

# 白蟻—啟發人類生活的社會性昆蟲

■ 李後鋒

白蟻的出現其實是一個指標，提醒我們作物已經不健康了。

白蟻是台灣都市與野外生態系中常見的昆蟲，每年春末夏初近晚時分，常見大群有翅型白蟻繞著燈光盤旋。這些在大雨前後分飛的白蟻，俗稱大水蟻。每一對大水蟻都有機會成為蟻王、蟻后，在未來的七、八年內建立一個數百萬個體的龐大王國。

白蟻是一種令人聞之色變的木材害蟲，國人大都有親身抗蟻的經驗，其實牠對地球生態也有非常重要的貢獻。本文從生態學的觀點，來談白蟻在自然界中扮演的角色，從益蟲變成害蟲的原因，還有對人類生活的啟發。

## 新一代的發電機

地球上的能源多來自太陽光，惟能捕捉這些能量的莫過於綠色植物，它們透過光合作用，把光能轉化成化學能儲存在各類型的化學分子內，其中纖維素占植物體的比重最多，有 50% 以上。纖維素是由數百到數萬個葡萄糖分子以糖苷鍵串連在一起的大分子醣類，它又與半纖維素、木質素等結構複雜的大分子組成植物的基本骨架。其結構複雜而穩定，不溶於水，有很好的支撐性，是植物維管束的主要成分。

而基本單元葡萄糖則具高水溶性，容易被各類生物細胞吸收，是能量來源也是新陳代謝的重要中間產物。如果把在細胞間、個體間、物種間與生物鏈間快速進出的葡萄糖比喻成可以在市場上快速流動的現金，纖維素、半纖維素與木質素這類大分子醣類就好比是土地與房屋這類的不動產，雖價值不斐，但不容易在市場上流動，並非所有生物都能使用。

白蟻是一種令人聞之色變的木材害蟲，國人大都有親身抗蟻的經驗，其實牠對地球生態也有非常重要的貢獻。

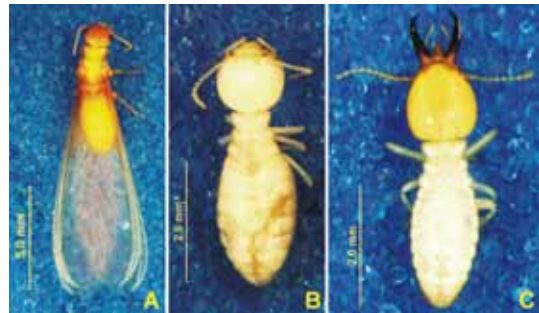
神奇的是白蟻是少數能把這些不動產轉化成現金的生物，白蟻透過自體或共生微生物所產生的酶，把這些複雜的大分子醣類分解成小分子，以獲得能量並維持新陳代謝。被分解的纖維素大部分以二氧化碳的形式釋放到空氣中被植物捕捉，再透過光合作用把這些碳分子合成纖維素與其他醣類。由以上描述可知，植物光合作用的吸能與固碳反應，與白蟻分解纖維素的釋能與釋碳反應，在碳循環與能量循環中扮演重要的角色。

近年能源危機再起，科學家積極尋找新的替代能源，其中一個熱門的議題就是破解白蟻分解纖維素的祕密。科學家認為如果能把大分子的醣類轉化成小分子的糖類，再使小分子糖類發酵成酒精，就可以燃燒酒精來發電。透過這機轉，地球上各式植物的纖維素就可以轉化成能源了。

這個想法看似簡單，但是過程並不容易。因為白蟻分解纖維素其實是透過很複雜的生化過程，其消化系統就如同一個個相連的化學反應槽，每個槽內有著不同的酸鹼度，從酸（ $\text{pH} = 5$ ）到鹼（ $\text{pH} > 10$ ）都有，且裡面還住著數萬種不同的共生微生物，以協助其分解纖維素。但是這些共生生物大多無法在體外培養，想了解牠們的功能相當不易，距離成功建立仿白蟻腸道的發電機，還有一段漫長的路要走。

## 從清道夫變成毀滅者

在3億年前的石炭紀，在巨大蕨類所形成的森林中已經可以發現屬於雜食性也是分解者的蟑螂。其中有一群特化的木蟑螂，其腸道中畜養著可分解纖維素的原生動物，兩者形成互利共生的模式。取食纖

