

# 環境變遷監測

## 一 氣溫對狹溫性甲蟲活動之影響

◎台灣大學昆蟲學研究所·黃文伯

### 前言

自從十八世紀中葉英國人瓦特改良蒸汽機之後，人類在生產技術上從手工勞動轉變為機器動力，隨後由英格蘭傳播到整個歐洲大陸，十九世紀傳播到北美地區，而到了二十世紀，整個地球在機器動力化的影響下，大量將石油與森林所累積的碳化合物分解成動能，以利機器的驅動，但是在碳化合物的分解過程中，除了大量熱量溢失到大氣內，其氧化的產物—二氧化碳更是不斷地累積到空氣之中。二氧化碳的含量在工業革命之前僅僅280ppm，過了一百年便增加至350ppm，如果不加以控制，科學家預估在2030年二氧化碳含量便會高過550ppm，為工業革命前的兩倍以上。

地球表面的能量除了地函散出的地熱，最主要的是來自太陽。太陽的能量經由短波輻射穿透大氣層，除去地表吸收的熱量外，一部份反射回太空的輻射能會被大氣的對流層吸收，使得能量再次進入地球表面，輻射能反射過程中的再吸收作用，就是自然界的溫室效應。工業革命後大氣內二氧化碳的濃度明顯提高，當濃度增加一倍，地球表面的溫度就會在溫室效應下上升3到5°C。

地表溫度的略微提高，對有能力由寒帶到熱帶生存的人類來說，百年來的感受是微乎其微的。但是對地球生態來說，則是一場浩劫！過去50年來，南極洲表面溫度提高了5度，冰山快速崩解，就連北極的海冰也預估在2060年秋天融解殆盡，冰山融化使得海平

面上升，2006年第一座有人的小島—印度恆河三角洲南部的羅哈哈拉島已經淹沒，上萬人被迫離開家鄉。

在台灣，最近讓人認知感受比較深刻的，是該在春天開花的山櫻花，竟然提早在冬天開了。人類的生理感受比其他的生物遲鈍，在全球暖化的過程中，其他生物的生活早已產生遽變，人類卻猶無所覺，南美洲的烏賊出現在阿拉斯加，鮭魚鯖魚離開了原有的洄游路線，地中海水母異常增加，甚至許多物種永久消失在地球上。

### 狹溫性指標生物的利用

以生物做為指標，讓人類趨吉避凶，自古以來便廣泛地被採用，像台灣自來水接管運送前，以生物養魚箱作為水質試毒的工具；911事件後，紐約民眾大量購買金絲雀，好作為恐怖毒氣襲擊的警報器。在環境變遷的監測中，對環境變化敏感的物種，就是最佳的指標生物，讓人類在危及自己生存之前，做出最佳的反應。

保留區或保護區的監測，能讓人類對大環境變化的速度有著評估的基礎，進而在全球暖化的過程中，提供科學的證據。指標生物的行為變化，好比警報器一樣，提醒我們不該坐而言，而應起而行地有所作為。

最適合做為監測環境溫度變化所產生影響的指標生物，是狹溫性的(stenothermic)生物。狹溫性生物，顧名思義：牠們繁殖與活動在一個狹小的溫度範圍內，當環境溫度太高或太低，超過牠們能夠忍受的範圍，牠們的行

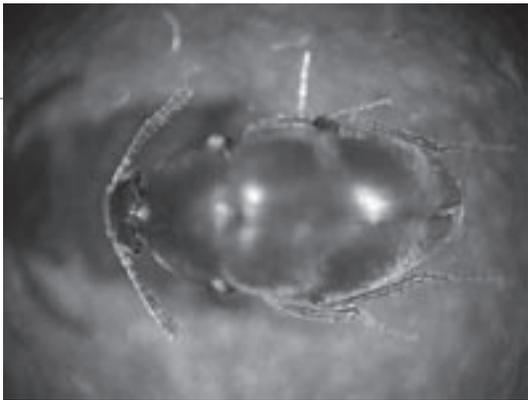


圖1 球蕈蟲科Leiodidae的*Catops*屬(黃文伯 攝)

為就會產生變化，不再如適合牠們的溫度範圍一般地活躍。環境溫度過高時，牠們白天會選擇躲進溫度較低的陰涼處，靜待夜晚溫度降低，或是在長時間高溫的情況下，進行夏眠；而環境溫度過低，生物無處可躲，牠們則會進行冬眠。一旦牠們的夏眠或冬眠的週期改變，那就是一種警告：大環境的氣溫不是在正常的起伏波動中，而是強烈地偏移。

台灣也有許多適合做為指標生物的狹溫性物種，以屍食性的甲蟲為例，針對活躍期與環境溫度的監測，球蕈蟲科Leiodidae的*Catops*屬(圖1)和埋葬蟲科Silphidae的尼泊爾埋葬蟲*Nicrophorus nepalensis*(亦名為橙斑埋葬蟲，圖2)便屬於狹溫性的種類。*Catops*屬的甲蟲個體多在5mm以下，除了文獻曾提過它屬於適寒性的種類外，對於這類甲蟲的研究並不多。然而對尼泊爾埋葬蟲的研究，在台灣不論是行為或生態都已有初步的了解，加上牠們的個體大，沒有辨識上的困擾，在季節分明的亞熱帶或是高山環境中，用來做為暖化監測的指標物種，則是相當合適。

