

[譯文] 爬樹的女人：探索世界樹冠層

瑪格麗特·羅曼 博士

www.canopymeg.com

www.treefoundation.org

www.calacademy.org

人類的祖先是樹居者。綜觀人類歷史，人類利用樹木連結靈性、採集食物藥物並製作各種木製品。無數的葉子將陽光轉換成醣類，樹冠層可以視為整個地球食物鏈的中心。就演化的觀點來看，人類從樹上的祖先演化而來。任何人都曾在動物園看到猴子跳躍在樹梢而羨慕，潛意識地回想起滯留空中的演化記憶。

在巴布亞紐幾內亞有一個名為 Korowai 的部落，至今仍然住在樹上，利用樹梯建造了令人嘆為觀止的樹屋。據推測這種生活習慣可能源於躲避森林底層的敵人，並且逃離潮濕陰暗的地面。樹屋在小孩和成人之間保留了一點痕跡，如同人們和自然的精神連結。許多著名的人曾逃避至小時候的樹屋：披頭四的約翰藍儂、英國首相邱吉爾、羅馬皇帝卡利古拉，以及還是年輕公主時的維多利亞女王。最近的醫學研究也指出常在戶外活動學習的孩童會有比較健康的身體和個性。

為什麼樹冠層在人類的精神、科學及文化內涵上有這麼多重要的影響？為什麼科學家直到最近才能探索樹冠層？二十世紀有極少數的樹冠層先驅，但樹冠層仍然被認為是地球的第八塊大陸，因為它鮮少有人探訪。

樹冠層是性能卓越的房屋，約涵括了整個地球 50% 的地面生物多樣性。熱帶雨林中陽光、果實、花以及葉子年復一年的生長，提供了各種生物的理想棲地。數以千計的樹種及藤蔓給提供了昆蟲名副其實的沙拉吧，而昆蟲又是一級消費者如爬蟲、兩棲及哺乳類的食物，一級消費者則為二級消費者如老鷹、美洲豹及各種食肉動物獵食。最終，土壤中的分解者分解並讓所有物質循環回樹冠層。

除了傳統食物鏈上的貢獻之外，樹冠層有額外的生態棲位給特殊的生命體。鳳梨科植物的貯水杯、樹枝的分岔、葉子的表面，以及附生植物提供了額外的樹冠層微型分層。例如鳳梨科植物的貯水杯可以承接雨水，以致於裡面會出現微小生物。蚊子幼蟲、線蟲、狼蛛、蠱斯、蜥蜴以及猴子會居住或飲用這些空中的小水池，有些箭毒蛙甚至會千里迢迢從森林底層爬到樹上的小水池中下蛋。其他特別的樹冠生態棲位包括了樹枝的分岔提供了纏勒性無花果樹的發芽場所，堆積土壤提供馬陸、線蟲這些原本生活在森林底層的生物生存的環境。纏勒性無花果樹是唯一已知會在樹上發芽生長的物種，同時將氣根延伸到地面，最後滲透到土壤層以拓展自身並且纏勒住宿主植物。附生植物生長在潮濕且有光斑的枝條上，額外增加一層生物多樣性的空

間。甚至更令人驚奇的是，葉片表面還能提供一層空間給地衣、苔蘚、真菌生長。而在這些苔蘚植物的「樹冠層」裡，還能生長微小的無脊椎動物以及一些只有在顯微鏡下才能看到的微生物。一層層的生命結構，全都滋養於陽光、濕氣和溫暖，森林以一種特殊的形式提供令人嘆為觀止的生物多樣性。

直到三十年前，樹冠層的植物、昆蟲、鳥類、哺乳類以及他們之間的交互作用還鮮為人知。1970 年代後期，野外生態學家首先使用彈弓將繩索架設到樹冠層，但仍然不太明白這片綠色的大傘其實是地球健康的重要關鍵。海平面之下以及外太空之外的探索都比森林樹冠層的探索更加優先。但隨著近年來全球氣候的上升以及地景的退化，樹冠層變成一個重要的指標，因其衰退可以作為全球環境變遷的預兆。最近，森林樹冠層科學家和珊瑚礁生態學家、冰層物理學家、土壤生物學家以及水化學家共同合作，試圖發現地球功能之最神祕處。透過進入森林樹冠層，森林生態系統功能的知識大幅躍進。森林樹冠層也能增進我們對這自然世界的好奇和感激，引導那些更宏觀的保育進程。