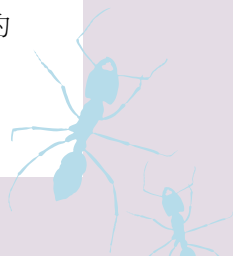


台灣土白蟻是台灣最重要的都市害蟲，牠們的社會結構主要由3個階級組成：(A)有翅生殖蟻，在初夏分飛，俗稱大水蟻，落地後脫翅，建巢後成為蟻王或蟻后；(B)工蟻，巢中最主要的階級，負責巢內照護幼蟻與巢外搜尋的工作；(C)兵蟻，占巢內個體數5%以下，負責抵禦天敵。

維素所產生的養分大多是糖類，雖然可提供活動所需的能量，卻缺乏建構生物體所需要的蛋白質，因此這類木蟑螂成長速度非常緩慢，從卵孵化後到成蟲需要六、七年的時間。

由於營養的限制，這類蟑螂逐漸演化出護幼的行為，因為群居比較容易存活，所以兩個以上的世代會共同生活在同一巢中。大約1億3千萬年前，這類蟑螂已演化出巢中具有專門生殖的個體，巢內其他工作則由兒子、女兒來做，其中年長的哥哥、姊姊會照顧弟弟、妹妹，這一類最進化的社會性蟑螂就是白蟻的祖先。

在大自然中，白蟻長期扮演著植物分解者的角色，特別是對熱帶與亞熱帶的生態系來說，牠們推動著碳與能量的循環，使森林中不至於堆滿腐木枯葉。人類在從原始走向文明與科技的過程中，一直倚賴著植物原料，木材是最重要的建材，棉花用來製衣，木漿用來造紙，生活中處處可見植物的產品，然而這些都是白蟻潛在的食物。

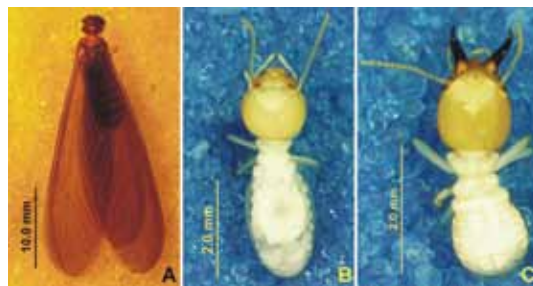


在大自然中，白蟻長期扮演著植物分解者的角色，特別是對熱帶與亞熱帶的生態系來說，牠們推動著碳與能量的循環，使森林中不至於堆滿腐木枯葉。

熱帶地區一年四季有充足的陽光與豐富的自然資源，照理說應該很適合人類的生存與文明的發展，但反觀人類文化的發展，熱帶地區卻少有長久的文明。雖然熱帶地區疾病比較多，不適人居可能是一原因，但另有一說，由於人類知識的累積與散播須倚賴紙張，而大部分的白蟻種類都分布在熱帶與亞熱帶地區，並在當地造成嚴重危害，因此在熱帶地區很難找到古老的文獻與木建築。

二次大戰後，人口急速攀升，不只糧食與耕地需求增加，木材與紙的使用量也增加了，使得森林面積持續減少，降低二氧化碳吸收量，溫室效應持續惡化。目前已知的3千種白蟻，約6%的種類因適應人類都市與農業的形式，快速地繁衍而變成害蟲。白蟻把木材分解，大部分的纖維素變成二氧化碳進入大氣中，使得溫室效應更加嚴重。

由於白蟻的為害，木材的壽命減短，人類為了更替被白蟻蛀食的木材與紙張，繼續砍伐森林，造成固碳量下降與釋碳量上升，大自然的碳平衡也隨之傾斜。大量砍伐森林與白蟻嚴重為害，又造成溫室效應惡化，這一惡性循環很可能是對維繫人類文明的另一次威脅。



黑翅土白蟻是台灣中、低海拔地區最常見的白蟻，是穿山甲的主要食物：(A)有翅生殖蟻、(B)工蟻、(C)兵蟻。

## 打開了潘朵拉的盒子

白蟻的群體數量依種類可以從數千隻到數百萬隻，群體的壽命從一對蟻王與蟻后建巢後可達數十年。群體活動的範圍可以從一塊木材到上百公尺的複雜隧道系統，但是群體並不會進行大規模的遷徙。也就是說，當蟻王與蟻后選定了築巢的地點，未來的很多年，這群體就會生活在那個區域。

白蟻拓展到其他地區的主要方式，是靠產生有翅膀的生殖型。在台灣，大家比較熟悉的是每年春末夏初，大雨來臨前後，黃昏初夜，常見大批正在分飛的大水蟻被燈光所吸引，這些就是白蟻的有翅生殖型，也就是未來的蟻王與蟻后。

