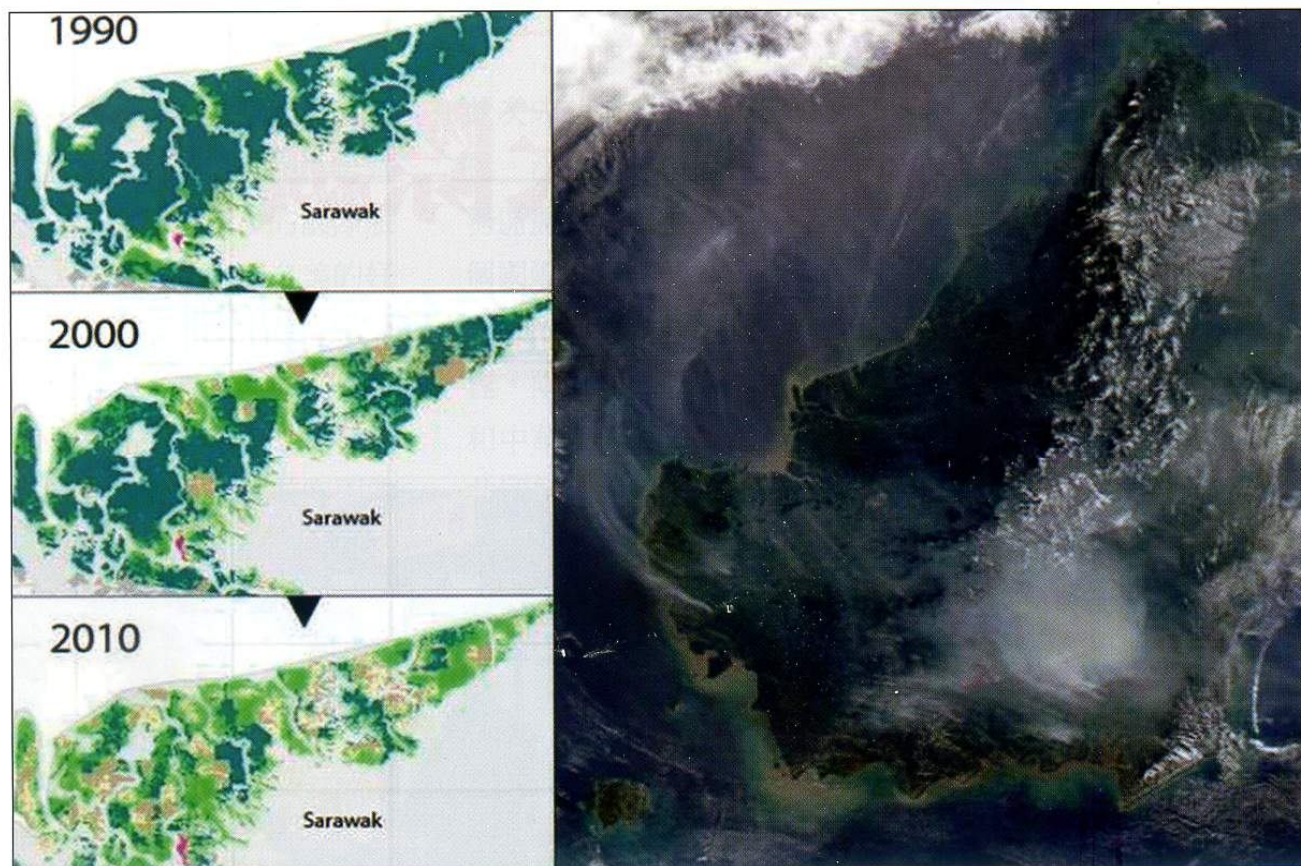
十九世紀冰期結束以後，地球漸漸溫暖，人類因製造出大量的二氧化碳送進大氣更成了加速暖化的推手。但是別忘了：送進大氣的「人類製造」二氧化碳約有三分之二來自於化石燃燒，另外的三分之一則是來自於人類土地利用方式改變所造成的生物圈對於二氧化碳的吸收能力年年下降，以致於留在大氣中的二氧化碳不斷增多，土地利用影響受到的重視程度大大不如化石燃燒。人類為了短期的經濟利益造成森林面積大量減少、沿海濕地縮減、土壤有機碳流失與土壤鹽化，一方面大幅削弱了生物圈吸收大氣二氧化碳的能力，破壞了土地的碳儲藏功能，助長大氣二氧化碳濃度攀升，另



↑圖3. 四草濕地，為臺灣兩個國際級濕地之一（另外一處是曾文溪口濕地），亦為臺灣沿海紅樹林中物種歧異度最高，原貌保存最完整的區域。池文傑／攝影。資料來源：http://vod.pajh.hcc.edu.tw/award/97/97/a/at007/wetland/004_2.htm

一方面則直接危害生物多樣性的發展，降低了人類對於氣候變遷的調適能力。

當下的物種消失速度是自然速度也就是沒有人類行為影響的速度的一千倍，伴隨人類經濟與社會活動產生的農業和工業的發展、氣候變遷、環境污染、外來種的入侵等等都是加速物種消失的原因。人類面對比較陌生的溫暖氣候與環境挑戰時必須要有所適應，日益減少的物種有損於調適能力。生物多樣性包含生態系、物種、基因的三種層面的多樣，愈是多樣多元的生態系可蘊育愈豐富多元和異質的物種與基因組合，意味著生物圈擁有旺盛的生命力，人類生存的機會或選擇性也愈多。正如國際生物多樣性年標語所言：生物多樣性就是生命，生物多樣性是我們的生命 (Biodiversity is life. Biodiversity is our life.)。



↑圖4. 泥碳林 (Peatlands) 有極為豐富多樣的生態系，東南亞有全球最大的泥碳林，然而面積正在迅速減少，從1990到2010年(左圖綠色部分)面積至少縮小了41%。左圖摘自J. Mietinnen et al., *Frontiers in Ecology and the Environment* (2011)；右圖為NASA的衛星影像。圖片來源：<http://www.earthtimes.org/conservation/southeast-asia-tropical-peatlands-dissapear-2030/790/>

自然是抗暖化的最佳策略

降低大氣中二氧化碳的濃度是減緩氣候暖化的基本法則，為達到這樣的目的，除了世界各國必須加緊限制二氧化碳排放量之外，地球村民更有加速提升生物圈吸收大氣二氧化碳能力以及土壤的碳儲藏功能的責任，也就是要加強保育生物的多樣性。強化生物多樣性的認知與保護是減緩氣候暖化的最佳策略，沒有更好的方法可同時具備減碳、氣候調適、永續發展與創

造高經濟價值的效用，並且具有適合全民參與的特色。

海岸濕地(圖3)、泥碳林(圖4)、土壤、森林、海洋都蘊育著極寶貴的多元異質生態系，也是吸收與儲存大氣二氧化碳的倉庫。聯合國已把二〇一一至二〇二〇這十年定為「聯合國生物多樣性十年」，強烈表現了生物多樣性需要更受重視。細心保護照顧與愛護生態寶地，讓它們擁有豐沛的自然生命力，不但能夠減緩暖化，並能改善生活和有益健康何不讓抗暖化，變得很自然。