### 埋葬蟲的生活簡介

在動物屍體的分解者中，埋葬蟲科的斑紋埋葬蟲屬*Nicrophorus*是一群相當特別



圖2 咬破鼠肚的尼泊爾埋葬蟲(黃文伯 攝)

的甲蟲，牠們具有能力將如鼠、鳥、蛙類小型脊椎動物的屍體埋葬，在裡頭養育牠們的下一代。本屬在全世界約有75種，目前在台灣的紀錄裡，僅有普遍分布在舊北區的兩種：大黑埋葬蟲*N. concolor*與日本埋葬蟲*N. japonicus*，和東方區的尼泊爾埋葬蟲*N. nepalensis*，大黑埋葬蟲在低海拔處並不多見，日本埋葬蟲近年來並未被採集到，而數量最多的，則是尼泊爾埋葬蟲。

尼泊爾埋葬蟲是森林裡的屍食性甲蟲，與目前歐美最常研究的蜂型埋葬蟲*N. vespilloides*、丹頭埋葬蟲*N. orbicollis*等等種類的育幼行為相似，雄蟲與雌蟲利用觸角在空中攫取屍體所散發出來的氣味，來定位屍體所在的位置。一群同種的埋葬蟲群聚在適合繁殖的屍體上，會進行同性競爭，到最後只剩一對埋葬蟲擁有對屍體的獨占權。尼泊爾埋葬蟲會將屍體就近拖至適合挖掘的地方，先咬出腸子，同時在屍體的下方一邊挖掘洞穴、一邊用唾液弄濕屍體和去毛。牠們用四肢滾動屍體，利用前胸背板與翅鞘頂住外圍的泥土形成地下墓穴，並將屍體滾成球形(圖3)。牠們呈現亞社會性昆蟲的行為，對幼蟲的照顧有若鳥類雙親餵食雛鳥一般，以口對口的方式反芻餵食幼蟲(圖4)。



圖3 屍體在墓穴中被滾成屍球(黃文伯 攝)

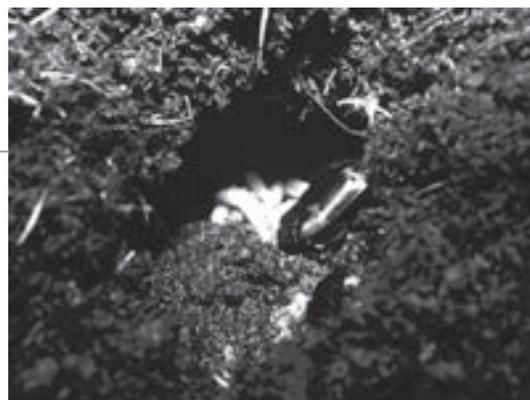


圖4 埋葬蟲雙親反芻餵食幼蟲(黃文伯 攝)

### 埋葬蟲做為狹溫性指標生物的學理依據

屍體對某些生物來說，是一項相當珍貴的資源，在脊椎動物與無脊椎動物的競爭下，埋葬蟲要獲得適合繁殖的屍體相當困難，加上溫度左右了屍體腐爛的速率，尼泊爾埋葬蟲在屍體來源的短缺下，演化出狹溫性的生理。在冬天，競爭不過脊椎動物的掠食屍體，牠們進行冬眠；在夏天，屍體腐爛速率快，加上眾多無脊椎動物的競爭，繁殖效益差，牠們便進行夏眠。在哈盆自然保留區裡，2001年成蟲在野外活動時間為春季和夏初的2至5月，還有秋末冬初的10、11月(圖5)。在春天，除了冬眠的成蟲由地底爬出外，也有許多是以蛹過冬、在春天才羽化出來的成蟲。

拿羽化30天的尼泊爾埋葬蟲做溫度耐受度的研究，在每兩天提高溫度1°C的情況下，在26°C，大部份的成蟲顯得不活躍，牠們不吃不喝躲在土中，而溫度提高到27°C，死亡率就會迅速攀升(圖6)，牠們因為生理機制無法承受長時間的高溫而死亡。

當模擬哈盆保留區自然條件的溫度和日長，好比2月平均15°C、日長11小時，和4月20°C、日長12.5小時，尼泊爾埋葬蟲成蟲在羽化後兩個星期之內就能性熟，交配產卵養