望遠鏡也許是被用來探索樹冠層的第一個工具。十九世紀時達爾文就使用望遠鏡探索樹冠層，但除了掉到地面的生物之外，並沒有取得任何樹上的生命體。但是他仍然對熱帶雨林樹冠層的多樣性很感興趣。在達爾文之後探索冠層的想法進展得很緩慢，直到 1950 年代，在烏干達的 Mpanga 保護區裡建造了一個高塔。高塔提供了監測引起人類疾病昆蟲的方法，樹冠層第一次展現了在生物研究上的應用。

1970 年代是樹冠層探索的黃金時期，開始使用 SRT(單索攀樹技術)(圖一)技術做長期的樹冠層研究，而非偶爾一次的採集。這種靈活的技術讓科學家能容易到達冠層的中間，並且可以懸掛在繩索上觀察生物。裝備容易攜帶，價格也不昂貴，SRT 甚至可以讓預算不多的研究生探索樹冠層。1979 年羅曼(Lowman)博士在澳洲發展 SRT 技術，同時唐·培利(Don Perry)也在哥斯大黎加發展。然而繩索無法抵達冠層邊緣的枝葉，因為它必須固定在靠近主幹的地方。科學家試圖克服這種無法抵達邊緣的困境，例如印尼的生物學家發展出樹冠層帆布，水平的平臺有許多水手椅繫在一端，就可以從主幹擺盪到樹冠層外圍。在馬來西亞的 Pasoh，則結合了梯子、繩索以及帆布船而研究龍腦香科的授粉作用。

1980 年代有創意的工程師以及樹冠層生物學家聯手建造第一條給大眾使用的冠層橋樑和平臺。一開始的兩條冠層走道幾乎同時建造：一條是在馬來西亞的樹枝上，另一條在澳洲昆士蘭的電線杆間。北美洲的第一條樹冠走道建於 1992 年的麻塞諸塞州的橡樹上。但第一條給民眾使用的冠層走道則於 2000 啟用於佛羅里達的邁阿卡河州立公園(Myakka River State Park)(圖二)。1990 年代開始，世界各地陸續建造樹冠層走道，由樹冠層走道建造協會(Canopy

Construction Associates, www.canopyaccess.com)及其他組織設計建造。也因此樹冠層走道、梯子、攀樹繩索及其他工具的結合，受到研究者和生態旅遊業的歡迎。此外，樹冠層走道提供了當地居民一項穩定持續的經濟收入 (www.treefoundation.org)。世界上最長的樹冠層走道，是由樹木支撐，位於祕魯境內的亞馬遜雨林區，並且提供當地超過 100 個家庭的經濟收入(圖三)。世界上最新的一條冠層走道則將於 2014 年於臺灣的雪霸國家公園啟用。

也許最有創意的樹冠層探索工具是法國設計的熱氣球 *Radeau des Cimes*。它由平坦的木筏組成，可以自主飛行，可以在高樹的最頂端提供基地或平臺 (直徑 27 公尺)。1991 年，*Radeau des Cimes* 的設計團隊發展了新技術，由邊長五公尺的正三角形迷你木筏組成的飛船，可以在樹梢快速地探索花粉、光合作用、食植行為以及冠層生態的多樣性及組成。

起重機則代表了近年來能安全進入森林冠層的工具。1990 年，史密森熱帶研究所 (Smithsonian Tropical Research Institute) 在巴拿馬季節性乾旱森林裡建造了一座 40 公尺高的起重機。之後，十座起重設備分別在澳洲、瑞士、德國、日本、印尼、美國和委內瑞拉設立。起重機的建造及操作非常昂貴，通常在美金 1 百萬到 5 百萬之間，但提供了前所未有的、重複性進入上部冠層的機會。

在 1880 年代，自然學家達爾文估算地球上大約有 80 萬種生物。進入樹冠層之後則發現了起碼百萬種以上的生物生活在這「地面上」的世界。達爾文之後的 100 年，史密森熱帶研究所的厄文博士(Terry Erwin)首先計數了樹冠層的生命數量。使用噴霧法採集幾棵樹的樹冠層，收集全部的節肢動物後計數並分類。根據他於 1982 年巴拿馬雨林裡的研究指出，地球上可能有三千萬的物種，而不是如之前估算的 1 百萬至 2 百萬。之後，其他的樹冠層生物學家證實了厄文博士的推測。羅曼博士在澳洲使用同樣的噴霧技術，也得出了相似的結果，估計約有 100 萬的物種生活在冠層中(絕大部分是昆蟲)。哈佛大學生物學家威爾遜(Edward O. Wilson)特別指出，地球上大約有一億種生物。世界上究竟有多少種生物其實還有爭議，從目前的推估來看最少有 1 千萬，最多則可能有 1 億。