由於白蟻的為害，木材的壽命減短，人類為了更替被白蟻蛀食的木材與紙張，繼續砍伐森林，造成固碳量下降與釋碳量上升，大自然的碳平衡也隨之傾斜。



這些有翅白蟻，有形狀相似的四片翅膀，飛起來相當不協調，跟其他昆蟲比起來，飛行力很弱，因此常可以用手抓住。白蟻最長飛行距離紀錄僅有 800 公尺，因此要跨過天然屏障（例如高山、海洋等）的可能性不高。雖然也有紀錄顯示有些白蟻可以隨著漂流木散播到遙遠的小島，但這些僅是少數。

少數的白蟻物種因為適應人類的環境變成了害蟲，他們原本無法跨過天然的屏障，所以為害的地區很有限，但由於交通的日益發達，白蟻害蟲隨著交通工具被攜帶到原本無法抵達的區域，因而擴大了為害範圍。其中最著名也研究得最透徹的，就是台灣家白蟻由遠東地區傳播到美國的事件。

台灣家白蟻的原生地在中國東南方與台灣，且已有數百年的為害歷史。二次世界大戰期間，美國在中國、台灣與日本都有駐軍，戰爭結束後，撤離的部分軍備有台灣家白蟻的為害。這些白蟻原本無法飄洋過海到美國，但是由於船隻提供安全的環境，船身的部分建材是可供作食物的木材，加上船上有儲水或因下雨而累積的淡水，部分白蟻就存活下來。

待船隻靠港後，被害的軍備搬進了軍事基地，台灣家白蟻也就跟著登堂入室了。另外一些留在船上的白蟻，由於食物與飲水充足，當族群成熟後，可以產生有翅生殖型。由於夜間碼頭有燈光照明，白蟻就被吸引上岸，在碼頭附近開始擴散開來。

先前曾提過，白蟻無法快速地遷徙，照理說，即使順利登陸了，擴散速度也不快。但是由於被害的木材與家具會透過陸運被載往其他地區，再加上傳統的鐵路枕木都是木材，提供了台灣家白蟻不虞匱乏



台灣土白蟻在花圃支撐木上所建的泥板，用來掩護搜尋食物，並維持溼度。

的食物，因此就沿著鐵道很快地蔓延到美國南方的十個州。在戰後的六十多年，台灣家白蟻已經成為美國木造房屋最嚴重的威脅，每年的經濟損失估計約 20 億美金以上，台灣家白蟻已被列入全球最重要的百大入侵生物。

台灣家白蟻傳播至美國這一案例，給了人類一個教訓，即在快速的全球化過程中，原本被自然隔離的生物，會因為人類的活動，到達一個資源充足、沒有天敵的環境大肆繁衍，造成無法控制的局面。這一案例提醒我們，全球化的風險及動植物檢疫的重要性。

## 偉大的建築師

白蟻是地球上著名的建築師，最讓人印象深刻的，莫過於在非洲與澳洲的草原上拔地而起的高大蟻丘。但除了這些會築



高大蟻丘的白蟻外，大部分的白蟻會利用土壤構築各式的建築。以台灣家白蟻為例，家白蟻會搬動土壤，移出空間，形成綿密的地下隧道。這些隧道內層表面塗抹著糞便與唾液的混合物，可以維持隧道內的溼度，防止白蟻體表水分散失。

白蟻不但會構築水平的隧道來搜尋食物，還會建築垂直的井道，直通地下水層去取水，以維持巢內的溼度。大部分種類的白蟻因為體表的幾丁質薄，且體脂肪少，所以水分散失很快，維持巢內溼度成為存活最重要的關鍵。白蟻除了會在地底挖隧道外，還會建築地面上的泥道與泥板，這些泥道是土壤、糞便與唾液的混合物，它的功能是防止白蟻在地表搜尋食物時遭受天敵的攻擊，特別是螞蟻，並且可以避免因散失水分而死亡。

白蟻可以在一夜之間就建好數公尺的泥道與泥板，在夜間進行地表上的食物搜尋，等到白天，空氣中相對溼度下降，特別是經陽光照射後，泥道與泥板會乾掉，白蟻就會回到地下或樹木裡的隧道系統中。

白蟻活動旺盛的地方，每公頃每年可搬動數千公斤的土壤到地表，這些行為改變了土壤的物理與化學性質。水平與垂直的搬動土壤，可以使土壤混合，地表因雨水沖刷，土壤內帶正電的離子被帶到下層土壤，這些富有鈣、鎂、鉀、鈉等元素的下層土壤，因白蟻垂直向上搬運土壤的行為，得以再被地表的植物吸收利用，上層的土壤也有機會因隧道而落到下層。