育下一代；但模擬6月的25°C、日長14小時的條件時，成蟲不僅不進食、躲在土裡，更甚者，牠們的壽命也由20°C時平均的121天，縮短為三分之一。

尼泊爾埋葬蟲不能忍受過高的氣溫，在北部山區適合牠們繁殖的森林裡，夏季溫度

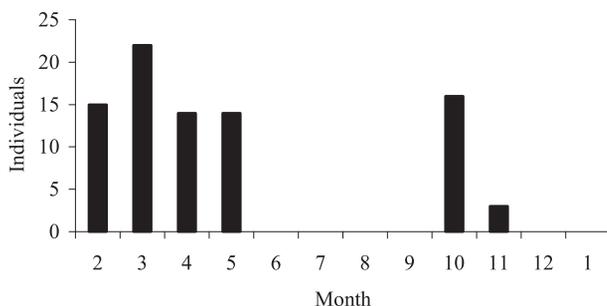


圖5 2001年2月到2002年1月於哈盆自然保留區捕獲的尼泊爾埋葬蟲隻數

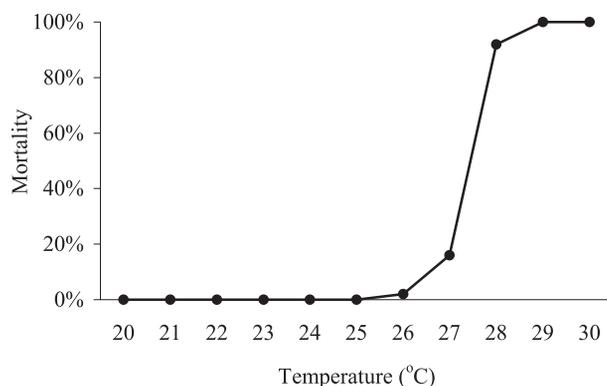


圖6 50隻尼泊爾埋葬蟲在每兩天提高溫度1°C下的死亡率

過高，牠們會挖開泥土裡躲到地底下溫度較低的地方進行休眠，一旦入秋天氣轉涼，才再爬出地面活動。以亞熱帶的哈盆自然保留區和熱帶的南仁山生態保留區於2001年2月到2002年1月所測得的地表溫度相比，實驗期間最高溫低於26°C、適合尼泊爾埋葬蟲繁殖的月份，在哈盆扣除冬眠所需的兩個月，尚有7個月，但在南仁山則只有5個月(圖7)，如果埋葬蟲在南仁山的冬天仍需冬眠，那基於世代交替需要大約兩個月的情況下，所剩下的時間無幾，相當不利於繁殖，所以尼泊爾埋葬蟲很可能因為世代交替的時間不足，而沒有出現在南仁山。

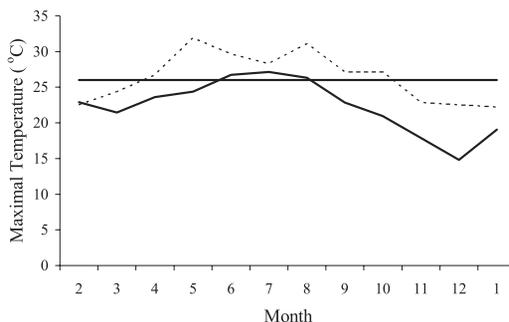


圖7 哈盆(—)與南仁山(---)於2001年2月到2002年1月實驗期間林地地表測得之最高溫度，橫線代表26°C

在2006年對哈盆自然保留區監測的結果裡，10月所測得林地最高溫已經超過26°C，相較於2001年10月份遠低於26°C的情況來看，尼泊爾埋葬蟲被迫延長牠們的夏眠時間，2006年延到了11月才形成活躍期的高峰，不再像2001年10月是秋季活躍的高峰期，這影響的結果是，原本應於下一個年度2007年2月出現的埋葬蟲不見蹤影。

## 後語

全球暖化會影響尼泊爾埋葬蟲活躍期

的變化，如果暖化現象是持續的事實，可預見適合理葬蟲繁殖的溫度週期將會縮短。以哈盆自然保留區來看，由於2006年夏天的高溫時間拉長到秋天，影響了秋天世代的繁殖後挪，進一步延後春天世代的羽化，加上夏天高溫的提早到來，春天適合理葬蟲繁殖的時間更顯窘迫。倘使哈盆自然保留區在2006年10月的高溫，並非溫度在以年份為單位長時間下的自然起伏，而是受全球暖化影響的話，那麼環境溫度在年復一年的暖化下，除非埋葬蟲有演化適應的時空，否則哈盆自然保留區到最後很可能會變得不適合牠們繁殖，造成埋葬蟲銷聲匿跡、不再出現。

1907年3月法國晨報舉辦了「北京—巴黎汽車拉力賽」，這象徵著人類大量燃燒碳氫化合物，引發全球暖化的濫觴，而百年後的今天，亦有人重新提出「北京—巴黎」之行，但以環境保育為概念，改以不污染環境的自行車做為交通工具。人類最近才明白自己對養育我們的地球做了多大的破壞，開始嘗試改變能源的取得來源，將可回收的資源重複使用，但要評估暖化造成環境變遷的程度，指標生物與環境互動的監測亦不可少。

由北臺灣的低海拔到高海拔和南臺灣的中高海拔，都有尼泊爾埋葬蟲的蹤影，狹溫性使得尼泊爾埋葬蟲敏感於環境溫度的季節性變化，牠們就像全球暖化的警報器一般，以牠們的存在與否，告知我們環境受到影響的程度，也同時提醒我們該為人類已經造成與即將造成的生態浩劫負責。☢