田野生物學家著重在生物多樣性的分類、物種鑑定以及了解各種生物在地球上的地位。這並不僅僅是簡單的命名活動，主要的目的是為了了解一個生態系統的結構和功能，如同我們希望知道汽車引擎的組成以創造更有效率的引擎。發現並且界定世界上所有的物種並不容易，在樹冠層裡發現一個新的甲蟲物種就跟大海撈針一樣難，更遑論要界定所有的物種包含蘭花、甲蟲、鳥類、藤蔓、青蛙以及其他不勝枚舉的種種生物。在過去 20 年來，因為人類活動加速了地景的退化以及許多物種的消失，「生物多樣性」在政治上及科學上都益顯重要。

許多樹冠層物種提供了人類生存必需的生態系統。在亞馬遜地區，植物製造化學物質抵抗昆蟲的攻擊，而這些化學物質會被當地居民作為藥用。薩滿是當地極受尊重的領袖，擁有許多使用藥用植物的知識和經驗。由於植物和食植動物(大部分是昆蟲)間特殊的交互作用，樹冠層的葉子、樹皮和果實提供了名副其實的藥材。

經過這一段樹冠層技術發展的歷史以及對樹冠層 3D 結構和棲地的研究，樹冠層生物學家的地位開始轉變。已經沒有科學家可以單純悠閒地欣賞老鷹和螽斯的美麗，相反地，他們必須和伐木業者比賽。簡單來說，樹冠層科學家們沒有時間休息；至今為止被發現命名的物種遠不及所預估的數量。分類學家鑑定並分類新物種的速度，遠不及伐木業者的開發。

世界上究竟有多少物種？如果 200 個科學家每人每天都發現一個新物種，至少需要 1500 年才能完成整個地球上的物種鑑定。由此可知世界上的物種有多少！但比起命名更為重要的是生物學家需要設定森林樹冠層健康的基準點。生物多樣性重要嗎？物種滅絕會影響人類嗎？需要多少森林和樹種才能維持整個地球功能的運作？如果樹種單一而且棲地破碎，森林還能維持同樣的功能嗎？這些問題很重要，但沒有人可以回答。生物學家對樹冠層的瞭解還不足以回答這些重要的問題。在李奧帕德(Aldo Leopold)的沙郡年紀中說道，「保護每根螺絲就是維修的首要步驟」。而另一個很有名的科學家保羅·埃爾利希(Paul Ehrlich)則說生物多樣性的趨同化很類似飛機的維修：如果維修人員不斷地移除飛機上的基本要素，最終這架飛機就無法飛行。同樣地，如果物種一直不停地消失，總有一天生態系統會失去功能。而最關鍵的問題是，消失多少物種之後人類將無法生存？

六十年後的今天，李奧帕德的話仍然是正確的。我們需要保護所有生態系統中的物種，直到完全界定他們在生態系統中的功能為止。森林樹冠層是無數物種的「家」，而森林在地球上製造能量、藥材、原物料、食物，並進行養分循環及氣體交換，森林的健康就攸關著人類的健康。

從 25 年前第一條樹冠層走道建造之後，數百萬公頃的熱帶雨林已經消失，連帶上千種尚未被發現及命名的新物種。失去森林樹冠層及其生態系統，對未來的子孫而言將是個嚴重的問題。世界上令人驚奇的發現都和樹冠層相關：新藥物、香水、提供乾淨空氣並儲存二氧化碳的生態系統、高階掠食者和食物鏈動態，以及各種經濟產物如巧克力、玉米、棉花、咖啡、橡膠等等。未來的十年將至關重要。森林樹冠層是維持健康生態系統的重點，應制定於重要的經濟政策裡。這個世界的森林掌握在未來的科學家手裡，而森林樹冠層可以激勵他們去尋找永續生存的解決之道(圖四)。



Figure 1 (left). Single rope techniques in a *Ceiba pentandra* tree

Figure 2 (right). Canopy walkway with poles at Myakka State Park, Florida



Figure 3 (left). Canopy walkway with tree support in Amazonian Peru

Figure 4 (right). Children using canopy walkway in Florida