白蟻消化地表的植物，把糞便與唾液塗抹在隧道內，同時增加了土壤內的有機質，綿密的隧道可以增加土壤中的含氧量及土壤的透水性，乾季時，還可以維持上



遭到白蟻為害的電線杆

層土壤的溼度。此外，溫暖、潮溼、充滿有機物的白蟻隧道適合微生物的生長，因而進一步改變了土壤的化學性質。白蟻能改善土壤品質就如同蚯蚓一般，對植物生長有正面的影響。

白蟻垂直搬運土壤的行為，不僅有利於植物的生長，對人類的礦業探勘也很有幫助。非洲大陸因氣候溫暖而多雨，岩石轉化成土壤的作用相當旺盛，因此地表土壤深度厚，要挖掘探勘地下岩層的礦脈需要耗費相當多的力氣。非洲的原住民利用白蟻垂直搬運土壤的特性，先挖開地表蟻丘尋找黃金，如果有發現，就表示地下有礦脈，值得繼續往下挖掘。

利用蟻丘採樣法探勘礦產，已成功在非洲探勘到黃金、銅、鑽石等礦脈。這方法雖然古老，但既便宜又省力，仍然相當管用。

白蟻在都市與農業上的為害，引發我們從另一個角度去思考都市發展、溫室效應、全球化、農作方式等重要的議題，並點出人類發展與大自然生態間的衝突。

## 益蟲變成農業的害蟲

白蟻能改善土壤品質，有利植物生長。此外，白蟻身體柔軟、蛋白質含量高，許多爬蟲類、昆蟲、鳥類與哺乳類都倚賴白蟻為食，其中螞蟻是最主要的捕食者。據估計，螞蟻與白蟻的生物總量占所有地球上動物生物量的 20% 以上。

有一些哺乳類因取食蟻類而有特化的形態，以台灣穿山甲為例，其前肢有長長的爪可以挖掘蟻巢，口腔沒有牙齒，但有很長且黏黏的舌頭可以深入蟻巢內沾黏蟻類。另外在南亞的懶熊、非洲的土豚這些重達一百公斤的大型哺乳動物，也都以白蟻這樣微小的昆蟲為主食，一隻白蟻的重量平均僅約 3 毫克，可見白蟻數量之多，生物量之大，在食物鏈中地位的重要。

目前約有一百多種白蟻被列為農業害蟲，但依前述應是對自然環境有益的白蟻，怎麼會變成害蟲呢？這是因現代化的農業全面性地改變了地表的植被，但氣候與土壤不一定適合這種作物，需要倚賴人工大量灌溉或施肥才能生長。遇到乾旱與疾病造成作物健康狀況不佳時，這些作物就如同自然界裡待分解的垃圾，白蟻就趁虛而入分解它們。

一般來說，白蟻是植物屍體的清道夫，但不會為害健康的植物。白蟻所造成的農業與林業損失，通常是植物本身已經出現病狀，白蟻只是次級的害蟲罷了，例如台灣常見受到白蟻為害的櫻花木。櫻花是溫帶的物種，在台灣低地不易生長，因此櫻

花木很容易受到台灣土白蟻的為害。防蟲公司常接到民眾要求，希望在櫻花木土壤周圍灌注殺蟲藥加以保護，但是台灣高溫又多雨的環境，使藥劑很快隨著雨水流失，白蟻就又回來。持續性的灌藥導致大量殺蟲劑的使用，造成環境的負擔，也影響了人類的健康。

或許可以從另一個角度來看這個例子，白蟻的出現其實是一個指標，提醒我們作物已經不健康了。如何因地種植適合的植物，維持植物的健康，才是避免白蟻為害的最根本方法。

白蟻的生態研究引領我們重新了解地球上生命的循環，雖然白蟻物種數占所有昆蟲的比率少於 0.5%，但由於其能分解纖維素，推動碳與能量循環，且具有龐大的生物量，能提供高級捕食者所需的蛋白質，其生態地位處於植物與動物間的樞紐點。如此特殊的生態地位顯然無可取代，白蟻也給了我們創造新能源與發掘礦產的藍圖。

另外，白蟻在都市與農業上的為害，引發我們從另一個角度去思考都市發展、溫室效應、全球化、農作方式等重要的議題，並點出人類發展與大自然生態間的衝突。如何創造對地球環境更友善的生活方式，考驗著全體人類的智慧。

李後鋒

臺灣大學昆蟲學系

